

ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»

СРО Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве»

НП «Союз изыскателей»

ООО «Геомаркетинг»

# ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Материалы XI Общероссийской конференции  
изыскательских организаций

9-11 декабря 2015 г.



**ОБЩЕСТВЕННЫЙ СОВЕТ  
ПО РАЗВИТИЮ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ**

Региональная общественная организация

Москва  
Издательство «Академическая наука»  
2015

**ООО «Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве»**

**СРО Ассоциация «Инженерные изыскания в строительстве»**

**НП «Союз изыскателей»**

**ООО «Геомаркетинг»**

# **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Материалы XI Общероссийской конференции  
изыскательских организаций**

**9-11 декабря 2015 г.**

**Сборник трудов выпущен  
при поддержке:**



**ОБЩЕСТВЕННЫЙ СОВЕТ  
ПО РАЗВИТИЮ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ**

Региональная общественная организация

**Москва  
Издательство «Академическая наука»  
2015**

### **Инженерные изыскания в строительстве.**

Материалы Одиннадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций.  
М.: Издательство «Академическая наука», ООО «Геомаркетинг». 2015. 300 с.

В сборнике материалов Одиннадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций опубликованы доклады, посвященные различным аспектам инженерных изысканий. Материалы представлены сотрудниками научно-исследовательских и проектно-изыскательских крупнейших производственных организаций, вузов.

Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области инженерных изысканий, проектирования, строительства, экологии, для студентов и аспирантов профильных вузов.

**СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»**

**Тарелкин Е.П., Захаров М.С.**

НП СРО «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада»

**О современном состоянии инженерных изысканий в строительстве .....13**

**Тарелкин Е.П., Захаров М.С., Потеев М.И.**

НП СРО «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада»

**Профессиональный стандарт изыскателей: первоочередные проблемы разработки .....15**

**Потеев М.И., Захаров М.С., Тарелкин Е.П.**

НП СРО «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада»

АНО «Агентство оценки и развития профессионального образования»

**Янкевич К.А.**

Восточно-Европейский Институт психоанализа

АНО «Агентство оценки и развития профессионального образования»

**Оценка и развитие профессионального образования в сфере инженерных изысканий .....16**

**Шорохова О.А.**

ГАУ Ярославской области «Яргостройэкспертиза»

**Экспертиза результатов инженерных изысканий и анализ небезопасных ошибок, имеющих место в процессе строительства .....19**

**Иванов И.П., Николаева Т.Н., Норова Л.П.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

**Инженерно-геологическое обоснование принципов районирования территории Санкт-Петербурга .....33**

**Травкин А.И.**

ООО «ПроектИзыскания»

**Использование архивной геологической информации для решения градостроительных задач (на примере городского округа город Уфа республики Башкортостан) .....24**

**Бенин А.В**

ИЛ «Механическая лаборатория им. проф. Н.А. Белелюбского» ПГУПС

**Городнова Е.В.**

ПГУПС

**Реконструкция промышленных объектов в сложных инженерно-геологических условиях Северо-Запада .....26**

**Шпагин С.П.**

ГАУ Ярославской области «Яргостройэкспертиза»

**Особенности проведения инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной документации на сеть газораспределения и газопотребления с учётом изменений в нормативной документации .....29**

**Здобин Д.Ю.**

Охотинское общество грунтоведов

**Государственные стандарты в области лабораторных испытаний свойств грунтов: проблемы и решения .....32**

**Голубев А.И.**

ООО «НИП-Информатика»

**Виртуальная лаборатория SOILTEST для определения расчетных механических характеристик грунта .....33**

**Кутепов Ю.И., Кутепова Н.А., Поспехов Г.Б., Ивочкина М.А., Кудашов Е.С.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

**Методические особенности изучения физико-механических свойств фосфогипса при проведении инженерно-геологических изысканий .....36**

**Соколова Ю.Ю.**

ОАО «ЛенморНИИпроект»

**Здобин Д.Ю.**

Охотинское общество грунтоведов

**О необходимости государственного стандарта на метод определения липкости грунтов .....39**

**Алешин А.С., Погребченко В.В., Никитин С.Н.**

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

**Методика комплексных геолого-геофизических исследований для целей сейсмического микрорайонирования . . . .41**

**Лярский С.П.**

ЗАО «Оргэнергострой»

**Новицкая О.И.**

АО «Атомпроект»

**Опыт комплексирования методов при инженерно-геологических изысканиях на площадке строительства . . . . .45**

**АЭС «Пакш-2»**

**Ведяев А.Ю., Кудакаев Т.З., Рафат Г.**

ООО «Алькомп-Инжиниринг»

**Трёхмерное моделирование оползневых склонов в пределах флишевых толщ как основа геомониторинга**

**объектов инфраструктуры (на примере района Красной Поляны) . . . . .46**

**Шешеня Н.Л.**

АО «ПНИИИС»

**Критерии инженерно-геологического обоснования мероприятий защиты зданий и сооружений от опасных**

**оползневых процессов . . . . .47**

**Делемень И.Ф.**

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН

Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга

**Константинова Т.Г.**

Камчатский филиал Геофизической службы РАН

**Повреждаемость зданий в связи с разжижением грунтов в долине ручья Пограничного**

**(г. Петропавловск-Камчатский) . . . . .53**

**Волков Ф.Е., Гера А.А.**

ГУП институт «БашНИИстрой»

**Укрепление водонасыщенных аллювиальных суглинков основания 12-ти этажного жилого**

**дома защелачиванием . . . . .60**

**Колесников В.П., Артемьев Д.А., Бурмистров А.Д.**

ООО НПО «Уралгеополе»

**Результаты опытных работ по использованию методики групповых зондирований при изучении**

**геологической среды . . . . .64**

**Исаев О.Н.**

НИИОСП им. Н.М. Герсевича

**Использование зондов с дополнительными датчиками и устройствами при испытании грунтов методом**

**статического зондирования . . . . .67**

**Колета С.**

Компания «КРЕДО-ДИАЛОГ»

**Единая информационная среда обработки инженерно-геологической информации . . . . .70**

**Кочергин А.В.**

АО «Стройдормаш»

**Абрамов А.В.**

ООО «ТИИС «Инновация»

**Некоторые примеры решения задач при геологических изысканиях буровыми установками**

**АО «СТРОЙДОРМАШ» . . . . .71**

<b>Корабельников Н.А., Глушков Б.В.</b> ВГУ МИП ООО «Акма-Универсал» <b>Инженерно-геологическая стратификация четвертичных отложений на территории Центрально-Черноземного региона</b> .....	<b>73</b>
<b>Бершов А.В.</b> МГУ им. М.В. Ломоносова ГК «ПетроМоделинг» <b>О необходимости перехода в инженерно-геологических и инженерно-геотехнических изысканиях к трехмерному (3D) моделированию и представлению материалов</b> .....	<b>75</b>
<b>Балков Н.Н., Цыпорин Б.В.</b> ООО «Геомаш-Центр» <b>Практические решения в области инженерно-геологических изысканий с применением бурового оборудования «Геомаш»</b> .....	<b>79</b>
<b>Широков В.Н., Куринов М.Б., Голубь М.П.</b> МГУ им. М.В. Ломоносова <b>Натурное и математическое моделирование деформирования связных грунтов в основании сооружений</b> .....	<b>81</b>
<b>СЕКЦИЯ «ГЕОТЕХНИКА – РАСЧЕТЫ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНИТОРИНГ»</b>	
<b>Улицкий В.М.</b> ПГУПС, ТС-207 ISSMGE «Взаимодействие оснований и сооружений» <b>Прогноз взаимодействия зданий и транспортных сооружений с многолетнемерзлыми грунтами на основе численного моделирования процесса промерзания-оттаивания</b> .....	<b>86</b>
<b>Фролов В.С.</b> ЗАО «Институт Гипростроймост – Санкт-Петербург» <b>О комплексировании инженерных изысканий при проектировании уникальных и особо сложных объектов</b> .....	<b>90</b>
<b>Волохов Е.М., Зеленцов С.Н., Киреева В.И.</b> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» <b>Критерии оценки вредного влияния подземного строительства на здания и сооружения в мегаполисах</b> .....	<b>90</b>
<b>Карасев М.А.</b> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» <b>Прогноз деформаций земной поверхности при строительстве сложных пространственных подземных сооружений в условиях плотной городской застройки</b> .....	<b>92</b>
<b>Потемкин Д.А., Трушко О.В.</b> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» <b>Влияние строительства сооружаемых открытым способом станций метрополитена на деформации земной поверхности в условиях Санкт-Петербурга</b> .....	<b>95</b>
<b>Новоженин С.Ю.</b> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» <b>Вредное влияние строительства эскалаторных тоннелей и его оценка</b> .....	<b>103</b>
<b>Протосеня А.Г.</b> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» <b>Прогноз геотехнических процессов при малоосадочных технологиях строительства подземных сооружений</b> .....	<b>108</b>

<b>Сольский С.В., Дубровская Н.В.</b> АО «ВНИИГ» им. Б.Е. Веденеева <b>Чернышева Е.В.</b> ООО «НПК Проектводстрой» <b>Обоснование программ геотехнического мониторинга с применением метода анализа безопасности сложных природно-технических систем</b> .....	111
<b>Деменков П.А., Очкуров В.И.</b> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» <b>Методология прогнозирования напряженно–деформированного состояния конструкций станций метрополитена глубокого заложения с учетом этапов строительства</b> .....	112
<b>Илюхин Д.А., Малюхина Е.М.</b> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» <b>Определение вида зависимости основных параметров сдвижения для получения высоты зоны водопродвижения трещин</b> .....	116
<b>Беляков Н.А., Карасев М.А.</b> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» <b>Анализ влияния опережающего крепления лба забоя тоннеля анкерами на развитие геомеханических процессов в породном массиве</b> .....	120
<b>СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ»</b>	
<b>Оспенников Е.Н., Хилимонюк В.З., Булдович С.Н.</b> МГУ им. М.В. Ломоносова <b>Типизация геокриологических обстановок шельфа и береговой зоны Российской Арктики для целей хозяйственного освоения</b> .....	128
<b>Дубровин В.А., Крицук Л.Н.</b> ФГУП «ВСЕГИНГЕО» <b>Температурный режим донных отложений шельфа Карского моря в районе полярной станции Марре-Сале</b> ....	128
<b>Осадчая Г.Г.</b> УГТУ <b>Лаптева Е.М., Дегтева С.В.</b> Институт биологии КНЦ УрО РАН <b>Зенгина Т.Ю.</b> МГУ им. М.В. Ломоносова <b>Возможность расширение сети фонового геокриологического мониторинга Большеземельской тундры за счет участков экологического каркаса</b> .....	129
<b>Тумель Н.В., Зотова Л.И., Королева Н.А.</b> МГУ им. М.В. Ломоносова <b>Оценка опасности техногенеза при строительстве в криолитозоне России</b> .....	132
<b>Куваев В.А.</b> Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН <b>Оползнеобразования в карьерах в многолетнемерзлых породах (на примере Накынского месторождения алмазов)</b> .....	133
<b>Бадю Ю.Б.</b> МГУ им. М.В. Ломоносова <b>Подборный Е.Е.</b> ООО «Центр гидроэкологических исследований» <b>Результаты исследования льдистости пород криогенной толщи Ямала при инженерно-геокриологических исследований</b> .....	137

**Осокин А.Б.**

ООО «Газпром добыча Надым»

**Изучение динамики опасных экзогенных процессов на месторождениях п-ова Ямал для разработки мероприятий по инженерной защите объектов обустройства** .....140

**Вахрин И.С.**

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

**К вопросу определения деформационных характеристик оттаивающих грунтов** .....140

**Торговкин Н.В., Макаров В.Н.**

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

**Засоленность и агрессивность сезонно-талых и многолетнемерзлых грунтов в условиях меняющейся геологической среды на примере Якутска** .....144

**Кондратьев В.Г., Кондратьев С.В.**

ЗабГУ

НПП «ТрансИГЭМ»

**К вопросу о геокриологическом обосновании изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации магистрального газопровода «Сила Сибири»** .....147

**Клюев А.А., Титков С.Н., Цветкова М.Г.**

ООО «ИГИИС»

**Методика контроля инженерно-геологических изысканий в криолитозоне (на примере магистрального газопровода «Сила Сибири»)** .....140

## СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ»

**Бричёва С.С.**

МГУ им. М.В. Ломоносова

**Станиловская Ю.В.**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН

**Метод георадиолокации для обнаружения полигонально-жильных льдов, не выраженных в рельефе** .....151

**Федотов С.А., Федотов А.С.**

ООО «ГЕОСИГНАЛ»

**Технология ВСП для проведения малоглубинных сейсмических исследований** .....152

**Данильев С.М., Данильева Н.А., Поспехов Г.Б.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

**Оценка технического состояния дорожной одежды на основе комплексного геолого-георадиолокационного подхода** .....156

**Данильева Н.А., Данильев С.М.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

**Изучение верхней части разреза на основе комплексной геофизической информации под строительство линейных объектов неглубокого заложения** .....158

**Архипов А.Г.**

ООО «Геодиагностика»

**Сейсмоакустическая диагностика состояния массивов естественных и искусственных грунтов** .....162

**Архипов А.Г., Матинян А.А.**

ООО «Геодиагностика»

**Мониторинг состояния панелей и стыков стены в грунте методами ультразвукового и акустического прозвучивания из закладных трубок** .....166

<b>Аносов Г.И., Дементьев Ю.В.</b> ООО ЦИИЗ «ИМПУЛЬС - М» <b>Компоненты городской сейсмологии в инженерных изысканиях для строительства на территории г. Калининград (Россия)</b> .....	169
<b>Вольнин А.Ф.</b> ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» <b>Опыт применения электротомографических измерений для определения мощности канализационных осадков на иловом накопителе полигона «Северный»</b> .....	175
<b>СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»</b>	
<b>Дашко Р.Э., Карпова Я.А.</b> Национальный минерально-сырьевого университет «Горный» <b>Основные направления совершенствования и развития инженерно-экологических изысканий для строительства (СП 11-102-97)</b> .....	178
<b>Сердцев П.О.</b> ООО «НПО «ИмпериалЪ» <b>Проблемы взаимодействия с государственными организациями, при проведении инженерно-экологических изысканий</b> .....	179
<b>Григорьева И.Л.</b> Институт водных проблем РАН <b>Требования к техническому отчету по инженерно-экологическим изысканиям</b> .....	180
<b>Идрисов И.Р.</b> ТюмГУ <b>Нечетов И.А.</b> ООО «Нижнеобской Научно-исследовательский Проектный Институт» <b>Картографическое обеспечение инженерно-экологических изысканий</b> .....	182
<b>Новых Л.Л.</b> НИУ БелГУ <b>Актуальные проблемы почвенных исследований в составе инженерно-экологических изысканий</b> .....	184
<b>Куликова М.А.</b> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» <b>Экологические исследования почв в г. Санкт-Петербурге с применением рентгеновских методов</b> .....	186
<b>Веницианов Е.В.</b> Институт водных проблем РАН <b>Современные проблемы охраны вод в России: технологии, право, экономика, экология</b> .....	189
<b>Григорьев Г.Н., Шевченко В.Н.</b> НИУ БелГУ <b>Кайдалова О.В.</b> Научно-производственная фирма «Эколог-проект» <b>Опыт проведения инженерно-экологических изысканий в Черноземье</b> .....	192
<b>Косинова И.И</b> ВГУ Филиал «АИИС-Воронеж» <b>Максимов С.В.</b> ООО «Липецкоблземсервис» <b>Инженерно-экологическое обоснование строительства комплексного полигона размещения твердых бытовых отходов в р.п. Кантемировка Кантемировского муниципального района Воронежской области</b> .....	195

<b>Зинюков Ю.М.</b> ВГУ <b>Корабельников Н.А., Валяльщиков В.А.</b> МИП ООО «Акма-Универсал» <b>Инженерно-экологическая оценка территории рекультивации полигона ТБО МКП ПООО г. Воронежа</b> . . . . .	198
<b>Усенков С.М.</b> СПбГУ <b>Инженерно-экологические изыскания для оценки воздействия на морское дно и донные отложения операций по добыче железо-марганцевых конкреций в восточной части Финского залива</b> . . . . .	201
<b>Матвеева В.А.</b> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» <b>Изучение сорбционных свойств вермикулита Ковдорского месторождения по отношению к катионам марганца (II)</b> . . . . .	203
<b>Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т., Деменев А.Д.</b> ЕНИ ПГНИУ <b>Признаки возникновения и протекания неблагоприятных микробиологических процессов</b> . . . . .	205
<b>Лаптева Е.М., Каверин Д.А., Пастухов А.В., Шамрикова Е.В., Холопов Ю.В.</b> Институт биологии КНЦ УрО РАН <b>Фоновое содержание тяжелых металлов и металлоидов в тундровых почвах европейской Арктики и субарктики (на примере Большеземельской тундры)</b> . . . . .	207
<b>Васютнич Л.А.</b> ЗабГУ <b>Оценка инженерно-экологических условий урбанизированных территорий криолитозоны (на примере г. Чита)</b> . . . . .	211
<b>Сергеев В.И., Шимко Т.Г.</b> МГУ им. М.В. Ломоносова <b>Степанова Н.Ю.</b> ФГБУ НИМЦ «Базис» Минобрнауки РФ <b>Пашков Д.В.</b> ООО «Геотехника» <b>Перспективы повышения эффективности защитных экранов в районах размещения токсичных и радиоактивных отходов промышленности</b> . . . . .	213
<b>Григорьева И.Ю.</b> МГУ им. М.В. Ломоносова <b>Геозоологические условия как базовая категория нормативной документации при инженерно-экологических изысканиях</b> . . . . .	215
<b>Григорьева И.Ю., Саркисов Г.А.</b> МГУ им. М.В. Ломоносова <b>Методика оценки влажности нефтезагрязнённых грунтов</b> . . . . .	217
<b>Ланцова И.В.</b> ООО «ИГИИС» <b>Опыт проведения контроля качества инженерно-экологических изысканий</b> . . . . .	221

**СЕКЦИЯ «ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
В СОСТАВЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ  
И ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ»**

**Жданов С.В.**

АО «Полиметалл Инжиниринг»

**Методы расчета депрессионной кривой подземных вод и влияние на устойчивость бортов карьера . . . . .225**

**Лехов С.М., Царев М.А.**

МГУ им. М.В. Ломоносова

**Сложности определения гидрогеологических параметров методом одиночных откачек из скважин . . . . .230**

**Лехов В.А.**

МГУ им. М.В. Ломоносова

**Учет зоны аэрации при обработке опытных откачек в безнапорном водоносном горизонте . . . . .233**

**Павлова Н.А., Данзанова М.В., Ефремов В.С.**

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

**Оценка фильтрационных свойств обводненных грунтов на территории г. Якутска . . . . .236**

**Норватов Ю.А., Котлов С.Н., Будилова В.В., Шамшев А.А.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

**Анализ компрессионных деформаций слоистого породного комплекса при проведении водопонижения на алмазном месторождении им. В.П. Гриба . . . . .239**

**Косинова И.И., Сарычева Н.В.**

ВГУ

Филиал «АИИС-Воронеж»

**Особенности техногенного подтопления в пределах затопляемых территорий . . . . .244**

**Никуленков А.М., Румынин В.Г., Синдаловский Л.Н.**

Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле

**Логинова Н.В.**

Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

**Изучение фильтрационных свойств слабопроницаемых грунтов полевыми методами при инженерно-геологических изысканиях применительно к объектам окончательной изоляции РАО . . . . .248**

**Позднякова И.А., Галицкая И.В., Костикова И.А., Батрак Г.И., Томс Л.С.**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН

**Инженерно-геологические изыскания и гидрогеологические прогнозы на территории г. Москвы . . . . .252**

**Батрак Г.И., Карфидова Е.А.**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН

**Анализ закономерностей формирования поверхностного стока для целей повышения достоверности прогнозных гидрогеологических моделей . . . . .253**

**Томс Л.С., Батрак Г.И., Позднякова И.А., Костикова И.А.**

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН

**О преимуществах комплексности инженерно-геологических изысканий и строительного обследования при выявлении причин деформаций сооружений на примере Большого Москворецкого моста в г. Москве . . . . .259**

## СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

**Воронцов Е.А., Яшин И.С.**

ООО «Эффективные технологии»

Спутниковые технологии – проблемы реализации и импортозамещения .....263

**Козыренко О.Н., Тимофеев А.Н.**

ООО «Новосибирский инженерный центр»

Применение GNSS-технологий для геодезического обеспечения инженерно-геологических изысканий .....263

**Антонов А.Д.**

ЗАО «УГТ-Холдинг»

Инновации JAVAD GNSS в спутниковых геодезических измерениях .....266

**Широков В.В.**

АО «Атомэнергопроект»

Анализ существующих методов прогнозирования с использованием результатов повторных геодезических измерений .....266

**Веселов В.В.**

АО «Атомэнергопроект»

База данных повторных измерений и деформационный геодезический мониторинг .....266

**Круглова П.А.**

ООО «Датумэйт»

**Кудакаев Т.З.**

ООО «Алькомп-Инжиниринг»

Фотограмметрические методы получения 3D модели для инженерных изысканий, как альтернатива методу лазерного сканирования .....267

**Выстрчил М.Г., Смирнова Е.Н.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Предельная точность определения деформаций при проведении автоматизированного мониторинга роботизированными тахеометрами .....272

**Выстрчил М.Г., Парфенов Г.С., Коваленко Е.О.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

Планирование и оптимизация проведения наземной лазерно-сканирующей съемки .....272

## СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ НА ШЕЛЬФЕ»

**Чуркин О.Ф.**

АНО «Судебный эксперт»

Гидрографические работы как самостоятельный вид инженерных изысканий .....277

## СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

**Рузанов В.Т.**

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН

Зимнее обследование рек Чукотки: гидрология и гидрохимия .....281

**Виноградов Р.А., Андреев О.М.**

ФГБУ «АНИИ»

Проведение ледовых изысканий в районе ГТС в условиях повышенных требований ТБ .....282

**Айбулатов Д.Н.**

МГУ им. М.В. Ломоносова

Особенности и проблемы выполнения инженерно-метеорологических изысканий .....286

**СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ  
ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРЫ»**

**Пашкин Е.М.**

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе

**Влияние техногенеза на сохранность памятников архитектуры .....287**

**Демкин И.А., Кувшинников В.М.**

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе

**Опыт инженерно-технического исследования объектов культурного наследия эпохи конструктивизма в целях проведения ремонтно-реставрационных работ .....288**

**Вилкова М.В.**

ООО «НПФ «Рекон»

**Системный подход к реализации инженерно-геологической диагностики памятников архитектуры (на примере «Усадьбы XVIII-XIX века» г. Казани, республика Татарстан) .....289**

**Дашко Р.Э., Шидловская А.В.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

**К вопросу необходимости организации и проведения мониторинга Петропавловского собора в г. Санкт-Петербург .....290**

**Буфеев Ф.К., Кувшинников В.М., Фоменко И.К.**

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе

**Оценка зависимости результатов расчётов устойчивости склонов на исторических территориях от применяемой модели распределения свойств грунтов в массиве (на примере южного склона Свято-Боголюбского монастыря в Боголюбове) .....294**

**Никифоров А.А.**

Руководящий комитет по культурному наследию и ландшафтам Совета Европы (СЕ)

**«Воссоздание» памятников истории и культуры как вид реставрационных работ .....295**

**Бондарев М.В., Буфеев Ф.К., Демкин И.А., Кувшинников В.М.**

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе

**Опыт комплексного исследования памятников архитектуры на примере Успенского собора в Свияжске .....296**

**Ендржиевский В.Я., Кувшинников В.М., Пашкин Е.М.**

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе

**Комплексное решение геотехнических проблем при подземной реконструкции объектов культурного наследия в стеснённой городской застройке .....297**

## СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

Тарелкин Е.П.<sup>1</sup>, Захаров М.С.<sup>2</sup>

НП СРО «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада», Санкт-Петербург, <sup>1</sup>ept24855@yandex.ru, <sup>2</sup>zhmike@mail.ru

# О СОВРЕМЕННОМ СОСТОЯНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Причины неудовлетворительного состояния строительной отрасли, в целом, и инженерных изысканий, в частности, общеизвестны и носят системный характер. Это и усиление глобальной конкуренции на рынке товаров, услуг и капитала, и низкий уровень подготовки кадров, и исчерпание источников экспортно-сырьевого типа развития, и почти полное отсутствие отечественной базы машиностроения, ориентированной на стройиндустрию, и геополитика, прервавшая связи с международным рынком технологий и материалов. На эти факторы накладывается несовершенство отечественного законодательства, в том числе, в части саморегулирования строительной отрасли, нормативно-технического регулирования, разрешительной деятельности, экспертизы проектной документации, кадрового обеспечения и развития научного потенциала.

На настоящий момент проблемы изыскательской отрасли можно сконцентрировать по четырём основным направлениям.

### Технико-технологические проблемы:

- утрата производственных и интеллектуальных мощностей производства отечественных видов изыскательской техники и технологий;
- ничтожное количество новых отечественных разработок в области оснащения различных видов изыскательских работ и исследований (бурение, геофизика, зондирование, полевые экспресс-методы и т.п.);
- доминирование зарубежных производителей и сервисных служб;
- ограниченное количество комплексных геоинформационных систем, позволяющих на основе разнородных материалов изысканий создать единый информационный продукт, оперативно используемый в проектных и строительных работах.

### Проблемы в области управления и формирования единого информационного пространства:

- отсутствие эффективных инструментов управления отраслью изысканий, формально сведённых к принудительному объединению изыскательских организаций на принципах саморегулирования;
- чрезмерная централизация, как государственного управления, так и саморегулирования, которое фактически сведено к малоэффективному контролю и бюрократической регламентации объектов предпринимательства;
- полная потеря общечеловеческих качеств мастерства и ответственности исполнительного и управляющего звеньев отрасли;
- господство коррупции и неэффективность системы государственных закупок в сфере инженерных изысканий.

### Проблемы в области кадровой политики:

- существующие программы подготовки, повышения квалификации, переподготовки и аттестации рабочих специальностей, специалистов и руководителей не соответствуют требованиям времени;
- отсутствуют отраслевые системообразующие учебные заведения, реализующие как многоуровневые комплексные программы обучения, так и научную деятельность;
- острая нехватка высококвалифицированного профессорско-преподавательского состава, обладающего педагогическим мастерством и необходимым практическим опытом в сфере инженерных изысканий;
- отсутствие должной учебно-материальной базы и методик преподавания соответствующих дисциплин;
- полное отсутствие системы подготовки управленческих кадров в области изысканий;
- отсутствие системы непрерывного дополнительного образования для специалистов различного уровня и квалификации.

### Проблемы научно-методического и нормативного сопровождения изыскательской деятельности:

- отсутствует система научных исследований, нацеленных на запросы различных видов инженерных изысканий и исследований;
- не осознана и не реализуется роль фондов инженерных изысканий как источник развития отрасли;
- отсутствует научно обоснованная система оценки качества материалов изысканий по критериям полноты, достоверности, точности и функциональной эффективности полученной информации.
- отсутствует система профессиональных стандартов, регулирующих деятельность и карьерный рост специалистов, принимающих участие в инженерных изысканиях;
- система нормативных документов в области изысканий устарела и подчинена сугубо строительному направлению;
- отсутствует понимание геопространственной информации как комплексного продукта изыскательской деятельности, необходимого для управления природными ресурсами во всех ступенях государственного аппарата.

Указанные проблемы возникли не на пустом месте и связаны с исторически сложившимся отношением государства и общества к такому виду деятельности, как инженерные изыскания, при этом ни государство, ни гражданское общество пока не обращают внимания на ряд факторов.

Всё острее становится проблема создания новой системы управления наукой, образованием и информационными потоками, в которых особую роль должны играть новые информационные технологии, позволяющие эффективно накапливать, хранить и актуализировать данные о природной среде.

Переход с экстенсивного на инновационный путь развития диктуется не только необходимостью освоения новых территорий и усложнения техногенной среды, но и существенным ростом опасности (рисков) здоровью и жизни всего живого на Земле, связанных со строительством.

Возрастает роль инженерных изысканий как источника информационного ресурса государственной важности, в котором содержится комплексная геопро пространственная информация о природной среде.

Комплексные инженерные изыскания выступают как гарант снижения природных рисков, связанных со строительством, при условии, что рассматриваются системно как совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов: объектов управления, органов управления, единого информационного пространства, обеспечивающих получение, анализ, синтез, представление, хранение и актуализацию информации, необходимой и достаточной для проектирования, строительства и эксплуатации различных зданий и сооружений.

Инженерные изыскания могут служить базой инновационного развития, поскольку, предрасположены по своей сути к использованию современных достижений науки и техники на базе принципа эргономики – «правильные люди делают правильное дело правильными методами». перевооружение инженерных изысканий современной техникой и технологиями может дать мощный толчок устойчивому развитию многих отраслей науки и промышленности, прежде всего – металлургии, машиностроения, приборостроения и информатики.

С конца 90-ых годов прошлого столетия ситуация в инженерных изысканиях стала ещё более ухудшаться в связи с целенаправленным отказом от управления изыскательской деятельностью со стороны государства, основанным на ложных представлениях о всеобъемлющей регулятивной роли рынка, об эффективности самоорганизации и ответственности бизнес-сообщества и принципов конкуренции как само собой разумеющихся мотивов поддержания качества результатов инженерных изысканий.

#### **Нарастающему ухудшению ситуации способствуют следующие моменты:**

- Приращение роли инженерных изысканий в экономической деятельности государства и отнесение их к виду услуг. Соответственно в списке ОКВЭД инженерные изыскания отнесены к разделу К – «операции с недвижимым имуществом, аренда и предоставление услуг» (код инженерных изысканий для строительства – 74.20.35).
- Отсутствие эффективного органа государственного управления и координации, учитывающего в полной мере специфику изыскательской деятельности.
- Отпуск на самотёк процесса саморегулирования в инженерных изысканиях и неспособность самого изыскательского сообщества реализовать в своей повседневной деятельности принцип саморегулирования.
- Отсутствие стратегии в деле создания и использования единого государственного фонда изыскательской информации.
- Отсутствие понимания того факта, что высокое качество изысканий может быть обеспечено только высококвалифицированным инженерным корпусом по соответствующим направлениям базовой подготовки в области наук о Земле.
- Продолжающийся распад и деградация общественного лица изыскателей.

#### **Как следствие:**

- имеем уход большей части изыскательских организаций в сферу «серой экономики»: по данным РАСК только 38% изыскательских организаций из 8500 предоставляют открытую информацию о своей деятельности;
- теневой рынок торговли разрешениями на все виды изыскательской деятельности, в том числе для объектов повышенной сложности и опасности;
- демпинг при предоставлении изыскательских услуг и многочисленные нарушения правил проведения тендеров и закупок изыскательских услуг;
- омертвление оборотных средств изыскательских организаций в виде так называемых компенсационных фондов (в целом по строительному комплексу 140 млрд. рублей к 2015 году, по изыскателям около 60 млрд. рублей);
- теневой рынок использования средств компенсационных фондов;
- практикуется открытая торговля геологической информацией в интересах нескольких бенефициаров, имеющих доступ к накопленным данным;
- практикуется изготовление технических отчётов только на основе архивных данных без производства соответствующих полевых работ и исследований для актуальных проектов;
- размывается или полностью исчезает база для актуализации нормативных и методических документов в сфере изысканий;
- отсутствует возможность выстроить разумную политику ценообразования на основе ресурсного подхода;
- отсутствуют профессиональные стандарты, позволяющие определять уровень компетенций изыскателей, с одной стороны, и базовые направления высшего и среднего образования, с другой;
- функционирует неэффективная бюрократизированная государственная и негосударственная экспертиза, часто составленная из людей, неспособных правильно оценить полученные результаты изысканий и тормозящих реализацию разработанных проектов малозначимыми замечаниями;
- до сих пор отсутствует единая база специалистов, работающих в области изысканий, содержащая все необходимые сведения о профессиональном росте специалиста;
- отсутствует индивидуальная сертификация специалистов, фиксирующая его персональные достижения;
- общественные формы организации специалистов искажаются непродуманной государственной политикой, как в случае объединения проектировщиков и изыскателей;
- присутствуют лишь редкие островки, в основном отраслевой, организации высококачественного дополнительного профессионального образования (например, в системе Росатома);
- возникшие многочисленные общественные объединения изыскателей (союзы, палаты, ассоциации), постоянные скандалы в руководящих органах общественных объединений лишают возможности разработать и последовательно осуществлять единую политику в области общественной деятельности изыскателей и защиту их интересов на всех уровнях.

Тарелкин Е.П.<sup>1</sup>, Захаров М.С.<sup>2</sup>, Потеев М.И.<sup>3</sup>

НП СРО «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада», Санкт-Петербург,

<sup>1</sup>ept24855@yandex.ru, <sup>2</sup>zhmike@mail.ru, <sup>3</sup>mipoteev@gmail.com

## ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ ИЗЫСКАТЕЛЕЙ: ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ

В ближайшее время разработка профессионального стандарта изыскателей должна вступить в практическую фазу. Технически сама работа в силу принятого регламента по структуре документа и его оформлению не представляет особых сложностей. Стандарт должен включать в себя паспорт документа, карточки видов трудовой деятельности, описание единиц трудового стандарта, виды сертификатов, выдаваемых на основе стандарта, процедуры экспертизы и регистрации. Разработка должна опираться на существующие нормативные и методические документы и быть согласованной с направлениями высшего профессионального образования. Естественно эта работа должна быть выполнена по всем видам изысканий, востребованным в настоящее время – геодезическим, геологическим, экологическим, гидрометеорологическим и геотехническим.

Однако перед началом такой работы необходимо решить ряд весьма сложных проблем общего характера.

*Проблема первая. Позиционирование изыскательской деятельности и согласование с общероссийским классификатором видов экономической деятельности.*

В настоящий момент инженерные изыскания относятся к разделу К Общероссийского классификатора видов экономической деятельности (ОК 029-2001) «Операции с недвижимым имуществом и предоставление услуг» (код 74.20.35), что приравнивает изыскания к набору юридических операций с любыми объектами недвижимости и предоставлением услуг самого различного вида (!)<sup>1</sup>. С таким же успехом можно было, например, юридическую деятельность отнести к разделу D (подраздел DE), где сосредоточена издательская и полиграфическая деятельность, только на том основании, что речь идёт об изготовлении и размножении различного рода документов. Такой выверт логики мог родиться только в засушенных мозгах юристов, представляющих нашу планету как объект всеобщей недвижимости. Но такое положение, конечно, совершенно не соответствует ни сути изысканий, ни роли, которую должны играть изыскания в народном хозяйстве.

*Следует учитывать, что изыскательская деятельность связана со специфическим не возобновляемым природным ресурсом – свободным геопространством, которое имеет свою ценность, подобно всем видам полезных ископаемых: металлам, газу, нефти, подземным водам. Энергетика деяний рук человеческих во второй половине XX в. стала сопоставима с природными катаклизмами. Геодезические, геологические, экологические, гидрометеорологические данные стали востребованными не только при проектировании и строительстве, но и в ходе эксплуатации, реконструкции, капитального ремонта и утилизации объектов и сооружений. Расширился и круг потребителей информации – от проектировщиков до эксплуатационников зданий и сооружений, до любых специалистов, связанных с проблемами природопользования. Геопространственная информация стала необходимым элементом управления природно-техногенными системами, а отрасль инженерных изысканий – уникальной общественной и технологической системой, обеспечивающей жизнь и здоровье планеты.*

Исходя из этих соображений, в кодах экономической деятельности инженерные изыскания должны занять особое место, соответствующее вызовам времени и уровню решаемых задач.

*Проблема вторая. Разработка отраслевой рамки классификаций (ОКР), согласованной с национальной рамкой классификаций (НКР) и с Общероссийским классификатором занятий (ОКЗ) ОК 010-2014<sup>2</sup>.*

Наиболее сложным вопросом в этой проблеме является разработка отраслевой рамки классификаций. Дело в том, что в инженерных изысканиях пересекаются различные виды занятий от неквалифицированных рабочих до руководителей высшего звена для различных учреждений и предприятий изыскательского профиля, при этом производственный персонал расслаивается по трём направлениям:

- рабочие и специалисты, занятые только на полевых работах, которые могут носить как сезонный характер, так и круглогодичный;
- специалисты, занятые только на камеральных работах по обработке информации;
- специалисты, занятые в полном цикле получения, накопления, обработки и передачи результирующей информации потребителям.

Соответственно такому распределению занятий необходимо разрабатывать и профессиональные стандарты с учётом требований, заложенных в 9 уровней ответственности и полномочий по Национальной Рамке Квалификаций (НРК). На выходе необходимы профессиональные стандарты не только по видам изысканий (см. выше), но и по группам, подгруппам и малым группам, заявленным в ОКЗ, в частности, профессиональные стандарты должны регулировать деятельность специалистов таких подгрупп, малых групп и подгрупп по ОКЗ, в том числе для всех категорий квалифицированных рабочих и неквалифицированного персонала.

Таким образом, можно констатировать, что при разработке профессиональных стандартов изыскателей ОКЗ позволяет привязать все виды изыскательской деятельности к общепризнанным видам занятий, и в целом никаких противоречий здесь не предвидится, хотя на прямую в ОКЗ инженерные изыскания нигде не упоминаются.

<sup>1</sup> В соответствии с Приказом Росстандарта от 30 сентября 2014 года № 1261-ст с 1 января 2016 года будет осуществлён переход на Общероссийский классификатор экономической деятельности (ОКВЭД2) ОК 029-2014. Однако, нет никаких надежд, что положение инженерных изысканий в этом документе изменится, поскольку эта проблема ещё не обсуждалась.

<sup>2</sup> Общероссийский классификатор занятий ОК 010-2014 введён Приказом Ростандарта № 2020-ст от 12.12.2014.

При разработке профессиональных стандартов изыскателей важно учесть, что Национальная Рамка Квалификаций, включающая 9 квалификационных уровней и основанная на дифференциации ответственности, сложности и наукоёмкости деятельности, позволяет при разработке ОРК вводить дополнительные показатели и подуровни. Именно таким образом в ОРК можно учесть специфику камеральных и полевых работ при производстве инженерных изысканий. Отметим, что НРК, созданная на основе Соглашения о взаимодействии Министерства образования и науки и Российского союза промышленников и предпринимателей (Соглашение подписано 25 июня 2007 года), допускает вносить в НРК изменения, отражающие опыт её применения. Это замечание следует задействовать при рассмотрении вопроса идентификации и признания профессиональных стандартов изыскателей.

*Проблема третья. Согласование ОРК и направлений профессиональной подготовки.*

Квалификация всегда является результатом освоения определённой образовательной программы и/или приобретения практического опыта. В настоящее время образовательных программ, привязанных непосредственно к инженерным изысканиям, не существует, за исключением специализации, допускаемой в группе специальностей по прикладной геологии (25.05.02), «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания». Между тем в инженерных изысканиях могут принимать участие в той или иной форме специалисты 95 направлений высшего профессионального образования (бакалавриат, магистратура, специалитет), расширенные контингентом лиц, защитивших кандидатские и докторские диссертации по 32 направлениям науки и техники (см. материалы, подготовленные в «Союзе изыскателей»). Фактически у всех этих специалистов представления о специфике инженерных изысканий формируются только на базе личного опыта, или они могут быть унифицированы системой дополнительного образования и переквалификации. Таковой системы на федеральном уровне пока не существует. Отдельные программы и сами учебные заведения по повышению квалификации и переподготовке изыскателей в основной своей массе не сертифицированы и носят случайный характер. Зачастую именно в них процветают коррупционные явления и откровенная торговля различного рода сертификатами. Разработка ОРК и профессиональных стандартов призваны в кратчайшие сроки навести порядок в данном направлении, при этом сделать это без привлечения государственных средств.

Для высших и средних учебных заведений необходимо предусмотреть на старших курсах введение специализации по инженерным изысканиям, подобно тому как это сейчас практикуется для группы специальностей (21.05.02) «Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия» (например, «Поиски и разведка подземных вод и инженерно-геологические изыскания»), при этом в дальнейшем необходимо разделить указанную специализацию отдельно на гидрогеологическое и инженерно-геологическое направления. Для работающих специалистов в области инженерных изысканий необходимо создать на базе многопрофильных центров возможность непрерывного дополнительного образования таким образом, чтобы за пятилетний срок, отведённый законодательством на переаттестацию специалиста, была возможность существенно повысить квалификацию за счёт освоения специальных сертифицированных программ, охватывающих основные виды изыскательской деятельности (см. «Опыт организации и производства непрерывного дополнительного образования в рамках Семинара НП СРО «Изыскатели СПб и Северо-Запада»).

**Потеев М.И.<sup>1</sup>, Захаров М.С.<sup>2</sup>, Тарелкин Е.П.<sup>3</sup>, Янкевич К.А.<sup>4</sup>**

НП СРО «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада», АНО «Агентство оценки и развития профессионального образования», Санкт-Петербург, <sup>1</sup>mipoteev@gmail.com, <sup>2</sup>zhmike@mail.ru, <sup>3</sup>ept24855@yandex.ru

ЧОУВО «Восточно-Европейский Институт психоанализа», АНО «Агентство оценки и развития профессионального образования», Санкт-Петербург, <sup>4</sup>cot\_spb@mail.ru

## ОЦЕНКА И РАЗВИТИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ В СФЕРЕ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

С целью определения путей развития профессионального образования в сфере инженерных изысканий группой сотрудников СРО НП «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада» в течение последних трех лет выполняется научно-исследовательская работа «Система дополнительного профессионального образования и оценки профессиональных квалификаций (на примере отрасли инженерных изысканий)».

**Основные теоретические результаты НИР**, полученные за прошедшие три года и связанные с исследованием организационных, методических и технологических основ построения системы дополнительного профессионального образования и оценки профессиональных квалификаций в условиях саморегулирования, опубликованы в 32 научных статьях (в частности, в журналах «Инженерные изыскания», «Образование, Экономика, Общество»), докладывались на Международной конференции «Образование, экономика, культура», Всероссийской конференции «Телематика», заседании Совета Национального объединения изыскателей.

**Основные практические результаты НИР** связаны с созданием системы дополнительного профессионального образования и оценки профессиональных квалификаций в условиях саморегулирования.

В результате выполнения НИР создано «**Агентство оценки и развития профессионального образования**». Оно зарегистрировано, открыт счет, сформировано руководство, образован Совет, утверждено 11 экспертных комиссий по группам направлений подготовки бакалавров, специалистов, магистров, утверждены положения о профессионально-общественной аккредитации образовательных программ, общественной аккредитации образовательных учреждений, спроектирован и введен в эксплуатацию сайт Агентства. Его адрес: [www.aorgo.ru](http://www.aorgo.ru)

Организован и действует второй год *городской семинар «Инженерные изыскания для строительства»*. Занятия семинара проводятся один раз в три месяца. Каждое из них продолжается четыре часа. Таким образом, каждый слушатель, посещающий все занятия, осваивает за год программу повышения квалификации объемом 16 часов.

На семинаре читаются лекции и даются ответы на вопросы слушателей. Занятия проводят ведущие специалисты в области геодезии, геологии, экологии, экспертизы, высшего профессионального образования, права, экономики и пр. Слушателям семинара, выполнившим образовательную программу в объеме не менее 16 часов, вручаются удостоверения о повышении квалификации. Так, в 2014 году их получили 119 человек.

Семинар представлен на сайте СРО НП «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада» по адресу: <http://izisk.org/> Остановимся на деятельности Агентства и работе Семинара более подробно.

Сотрудниками Агентства разработаны, отлажены и используются на практике *технологии*:

- профессионально-общественной аккредитации образовательных программ,
- общественной аккредитации образовательных учреждений,
- анкетирования выпускников образовательных учреждений в процессе профессионально-общественной аккредитации образовательных программ,
- статистической обработки результатов анкетирования;
- разработки профессиональных стандартов.

Успешно проведен *эксперимент* по профессионально-общественной аккредитации. Его предметом послужила основная образовательная программа высшего профессионального образования по направлению подготовки 120700 Землеустройство и кадастры (профиль «Кадастр недвижимости», уровень образования – бакалавр), реализуемая в *Национальном открытом институте, г. Санкт-Петербург*.

Полномочия на проведение профессионально-общественной аккредитации образовательных программ высшего профессионального образования по направлению подготовки 120700 Землеустройство и кадастры предоставлены Агентству ООО «Первое кадастровое бюро».

Проект профессионального стандарта «Специалист в сфере кадастрового учета» представлен Минтруду России на утверждение.

Основанием для проведения профессионально-общественной аккредитации, указанной выше образовательной программы, является обращение в Агентство Национального открытого института, г. Санкт-Петербург.

По сведениям, представленным в Агентство Национальным открытым институтом, число выпускников по указанному направлению за последние три года составило 16 человек. Из них в анкетировании, с самооценкой на соответствие требованиям Проекта профессионального стандарта «Специалист в сфере кадастрового учета», приняло участие 5 человек.

При статистической обработке результатов анкетирования было установлено, что среднеарифметическая относительная величина готовности рассматриваемой группы выпускников к выполнению указанных в проекте профессионального стандарта трудовых функций составила 0,88.

По результатам анкетирования выпускников и их компьютерной обработки, экспертизы качества и уровня подготовки выпускников, освоивших указанную образовательную программу с целью подготовки к деятельности в сфере *кадастра недвижимости*, экспертная комиссия установила, что реализуемая в указанном вузе основная образовательная программа соответствует требованиям *проекта профессионального стандарта «Специалист в сфере кадастрового учета», представленного Минтруду России на утверждение*.

Предполагается, что созданное Агентство будет решать следующие основные задачи:

Обеспечение связи работодателей и образовательных учреждений с целью совершенствования образовательных программ, процесса обучения, практики и аттестации выпускников. Совместная выработка критериев оценки образовательных программ, разработка и совершенствование профессиональных стандартов;

Организация межвузовского, межрегионального взаимодействия по вопросам развития профессионального образования;

Построение системы рейтингования образовательных учреждений на основе мониторинга оценки качества образования и социологических исследований по оценке карьерного и профессионального роста выпускников;

Содействие работодателям, выпускникам и студентам в вопросах взаимодействия работодателей, выпускников и студентов образовательных учреждений;

Информирование общественности, работодателей и потребителей о состоянии системы профессионального образования, образовательных учреждений и образовательных программах на основе сбора, анализа экспертных знаний и разработки аналитических материалов и рекомендаций по совершенствованию профессионального образования.

Как было отмечено выше, занятия городского семинара «Инженерные изыскания для строительства» проводятся один раз в три месяца. На занятиях семинара для слушателей были прочитаны, например, лекции:

- Современное состояние и перспективы развития инженерных изысканий в Российской Федерации;
- Проблемы научно-методической базы инженерных изысканий;
- Федеральное и региональное законодательство в области инженерных изысканий;
- Экспертиза материалов по инженерным изысканиям;
- Современное состояние и перспективы развития спутниковых технологий в инженерных изысканиях и кадастровой деятельности;
- Опыт использования спутниковых приёмников для геодезических определений;
- Применение малых летательных аппаратов для крупномасштабных топографических съёмки;

- Современные буровые установки;
- Современные геофизические технологии в инженерных изысканиях;
- Проблемы комплексирования в инженерных изысканиях в особо сложных условиях;
- Проблемы экологии в инженерных изысканиях.

На занятиях семинара регулярно проводятся выставки современных средств инженерно-геотехнических изысканий, а также презентации новейшей литературы по инженерным изысканиям и связанным с ними вопросам. Также регулярно организуется обмен опытом работы (в виде выступлений слушателей семинара).

Спроектирована и введена в эксплуатацию **информационно-образовательная среда семинара**. Она создана на базе сайта СРО НП «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада» (<http://izisk.org/>). При этом в дополнение к имеющимся разделам сайта введены разделы:

- Система аттестации;
- Деятельность (образовательная), в т.ч.:
- Система дополнительного профессионального образования, в т.ч.
- Семинар «Инженерные изыскания для строительства».

Все эти разделы связаны с образованием, повышением квалификации, переподготовкой и аттестацией специалистов на допуск к работам по инженерным изысканиям, оказывающим влияние на безопасность особо опасных и технически сложных объектов капитального строительства.

В частности, в разделе «Высшее профессиональное образование» представлена информация о программах высшего профессионального образования в области геодезии и дистанционного зондирования, которые при активном участии Партнерства реализует Факультет геодезии и кадастров Национального открытого института, г. Санкт-Петербург. При использовании соответствующих гиперссылок пользователь получает подробную информацию о реализуемых факультетом основных образовательных программах.

Раздел «Дополнительное образование» имеет подразделы: «Повышение квалификации» и «Переподготовка». В них представлена информация об образовательных программах дополнительного профессионального образования в области геодезии и дистанционного зондирования.

В разделе «Образовательные ресурсы сайта» находятся электронные учебники; справочно-информационные источники (словари, энциклопедии, справочники); электронные библиотеки; электронные периодические издания. К числу дополнительных образовательных ресурсов относятся руководящие документы и справочная литература; ресурсы Интернета; виртуальные экспозиции ряда музеев Санкт-Петербурга и Москвы.

В разделе «Семинар «Инженерные изыскания для строительства»» публикуются программы предстоящих занятий, а также основные материалы семинара, среди которых: программа каждого занятия и презентация к нему, аудиовидеозаписи прочитанных лекций и презентации к ним. По каждому занятию публикуются списки организаций, порядок указания которых зависит от числа представлявших их слушателей, то есть, чем больше сотрудников какой-либо организации присутствовало на семинаре, тем выше она располагается. Эти списки, таким образом, отражают определенный рейтинг.

С целью повышения заинтересованности в непрерывном дополнительном образовании специалистов СРО, действующих в сфере инженерных изысканий, на сайте партнерства размещается **рейтинг** входящих в него организаций по образовательной активности сотрудников (по повышению квалификации путем участия в занятиях указанного семинара). Как показал опыт, публикация такого рейтинга заметно содействует рекламе деятельности наиболее активных в этом отношении организаций.

Для организации образовательного процесса и управления создана **база данных (БД)** о профессиональных квалификациях сотрудников организаций, входящих в СРО НП «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада». Перечень полей основной информации, хранимой в БД, включает 30 позиций.

На первом этапе практического использования спроектированной базы в нее введена информация по 135 организациям из 140 – входящих в СРО НП «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада». При этом общее число учтенных сотрудников составило 852 человек.

При обработке введенной информации средствами БД установлено, что из учтенных 852 сотрудников:

- имеют высшее профессиональное образование 739;
- имеют среднее профессиональное образование 113;
- имеют ученые степени 18;
- выполняют:
- инженерно-геодезические изыскания 740;
- инженерно-геологические изыскания 395;
- инженерно-гидрометеорологические изыскания 121;
- инженерно-экологические изыскания 258;
- инженерно-геотехнические изыскания 145;
- обследование состояния грунтов основания зданий и сооружений 230.

Из 852 сотрудников, о которых информация уже введена в базу данных, 403 сотрудника (то есть половина) за последние пять лет повышения квалификации не проходили и, следовательно, являются первыми кандидатами для зачисления в слушатели семинара.

Очень важным выводом из результатов обработки информации, введенной в БД, является заключение о том, что при формировании программы занятий семинара «Инженерные изыскания для строительства» больше внимания должно быть уделено

инженерно-геодезическим изысканиям и в меньшей степени – инженерно-гидрометеорологическим и инженерно-геотехническим изысканиям.

С помощью БД определено наличие в Партнерстве высококлассных специалистов по конкретным направлениям деятельности. Из них 15 имеют ученые степени. Они могут быть использованы в образовательном процессе и при проведении научных исследований.

Существенно, что ведение базы данных в значительной мере препятствует коммерциализации СРО, которые, по определению, являются некоммерческими организациями.

Предполагается, что разработанная система оценки и развития профессионального образования, после ее отладки, будет рекомендована другим саморегулируемым организациям для внедрения в практику. В результате внедрения разработанной системы в практику деятельности изыскательских организаций в условиях саморегулирования повысится качество работ по инженерным изысканиям для строительства, возрастет безопасность объектов строительства.

**Шорохова О.А.**

ГАУ Ярославской области «Яргосстройэкспертиза», Ярославль, expert.yar@yandex.ru

## **ЭКСПЕРТИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ И АНАЛИЗ НЕБЕЗОПАСНЫХ ОШИБОК, ИМЕЮЩИХ МЕСТО В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА**

Инженерные изыскания – это работы, проводимые для комплексного изучения природных условий района, площадки, участка или трассы проектируемого строительства. Инженерные изыскания являются важнейшим этапом любых строительных работ. Предметом экспертизы инженерных изысканий является оценка их соответствия требованиям технических регламентов и заданию на проведение инженерных изысканий.

Важность экспертной оценки результатов инженерных изысканий трудно переоценить, учитывая, что от компетентности и квалификации выполнявших изыскания специалистов зависит устойчивость, безопасность, стабильность и эксплуатационные характеристики объектов капитального строительства. Именно инженерные изыскания, выполненные на участке, подлежащем застройке, позволяют определить оптимальную глубину залегания и параметры фундамента, а также необходимые свойства и характеристики грунтов для безопасной прокладки сетей инженерно-технического обеспечения.

Частыми ошибками, при рассмотрении технических отчетов, являются:

Техническое задание не содержит полного объема информации, предусмотренного п. 4.12 (обязательного применения) СП 47.13330.2012:

- идентификационные сведения об объекте (функциональное назначение, уровень ответственности зданий и сооружений) не указываются в 60% случаев, в частности, когда речь идет о строительстве подземных коммуникаций;
- в случае, когда проводят реконструкцию зданий, отсутствует информация о типе реконструкции (малая, средняя, крупная) – это обуславливает разный подход к исследованию грунтов существующих оснований. В п. 5.1.6. [7] при инженерно-геологических изысканиях для реконструкции (средней и, особенно, полной) зданий и сооружений, в зоне влияния которых отсутствует другая застройка, необходимо дополнительно (к п. 4.2 СП 11-105-97, часть I) обследовать грунты основания фундаментов реконструируемого здания;
- сведения об этапности работ, сроках проектирования, строительства и эксплуатации объекта;
- сведения и данные о проектируемых объектах, габариты зданий и сооружений;
- требования к точности, надежности, достоверности и обеспеченности данных и характеристик, получаемых при инженерных изысканиях;

К заданию не прилагают копии имеющихся инженерно-топографических планов, ситуационных планов (схем) с указанием границ площадок, участков и направлений трасс, с контурами проектируемых зданий и сооружений.

Возникает вопрос, что обязательность требования к составу и полноте сведений в техническом задании присутствует в СП 47.13330.2012, а ответственность и утверждение его застройщиком или техническим заказчиком – прописывается в пункте добровольного применения, таким образом, ответственности никакой нет?

Не соблюдаются требования глубины горных выработок в соответствии с п. 6.3.7 и 6.3.8 (обязательного применения) в целом, и отдельно не рассматривают подпункты 5 и 6 п. 6.3.8, в части определения глубины скважин на участках распространения специфических грунтов и развития опасных геологических процессов.

Нормативные расстояния между горными выработками не соответствуют п. 6.3.6, либо скважины располагаются далеко за границами контуров проектируемых зданий и сооружений.

Не выполняются полевые испытания грунтов методом статического зондирования, что предусмотрено п. 6.5.16, для зданий II и III уровней ответственности, а также не обращают внимания на условие п. 6.3.6, позволяющего сокращать объем горных выработок и заменять их точками статического зондирования, при этом, в итоге значительно сокращаются сроки и стоимость работ при использовании данного вида исследований.

Гидрогеологические исследования не проводятся в соответствии с п. 6.3.18, в котором сказано, что при данных исследованиях «следует учитывать требования СП 22.13330.2012».

Отсутствует информация о естественных сезонных и многолетних колебаниях уровней подземных вод; техногенных изменениях уровней подземных вод и возможности образования «верховодки»;

Пример: Полное подтопление строительной площадки от находящегося рядом ручья – информация в техническом отчете по инженерно-геологическим изысканиям техногенных изменениях уровней подземных вод отсутствовала (фото 1, 2).



**Фото 1**



**Фото 2**

Прогноз изменения гидрогеологических условий должен выполняться для сооружений I и II уровней ответственности с учетом изменений факторов, оказывающих влияние на формирование многолетнего режима подземных вод, методами математического моделирования, аналитическими и др. Для выполнения указанных исследований необходимо привлекать специализированные организации.

В соответствии с п. 8.1.4. [8] инженерно-геологические изыскания в районах развития подтопления в дополнение к 4.2 и 5.9 СП 11-105 (часть I) должны обеспечивать: 1) изучение и оценку гидрогеологических условий территории (региона, района, площадки, участка, трассы) объектов строительства; 2) выявление источников подтопления и загрязнения подземных и поверхностных вод.

В редких случаях степень агрессивности подземных вод по отношению к материалам подземных конструкций и коррозионную агрессивность грунтов по результатам инженерно-геологических изысканий с учетом технологических особенностей производства не учитывается.

Для оценки степени воздействия сооружения на режим подземных вод застраиваемой и прилегающей к ней территорий необходимо выполнить прогноз изменения гидрогеологических условий для стадии строительства и эксплуатации.

Пример: При нарушении технологии производства работ при строительстве склада продовольственных товаров под воздействием подземных вод через три года эксплуатации здания склада привело к образованию дефектов и трещин железобетонных плит пола и сверхдопустимой просадке конструкции плиты пола от проектного положения (фото 3,4).

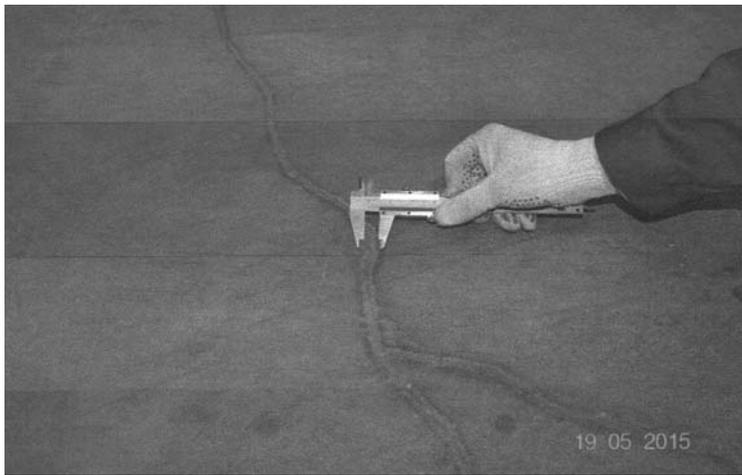
Размер здания 350\*120 м, высота 13 м.

**Фото 3. Обследование грунтового основания плиты пола в шурфе. Уровень грунтовых вод зафиксирован на глубине 1 м от уровня чистого пола**

Данные из технического отчета по расследованию причин разрушения: «основным фактором, способствующим к образованию деформаций грунтового основания явилось отсутствие в составе проекта строительства мероприятий по инженерной защите территории от подтопления на период строительства объекта, а также на период его эксплуатации. В проекте строительства не в полной мере учтены гидрогеологические условия участка застройки, негативно сказывающиеся на прочностных свойствах грунтов и несущей способности оснований, которые могут вызвать осадку конструкций» [13].



Мероприятия инженерной защиты, в данном случае водоотведение, в период строительства не проводились (фото 5).



**Фото 4**

Согласно п 5.9. Гидрогеологические исследования при инженерно-геологических изысканиях необходимо выполнять в тех случаях, когда в сфере взаимодействия проектируемого объекта с геологической средой распространены или могут формироваться подземные воды, возможно загрязнение или истощение водоносных горизонтов при эксплуатации объекта, прогнозируется процесс подтопления или подземные воды оказывают существенное влияние на изменение свойств грунтов, а также на интенсивность развития геологических и инженерно-геологических процессов.

6. В программе производства инженерно-геологических испытаний, и после проведения исследований на

участке строительства в разделе Заключение не учитываются требования п. п.8.1.11 СП 11-105-97 ч.II – для застроенных, застраиваемых и намечаемых к застройке территорий в районах развития подтопления, независимо от сложности геоморфологических, геологических, гидрогеологических, гидродинамических условий и интенсивности техногенных воздействий, принимается III (сложная) категория сложности инженерно-геологических и гидрогеологических условий (приложение Б СП 11-105, часть I), так как подтопление может оказывать решающее влияние на выбор проектных решений.



**Фото 5**

На постоянно подтопляемых территориях для принятия особых проектных решений не проводятся опытно-фильтрационные работы, а коэффициенты фильтрации принимаются по справочной литературе.

В разделе Заключение технического отчета не указываются мероприятия и рекомендации для обеспечения инженерной защиты зданий и сооружений.

#### **Выводы**

Приказом от 2 июля 2007 г. N 188, зарегистрированным в Минюсте РФ 16 июля 2007 г. N 9853 в п. 13 утверждено, что, заключение государственной экспертизы должно быть конкретным, объективным, аргументированным и доказательным.

Таким образом, хотелось бы пожелать, чтобы представляемая информация для проведения оценки на соответствие технических требований была достоверной, обоснованной и достаточной для принятия проектных решений.

Государственное автономное учреждение Ярославской области «Яросгостройэкспертиза» проводит государственную и негосударственную экспертизу проектной документации и (или) результатов инженерных изысканий. Со всеми нашими клиентами мы, прежде всего, партнеры и участники единого процесса по обеспечению безопасности зданий и сооружений на всех этапах их жизненного цикла.

Мы постоянно повышаем качество обслуживания, привлекая лучших аттестованных специалистов, в штате учреждения задействованы 21 эксперт, по направлениям инженерных изысканий – 5 специалистов. Стабильно расширяем спектр наших услуг, например, с апреля 2014 года учреждение включено в список экспертных организаций, которые могут привлекаться к проведению публичного технологического и ценового аудита инвестиционных проектов.

При необходимости может быть проведена оценка соответствия проектной документации и(или) результатов инженерных изысканий требованиям технических регламентов отдельных разделов проектной документации, частей таких разделов, отдельных проектных решений.

Один из важных показателей нашей работы – отсутствие судебных решений о признании заключений экспертизы недействительными.

#### **Список литературы**

1. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
2. Постановление Правительства РФ от 26 декабря 2014 г. N 1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»».
3. Свод правил СП 47.13330.2012 «СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.

4. Приказ Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству от 2 июля 2007 г. N 188 «О требованиях к составу, содержанию и порядку оформления заключения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий».

5. Положение об организации и проведении государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий (утв. постановлением Правительства РФ от 5 марта 2007 г. N 145).

6. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ».

7. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть V. Правила производства работ в районах с особыми природно-техногенными условиями».

8. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть II. Правила производства работ в районах развития опасных геологических и инженерно-геологических процессов».

9. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».

10. Технический регламент о безопасности сетей газораспределения и газопотребления (утв. постановлением Правительства РФ от 29 октября 2010 г. N 870).

11. Положение об организации и проведении государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий (утв. постановлением Правительства РФ от 5 марта 2007 г. N 145).

12. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ».

13. Технический отчет по результатам обследования технического состояния конструкции плиты пола и грунтов в ее основании здания склада.

**Иванов И.П., Николаева Т.Н., Норова Л.П.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, [larisanorova@rambler.ru](mailto:larisanorova@rambler.ru)

## **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

Разработка принципов региональных инженерно-геологических исследований в градостроительстве тесно связано с именем профессора В.Д. Ломтадзе. Под региональным инженерно-геологическим изучением он понимал комплексное геологическое исследование какой-либо территории, направленное на решение задач, связанных с проектированием и строительством различных сооружений и его многоцелевым хозяйственным использованием. Такие исследования представляют собой дальнейшее геологическое изучение территорий в определенном аспекте. При этом к основным методам регионального инженерно-геологического изучения территории можно отнести составление инженерно-геологических карт.

В своих научных публикациях В.Д. Ломтадзе сформулировал основные принципы процесса инженерно-геологических исследований (инженерных изысканий), которые актуальны и в настоящее время [1]. Согласно этим принципам, инженерные изыскания должны обеспечить выбор самых оптимальных, технически целесообразных и экономически наиболее выгодных инженерных решений для рационального использования территорий, геологической среды, ее охраны, а также мест расположения сооружений с целью обеспечения нормальных условий их эксплуатации, исключая различные негативные геологические процессы и явления в процессе строительства, могущие помешать осуществлению проекта, изменить сроки и стоимость строительства. При этом изучение геологических условий строительства сооружений предполагает исследование сложной бинарной системы «геологическая среда–сооружения и производство инженерных работ».

При городском планировании особое значение имеет учет особенностей геологического и гидрогеологического строения территории. Оптимальное с геологической точки зрения решение, принятое на предпроектном этапе, позволит не только сократить затраты на реализацию проекта, но и снизить экологический риск, обусловленный чрезмерной нагрузкой на геологическую среду, особенно на территориях со сложными инженерно-геологическими условиями. Принятию оптимальных решений помогает типизация инженерно-геологических условий и районирование территорий по совокупности факторов.

Опираясь на вышеописанные положения, коллектив авторов, составленный из сотрудников Ленинградского горного института (ныне Национального минерально-сырьевого университета «Горный»), возглавляемых В.Д. Ломтадзе, а также работников изыскательских организаций, выполнил работу по геологическому обоснованию принятого в 1967 г. Генерального плана строительства Ленинграда в новых расширенных границах [3]. В ней было предложено инженерно-геологическое районирование для наземного и подземного строительства, а также для целей реконструкции с обоснованием принципов районирования. Для наземного строительства районирование предполагалось направить на выявление условий в пределах верхней части геологического разреза, попадающего в зону влияния собственно строительных работ, самих сооружений, работ по инженерной подготовке территорий, застройки и прокладки инженерных коммуникаций. Кроме того, районирование отнесли к типологическому, так как должны картироваться предварительно выделенные в типизации комплексы условий наземного строительства (типы геологической среды). Инженерно-геологическое районирование для подземного строительства Ленинграда было проведено на основе общих принципов вертикального зонирования подземного пространства.

Инженерно-геологические условия территории нашли свое отражение в комплексе карт, среди которых ведущее место занимают инженерно-геологическая карта поверхности, карты-срезы на глубинах 10, 20, 40 и 60 метров, карта грунтовых вод и

другие. Они позволили пространственно охарактеризовать ведущие факторы инженерно-геологических условий той части геологической среды, которая попала в сферу влияния крупного города, в масштабах и на глубину, обеспеченных фактическим материалом. Степень пригодности того или иного участка территории для строительства определялась при учете рельефа местности, несущей способности грунтов оснований зданий, глубины залегания уровня грунтовых вод, наличия и степени заболоченности и заторфованности, затопляемости, геологических процессов. Все эти природные факторы определяют вид и объем инженерной подготовки, а также условий строительства и устойчивости зданий в период эксплуатации. По своему характеру, содержанию и принципам построения инженерно-геологическая карта поверхности уже сама является картой общего районирования, которая демонстрирует закономерность распределения основных разновидностей горных пород с индивидуальным набором строительных свойств.

На основе комплексной оценки всей совокупности природных факторов на карте инженерно-геологического районирования выделены территориальные единицы (инженерно-геологические районы). При этом обоснованы районы с мощной толщей слабых четвертичных отложений (от 50 до 100 м), районы относительно неглубокого залегания выровненной кровли коренных вендских глин (на глубинах от 20 до 50 м), локальные поднятия, где кровля котлинских глин перекрывается маломощным четвертичным чехлом (менее 20 м). Затем были учтены различия геологического строения толщи четвертичных отложений, влияющие на условия реализации конкретных планов освоения подземного пространства города. Подробному рассмотрению подверглись толща слабых поздне- и послеледниковых отложений и характер изменения глубины залегания кровли лужской морены, которая часто рассматривалась в качестве надежного основания наземных сооружений. Также были предложены рекомендации по проведению проектно-изыскательских работ на территории города.

Широкий спектр и масштаб планируемых мероприятий определяют целенаправленность районирования и его содержание. Для перечисленных задач имеет важное значение оценка геологического строения территории до самого низкого уровня вертикального зонирования, гидрогеологических условий рассматриваемой толщи отложений, а также среды и условий функционирования сооружений различного назначения. Комплексная оценка этих ведущих факторов инженерно-геологических условий и их наглядное представление в районировании позволяет выделить участки геологической среды, которые будут обладать набором характерных геологических, гидрогеологических и инженерно-геологических параметров, определяющих комплекс инженерных решений, технологию их осуществления и безопасность существования сооружений. Переход от одного участка к другому связан также с изменением экономических показателей осуществляемых инженерных решений. В принципе, можно ставить вопрос и о количественной оценке выделяемых участков геологической среды на последующих стадиях работы.

С использованием описанного принципа по сравнительно простой схеме нами было выполнено районирование участка «Каменка», расположенного на северо-западе Приморского района, являющегося одним из самых динамично развивающихся в Санкт-Петербурге [2]. До глубины 20 м в геологическом строении рассматриваемой территории принимают участие четвертичные отложения различного генезиса. Коренные глинистые породы верхнего протерозоя (вендская система, верхнекотлинская подсистема) подстилают четвертичную толщу и вскрыты единичными скважинами на глубине 41 м.

В основу типизации изучаемой территории были положены ведущие факторы формирования инженерно-геологических условий. В соответствии с положением кровли лужской морены выделены участки с 5 типами геологических разрезов. При этом для каждого выделенного участка определена категория сложности ИГУ, оценена возможность строительства на естественном основании или на сваях разной длины. По глубине залегания грунтовых вод, величине местных напоров, строению верхней части разрезов до несущего горизонта были обоснованы условия инженерной подготовки территории к застройке и освоению. Отдельно показана такая информация, как угроза прорыва напорных вод при проходке котлованов и траншей глубиной более 2 м, «гидравлические окна» – участки связи Полостровского напорного водоносного горизонта с грунтовыми водами, агрессивность подземных вод.

Участки с развитием инженерно-геологических условий I типа в целом благоприятны для использования под застройку, возможно возведение любых зданий на фундаментах мелкого заложения.

Участки II типа отличаются от вышеописанных возрастающей мощностью озерно-ледниковых отложений. При строительном освоении существенное значение приобретают гидрогеологические условия. Выделяются площади с возможным прорывом напорных вод в котлованы и траншеи глубиной 3-5 м, на которых следует осуществлять строительное водопонижение.

Условия освоения участков III типа близки к таковым на участке II типа. Толща характеризуется сильной и неравномерной сжимаемостью, пониженной несущей способностью, неустойчивостью при вскрытии котлованами. Комплексное применение планировочных и строительных мер позволит снизить неблагоприятные последствия при их освоении.

Планировочные работы и строительство сооружений на участках IV типа выдвигают на первое место вопросы подтопления осваиваемых участков, что потребует дополнительных защитных мер. Следует ожидать значительных дополнительных осадков при возведении наземных зданий. Особые трудности возникают при проходке траншей и котлованов.

Участки V типа характеризуются наиболее неблагоприятными инженерно-геологическими условиями для строительства. Возможная неравномерность осадки требует оценки устойчивости пород основания. В связи с этим условия прокладки инженерных сетей и устройства фундаментов на естественном основании зависят от физического состояния грунтов верхней части разреза. Могут быть применены специальные конструктивные элементы, шпунтовое ограждение, гидроизоляция и антикоррозийная защита подземных конструкций, для защиты подвалов – систематический дренаж. Потребуется внимания вопросы охраны вод полостровского водоносного горизонта.

Практическая значимость предложенных принципов типизации заключается в том, что созданный комплект крупномасштабных карт с прилагающимися к ним инженерно-геологическими разрезами отражает состояние инженерно-геологических

условий территории на данном этапе, характер ее освоения, возможные изменения геологической среды и мероприятия по защите от неблагоприятных изменений, отображаемых на необходимую глубину. Принятая методика пригодна для построения карт-срезов, освещающих особенности освоения подземного пространства, при этом макеты карт составлены для поверхности и глубин 10, 20 м в масштабе 1:25 000 и 40, 60 м в масштабе 1:50 000.

#### Список литературы

1. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Специальная инженерная геология (учебник для вузов). Л.: Недра. 1978. 496 с.
2. Обоснование типов фундаментов по результатам предпроектной инженерно-геологической оценки района «Каменка» Санкт-Петербурга // И.П. Иванов, Т.Н. Николаева, Л.П. Норова, Я.А. Карпова// СПб, Вестник гражданских инженеров, 3 (24), 2010. с.83-91.
3. Шевченко С.Р. Инженерно-геологическое районирование территории Ленинграда и его окрестностей: Материалы 4-го регионального совещания по инженерной геологии. Вопросы инженерно-геологического картирования и районирования. – 1968 г., 140 с.

Травкин А.И.

ООО «ПроектИзыскания», г. Уфа, 2921922@mail.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРХИВНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДСКОГО ОКРУГА ГОРОД УФА РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН)

В монографии «Москва: геология и город» [1], посвященной «...рассмотрению геологических условий города Москвы, их роли при создании города и его современного развития» академик РАН В.И. Осипов отметил, что «Трудом двух поколений геологов получен новый уникальный материал, позволяющий проникнуть в толщу пород, хранящую тайны нескольких сот миллионов лет...».

Широкое использование материалов инженерно-геологических изысканий, накопленных начиная в основном с 1963 года, с момента начала деятельности треста инженерных изысканий для строительства зданий и сооружений на территории Башкирской АССР, обеспечило геологической основой разработку Генплана г. Уфы.

Первая карта инженерно-геологического районирования в масштабе 1:10 000 территории г. Уфы (716 км<sup>2</sup>) была составлена по архивным материалам в 1994-1999 годах.

В 2013 г., на основе актуализации упомянутой инженерно-геологической карты, была составлена цифровая модель карты инженерно-геологического районирования территории г. Уфы в масштабе 1:10 000 для разработки Генерального плана города (площадью уже 900 км<sup>2</sup>), основой для которой послужили также в основном архивные материалы инженерно-геологических изысканий. При составлении карты основными видами работ, в соответствии с п. 6.2.2. СП 47.13330.2012 [2], были: «...сбор и обработка материалов изысканий и исследований прошлых лет, дешифрирование аэро- и космических снимков, а также рекогносцировочного обследования».

В общей сложности для выполнения целевой задачи занесено в электронный банк данных и использованы для составления карт 3078 сканированных отчета за 1994-2013 гг., 22817 скважин (321 864 погонных метра). Дополнительно пройдено 27 инженерно-геологических рекогносцировочных маршрута протяженностью 141,3 км (1136 точек наблюдения), дешифрировано 80 аэро- и космоснимков.

Составлены карты: фактического материала; схематическая инженерно-геологического районирования; схематическая геоморфологическая; схематическая геолого-литологическая, совмещенная с картой четвертичных отложений и развития специфических грунтов; проявлений физико-геологических процессов (карстовых, суффозионных, склоновых, эрозионных) и затопления; актуализированная схематическая гидрогеологическая, совмещенная с картой подтопления (прогнозируемых максимальных уровней первого от поверхности водоносного горизонта); структурно-геоморфологическая карта в М 1:50000; 10 совмещенных геолого-литологических и геоморфологических разрезов и один геоморфологический профиль.

В отчете представлены выделенные по разрезу инженерно-геологические комплексы (ИГК) с характеристикой их физико-механических свойств. Распространение ИГК и их идентификация по площади и разрезу представлены через стратиграфический индекс на схематической геолого-литологической карте, геолого-литологических разрезах, сводных стратиграфических колонках.

Кондиционность построения карт соотносилась с требованиями табл. 6.1 [2]. Для средней II-ой категории сложности инженерно-геологических условий достаточно иметь на 1 кв. км 11 точек наблюдения (т.н.), включая горные выработки. Фактическая же насыщенность территории т.н. для составления карт в М 1:10 000 сверх достаточная – 176 т.н. на 1 км<sup>2</sup>. Однако, распределение т.н. в плане очень неравномерное. Лишь на 30% площади территории количество т.н. равно или больше (иногда в 10 и более раз) рекомендуемого количества, на остальных же 70% площади количество т.н. менее 11 на 1 кв. км. Из-за такой крайне неравномерной насыщенности территории фактическим материалом большинство карт являются схематическими.

Построение карт осуществлялось на топографической съемке ФГУП «Уралгеоинформ», 2011 г. Дешифрирование – аэро-космоснимков 2009-2010 гг. Карты созданы с выделением необходимых слоев.

В данной статье опускаем методику построения аналитических карт (создание их не сопряжено с особыми трудностями) и остановим внимание на карте инженерно-геологического районирования.

Рельеф. В региональном плане исследуемая территория находится в юго-восточной части Русской платформы, в пределах Прибельской холмисто-увалистой равнины. В орографическом отношении четко различаются два различных по морфологии типа рельефа:

- водораздельное плато и коренные склоны долин – Уфа-Бельское междуречье,
- речные долины рек Белой, Уфы, Демы, Сутолоки, Шугуровки.

В геологическом строении междуречья Белой и Уфы в пределах исследуемой территории до глубины 100 м участвуют осадочные породы четвертичного, неогенового и пермского возрастов.

Гидрогеологические условия территории характеризуются наличием водоносных горизонтов в четвертичных, общесыртовых и в неогеновых отложениях, водоносного комплекса в уфимских отложениях и трещинно-карстовых вод в гипсах кунгурского яруса.

Гидрологические условия характерны периодическим затоплением пойм и сниженных денудацией поверхности первых надпойменных террас (I НПТ) рек Белой, Уфы, Дёмы, Сутолоки, Шугуровки, малых рек и ручьев. Приведены границы затопления долин рек паводковыми водами 1% обеспеченности уровня.

Для г. Уфы характерно развитие таких опасных физико-геологических процессов и их проявлений как карстовые, суффозионные, склоновые (эрозионные и оползневые), затопление и подтопление.

Схематическая карта инженерно-геологического районирования (фрагмент карты представлен на рис. 1) комплексно характеризует геоморфологическое и геолого-литологическое строение, виды, подвиды и свойства ИГК грунтов, гидрогеологические и гидрологические особенности, проявления экзогенных физико-геологических процессов и оценивает степень благоприятности территории для разработки генплана города.

Инженерно-геологические условия представляют собой совокупность природных и техногенных условий, учитываемых при проектировании, строительстве и эксплуатации инженерных сооружений.

Инженерно-геологическое районирование территории г. Уфы происходило с помощью трехуровневой системы деления территории на таксоны (район-подрайон-участок) по следующим признакам:

- район – по геоморфологическому делению,
- подрайон – по геолого-генетическим комплексам,
- участок – по проявлениям на дневной поверхности опасных геологических и инженерно-геологических процессов или их отсутствию.

На территории выделено 7 районов:

- I район – склоны водораздела (водораздельное плато с уклоном поверхности до 8°);
- II район – склоны долин: средней крутизны (8-15°);
- III район – склоны долин: крутые и очень крутые (>15°);
- IV район – I, II и III надпойменные террасы (НПТ);
- V район – неразделенные I НПТ и высокая пойма;
- VI район – низкая и высокая поймы, старицы, долины ручьев;
- VII район – русла больших и малых рек, поймы малых рек и ручьев.

В программном комплексе ГИС «ИнГео» на карту районов была наложена ранее созданная геолого-литологическая карта, условные знаки геолого-генетических и геолого-литологических комплексов на которой представлены различными вариантами штриховки. В результате были выделены следующие подрайоны:

- а – tQ IV. Техногенно-насыпные образования, свалки;
- а\* – tQ IV. Техногенно-намывные образования;
- б – lQ IV, III, II. Биогенные и озерно-старичные образования;
- в – aQ IV, III, II. Аллювиальные отложения четвертичной системы (Q);
- г – da,pQ. Делювиально – аллювиальные и пролювиальные отложения (Q);
- д – dQ. Делювиальные отложения (Q);
- е – N23-Q1. Глинистые отложения общесыртовых; ;
- ж – N2. Глины неогеновой системы;
- и – P1u. Отложения нижнепермского отдела уфимского яруса;
- к – P1k. Отложения кунгурского яруса нижнепермского отдела.

Третьим звеном в трехуровневой системе таксонов являются участки, которые были выделены путем наложения в программном комплексе ГИС «ИнГео» ранее созданной карты опасных процессов (карст, овраги, оползни), на уже созданную карту районов-подрайонов. Основу изображения третьего уровня системы районирования составили условные знаки, принятые с учетом требований ГОСТ 21.302-96 и ГОСТ ISO 9001-2011 (ISO 9001:2008).

Участки выделены по видам проявлений опасных геологических и инженерно-геологических процессов и обозначаются цифрой, а именно:

- 1 – проявления карстового процесса (воронки, провалы, понижения, пещеры) и подработанные территории,
- 2 – суффозионные воронки;
- 3 – эрозионные овраги;
- 4 – карстово-эрозионные овраги;
- 5 – оползни произошедшие;
- 6 – отсутствие проявлений ОГП и ОИГП.

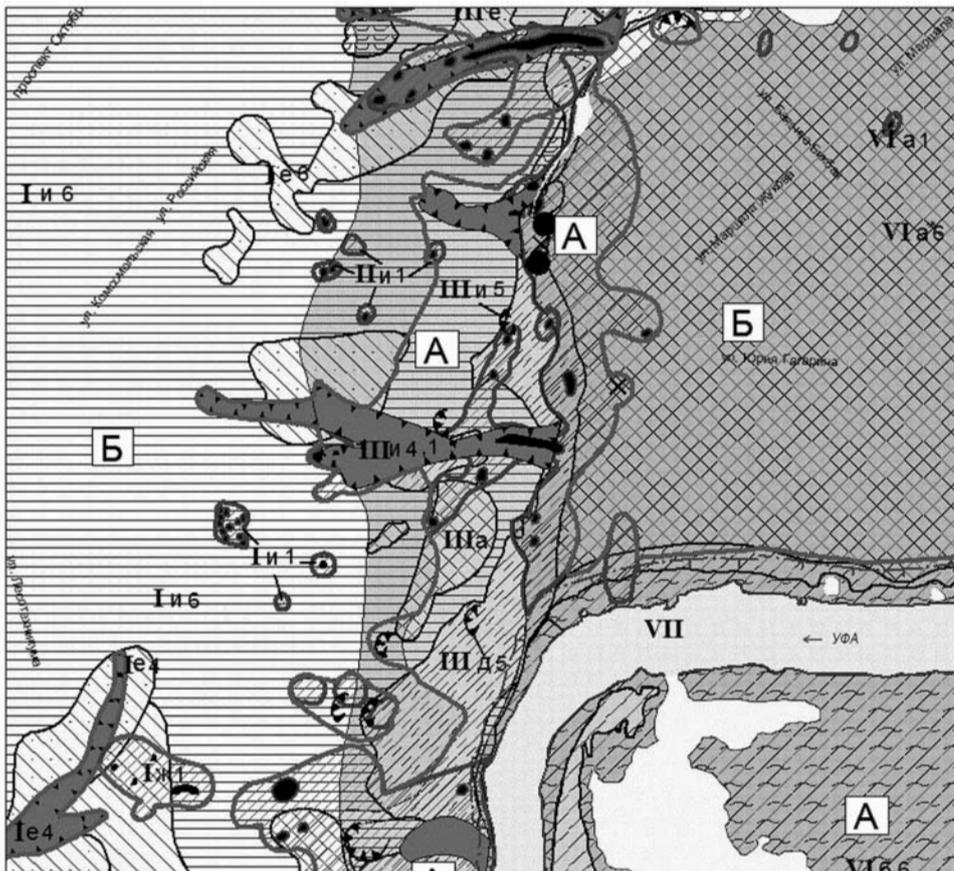


Рис. 1. Фрагмент карты Инженерно-геологического районирования территории города Уфы  
Масштаб 1:20000

Условные обозначения

Таксоны*):	район (I, II, III, IV, V, VI, VII)
	подрайон (а, а*, б, в, г, д, е, ж, и, к)
	участок (1, 2, 3, 4, 5, 6)
Пример обозначения участка:	VIa1, где { VI - пойменная терраса а - техногенные грунты 1 - проявления карстового процесса

Районирование территории по степени благоприятности для разработки генплана:

А - неблагоприятная, Б - условно благоприятная

— А / Б — граница между территориями с разной степенью благоприятности

\*Примечание: расшифровка обозначения таксонов приведена в тексте доклада.

На карте каждый выделенный участок обозначен тремя знаками, соответствующими району, подрайону, участку. Например, участок VIa1 означает: VI – пойменная терраса, а – техногенные грунты, 1 – проявления карстового процесса.

Выделение таксонов (район-подрайон-участок) и рекомендации по их строительному освоению приведены в таблице, названной «Легенда к схематической инженерно-геологической карте районирования территории города Уфы в М 1:10000», в которой «участки» отнесены по степени благоприятности для разработки генплана к территориям: «А» – неблагоприятной и «Б» – условно благоприятной.

К неблагоприятным («А») относятся: участки проявления любых ОГП или ОИГП, полностью III-й район – крутые и очень крутые склоны долин (>15°), полностью районы V, VI, VII – периодически затопляемые паводковыми водами рек по границе затопления 1% обеспеченности.

Остальная территория отнесена к условно благоприятной («Б»): участки, обозначенные цифрой «б» в пределах I, II и IV районов.

#### Список литературы

1. Москва: город и геология/Гл. ред. В.И. Осипов, О.П. Медведев. – М.: АО «Московские учебники и Картолитография», 1997. – 400с.
2. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. М.: Минрегион России, 2012.

Бенин А.В.<sup>1</sup>, Городнова Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ИЛ «Механическая лаборатория им. проф. Н.А. Белелюбского», ФГБОУ ВПО ПГУПС, Санкт-Петербург, benin.andrey@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО ПГУПС, Санкт-Петербург, elena.gorodnova@mail.ru

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В СЛОЖНЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА

В настоящее время в Ленинградской области построен и запущен в эксплуатацию завод глубокой переработки нефти, который войдет в состав нефтеперерабатывающего предприятия города Кириши. Расширение производственных мощностей неизбежно увеличивало нагрузку на существующие водозаборные и очистные сооружения, техническое состояние которых необходимо было оценить с точки зрения дальнейшей безопасной эксплуатации.

Анализируя инженерно-геологические условия площадки комплекса очистных сооружений, выполненных ГПИ «Ленгипроспецгаз» в 1961 г., было установлено следующее:

Поверхность площадки представляет собой низменную слабо волнистую равнину. Малые уклоны поверхности, обуславливающие плохой поверхностный сток, наличие бессточных замкнутых понижений и широкое развитие водонепроницаемых грунтов – суглинков создают благоприятные условия для заболачивания территории.

В геологическом строении района промплощадки принимает участие мощная толща четвертичных отложений (более 25 м), залегающая на коренных осадочных породах.

В инженерно-геологическом строении площадки выделены следующие основные инженерно-геологические элементы:

ИГЭ-1 – Почвенно-растительный слой мощностью 0,1-0,3 м представлен оподзоленными почвами, материнской породой которых являются надморенные озерно-ледниковые суглинки.

ИГЭ-2 – Надморенные озерно-ледниковые суглинки имеют широкое развитие в пределах исследованной территории и являются естественным основанием для большей части сооружений. Они залегают непосредственно под почвенно-растительным слоем или торфяным покровом и имеют мощность около 2,0 м (при колебании от 0,8 м до 4-5 м). Суглинки имеют плотное и средне-плотное сложение, коричневую и коричневатую-серую окраску и содержат незначительное (до 1-2%) количество зерен мелкого гравия.

ИГЭ-3 – Слой переотложенной (вторичной) морены мощностью 0,5-1,5 м залегает в основании озерно-ледниковых суглинков и представляют собой верхнюю часть моренных отложений, переработанную водами позднеледникового бассейна. Литологически слой выражен супесями и суглинками с мелкими гнездами и линзами песка, с включением гравия и гальки до 10-20%. В естественном залегании супеси и суглинки слоя вторичной морены имеют преимущественно желто-серую окраску, плотное сложение, тугопластичную консистенцию.

ИГЭ-4 – Моренные суглинки залегают в основном на глубине 2-3 м от поверхности (при колебаниях от 1,5 до 5,2 м) и имеют мощность слоя 8-14 м. В естественном залегании моренные суглинки имеют серую и лилово-серую (в верхней части иногда коричневатую-серую) окраску, плотное сложение и содержат в себе 5-10% включений гравия, гальки и мелких валунов. В толще суглинков встречаются небольшие гнезда и линзы песка и супеси (очень редко мощность супесчаных линз достигает 2-4 м).

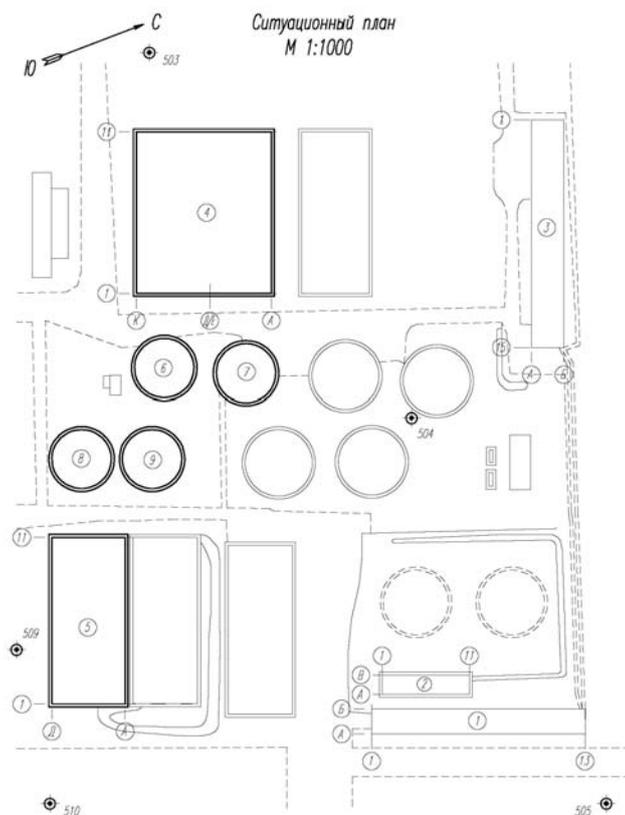


Рис. 1. Схема расположения сооружений и ближайших геологических скважин: 1 – насосная станция с приемным резервуаром – 2, 3 – насосная станция флотации, 4 – аэротенк I ступени, 5 – аэротенк II ступени, 6-9 – радиальные отстойники

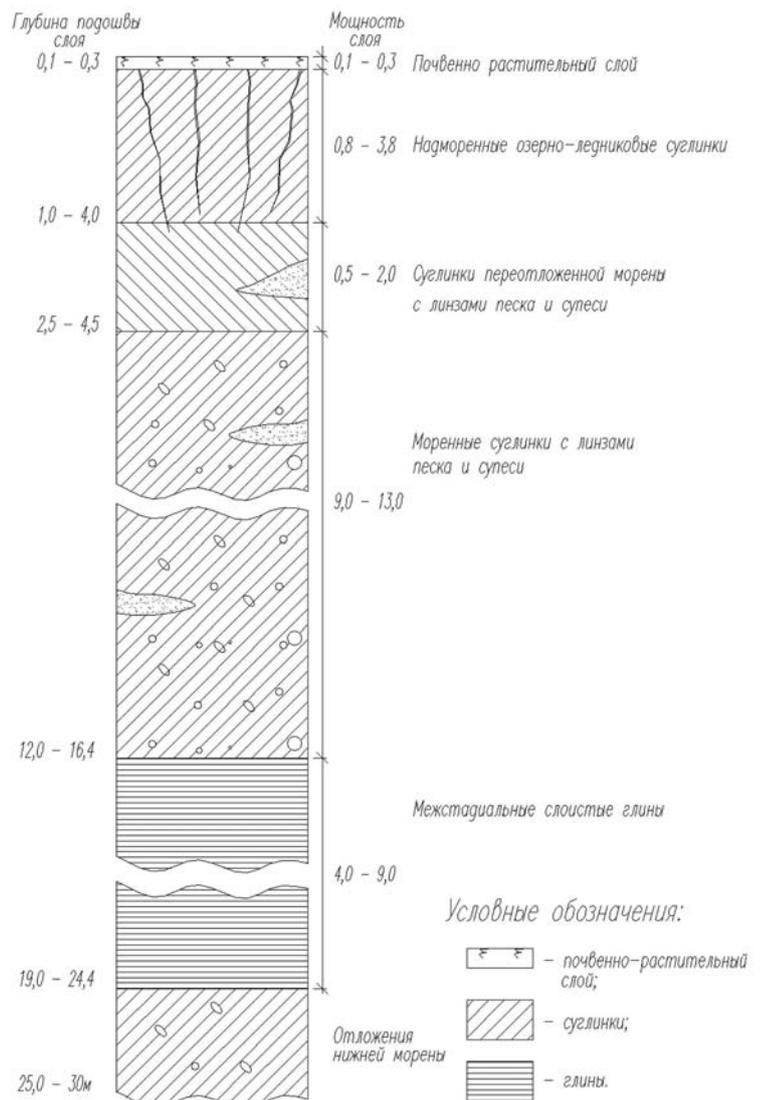


Рис. 2. Типовой инженерно-геологический разрез площадки реконструкции

Моренные супеси, линзообразно залегающие в толще моренных суглинков, аналогичны супесям слоя вторичной морены. ИГЭ-5 – Межстадиальные слоистые глины залегают на глубине 12-15 м от дневной поверхности (за пределами активной зоны напряжений) и практического значения для проектируемых сооружений не имеют. В естественном залегании слоистые глины имеют преимущественно темно-серую окраску, средне-плотное сложение, пластичную и мягкопластичную консистенцию.

Гидрогеологические условия площадки:

В верхней части четвертичных отложений до глубины 15-20 м от поверхности нет ни одного выдержанного водоносного горизонта с устойчивым дебитом.

Грунтовые воды, вскрытые в пределах площадки на различной глубине от поверхности (в основном на глубине 1,6-3,0 м), представляют собой верховодку, которая встречается в мелких гнездах и линзах песка (реже супеси), заключенных в слое переложной морены, либо в озерно-ледниковых суглинках в тонких (в 1-2 м) прослойках песка и торфа. Питание верховодки происходит исключительно за счет инфильтрации атмосферных осадков. По данным химических анализов верховодка не агрессивна по отношению к бетонам на обычном портландцементе.

Вопрос о влиянии инженерно-геологических условий на работу строительных конструкций в условиях слабых грунтов Северо-Запада исследовался и был изложен в публикациях [1-5].

Схема расположения ближайших геологических скважин к обследуемым сооружениям представлена на рисунке 1. Типовой инженерно-геологический разрез площадки реконструкции представлен на рис. 2.

При обследовании технического состояния зданий и сооружений: насосной станции (1) с приемным резервуаром (2), насосной станции флотации (3), аэротенков (4, 5) и отстойников (6-9), выявлены многочисленные дефекты и повреждения, связанные с проявлением деформационных процессов, происходящих в несущих конструкциях и их основаниях.

Так для зданий насосных (1, 3) фундаменты представлены конструкциями мелкого заложения на естественном основании ленточные и столбчатые с укладкой фундаментных балок; фундаментами стен заглубленных помещений служат монолитные железобетонные конструкции в виде «чаши».

Анализ деформаций кирпичных стен насосных станций позволяет утверждать, что трещинообразование носит, в основном, осадочный характер.

В соответствии с материалами инженерно-геологических изысканий естественным основанием столбчатых фундаментов насосной станции является суглинок пластичный, а основанием заглубленной части служит супесь средней плотности, водонасыщенная. Следы протечек в стенах заглубленной части насосной станции, а также вблизи вводов трубопроводов, свидетельствуют о повышении уровня подземных вод, имеющий техногенный характер. В связи с изменением гидрологического режима на участках расположения насосных станций, естественно, произошло изменение физико-механических характеристик грунтов оснований, что отразилось на состоянии фундаментов.

Бетонирование монолитной конструкции резервуара (2) выполнено без вибрирования с образованием в теле железобетона пустот, каверн и сквозных отверстий. В процессе строительства толщина защитного слоя не была обеспечена, и на момент обследования арматура оголена и повсеместно корродировала как снаружи, так и изнутри резервуара. В целом, состояние приемного резервуара оценено как недопустимое, однако рекомендации по восстановлению его эксплуатационных свойств были выданы.

**Рис. 3. Пример раскрытия трещин в днище отстойника, разрушение защитного цементного слоя, коррозия металлических конструкций илоскреба**



Для обеспечения обследования строительных конструкций аэротенков (4, 5) на предприятии представилась техническая возможность осушения только по одной двухкоридорной секции каждого аэротенка, имеющих наиболее характерные дефекты и повреждения. В ходе работ зафиксировано отклонение отдельных габаритных размеров аэротенков от проектных, выявленных контрольными геодезическими измерениями. Отмеченная фильтрация техногенных вод сквозь щели между стеновыми панелями резервуаров свидетельствует о неудовлетворительной зачеканке стыков и повреждении наружной гидроизоляции стенок резервуаров. Разрушение стыков сборных стеновых панелей обусловлено нарушением работы узлов сопряжения обвязочных и распорных балок, которые стали работать как шарнирные соединения, а конструкция аэротенков потеряла пространственную жесткость.

Техническим обследованием отстойников (6-9) так же отмечено трещинообразование в днищах и стенках, которое может быть обусловлено снижением несущей способности грунтов основания (рис. 3). В свою очередь, ухудшение физико-механических характеристик грунтового основания связано с изменением гидрологического режима в районе расположения резервуаров, что подтверждается обильной фильтрацией подземных вод через трещины при их осушении.

В результате анализа технического состояния сооружений и инженерно-геологических условий, рекомендовано выполнение комплекса работ, направленных на обеспечение подготовки их к реконструкции.

### Список литературы

1. Deformation of soil in deep excavations: comparing calculation results with in-situ measurements / V.M. Ulitsky, A.G. Sashkin, K.G. Sashkin and other // XV Danube – European Conference on Geotechnical Engineering / Paper No. 221 – DECGE, 2014.
2. В.М. Улицкий, А.Г. Шашкин. Научно-техническое обоснование устройства подземного объема второй сцены Мариинского театра в условиях слабых глинистых грунтов / Численные методы расчетов в практической геотехнике. Сборник статей научно-технической конференции; СПбГАСУ. – СПб, 2012.
3. Ледаев А.П., Коньков А.Н., Новиков А.Л. Трехмерное моделирование конструкций котлована и окружающей застройки // Транспортное строительство, 2009, №10 – С. 13-16.
4. Методика и результаты мониторинга основных несущих конструкций подземной части Второй сцены Государственного академического Мариинского театра / Ледаев А.П., Коньков А.Н., Бенин А.В. и др. // Сб. науч.-техн. статей; СПбГАСУ – СПб, 2012. – С. 9.
5. Горднова Е.В. Влияние инженерно-геологических условий территорий на эксплуатацию очистных и водозаборных сооружений // М-лы IV общероссийской конф. изыскательских организаций / ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве» – М, 2008. – С. 194 – 195.

**Шагин С.П.**

ГАУ Ярославской области «Яросстройэкспертиза», Ярославль, yar-expert@yandex.ru

## ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА СЕТЬ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ГАЗОПОТРЕБЛЕНИЯ С УЧЁТОМ ИЗМЕНЕНИЙ В НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

1. С 1 июля 2015 г. свод правил СП 47.13330.2012 «СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 вошёл в Перечень национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» (утв. постановлением Правительства РФ от 26 декабря 2014 г. N 1521).

2. Проектирование, строительство, реконструкция, монтаж, эксплуатация, консервация и ликвидация сетей газораспределения и газопотребления должны осуществляться с учетом особенностей, связанных с рельефом местности, геологическим строением грунта, гидрогеологическим режимом, сейсмическими условиями и наличием подземных горных разработок [4].

3. Здание – результат строительства, представляющий собой объемную строительную систему, имеющую надземную и (или) подземную части, включающую в себя помещения, **сети инженерно-технического обеспечения и системы инженерно-технического обеспечения** и предназначенную для проживания и (или) деятельности людей, размещения производства, хранения продукции или содержания животных.

Сооружение – результат строительства, представляющий собой объемную, плоскостную или **линейную строительную систему**, имеющую наземную, надземную и (или) подземную части, состоящую из несущих, а в отдельных случаях и ограждающих строительных конструкций и предназначенную для выполнения производственных процессов различного вида, хранения продукции, временного пребывания людей, перемещения людей и грузов [3].

Таблица 6.2

Категория сложности инженерно-геологических условий	Расстояние между горными выработками (в м)
I(простая)	Не более 100
II(средняя)	Не более 50
III(сложная)	Не более 25

#### Примечания

1 Общее количество горных выработок в пределах контура каждого здания и сооружения для I категории - 1-2 выработки; для II категории - не менее 3-4, для III категории - количество горных выработок определяется конструкцией конкретного фундамента, нагрузками на основание и инженерно-геологическими условиями, но не менее 4-5, с учетом геометрических размеров объекта.

2 При ширине и длине здания или нелинейного сооружения менее 12 м допускается проходить одну горную выработку для I и II категорий и две горные выработки - для III категории.

## Категории сложности инженерно-геологических условий

Факторы, определяющие производство изысканий	Категории сложности		
	I (простая)	II (средняя)	III (сложная)
Геоморфологические	Один геоморфологический элемент. Поверхность слабонаклонная, нерасчлененная	Несколько геоморфологических элементов одного генезиса. Поверхность слабонаклонная, слаборасчлененная	Несколько геоморфологических элементов разного генезиса. Поверхность сильнорасчлененная. Склоны
Геологические	Не более двух литологических слоев с уклоном $\leq 0,1$ , мощность выдержанная. Свойства грунтов меняются незначительно. Основание - скальные монолитные грунты	Не более четырех литологических слоев. Мощность и характеристики грунтов изменяются закономерно. Скальные грунты с неровной кровлей, перекрытой нескальными грунтами	Более четырех слоев. В разрезе линзы, выклинивание слоев, тектонические нарушения. Состав и показатели свойств грунтов не закономерно изменчивы. Скальные грунты: трещиноватые, кровля расчлененная, выветрелая
Гидрогеологические	Один выдержанный горизонт неагрессивных подземных вод	Два и более выдержанных горизонта, линзы слабоагрессивных (загрязненных) вод, наличие напорных вод	Горизонты подземных вод не выдержаны, сложное чередование водоносных и водоупорных пород, химический состав неоднородный или загрязненный
Опасные геологические и инженерно-геологические процессы	Отсутствуют	Имеют ограниченное распространение или не оказывают влияния на проектные решения, строительство и эксплуатацию объектов	Имеют широкое распространение или оказывают решающее влияние на проектные решения, строительство и эксплуатацию объектов
Специфические грунты (в основании фундамента)	Отсутствуют	Ограниченно распространены или не оказывают существенного влияния на проектные решения, строительство и эксплуатацию объектов	Широко распространены или оказывают решающее влияние на проектные решения, строительство и эксплуатацию объектов
Природно-технические условия производства работ	Хорошие условия для проходимости техники, развитая инфраструктура, наличие стационарных построек для базирования	Плохие условия для проходимости техники, слабо развитая инфраструктура, ограниченность стационарных построек для базирования	Очень плохие условия для проходимости техники, неразвитая инфраструктура, отсутствие стационарных построек для базирования

4. В проектных материалах по инженерному обеспечению объектов капитального строительства отсутствуют скважины для инженерных сетей, в том числе для газопроводов.

5. Горные выработки и точки полевых испытаний необходимо располагать в пределах контуров проектируемых зданий и сооружений (в т.ч. сетей газораспределения) в соответствии с таблицей 6.2 СП 47.13330.2012.

6. Экспертиза проектной документации не проводится в случае, если для строительства, реконструкции не требуется получение разрешения на строительство, а также в случае проведения такой экспертизы в отношении проектной документации объектов капитального строительства, получившей положительное заключение государственной экспертизы или негосударственной экспертизы и применяемой повторно (далее – типовая проектная документация), или модификации такой проектной документации, не затрагивающей конструктивных и других характеристик надежности и безопасности объектов капитального строительства, либо в случае, если при строительстве или реконструкции линейных объектов применяется модификация получившей положительное заключение экспертизы проектной документации (в том числе отдельных разделов проектной документации), не снижающая конструктивных и других характеристик надежности и безопасности линейных объектов и не изменяющая их качественных и функциональных характеристик, при условии, что указанная модификация проектной документации не приводит к увеличению сметы на строительство, реконструкцию линейных объектов. Экспертиза проектной документации не проводится в отношении разделов проектной документации, подготовленных для проведения капитального ремонта объектов капитального строительства,

за исключением проектной документации, подготовленной для проведения капитального ремонта автомобильных дорог общего пользования [7].

Типовая проектная документация – проектная документация, получившая положительное заключение государственной экспертизы проектной документации и применяемая повторно.

«Реестр типовой проектной документации» – формируемый Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации перечень проектной документации объектов капитального строительства, получившей положительное заключение государственной экспертизы и рекомендуемой для повторного применения [5].

7. Для типового проектирования ширину полосы трассы, глубину горных выработок и расстояние между ними принимают в соответствии с таблицей 6.4. СП 47.13330.2012.

8. Нарушение по количеству и местоположению горных выработок в контуре проектируемого сооружения.

9. Не выполняются требования по давности изысканий. [6].

Таблица 6.4

Вид линейных объектов	Ширина полосы трассы, м	Расстояние между скважинами по трассе, м	Глубина скважин, м	
			До 5	На 2 м ниже нормативной глубины промерзания грунта
Железная дорога	200-500	350-500	До 5	На 2 м ниже нормативной глубины промерзания грунта
Автомобильная дорога	200-500	350-500	До 3	
Магистральный трубопровод	100-500	300-500	На 1-2 м ниже глубины заложения трубопровода	
Эстакада для наземных коммуникаций	100	100-200	3-7	
Воздушная линия связи и электропередачи напряжением, кВ: до 35; свыше 35	100-300	500-1000	3-5	
	100-300	500-1000	7-10	
Кабельная линия связи	50-100	500-1000	На 1-2 м ниже глубины заложения трубопровода (шпунта, острия свай)	На 1-2 м ниже нормативной глубины промерзания грунта
Водопровод, канализация, теплотрасса и газопровод	100-200	100-300		
Подземные коллекторы - водосточный и коммуникационный	100-200	100-200	На 2 м ниже предполагаемой глубины заложения коллектора (шпунта, острия свай)	
<b>Примечания</b>				
1 Минимальные расстояния следует принимать в сложных, а максимальные - в простых инженерно-геологических условиях.				
2 На участках распространения специфических грунтов, развития опасных геологических процессов следует уменьшать расстояние между выработками и закладывать поперечники из 3-5 выработок. Глубину выработок определяют по 6.3.7 и 6.3.8.				
3 Если в коридоре трассы предполагается проектирование нескольких линейных объектов, то число и глубину выработок устанавливают исходя из минимальных расстояний и максимальных глубин для соответствующих линейных объектов.				

### Список литературы

1. Постановление Правительства РФ от 26 декабря 2014 г. N 1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил (частей таких стандартов и сводов правил), в результате применения которых на обязательной основе обеспечивается соблюдение требований Федерального закона «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений».
2. Свод правил СП 47.13330.2012 «СНиП 11-02-96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» Актуализированная редакция СНиП 11-02-96
3. Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. N 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
4. Технический регламент о безопасности сетей газораспределения и газопотребления (утв. постановлением Правительства РФ от 29 октября 2010 г. N 870)
5. Положение об организации и проведении государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий (утв. постановлением Правительства РФ от 5 марта 2007 г. N 145)
6. Свод правил по инженерным изысканиям для строительства СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ».
7. Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29 декабря 2004 г. N 190-ФЗ.

Здобин Д.Ю.

Охотинское общество грунтоведов, Санкт-Петербург, zdobin\_soil@mail.ru

## ГОСУДАРСТВЕННЫЕ СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ СВОЙСТВ ГРУНТОВ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Государственные стандарты в области испытаний грунтов – неотъемлемая часть инженерных изысканий для строительства. Именно современные технические регламенты и определенные на их основе качественные исходные лабораторные исследования состава, строения и физико-механических свойств грунтов являются той первичной основой, на которой покоится правильный выбор основания для проектируемого объекта.

Анализ состояния дел в этой сфере показывает, что осмысленной концепции развития всего корпуса нормативных документов (с учетом его расширения, ввода новых и актуализации существующих) не просматривается, ибо она возможна только при целостном рассмотрении всей отрасли инженерных изысканий. А сегодня взаимодействие производственных организаций и разработчиков технических документов полностью отсутствует.

Комиссия Технического регулирования, которая и должна была стать генератором и аккумулятором новых технических решений, как и само Национальное объединение изыскателей, прекратило свое существование. Новый орган саморегулирования в отрасли НОПРИЗ и его комиссия по инженерным изысканиям находятся в стадии формирования. Причем по персональному составу она повторяет тот перекокс «менеджеров-управленцев» над «профессионалами-изыскателями», который существовал в НОИЗ и во многом парализовал работу ее отдельных комитетов и комиссий.

По объективным и субъективным причинам техническое регулирование так и не стало магистральным направлением деятельности любой формы саморегулирования в России, хотя это основная ее задача как объединения профессионалов.

С одной стороны, острая потребность в современных стандартах у отрасли есть. Отсутствует ряд важнейших стандартов на определение содержания состава грунтов (например, содержание карбонатов) и отдельных свойств (липкость, консистенция в естественном сложении). Полностью выпала из сферы регулирования такое направление лабораторных испытаний грунтов как пенетрация.

С другой стороны, возьмем базовый документ для инженерных изысканий в строительстве ГОСТ «Грунты. Классификация». Итоговый стандарт получился достаточно большим и сложносочиненным. Конечно это определенный шаг вперед – например, раздел гармонизация с зарубежными стандартами. На наш взгляд, классификационный стандарт отражает все те существующие противоречия между современным состоянием теоретического грунтоведения как такового и повседневной практикой производственных организаций. По всей видимости, впоследствии придется выработать приемлемый баланс между теоретическим (генетическим) грунтоведением и лабораторными испытаниями грунтов в целях инженерных изысканий для строительства. Совершенно очевидно, что общая классификация грунтов не может кардинально меняться с такой частотой, как это происходит в настоящее время.

Прошло пять лет, и опять стоит извечный вопрос: «Кто возьмет на себя функцию координатора процесса нормотворчества?». Научный совет РАН по проблемам инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии? НИЦ «Строительство»? ТК 465 «Строительство»? Другие государственные структуры? Или частные организации? В последнем варианте существует риск того, что они, как хозяйствующие субъекты, будут заинтересованы в лоббировании определенных узкоклановых интересов. И отдельные попытки того рода мы наблюдали в последнее время, особенно в области в увязке текста стандарта с применения совершенно определенного оборудования.

Будет вполне разумно создать наконец работоспособную общероссийскую рабочую группу из ведущих ученых и производственников в сфере лабораторных испытаний грунтов. Именно общероссийскую, а не замкнутую исключительно в административных границах Москвы.

Ряд ведущих изыскательских организаций, видя определенный смысловой тупик в сфере технического регулирования, пошли по пути прямого включения в сферу аккредитации методов и методик, успешно зарекомендовавшей себя на практике, благо закон это позволяет делать. Налицо – технический сепаратизм, последствия которого труднопредсказуемы для безопасности зданий и сооружений.

Выход из существующего положения видится в следующем:

- Организация реально работающего органа на постоянной основе в сфере технического регулирования, состоящая из специалистов и профессионалов, а не чиновников и администраторов.
- Прямое внедрение тех зарубежных стандартов, которые отсутствуют в отечественной системе технического регулирования (например, скважинное сейсмическое профилирование).
- Сбор и анализ методов и методик, применяемых в отдельных региональных производственных организациях. Цель: во-первых, иметь хотя бы приблизительную картину, по каким техническим документам функционирует изыскательское сообщество, во-вторых, если это обосновано, распространить передовой опыт на максимально широкую профессиональную среду, с выходом на федеральный уровень.

Необходимо отметить, что в ряде регионов существуют успешные случаи создания координационных советов для формирования единого взгляда и подхода при проведении как собственно инженерных изысканий, так и методов исследования свойств грунтов. Эти во многом «общественные территориального образования» берут на себя функцию координатора и модератора в сложном и конфликтном треугольнике «исполнительная власть – изыскательские организации – государственная экспертиза».

Но эти структуры не могут быть полностью эффективны, ибо у них нет понятного юридического статуса, компромиссные договоренности носят устный характер и никак не оформлены документально. Официально созданные под эти задачи комиссии, как правило, состоят из чиновников администраций и руководителей крупных проектных организаций. Например, в существующей городской экспертно-консультативной комиссии по основаниям, фундаментам и подземным сооружениям при Правительстве Санкт-Петербурга, созданной в 2010 г. из 37 человек в своем составе имеет всего трех инженеров-геологов.

Но тем не менее, территориальные строительные нормы это единственно реально просматривающий выход из того положения, в котором в настоящий момент находится техническое регулирование в инженерных изысканиях. И именно в них зафиксирован уровень региональной инженерно-геологической изученности территории, прописан уровень и направленность опасных инженерно-геологических процессов и даны сводные таблицы нормативных и расчетных показателей физико-механических свойств грунтов. Понятно, что это очень объемная, трудоемкая и долгосрочная задача, но без ее решения будущее российских инженерных изысканий видится весьма проблематичным.

Разумная федерализация в общем правовом поле, с учетом региональной специфики геологического строения территории, опыта работ предыдущих лет даст возможность окончательно не похоронить лучший в мире свод нормативных документов, разработанный в нашей стране, эрозию которого мы наблюдаем в настоящее время.

Голубев А.И.

ООО «НИП-Информатика», Санкт-Петербург, alexey.golubev@nipinfor.ru

## ВИРТУАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ SOILTEST ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТА

Лидирующее место среди компьютерных программ для геотехнических расчетов у инженеров-проектировщиков завоевал программный комплекс PLAXIS, который в России уже 15 лет. Инженеры получили современный эффективный инструмент, позволяющий сочетать инженерные решения и научно-исследовательский поиск при расчетном обосновании сложнейших геотехнических проектов. При этом необходимым условием эффективности использования PLAXIS является взаимопонимание расчетчика и изыскателя в их совместной работе. Идеальный вариант – когда оба специалиста знакомы с концепцией построения используемых расчетных моделей грунта и с методами определения соответствующих им характеристик. Однако, как правило, инженер-проектировщик не знает методов определения физико-механических характеристик грунтов, а инженер-геолог не знаком с методами расчетов. В таком случае в качестве варианта общей платформы для выстраивания совместной работы изыскателя и проектировщика может быть использована программа SoilTest в программном комплексе PLAXIS [1].

Программа SoilTest представляет собой виртуальную лабораторию для математического моделирования методов лабораторного определения деформационных и прочностных характеристик грунта. С помощью программы SoilTest могут быть смоделированы стабилметрические, компрессионные и сдвиговые испытания, а также испытание в трехосном приборе с независимо регулируемыми напряжениями и деформациями. При этом виртуальные стабилметрические и компрессионные испытания соответствуют реальным испытаниям, выполняемым согласно ГОСТ 12248-2010 [2].

Критерием правильного выбора расчетной модели грунта и её параметров может служить совпадение результатов расчета и эксперимента. Рассмотрим это на примере лабораторных испытаний грунта методом трехосного сжатия (стабилметрические испытания). На рис. 1 показаны девиаторные кривые, построенные по результатам испытаний мелкого песка средней плотности для трех значений предварительного изотропного обжатия образцов: 100, 200 и 300 кПа.

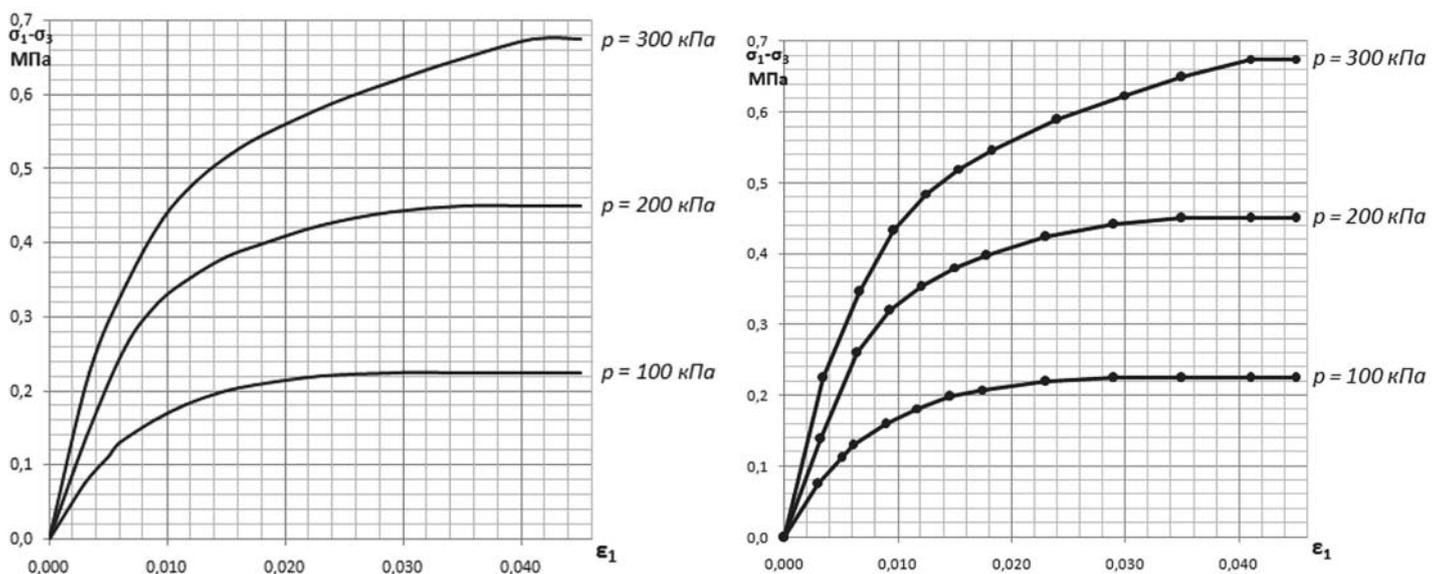


Рис. 1. Девиаторные кривые стабилметрических испытаний

В качестве сопоставляемых моделей выбраны две наиболее часто используемые в геотехнических расчетах упругопластические модели: модель Кулона-Мора (MC model [1]) и модель упрочняющегося грунта (HS model [1]).

Значения прочностных и деформационных параметров модели Кулона-Мора получены согласно стандартной обработке результатов стабилметрических испытаний [2]. По диаграмме Кулона-Мора, построенной для трех кругов главных напряжений в предельном состоянии, определен угол внутреннего трения  $\phi = 32^\circ$  и удельное сцепление  $c = 0$ . По дивидирующей кривой для опыта с предварительным обжатием 100 кПа определен секущий модуль деформации при 50% прочности:  $E_{50} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2/\epsilon_1 = 22$  МПа. Коэффициент поперечной деформации  $\nu$  принят равным 0,32 согласно виду и плотности грунта, а угол дилатансии  $\psi$  получен по формуле  $\psi = \phi - 30 = 2^\circ$ , предложенной в PLAXIS. Следует отметить, что параметры  $\nu$  и  $\psi$  могут быть получены непосредственно из результатов стабилметрических испытаний: коэффициент поперечной деформации  $\nu$  по формуле  $\nu = (\Delta\epsilon_V - \Delta\epsilon_1)/2/\Delta\epsilon_1$ , а угол дилатансии  $\psi$  из графика зависимости  $\epsilon_V = f(\epsilon_1)$ .

Для модели упрочняющейся среды набор расчетных параметров определен согласно концепции построения этой модели [1] и корреляционным связям между модулем деформации  $E_{50}$ , одометрическим модулем  $E_{oed}$  и модулем упругости  $E_{ur}$ , принятым по рекомендации PLAXIS для песчаных грунтов:  $E_{oed} = E_{50}$ ,  $E_{ur} = 3E_{50}$ . Коэффициент поперечной деформации при разгрузке/повторном нагружении  $\nu_{ur} = 0,2$  и степень нелинейного изменения жесткости грунта  $m = 0,5$  соответствуют значениям, принятым в PLAXIS по умолчанию.

В таблице 1 приведены наборы расчетных параметров модели MC и модели HS, соответствующих состоянию предварительного изотропного обжатия образца 100 кПа.

Таблица 1

	$c$ [МПа]	$\phi$ [°]	$\psi$ [°]	$\nu$ [-]	$E_{50}$ [МПа]	$E_{oed}$ [МПа]	$E_{ur}$ [МПа]	$\nu_{ur}$ [-]	$m$ [-]
MC	0	32	2	0,32	22	-	-	-	-
HS	0	32	2	-	22	22*	66*	0,2*	0,5*

\* - значения, принятые по рекомендациям PLAXIS.

На рис. 2 показано сопоставление результатов испытаний с результатами расчетов в SoilTest с характеристиками из таблицы 1. Хорошее совпадение результатов получено только для варианта предварительного обжатия 100 кПа. Это объясняется тем, что параметры моделей подбирались по испытанию при этом же значении всестороннего давления. Для опытов с предварительным обжатием 200 кПа и 300 кПа получено достаточно большое расхождение с расчетом.

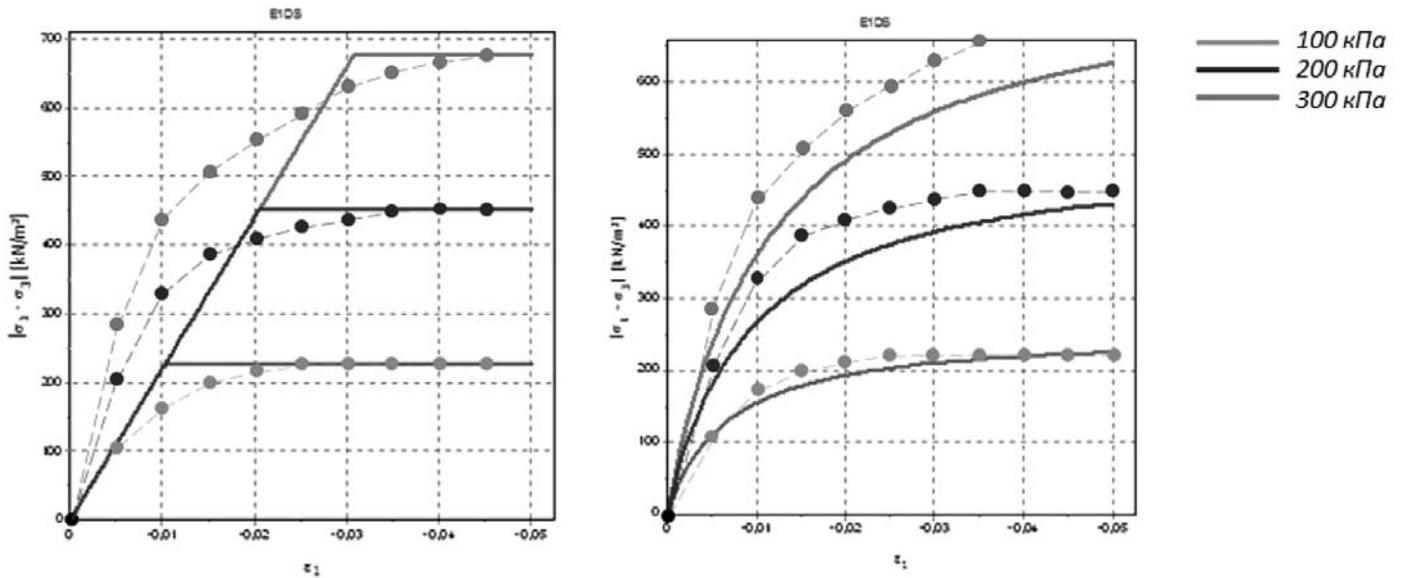


Рис. 2. Результаты испытаний (—•—) и расчетов (—) до оптимизации параметров модели

Для корректировки расчетных параметров может быть использована так называемая опция оптимизации параметров, доступная в программе SoilTest. Эта математическая процедура позволяет автоматически рассчитать в предварительно заданных диапазонах изменения параметров их оптимальные значения, обеспечивающие наиболее близкое совпадение с результатами опыта. Следует отметить, что опция оптимизации параметров становится наиболее эффективной, когда требуется оптимизировать результаты нескольких испытаний.

В таблице 2 приведены наборы расчетных параметров модели MC и модели HS, соответствующих состоянию предварительного изотропного обжатия образца 100 кПа, «До» выполнения расчета оптимизации параметров и «После» его выполнения. Как видно из этой таблицы, использование расчета оптимизации параметров привело к изменению стартовых значений деформационных характеристик, особенно для модели упрочняющегося грунта.

Таблица 2

		$c$ [МПа]	$\varphi$ [°]	$\psi$ [°]	$\nu$ [-]	$E_{50}$ [МПа]	$E_{oed}$ [МПа]	$E_{ur}$ [МПа]	$\nu_{ur}$ [-]	$m$ [-]
МС	До	0	32	2	0,32	22	-	-	-	-
	После	0	32	4	0,24	20,6	-	-	-	-
НС	До	0	32	2	-	22	22*	66*	0,2*	0,5*
	После	0	32	6	-	24,4	13,9	73,4	0,2*	0,4

\* - значения, принятые по рекомендациям PLAXIS.

На рис. 3 показано сопоставление результатов испытаний с результатами расчетов в SoilTest с оптимизированными характеристиками из таблицы 2. Этот рисунок позволяет выявить области применимости рассмотренных расчетных моделей для исследуемого грунта.

Начнем с наиболее простой модели – модели Кулона-Мора, для реализации которой требуется всего пять параметров. Как видно из графиков, наиболее близкое совпадение результатов испытаний и расчетов отмечается в зоне малых деформаций ( $\epsilon_1 < 0,01$ ) и при достижении состояния разрушения. Таким образом, для данного грунта модель Кулона-Мора может быть рекомендована в деформационных расчетах с малыми областями предельного напряженного состояния и с корректировкой модуля деформации  $E_{50}$  по глубине однородного слоя или в расчетах предельного напряженного состояния для выявления областей потенциального разрушения геотехнической системы и определения коэффициента безопасности (устойчивости). Что касается модели упрочняющегося грунта, то согласно приведенным графикам, эту модель можно считать более универсальной для нелинейных деформационных расчетов от начала нагружения до разрушения и рекомендовать её в качестве основной расчетной модели для прогноза развития напряженно-деформированного состояния геотехнической системы на всём диапазоне деформаций, возможных в строительный период.

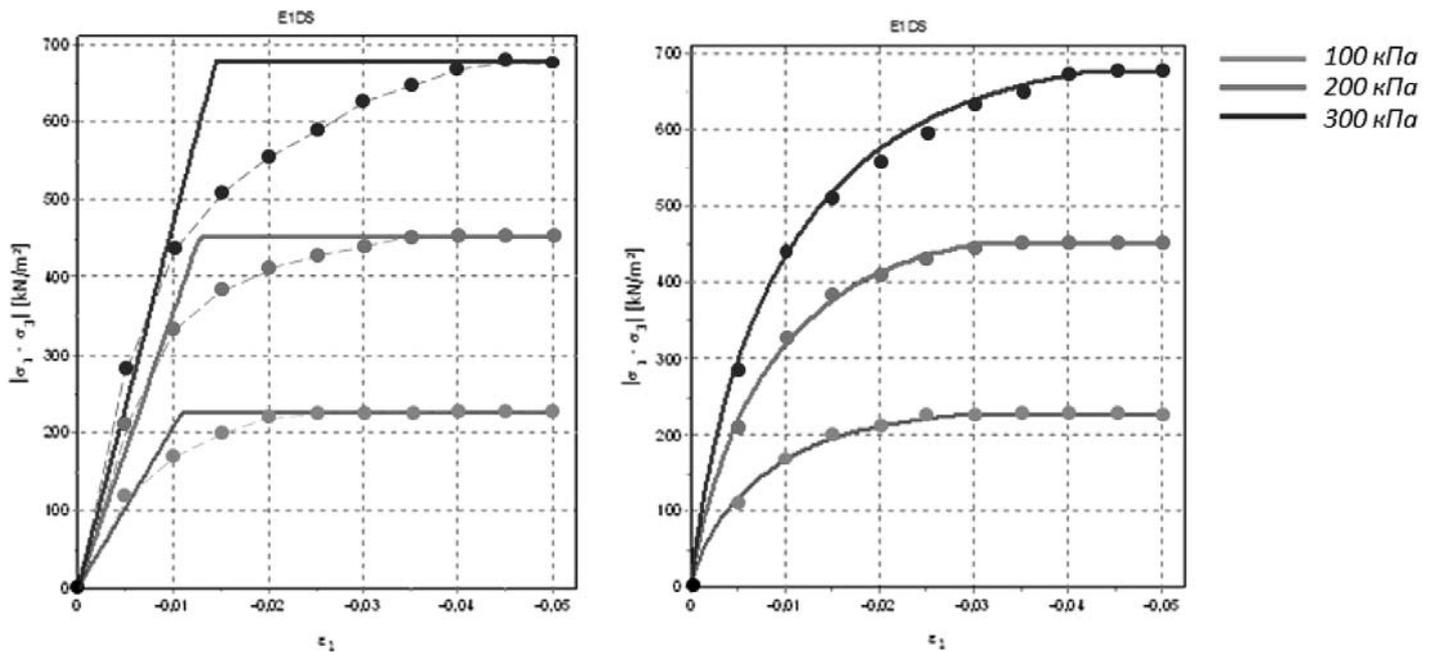


Рис. 3. Результаты испытаний (—•—) и расчетов (—) после оптимизации параметров модели

**Выводы**

Современные компьютерные программы для выполнения геотехнических расчетов оперируют сложными математическими моделями грунта, параметры которых должны быть согласованы с конкретными методами и схемами испытаний, а также с конкретной интерпретацией результатов этих испытаний в виде графиков и формул.

Задача такого согласования может быть эффективно решена с использованием программы SoilTest, входящей в программный комплекс PLAXIS. Программа SoilTest позволяет оперативно выполнять математическое моделирование лабораторных испытаний грунта, выбирать наиболее адекватную модель грунта и определять её параметры для дальнейших геотехнических расчетов.

**Список литературы**

1. PLAXIS 2D 2015. Руководство пользователя. – Делфт, Нидерланды: Plaxis bv, 2015. (переведено на русский язык и отпечатано ООО «НИИ-Информатика», СПб, 2015).
2. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Стандартинформ, 2011.

Кутепов Ю.И.<sup>1</sup>, Кутепова Н.А.<sup>1</sup>, Поспехов Г.Б.<sup>2</sup>, Ивочкина М.А.<sup>3</sup>, Кудашов Е.С.<sup>4</sup>

<sup>1-4</sup>Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, <sup>1</sup>koutepovy@mail.ru, <sup>2</sup>pospehov@hotmail.ru, <sup>3</sup>ivochkinamary@gmail.ru, <sup>4</sup>eskudashov@mail.ru

## МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ФОСФОГИПСА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

При производстве фосфорной кислоты и минеральных удобрений образуется побочный продукт – фосфогипс, большая часть которого при отсутствии спроса у потребителей поступает в специальные объекты хранения. Особое место среди них занимают гипсонакопители, которые являются гидротехническими сооружениями и представляют потенциальную опасность для окружающей среды, так как аварии на них сопровождаются тяжелыми экологическими последствиями, экономическим ущербом, а иногда и человеческими жертвами. Например, экологический ущерб от гидродинамической аварии, произошедшей в мае 2010 года на одном из накопителей Череповецкого химического завода из-за просадки ограждающей дамбы, составил более 17 млн. рублей за счет загрязнения окружающей среды.

Гидравлическое складирование фосфогипса на предприятиях Российской Федерации применяется на многих химических комбинатах, расположенных в г. Волхов Ленинградской области (ООО «Метаким»), г. Череповец Вологодской области (ОАО «ФосАгро-Череповец»), г. Белореченск Краснодарского края (ООО «ЕвроХим – Белореченские Минудобрения»). Гипсонакопители этих предприятий занимают значительные площади, достигающие 100 га, характеризуются высотой от 20 до 50 метров. Некоторые сооружения заполнены до проектных отметок, и встает проблема дальнейшего складирования фосфогипса. Ее решение заключается в строительстве новых гипсонакопителей, наращивании высоты действующих сооружений, реконструкции законсервированных объектов, разработке старых намывных карт с последующим комбинированным складированием сухих и гидравлических фосфогипсов. Однако, обеспечение устойчивости данных сооружений невозможно без получения достоверной информации о физико-механических свойствах складированных техногенных пород.

Гипсонакопители являются объектами малоизученными с точки зрения инженерной геологии. Опыт изучения закономерностей формирования состава и свойств намывных пород на других гидротехнических объектах не может быть использован непосредственно для обоснования устойчивости гипсонакопителей ввиду резко индивидуальных особенностей складированного материала. В частности, отходы химического производства не имеют аналогов среди отвальных образований других областей промышленности.

Фосфогипс представляет собой серый мелкокристаллический комкующийся порошок влажностью 25–40%, на 93-95% состоящий из двухводного гипса ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) с механической примесью 1-1,5% фосфатов ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ).

Объектом исследований, проведенных в 2012-2014 гг. Горным университетом, являлось отвальное хозяйство химического завода ООО «Метаким», расположенного в г. Волхов Ленинградской области, в 122 км к востоку от Санкт-Петербурга. Данное предприятие производит минеральные удобрения, фосфорную и серную кислоту, триполифосфат натрия, цемент и другую продукцию. В результате переработки апатитового концентрата на предприятии образуется побочный продукт – фосфогипс, выход которого составляет 400 тыс. м<sup>3</sup>/год. Складирование фосфогипса осуществляется гидравлически способом в специальные сооружения промышленной гидротехники, называемые гипсонакопителями. Все отвальное хозяйство состоит из трех гипсонакопителей, в настоящее время эксплуатируется гипсонакопитель №2 (рисунок 1), который занимает площадь около 70 га; состоит из двух карт, разделенных внутренней дамбой. Складирование фосфогипса осуществляется в южную карту площадью 43 га, а северную часть гипсонакопителя разрабатывают как карьер по извлечению фосфогипса для наращивания действующей секции. Сооружение относится к равнинному типу с четырехсторонним обвалованием, по способу заполнения – намывное [1].

Инженерно-геологические изыскания на данном объекте проводились с целью установления однородности строения, физико-механических свойств, характера обводненности техногенного массива и пород естественного основания с последующим определением и обоснованием оптимальных параметров откосов гипсонакопителя. При выполнении изучения данных техногенных пород необходимо учитывать ряд специфических свойств фосфогипса, таких как растворимость (около 2 г/л), достаточно высокая сжимаемость (особенно при малых нагрузках) и проявление тиксотропных свойств (при влажности >30-32%), которые определяют особенность методики исследований.

Определение гранулометрического состава фосфогипса вызывает определенные трудности, связанные с методикой, прописанной в действующем ГОСТе 12536-79 [2]. Ситовой метод может оказаться непоказательным ввиду того, что при подготовке образца перед просеиванием можно легко раздробить хрупкие агрегаты фосфогипса определенного диаметра. При использовании косвенных методов определения грансостава таких, как ареометрический и пипеточный используется дистиллированная вода, которая может растворить часть навески фосфогипса ввиду его растворимости (2 г/л). Кроме того, при подготовке образца в процессе его кипячения используется диспергатор – гидроксид аммония, который в результате химической реакции с фосфогипсом может вызвать выпадение в осадок нерастворимого гидроксида кальция, уменьшив количество фосфогипса в навеске.

Учитывая вышесказанное было решено провести определение гранулометрического состава ареометрическим методом с использованием в качестве диспергатора пирофосфата натрия, а вместо дистиллированной воды использовался насыщенный раствор фосфогипса.

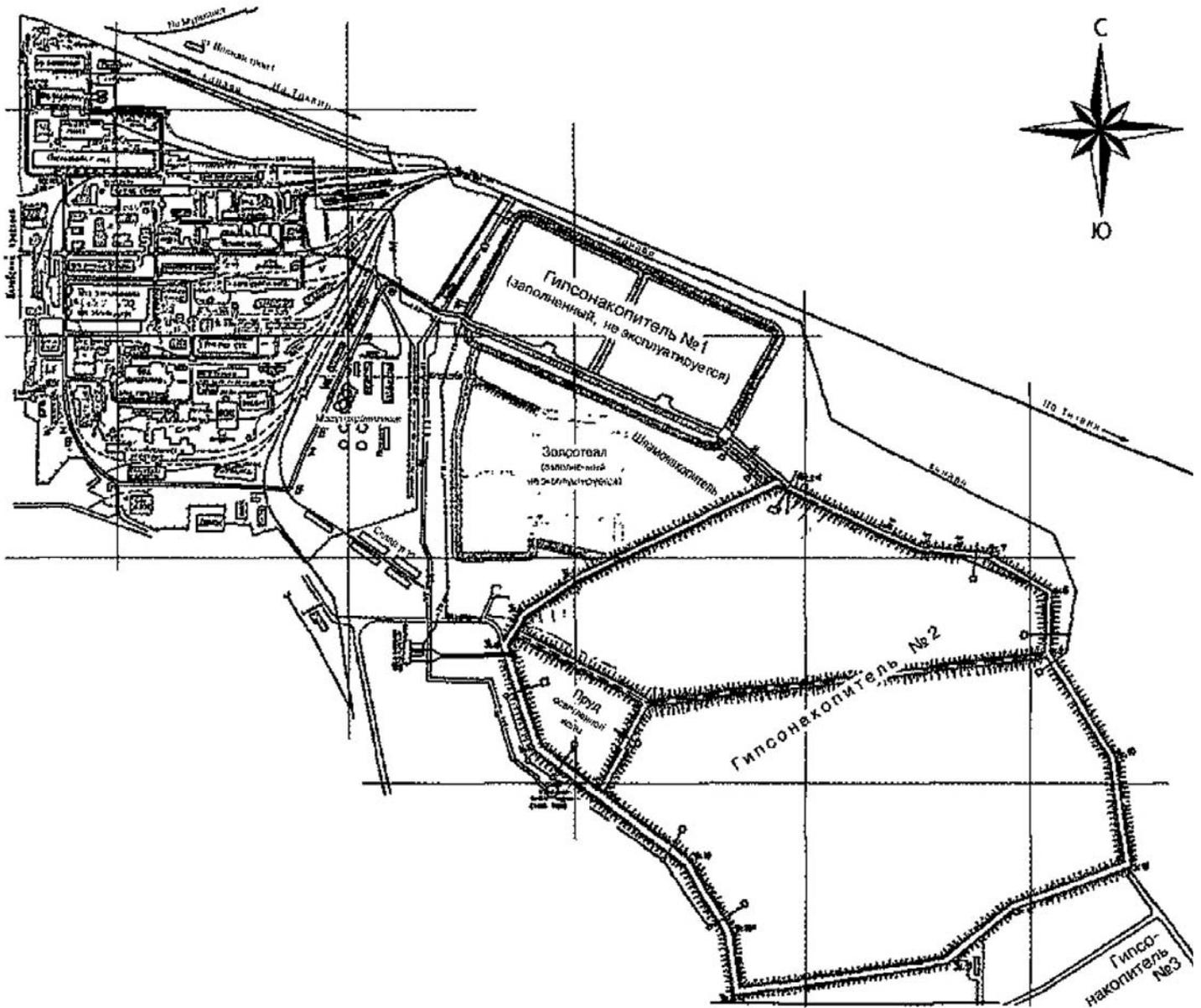


Рис. 1. Ситуационный план размещения гипсонакопителей ООО «Метахим» [4]

В таблице 1 представлены результаты определения гранулометрического состава с использованием этих косвенных методик одного и того же образца, которые сравнивались с прямым методом – микроскопией, а также с результатами определений на лазерном анализаторе Camsizer XT (таблица 1).

Таблица 1

Сравнительная характеристика результатов использования разных методов определения гранулометрического состава фосфогипса [3]

Методика определения	Содержание частиц (%) по фракциям (мм)								
	>2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005
Ареометр по ГОСТ 12536-79	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	11,1	72,3	2,7	13,4
Ареометр в насыщенном растворе с использованием пирофосфата натрия	0,0	0,0	0,0	0,1	0,5	5,7	72,3	2,7	18,7
Микроскопия	0,0	0,0	0,0	0,0	22,0	49,8	28,1	0,0	0,0
Лазерный анализатор	0,0	3,7	6,3	4,8	2,2	6,4	45,7	29,0	5,7

Анализ полученных результатов позволяет отметить хорошую сходимость измерений ареометром по ГОСТу и предложенной методике, из чего следует допущение использования методики ГОСТ 12536-2015 [2] для определения гранулометрического состава фосфогипса для массовых определений. Анализатор Samsizer XT показал большее содержание крупных фракций за счет недостаточной диспергации высушенных и частично сцементированных частиц фосфогипса направленным потоком воздуха. Суженный диапазон размеров частиц и процентное несоответствие другим методам определения грансостава по результатам микроскопии объясняется недостаточной воспроизводимостью и повторяемостью данного метода, а также разрешающей способностью микроскопа. Однако результаты всех методик указывают на преобладание частиц размером 0,1-0,01 мм (10-100 мкм), соответствующие тонко-песчаной и крупно-пылевой фракциям, содержание которых составляет от 50 до 80%.

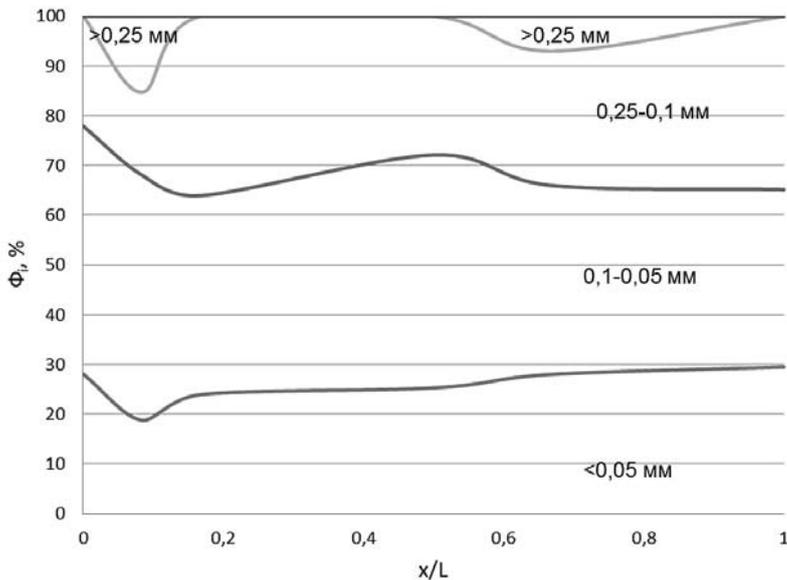


Рис. 2. Схема фракционирования:  $\Phi_i$  – содержание  $i$ -фракции,  $x$  – расстояние от места выпуска пульпы до точки отбора образца,  $L$  – длина пляжа намыва (около 600 м) [3]

Методика определения влажности фосфогипса заключалась в высушивании образцов до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре  $55^{\circ}\text{C}$  в течение 12-14 часов. Понижение температуры высушивания, указанной в ГОСТ 5180-84 [1], объясняется весьма вероятной потерей кристаллизационной воды образцами фосфогипса при воздействии на них температуры  $105^{\circ}\text{C}$ . Полученные результаты изменения влажности по глубине в ограждающей дамбе гипсонакопителя представлены на рисунке 3.

Схема, представленная на рисунке 2, построена с помощью анализа гранулометрического состава проб методом микроскопии внутри чаши гипсонакопителя, демонстрирует слабо выраженное фракционирование с постепенным возрастанием содержания пылеватых и более мелких ( $0,05$  мм) фракций по мере удаления от места выпуска пульпы. При этом зависимости между гранулометрическим составом и прочностными характеристиками данных проб выявлено не было.

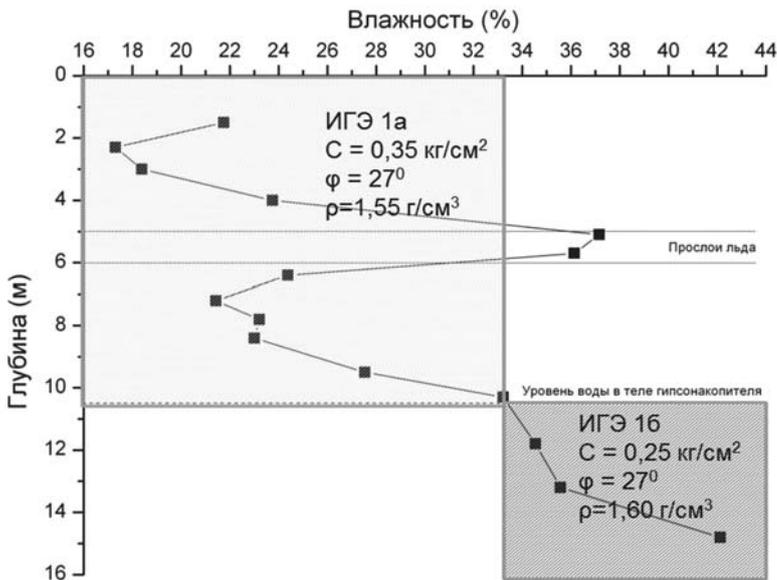


Рис. 3. Изменение влажности фосфогипса по глубине техногенного массива

Прочностные свойства фосфогипса изучались при помощи одноплоскостных срезных приборов при нормальных напряжениях, близким к бытовым нагрузкам в массиве гипсонакопителя. Данные исследования образцов фосфогипса с различным физическим состоянием показали, что его прочностные свойства (главным образом, сцепление) зависят от влажности и степени водонасыщения. На основании выявленной зависимости техногенная толща была разделена на два слоя: ИГЭ1а – фосфогипсы осушенные, залегающие выше депрессионной поверхности; ИГЭ16 – фосфогипсы водонасыщенные пластичные, залегающие ниже депрессионной поверхности (рисунок 3). Данная зависимость объясняется тем, в откосных частях гипсонакопителя

выше уровня фильтрационного потока намывной фосфогипс находится в воздушно-сухом состоянии, где в результате испарения воды происходит кристаллизация гипса, обуславливая формирование жестких связей, цементирующих частицы по контактам при сохранении первоначальной рыхлой пористой структуры. Ниже уровня воды фосфогипс постоянно находится в водонасыщенном состоянии. Минерализация технической воды в чаше накопителя превышает 5-7 г/л, что больше критической концентрации раствора (предела насыщения), при которой происходит кристаллизация гипса (2 г/л). Поэтому водонасыщенный фосфогипс со временем приобретает «псевдопластичную» кристаллизационно-цементационную структуру. Формирование новых кристаллов происходит внутри порового пространства осадка, что обуславливает меньшую пористость и более плотное сложение водонасыщенных фосфогипсов в сравнении с осушенными слоями.

Компрессионные опыты показали, что фосфогипс, как сухой, так и водонасыщенный, характеризуется как сильно сжимаемый грунт. Существенной разницы в величинах деформационных параметров обеих разновидностей не отмечается: с ростом уплотняющей нагрузки от 0,011 до 0,4 МПа модуль деформации ( $E_0$ ) неравномерно повышается от 0,3÷0,5 МПа до 1÷3 МПа [3].

Как известно методика проведения инженерно-геологических изысканий и исследований очень важна для достоверности определения физико-механических свойств грунтов. Однако в настоящее время нет соответствующих нормативных документов, регламентирующих порядок проведения данных исследований, для подобных техногенных пород, в связи с чем необходима разработка данных методик с учетом специфических свойств фосфогипса.

#### Список литературы

1. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М.: Издательство стандартов, 1985.
2. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) и микроагрегатного состава. – М.: Издательство стандартов, 2015.
3. Кудашов Е.С. Инженерно-геологическое обоснование устойчивости намывных гипсонакопителей [текст]: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.16 / Кудашов Егор Сергеевич; ФГБОУ ВПО Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» – СПб, 2015. – 210 с.
4. Мецержков Ю.Г., Федоров С.В. Промышленная переработка фосфогипса. – СПб: Стройиздат СПб, 2007. – 104 с.

Соколова Ю.Ю.<sup>1</sup>, Здобин Д.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «ЛенморНИИпроект, Санкт-Петербург, jsokolova@mail.ru,

<sup>2</sup>Охотинское общество грунтоведов, Санкт-Петербург, zdobin\_soil@mail.ru

## О НЕОБХОДИМОСТИ ГОСУДАРСТВЕННОГО СТАНДАРТА НА МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЛИПКОСТИ ГРУНТОВ

Из всего многообразия свойств грунтов и методов их определения только около 30 включены в правовое поле общефедеральных стандартов. Это, как правило, те свойства, от правильного определения которых зависит безопасное строительство и дальнейшая эксплуатация зданий и сооружений. Понятно, что не все свойства со временем войдут в корпус нормирования, но это все-таки одна из задач, к решению которой надо стремиться.

К числу таких свойств относится и липкость грунтов. Впервые определение липкости (адгезионной прилипаемости) как физического свойства грунта было введено в ГОСТ 25100-2011, в котором также была дана и частная инженерно-геологическая классификация грунтов по липкости. Согласно классификации, все грунты делятся на неприлипаемые, слабоприлипаемые, среднеприлипаемые и сильноприлипаемые. До этого указанное свойство находилось за областью нормирования, несмотря на необходимость его определения в ряде случаев при проведении инженерных изысканий.

Липкость грунтов является одним из факторов, определяющих условия работы ковшей, дорожных и почвообрабатывающих машин. Прилипание грунтов к поверхности землеройных и транспортных машин и механизмов вызывает снижение их производительности при выполнении вскрышных работ на карьерах, при отрывке котлованов и т. п. Это свойство также используется при оценке качества грунтов в дорожном строительстве.

В практике инженерных изысканий для строительства, выполняемых на суше, определение липкости грунтов оговаривается специальным техническим заданием. Для типового строительства этот показатель определяется довольно редко. Однако, совершенно иная картина складывается при проведении инженерно-геологических изысканий на акватории. В этом случае этот показатель является обязательным для принятия решений при проектировании новых и реконструкции существующих портов, причалов, прокладке подводных кабелей и трубопроводов, при планировании дноуглубительных работ на операционных акваториях морских портов, а также на фарватерах судоходных рек и каналов

Под липкостью (прилипаемостью) грунтов, в общем виде, понимают их способность удерживаться на поверхности твердых тел (дерево, металлы, резина и др.), количественно это усилие, необходимое для отрыва плоского штампа из заданного материала от грунта после их контакта в течение заданного времени при заданном давлении.

Количественной характеристикой липкости грунтов является усилие, требующееся для отрыва прилипшего предмета от грунта при различных его влажностях. Наиболее характерными показателями являются влажность начального прилипания, влажность максимального прилипания и максимальное значение липкости.

Первые представления о липкости почв и грунтов сформировались к концу 19-го – началу 20-го века (Р. Габерланд, В. Шоблер, А. Аттерберг, К. Терцаги и др.). Вышеназванные исследователи выдвинули два важных положения о том, что липкостью могут обладать лишь пластичные грунты и что липкость грунтов и почв следует рассматривать как функцию их сцепления.

Второй этап в изучении природы липкости грунтов (начиная с 30-х годов 20-го столетия до настоящего времени) ознаменовался серией исследовательских работ советских и зарубежных ученых, среди которых наиболее весомый вклад внесли Т. Каллей, Р. Браун, И. Рессель, Н.Н. Иванов, Н.А. Качинский, В.В. Охотин, М.И. Филатов, Н.А. Качинский, В.В. Охотин, М.И. Филатов, П.Ф. Мельников, Н.А. Кротова, Е.М. Сергеев, А.А. Свертилов и др. Был накоплен значительный материал, позволивший выдвинуть ряд предположений о природе липкости грунтов и нашедший наиболее полное отражение в гипотезе Е.М. Сергеева, учитывающей энергетическую неоднородность жидкой фазы влажных грунтов и объясняющей их липкость силами молекулярного притяжения.

Липкость наиболее характерна для связных (глинистых и лёссовых) грунтов. Она появляется при относительно небольших внешних нагрузках, при влажности, близкой к влажности максимальной молекулярной влагоемкости. При дальнейшем увеличении влажности липкость сильно возрастает и, достигнув максимального значения для данного грунта, довольно резко уменьшается.

Следовательно, липкость грунтов обуславливается силами взаимодействия, возникающими между молекулами связанной воды и частицами грунта, с одной стороны, и молекулами воды и поверхностью, соприкасающегося с грунтом предмета, с другой стороны.

Значение липкости и характерные значения влажности определяются гранулометрическим и минералогическим составом грунта, составом обменных катионов, состоянием грунта (его влажностью, плотностью, структурой и др.), материалом, из которого состоит прилипающий предмет, характером его поверхности, величиной нагрузки, прижимающей этот предмет к грунту, и рядом других факторов.

Зависимость липкости грунтов от их гранулометрического состава объясняется тем, что липкость различных гранулометрических фракций далеко неодинакова. Например, липкость частиц диаметром меньше 1 мк, выделенных из покровной глины, по данным П.Ф. Мельникова, превышала 400 Г/см<sup>2</sup>, в то время как липкость фракций 1—2, 2—3, 4—5 и 5—10 мк изменялась в сравнительно узких пределах (от 42 до 81 Г/см<sup>2</sup>).

Однако липкость глинистых грунтов зависит от содержания в них глинистых частиц лишь до определенного предела. Исследования В.В. Охотина показали, что величина липкости смеси из мелкопесчаной и глинистой фракций остается примерно постоянной при содержании глинистых частиц больше 50—60%. Это может говорить о том, что величина липкости тяжелых глин, по-видимому, в большей степени зависит от их минералогического состава, чем от степени дисперсности.

Существенное влияние на липкость грунтов оказывает минералогический состав, поскольку он, с одной стороны, определяет дисперсность грунтов, а с другой – влияет на образование в них связанной воды. При прочих равных условиях монтмориллоновые глины должны обладать большей липкостью по сравнению с гидрослюдистыми и каолиновыми глинами. Липкость глинистых грунтов сильно изменяется в зависимости от состава обменных катионов. При сочетании в грунтах различных минералов и обменных катионов и при неодинаковой их степени дисперсности липкость грунтов может быть различной. Грунты с ненарушенной структурой всегда характеризуются меньшей липкостью по сравнению с теми же грунтами, имеющими нарушенное сложение.

Липкость может также изменяться от состава жидкой компоненты-грунта. Содержание в воде коагулирующих веществ и веществ, которым свойственна положительная адсорбция, должно привести к уменьшению липкости; при отрицательной адсорбции липкость должна увеличиваться.

Большое влияние на величину липкости грунтов оказывает величина внешнего давления, действующего на прилипающий предмет.

Для определения липкости грунтов В.В. Охотиным был сконструирован прибор ПЛО-1, который с незначительной модификацией массово выпускается по настоящее время (прибор ПЛГ-Ф).

В последующие годы приборы для определения липкости и свои методики создали Н.А. Качинский и В.Я. Калачев. Все методики основаны на определении величины усилия, которое необходимо приложить для отрыва плоскости испытуемого грунта от поверхности заданного материала (дерево, металл, резина и др.). Различия заключаются в принципе измерения (дробь, гири, электромагнит) отрывающего усилия и соответствующих технических особенностях конструкции приборов (габариты, вес)

Для решения практических вопросов при инженерно-геологических изысканиях наиболее широко применяется прибор Охотина. Для научно-исследовательских работ используется прибор Качинского: он более точный, компактный, позволяет определять липкость грунтов как с нарушенной, так и с ненарушенной структурой и естественной влажностью.

Указанные приборы, действующие по одному принципу, конструктивно не совершенны и к настоящему времени морально устарели, и таким образом, в наши дни, наряду с вопросами усовершенствования нормативно-технической базы, стала актуальна разработка нового современного прибора, методики определения липкости с его помощью, его сертификация и тестирование с последующим запуском в серийное производство.

В настоящее время общепринятого стандарта и утвержденной методики определения липкости не существует. Из нормативно-технических документов стоит отметить «рекомендации по определению липкости грунтов в стационарных и полевых условиях» ПНИИС, 1983 г., которые регламентируют методику проведения испытаний и обработку результатов исследования липкости глинистых грунтов при помощи лабораторного (УИЛ-2) и полевого (ППЛ-1) приборов конструкции Калачева. Предполагалось, что данные приборы пойдут в массовое производство и будут доступны всем испытательным грунтовым лабораториям СССР. К сожалению, этого не произошло, и в настоящее время на всем пространстве СНГ в лабораториях для определения липкости используется модифицированный прибор липкости Охотина (ПЛО-1) – (ПЛГ-Ф), выпускаемый промышленным способом.

Безусловно, задачи, о которых говорилось выше, нельзя решить очень быстро, но чем раньше это будет сделано, тем скорее мы почувствуем практический эффект от реализации этих замыслов. Поэтому, как нам видится, разработка стандарта на метод определения липкости грунтов – еще одна задача при актуализации нормативно-технической базы инженерных изысканий для строительства в современных условиях.

## Список литературы

1. РД 31.74.09 – 96 «Нормы на морские и дноуглубительные работы», М., 1996 г., 176 стр.

Алешин А.С., Погребченко В.В., Никитин С.Н.

Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта РАН, Москва, asa@ifz.ru

# МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ СЕЙСМИЧЕСКОГО МИКРОРАЙОНИРОВАНИЯ

## Введение

Задачей сейсмического микрорайонирования (СМР) является, как известно, уточнение параметров сейсмического воздействия с учетом локальных (грунтовых, ландшафтных, гидрогеологических) условий. СМР с самого начала осознавалась как комплексная геолого-геофизическая дисциплина. Именно в таком духе были составлены нормы [ 1 ]. Но с момента их появления прошло немало времени. Изменилась аппаратура, изменился политический и экономический уклад страны, исчезли организации утверждающие результаты СМР. Все эти изменения внесли свои коррективы в практику СМР, которые ни в какой мере не учитываются существующими нормами. В данном докладе речь будет идти о новых реалиях в методике инженерных изысканий для целей СМР.

## 1. Инженерная геология

Значение инженерной геологии как основы в деле картирования сейсмической опасности осознавалось с самого начала этого направления инженерной сейсмологии. Однако вклад инженерно-геологических данных в комплексное изучение грунтовых особенностей и их оценка влияния на параметры сейсмических воздействий изменялся в процессе становления и развития сейсмического микрорайонирования. Прослеживание роли инженерной геологии в задачах сейсмического микрорайонирования (СМР) и определение современных тенденций в этом процессе является одной из тем настоящего сообщения.

Основная цель геологических и инженерно-геологических исследований для целей СМР на площадках строительства заключается в получении комплекса данных о геологическом строении и инженерно-геологических условиях территории, включая геоморфологическое и геолого-тектоническое строение, литологический состав геологического разреза до фундамента, его физическое состояние, физико-механические свойства грунтов, глубину залегания грунтовых вод и характеристику водонасыщения пород, наличие неблагоприятных экзогенных и эндогенных процессов и явлений и др., а также для прогнозной оценки возможного изменения инженерно-геологических условий при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Основными параметрами, определяющими сейсмический эффект на поверхности грунтового массива, по современным представлениям являются средние скорости поперечных волн и плотности в верхней части грунтового массива. При определении глубины изучения геологического разреза при СМР, принято исходить из данных работы [2], в которой мощность грунтовой толщи, существенная для целей СМР оценивается с двух позиций – статики и динамики. Под влиянием статической нагрузки происходят деформации грунтовой толщи. Зона распространения напряжений в глубину массива от нагрузки на его поверхности по теории упругости не ограничена. Однако на большой глубине напряжения от собственного веса грунта значительно превышают приращения напряжений от внешней нагрузки. В связи с этим глубину сжимаемого массива грунта ограничивают тем слоем, в котором дополнительные деформации грунта незначительны по сравнению с деформациями от литостатической нагрузки и потому могут не учитываться. Слой грунта этой мощности называют активной зоной основания, или сжимаемой толщиной основания. Согласно нормативному документу [3], за сжимаемую толщину основания принимается такая толщина, ниже которой дополнительное давление не превышает 20% природного литостатического давления.

В случае рыхлых грунтов, взяв  $\rho = 1.7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup> и ограничив мощность активной зоны условием 10% от литостатического давления, для сооружения массой 1000 т получим, что соответствующая глубина активной зоны примерно равна 14 м.

С точки зрения динамики, мощность активного слоя определяется соотношением частотных характеристик грунтовой толщи и сооружения. При этом наиболее неблагоприятный в сейсмическом отношении случай имеет место при пересечении полосы пропускания частотных характеристик грунтовой толщи с собственными частотами колебаний сооружения. Мощность  $H$  грунтов, существенно влияющих на колебания от землетрясений, определяется соотношением  $H = V_s/4f$ , где  $V_s$  – средняя скорость поперечных волн в грунтовой толще,  $f$  – значение низкочастотной части пересечения полос пропускания частотных характеристик грунтовой толщи и собственных колебаний сооружения. Пусть для примера низкочастотный срез частотной характеристики собственных колебаний сооружения (высотный дом, башня, дымовая труба и т.п.)  $f = 0.5$  Гц. Предположим, что средняя скорость в грунтах  $V_s = 300$  м/с. Тогда мощность грунтовой толщи, существенно влияющей на собственные колебания сооружения  $H = 300/4 \cdot 0,5 = 150$  м. Если частотные характеристики грунтовой толщи и собственных колебаний сооружения не пересекаются, это означает слабую связь этих процессов.

Для незаглубленных ОО, таких как железнодорожное полотно, трубопровод, шоссе и т.п., глубина активного слоя определяется частотной характеристикой грунтовой толщи. Если частотная характеристика имеет ярко выраженный резонансный характер, глубина активного слоя определяется левым низкочастотным срезом характеристики по выше приведенной формуле. Если частотная характеристика пологая без выраженных резонансов, можно ограничиться мощностью 10-метровой толщи.

С нашей точки зрения приведенный выше статический способ оценки мощности грунтовой толщи определяет глубину изучения свойств грунта основания или, другими словами, необходимую глубину бурения скважин на площадке изысканий под строительство и напрямую никак не связан с потребностями СМР.

Существует еще один способ оценки мощности грунта, существенного для целей СМР, основанный на данных работы [4], в которой исследовано уменьшение амплитуды сейсмических колебаний с глубиной. Это уменьшение описывается выражением:

$$\lg A(z, m) = \lg A(1) - 0,3 \lg z.$$

Отсюда при  $z = 10$  м амплитуда колебаний убывает в 2 раза. Для того чтобы уменьшить амплитуду еще в 2 раза следует поместить сейсмоприемник на глубину 100 м. Отсюда ясно, что увеличение мощности грунта с 10 м до 30 м мало эффективно с точки зрения оценки сейсмических свойств грунтового массива.

## 2. Инструментальные геофизические исследования

Согласно РСН-60-86 инструментальные исследования проводятся с целью: а) получения данных о сейсмичности изучаемой территории и 2) изучения сейсмических свойств грунтов.

Из последующего перечисления методик для решения первой объявленной цели могут быть использованы методы сейсмологической регистрации землетрясений и взрывов и метод регистрации микросейсм. Ни один из названных методов в настоящее время по разным причинам не достигает поставленной цели. Сейсмологическая регистрация малоэффективна в силу невысокой сейсмической активности большинства регионов России и потому не может – вопреки утверждению п.3.3 РСН-60-86 – быть признана основным в комплексе сейсмологических методов, применяемых при сейсмическом микрорайонировании. Об использовании взрывов в эпоху разгула терроризма говорить не приходится. Использование мощных сейсмических вибраторов, что рекламируется в ряде работ [5] в силу причин, приведенных в книге [6] также видится мало перспективным. Остается метод микросейсм, но он даже в нормах РСН-60-86 полезен при исследовании частотных особенностей грунтовых массивов. Некоторые перспективы видятся в использовании методики сравнительной регистрации разных компонент микросейсм. Но и здесь требуется тщательнейшая отстройка от влияния техногенных шумов. Но, пожалуй, наиболее слабым моментом в деле использования «сейсмологических» методов, при регистрации как землетрясений, так и микросейсм является то, что по существу при этом мы полностью игнорируем геологическое строение грунтовой толщи, в негласном предположении, что «среда автоматически отреагирует на особенности внутреннего строения, так что в конечном случае нам останется на финальном этапе интерпретации сопоставить данные геофизики и инженерной геологии и сделать необходимые выводы». Что-то вроде «черного ящика»: мы ничего не знаем о внутреннем строении среды и получаем сведения об этом, анализируя реакцию внутреннего строения на поступаемый на вход системы сигнал. Принципиальным недостатком такого способа изучения среды является невозможность отсеивания неизвестных свойств сигнала и реакции среды на него. Отчасти помогает статистика, но чаще всего удается сопоставить реакцию системы лишь с самыми грубыми особенностями строения среды.

Так что в итоге для получения данных о сейсмичности изучаемой территории лучше всего либо пользоваться готовыми картами ОСР-97, либо уточнять параметры сейсмических воздействий с использованием данных сеймотектоники в виде карт (схем) зон ВОЗ и методики расчетов, предложенной в работе Ф.Ф. Аптикаева [4].

Отмеченных недостатков лишен часто критикуемый метод сейсмических жесткостей (МСЖ). Принципиальным отличием МСЖ является изучение внутреннего строения грунтовой толщи. Оценка приращений балльности по методу сейсмических жесткостей производится на основе измерения скоростей распространения сейсмических волн и средних значений плотности в верхней толще изучаемого и эталонного грунта. В современном изводе МСЖ измеряются скорости распространения поперечных сейсмических волн. Измерять скорости продольных сейсмических волн не рекомендуется, поскольку на их величину существенное влияние оказывает обводненность. Значения плотностей, входящие в расчет сейсмических жесткостей, определяются по лабораторным данным. Использование для этих целей радиоизотопных измерений по санитарным соображениям исключено из арсенала технических средств.

Подчеркивая первостепенное значение для целей СМР измерение скоростей поперечных волн, необходимо отметить: а) в инженерно-геологических разрезах весьма распространены случаи инверсных слоев, когда скорости упругих волн убывают с глубиной; б) поскольку метод преломленных волн принципиально не работоспособен в этих условиях, его роль, как главного сейсморазведочного метода применительно к инженерной геологии снижается; в) напротив, существенно возрастает роль скважинных методов и сейсмки отраженных волн, для которых эти ограничения отсутствуют.

В рамках обсуждения МСЖ необходимо коснуться двух вопросов: о влиянии обводненности, и о «средних» грунтах.

## 3. О влиянии обводненности

Известно, что на сейсмическую интенсивность помимо литологии влияет также обводненность грунтов. На основании обобщения макросейсмических данных ряда сильных землетрясений страны С.В. Медведев вывел зависимость к приращениям сейсмической интенсивности в виде добавки к формуле сейсмической жесткости:

$$\Delta I_{УГВ} = K \cdot e^{-0,04h^2};$$

где  $h$  – уровень грунтовых вод,  $K$  – литологический коэффициент.

Появление добавки в расчетах приращений сейсмической интенсивности обусловлено тем, что при полном обводнении песчано-глинистых грунтов значения скорости продольных волн увеличиваются скачком от значений порядка 0,5 – 0,6 км/с до значений 1,5 – 1,6 км/с. Это значительно увеличивает сейсмическую жесткость, что автоматически сказывается на величине приращения сейсмической интенсивности – оно (приращение) уменьшается. Это уменьшение следовало компенсировать введением поправки «за воду».

В дальнейшем с внедрением в практику сейсморазведочных работ методики поперечных волн необходимость в использовании добавки отпала. Тем не менее в нормативных документах России до сих пор содержится требование учета поправки «за воду», несмотря на тип использованных волн – продольных или поперечных. При этом не обращалось внимание на явное противоречие в результатах сейсмического микрорайонирования (СМР), возникающее при выполнении расчетов с использованием обоих типов волн. На модельном примере показано, что поправка «за воду» компенсирует увеличение сейсмической жесткости по скоростям продольных волн грунтовой толщи, состоящей из композиции слоев с естественной влажностью и водонасыщенных.

В работе [7] были использованы результаты экспериментального изучения влияния обводненности на скорости поперечных волн, полученные на образцах глинистых грунтов как природного, так и искусственного сложения. Анализ поведения графика зависимости скорости поперечных волн  $V_s$  от влажности  $W$ , показал, что скорости поперечных волн плавно убывают с ростом влажности. Этот факт соответствует снижению сдвиговых характеристик грунта – сцепления  $c$  и угла внутреннего трения  $\varphi$ , определяемых по инженерно-геологическим лабораторным испытаниям.

#### 4. О «средних» грунтах

Ответ на вопрос о том, что такое «средний» грунт, казалось бы, простой и очевидный. Средние грунтовые условия (в таком виде это понятие используется в карте ОСР-97) согласно п. 3.50 СП 14.13330 – грунты II-ой категории по сейсмическим свойствам, как они описаны в таблице 1. Но тут же возникают возражения (или сомнения) относительно такого упрощенного ответа. Начать с того, что сама таблица 1 не является обязательной для сейсмического микрорайонирования. Действительно в п. 4.4 норматива СП 14.13330 рекомендует «сейсмичность площадки строительства объектов, использующих карту А, при отсутствии данных СМР допускается предварительно определять по таблице 1», что трудно истолковать иначе как существенное ограничение области действия таблицы 1. Во всяком случае это утверждение противоречит факту использования данных таблицы 1 при составлении карт ОСР-97 типа В и С.

Но даже если не обращать внимание на неточности норматива СП 14.13330 и допустить возможность использования таблицы 1, к «средним» грунтам относится такое разнообразие свойств дисперсных грунтов, что одно это исключает возможность ее практического использования для целей ОСР. Действительно, согласно новейшей редакции таблицы 1 в СП 14.13330 свойства грунтов II-ой категории характеризуются сейсмической жесткостью в диапазоне  $350 \div 1500$  (г/см<sup>3</sup> · м/с), что по формуле метода сейсмических жесткостей равно изменению приращения сейсмической интенсивности около 1 балла. Именно на такую величину «законным» образом могут изменяться «средние» грунты, к которым относится исходная сейсмическая интенсивность, определяемая картами ОСР. А это с необходимостью приводит к неизбежным ошибкам в назначении исходной сейсмической интенсивности по картам ОСР.

В качестве примера можно привести данные из книги [8], показывают, что значения сейсмической жесткости «средних грунтов» для ряда городов СССР значительно меняются – более чем в 1,5 раза, что в пересчете в приращение интенсивности составляет около 0,4 балла.

Видимо сознавая недопустимость такого «широкого» понимания «среднего» грунта, авторы норматива РСН-60-86 определили «средние» грунты параметрами  $V_s = 250 \div 350$  м/с;  $\rho = 1,7 \div 1,8$  г/см<sup>3</sup>. При этом без всяких оговорок эти грунты отнесены ко II-ой категории. Непонятно, как авторы РСН-60-86 не обратили внимание на то, что при таком определении резко сужается область грунтов II-ой категории. Ведь пользователь вправе считать, что то, что не относится ко II-ой категории с необходимостью должно относиться либо к I-ой, либо к III-ей категории. И при таком определении область II-ой категории характеризуется диапазоном сейсмических жесткостей  $(250 \cdot 1,7) \div (350 \cdot 1,8)$ , что согласно формуле сейсмических жесткостей, составляет около 0,3 балла, что недопустимо велико!

При этом понятия «средний» грунт и грунты II-ой категории оказываются не совпадающими: «средние» грунты составляют лишь небольшую часть грунтов II-ой категории. Казалось бы, что тут такого. Но ведь такой подход явно не разделяется авторами карт ОСР-97 и не только ими... А от того, что вкладывают авторы ОСР-97 в понятие «средний» грунт, зависит правильное использование карт ОСР!

Обратим внимание на еще одну неточность норматива РСН-60-86. Наряду с полезным сужением области параметров «средних» грунтов, авторы этого документа сочли необходимым утвердить в качестве одной из важнейших задач СМР «выбор эталонного (среднего) грунта», не пояснив при этом, как надо поступить, если экспериментально определенные параметры «среднего» грунта не совпадут с выше предписанными «суженными» параметрами.

Сказанного достаточно, чтобы, к сожалению, признать, что в нормативных документах отсутствуют точные и непротиворечивые определения «среднего» грунта и не указано, как это понятие связано с категориями грунта.

Выход из описанной ситуации видится в замене понятия «средний» грунт на «референтный» грунт, со строго фиксированными параметрами, в качестве которых для карт ОСР-97 можно использовать значения  $V_s = 300$  м/с,  $\rho = 1,8$  г/см<sup>3</sup>. Тем самым устраняется ошибка, обусловленная различием в параметрах грунтовой толщи, и вводится единообразие в значениях «референтного» грунта. Параметры «референтного» грунта при этом играют роль «нуля» шкалы сейсмических свойств грунтового массива аналогично тому, как это имеет место в шкале температур.

Есть еще одно обстоятельство, которое надо учитывать, определяя понятие «среднего» грунта. Здесь имеется ввиду зависимость параметров дисперсных грунтов II-ой категории и, в частности, «средних» грунтов в первую очередь скоростей поперечных волн от интенсивности сейсмических воздействий. Эта зависимость для дисперсных грунтов проявляется при интенсивностях свыше 5 баллов и деформаций свыше  $10^{-4}$ . В этом интервале заметно растут также остаточные деформации. На этот недостаток в использовании грунтов II-ой категории в качестве «референтного» грунта уже обращалось внимание в ли-

тературе [9]. В то же время для скальных грунтов этот феномен не имеет места (или по крайней мере незаметен). Понятно, что для целей СМР желательно избегать проявления отмеченных явлений. С этой целью в качестве «референтного» грунта можно выбрать более жесткий грунт, как это сделано в сейсмических нормах США и ряда других развитых стран. А при разработке новой версии карт ОСР рекомендуется перейти на «референтный» грунт с параметрами  $V_s = 700$  м/с,  $\rho = 2$  г/см<sup>3</sup>.

Изложенные принципы учета грунтовых условий имеют существенное значение не только для СМР, что очевидно, но также и для ОСР и ДСР, поскольку они определяют тот «уровень приведения», относительно которого учитываются конкретное локальное влияние свойств грунтового массива на параметры сейсмических колебаний.

Приведенные в тезисной форме общие принципы учета свойств грунтов в докладе дополнены и пояснены многочисленными примерами из практики СМР.

## 5. Расчетные методы

С момента появления норм РСН-60-86 значительное развитие получили расчетные методы СМР. Из множества компьютерных программ выделим некоторые.

**Программа Seisrisk III.** Программа Seisrisk III – одна из наиболее употребительных программ, используемых для расчетов параметров исходной сейсмичности в терминах макросейсмического балла либо величинах пикового ускорения грунта и спектральных характеристиках. В программе моделируется процесс генерации сейсмических событий при заданных особенностях сеймотектонической обстановки региона, модели его сеймотектонического режима, законах затухания. Различные модели указанных процессов задаются степенью вероятности, и суммарная вероятность каждого возможного варианта развития и особенностей процесса генерации и распространения сейсмических колебаний учитывается посредством логического дерева, описанного выше. Результат расчетов выдается в виде карты распределения параметров сейсмичности с заданной вероятностью возникновения (или невозникновения) события заданного уровня в течение некоторого заданного времени, согласованного со временем функционирования сооружения для которого рассчитывается степень сейсмической опасности.

**Программы расчетов спектральных характеристик.** В программе *NERA* [10] реакция слоистого грунтового массива рассчитывается для одномерного случая, т.е. предполагается, что из упругого полупространства на подошву слоев с заданными параметрами (скоростями  $V_s$ , мощностями, с нелинейной характеристикой и константами поглощения, зависящими от типа грунтов) нормально падает сейсмическая волна с заданными параметрами – акселерограммой. Входное воздействие задается в цифровом виде, шаг квантования по времени  $\Delta t = 0.02$  с, количество отсчетов 2048. Таким образом, общая длительность входной сейсмограммы составляет более 40 с. Заданное сейсмическое воздействие можно масштабировать по амплитуде. Скоростной разрез задается системой слоев, для каждого из которых задается значение мощности и скорости  $V_s$ . Для каждого слоя задается тип грунта – песчаный, глинистый или скальный. Соответственно с типом грунта в программе автоматически назначается специфическое поглощение и кривая нелинейной связи между напряжением и деформацией. На этом ввод исходных данных заканчивается. Вычислительная процедура программы *NERA* устроена на базе широко известной программы электронных таблиц *Excel*.

Выходные данные *NERA* включают выдачу следующих сведений: акселерограмма с учетом влияния грунтов, коэффициент спектрального усиления, спектр Фурье и спектр реакции при 5% затухании.

Следует особо отметить, что программа *NERA* имеется в свободном доступе в Интернете.

**Расчеты методом конечных элементов.** Для участков с криволинейными границами разработана программа расчетов сейсмических волновых полей методом конечных элементов [11]. С использованием этой программы исследовано влияние неоднородности рельефа на амплитуду упругой волны. Для соотношения длины волны к вертикальным размерам неоднородности  $\lambda/h = 0.5$  эти изменения не превышают 1.5, или при переводе в шкалу интенсивности  $I < 0.6$  балла.

## Заключение

На основании обобщения комплекса данных, полученных в результате бурения, лабораторного изучения образцов горных пород, данных полевых методов инженерно-геологических и геофизических исследований, геологической и инженерно-геологической съемки составляется модель слоисто-блокового строения геологической среды площадки СМР, в предположении, что каждый блок обладает квазиоднородной, т.е. усредненной для этого блока реакцией на сейсмические воздействия. Данная модель геологической среды служит основой для постановки специальных инструментальных геофизических исследований, а также для определения интенсивности колебаний по расчетным методикам.

Принципиально невозможно всю совокупность грунтов охарактеризовать, оставаясь в рамках понятий *категорий*. Более адекватное описание грунтового массива возможно с использованием понятия *модели*. Понятие модели позволяет отказаться от использования корреляционной методики. Модель позволяет физически адекватно оценить реальную ситуацию. При этом нет необходимости прибегать к корреляционной методике – каждый модельный случай уникален, т.е. обладает совокупностью присущих ему параметров, и потому представляется возможность произвести расчеты сейсмических воздействий на основе физических представлений, основанных на строгих количественных законах. Конечно, модельные представления могут отличаться от свойств реальной среды. Модель всегда некая идеализация реальности, бесконечно сложной и потому всегда отличной от любого приближения к ней. Но в рамках модели можно использовать точные соотношения и потому в любом случае результаты моделирования представляют существенный интерес.

Модельные физические представления коренным образом изменяют по существу все постулаты сейсмического районирования и тем более сейсмического микрорайонирования. Существенно, однако то, что при этом результаты СМР приобретают физически ясный смысл.

## Список литературы

1. Республиканские строительные нормы. РСН- 60-86, М., Стройиздат, 1986.
2. СНиП 2.02.01-83. Основания зданий и сооружений. СП 22.13330.2011.
3. Николаев А.В. Развитие методов сейсмического микрорайонирования // В кн.: Сергеевские чтения, вып.4. М.: ГЕОС, 2002.
4. Антикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. М., НГаука и Образование, 2012. 176 с.
5. Заиливили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов, населенных пунктов и больших строительных площадок. М, Наука, 2009.350 с.
6. Аleshин А.С. Сейсмическое микрорайонирование особо ответственных объектов. М. Светоч-Плюс, 2010. 300 с.
7. Аleshин А.С., Пиоро Е.В. О влиянии обводненности грунтов на результаты сейсмического микрорайонирования// Инженерные изыскания, 2015, № 5.
8. Сейсмическое микрорайонирование, М., Наука, 1977. 248 с.
9. Гусев А.А. О сейсмологической основе норм сейсмостойкого строительства в России // Физика Земли, 2002, №12, с.56-70.
10. Bardet, J.P., and Tobita, T. NERA – a computer program for nonlinear earthquake site Response analyses of layered soil deposits. Department of Civil Engineering, University of Southern California, April 2000, 44 p.
11. Аleshин А.С., Малышев Р.В. Исследование влияния рельефа на параметры сейсмического волнового поля методом конечных элементов// Вопросы инженерной сейсмологии, ИФЗРАН, М., 2012. – №3. – С. 41-48.

Ляровский С.П.<sup>1</sup>, Новицкая О.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ЗАО «Оргэнергострой», Санкт-Петербург, lsp12345@yandex.ru

<sup>2</sup>АО «Атомпроект», Санкт-Петербург, o\_novickaja@so2.spbaer.ru

## ОПЫТ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ МЕТОДОВ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ НА ПЛОЩАДКЕ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС «ПАКШ-2»

Площадка АЭС «Пакш-2» находится в Венгрии в округе Тольна, в 118 км к югу от г. Будапешта. С южной стороны к площадке примыкает территория АЭС «Пакш-1» с четырьмя действующими энергоблоками. Ближайшим поверхностным водоемом является река Дунай, протекающая в 1 км восточнее площадки.

Геологические условия площадки строительства АЭС «Пакш-2» характеризуются двухъярусным строением с субгоризонтальным залеганием слоев. Верхняя толща представлена четвертичными песками, нижняя – неогеновыми отложениями более глинистого состава. С поверхности залегают насыпные мелкие пески, мощностью 3 – 5 м, в основании которых на значительной территории встречены пойменные суглинки мощностью до первых метров. Ниже залегают голоценовые мелкие пески, которые на глубинах порядка 14 – 16 м сменяются плейстоценовыми песками более крупного грансостава (средними, крупными, гравелистыми). На большей части исследованной территории в подошве плейстоценовых песков картируется «базальный» слой, преимущественно гравийно-галечникового состава. Коренные неогеновые породы Паннония расположены в среднем на глубине 27 м и представлены переслаивающимися суглинками, супесями и песками в различных сочетаниях.

В процессе 30-летней эксплуатации АЭС «Пакш-1» были зафиксированы значительные, на отдельных участках – неравномерные, осадки, не стабилизировавшиеся по настоящее время. В связи с этим, предварительные проектные решения включали обустройство фундаментов на естественном основании, использование свай и предварительное улучшение несущих свойств грунтового массива. Таким образом, на первом этапе изысканий, для «посадки» генплана и выбора основного метода фондирования предстояло изучить тридцатиметровую толщу водонасыщенных песков, залегающих на неоднородном глинистом основании. Выполненные на основании архивных данных расчеты показали, что мощность сжимаемой толщи в условиях площадки может достигать 50 м.

Условия проведения изысканий и последующего строительства осложнялись неблагоприятными гидрогеологическими условиями площадки, выражающимися в наличии мощной обводненной песчаной тощи с высокими коэффициентами фильтрации, гидравлически связанной с гидротехническими каналами и Дунаем. Другой, не менее важной целью изысканий являлось геологическое обоснование разработки инженерно-технических мероприятий по ограничению водопритоков, обеспечению устойчивости бортов котлованов и обеспечению безопасных условий функционирования действующих блоков.

На участке основных сооружений АЭС инженерно-геологические изыскания велись поэтапно – от общего изучения и оценки площадки в целом к изучению участков размещения конкретных зданий и сооружений. На первом этапе выполнялось изучение площадки в целом в рамках инженерно-геологической съёмки масштаба 1:2000. В дальнейшем, на втором этапе будут выполнены изыскания, обеспечивающие данными процесс проектирования оснований и фундаментов конкретных зданий и сооружений.

Особенности методического подхода, реализованного на площадке АЭС «Пакш-2», заключались в выполнении опережающего статического зондирования (СРТу), которое являлось основным методом для предварительного расчленения разреза. Опережающее зондирование обеспечивало предварительную оценку литологического состава разреза, положения уровня грунтовых вод, изменчивости показателей прочностных и деформационных свойств грунтов по глубине, предварительное выделение инженерно-геологических элементов, возможность целенаправленного описания и опробования грунтов. В 100% случаев контрольное бурение и опробование подтвердило выделение трех основных границ разреза: между техногенными отложениями,

голоценовыми и плейстоценовыми песками и неогеновым основанием. Применение датчика порового давления при зондировании позволило также однозначно установить положение уровня грунтовых вод. Статическое зондирование позволило также составить представление о гораздо более существенной неоднородности

В условиях чередования песчаных и глинистых слоев очень хорошие результаты, полностью подтвердившие данные СРТu, были получены методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). Геофизическими методами, выполненными по сетке 50 на 50 м, было установлено, что поле электрических сопротивлений под реакторным отделением, начиная с кровли морских отложений формации Паннония, неоднородно. Примерно по диаметру контура реактора проходила граница грунтов с контрастными электрическими сопротивлениями, что позволяло предполагать возможность развития крена реакторного отделения в период эксплуатации АЭС. В связи с этим уже на стадии первого этапа работ в пятне ядерного острова пятого блока была выполнена детализация геофизических исследований методом ВЭЗ по сетке 25 на 25 м, что позволило рационально разместить точки глубокого статического зондирования, бурения и геотехнических испытаний.

Статическое зондирование проводилось зондом с дополнительным каналом измерения удельного электрического сопротивления грунтов, что повышало надёжность интерпретации данных и использовалось для согласования с данными электро-разведки. В ряде точек, попадающих в контур проектируемых энергоблоков, использовался зонд с сейсмодатчиком для определения скоростей распространения сейсмволн, предварительной оценки по этому параметру модуля деформации грунтов и согласования с данными МПВ.

Таким образом, при расчленении разреза на первом этапе был задействован обширный комплекс методов: статическое зондирование, пенетрационный каротаж, геофизическая разведка методами ВЭЗ и МПВ, буровые и лабораторные работы.

По результатам работ первого этапа были получены представления об инженерно-геологических условиях площадки (геологическом строении, гидрогеологических условиях, физико-механических свойствах грунтов) на глубину 35-70 м – в зоне, определяющей как несущую способность грунтов, так и оценку сейсмичности, а также опережающие данные о грунтовом основании и его характеристиках для проектируемых энергоблоков. Полученный на первом этапе объём геотехнической информации будет непосредственно и полностью использован при изысканиях второго этапа и не потребует дублирования.

Сокращение сроков инженерно-геологических изысканий было обеспечено сочетанием широкого применения экспресс-методов (глубокого статического зондирования тяжелой установкой), рациональной методики, параллельного выполнения всех видов работ – геофизических, зондировочных, буровых, геотехнических испытаний – с оперативной камеральной обработкой материалов при дистанционной передаче данных с площадки в офис.

**Ведяев А.Ю., Кудакеев Т.З., Рафат Г.**

ООО «Алькомп-Инжиниринг», Москва, andrey.vedyaev@gmail.com

## **ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ В ПРЕДЕЛАХ ФЛИШЕВЫХ ТОЛЩ КАК ОСНОВА ГЕОМОНИТОРИНГА ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ (НА ПРИМЕРЕ РАЙОНА КРАСНОЙ ПОЛЯНЫ)**

1. В ходе подготовки к Зимним Олимпийским играм 2014 года в районе Сочи была построена новая транспортная инфраструктура. Для сообщения между нижним и верхним (горным) кластерами олимпийских объектов служит комбинированная ж/д и автомобильная трасса длиной 48,2 км между г. Адлер и конечной станцией Альпика-Сервис. Трасса проходит вдоль русла реки Мзымта, глубоко врезанного в юго-западные отроги Кавказа. На значительных участках долина заметно сужена и трасса проложена либо на сваях, либо внутри выемок склонов. Кроме того, на шести участках трасса проходит в туннелях. В силу своего геоморфологического, географического и геологического положения трасса подвергается значительным георискам, преимущественно связанным с паводками, землетрясениями и склоновыми процессами.

2. На всем своем протяжении река Мзымта пересекает три структурно-фациальные зоны мегасвода Большого Кавказа: молассовую (терригенно-осадочную), шельфово-островодужную (известняковую) и геосинклинальную (флишоидную), которым отвечают прямые отрезки русла. На стыке зон русло реки испытывает резкий поворот.

3. Глубоководный флиш формировался в раннеюрское время на континентальном склоне из поступающего с суши обломочного материала. Для него характерно развитие аспидных глинистых сланцев и турбидитов, т.е. геологических пород, образующихся в результате действия турбулентных мутьевых потоков – своего рода подводных лавин. В ходе киммерийского коллизионного этапа в ранней и средней юре эти и без того неустойчивые глинистые породы были смяты в складки и надвинуты на южный край Скифской плиты, которая в процессе последующей альпийской складчатости была поднята в виде Главного Кавказского хребта.

4. Таким образом, склоны в подножии хребта Аибга на отметках ниже 1100 м представляют собой единый древний оползневой бассейн. По своему механизму оползни относятся к инсеквентным оползням скольжения, развивающимся с захватом нижнеюрских отложений. Значительным смещениям подвергнуты как четвертичный чехол делювиально-коллювиального шлейфа, так и блоки коренных пород. Базисом смещений служит переуглубленное днище долины реки Мзымта. Расчлененность

массива коренных пород локальными разломами, нередко обводненными, допускает как смещение в долину с перераспределением соседних блоков, так и смещение в вертикальном или наклонном направлении по механизму выклинивания или опускания. Именно такой геологической обстановкой характеризуется последний участок трассы, начиная от 5-го туннеля и до конечной станции Альпика-Сервис, включая вокзал с прилегающей к нему мощной подпорной стенкой, врезанную в Медвежий оползень железнодорожную галерею, селепропускные лотки ручья Тобиас и находящиеся вблизи него опоры эстакады, а также комплекс трамплинов вблизи 6-го туннеля в Красной Поляне.

5. В 2010-2011 гг. фирмой ООО «Алькомп-Европа» совместно с фирмой DMT GmbH & Co. KG (Германия) на склоне были проведены сейсморазведочные и электроразведочные работы с целью уточнения положения границы скальных и рыхлых пород и выявления вероятных поверхностей скольжения, на основании чего выбирались профили для расчета коэффициента запаса устойчивости и проектировались измерительные сети системы автоматизированного геомониторинга.

6. Геолого-геофизические и другие данные (геодезические, буровые, гидрогеологические, инклинометрические и т.д.) были введены в систему трёхмерного геологического моделирования PETREL 2012 фирмы Schlumberger Information Systems (Франция). Преимуществом этой системы является то, что она позволяет не просто интерполировать те или иные данные, но и реализовывать определенные геологические сценарии. Полученная в результате 3D модель участка позволяет выявить пространственные взаимоотношения различных структурных, инженерно-геологических и конструктивных элементов, например, положение поверхности скольжения относительно скального основания и относительно подпорных стенок, защищающих полотно железной дороги от сдвигающихся оползневых масс. В свою очередь, последующий детальный анализ неоднородности строения поверхности скального основания позволяет обнаружить врезанные в него трог, вдоль которых происходит перемещение оползневых масс, что открывает возможность прогнозирования геомеханического состояния склонов.

7. С помощью данной методики удалось установить, что стенки ж/д галереи, врезанной в Медвежий оползень в районе поселка Эстосадок, практически висят в оползневом теле, не достигая скального основания. В свою очередь, скальное основание непосредственно под галереей образует углубление (трог), существенно повышающее угрозу сдвижения всей конструкции.

8. С учетом этих данных была выбрана система профилей для расчета коэффициента запаса устойчивости, который для большинства из профилей оказался менее единицы даже для сухих пород. Для контроля наиболее опасных оползневых тел на участках смонтирована автоматизированная система геомониторинга, позволяющая отслеживать опасные проявления динамики оползневых тел, а также разрабатывать комплекс противооползневых мероприятий (дренажные системы, подпорные стенки и т.д.).

**Шешеня Н.Л.**

АО «ПНИИИС», Москва, sheshenya@mail.ru

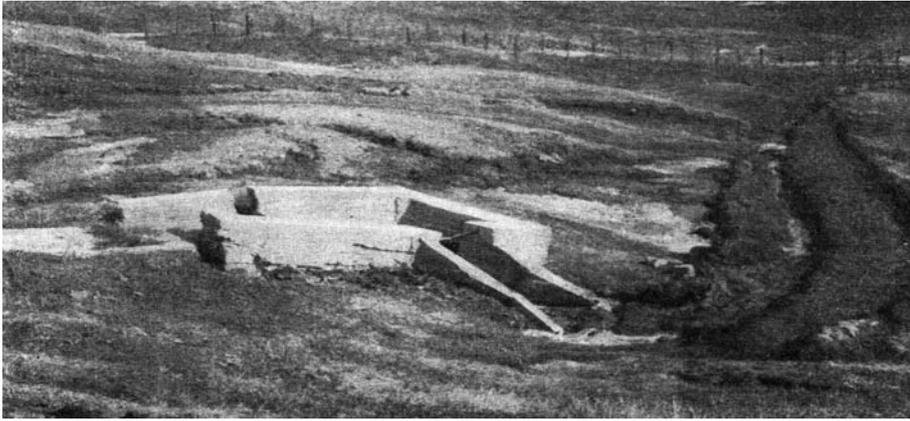
## **КРИТЕРИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ОБОСНОВАНИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ ОПАСНЫХ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ**

Инженерная защита от оползневых процессов начала применяться с давних времен. До 1914 г. для борьбы с оползнями и обвалами в городах черноморского побережья России и для защиты земляного полотна на участке Туапсе-Адлер было построено более 18 км подпорно-волноотбойных стен прямолинейного профиля. Мероприятия инженерной защиты должны быть обоснованы результатами инженерно-геологических изысканий под конкретный тип строящихся объектов. Не учет этого требования неизбежно вызовет активизацию типичных для территории опасных процессов или их новообразование.

За 40 дореволюционных лет (до 1917 г.) горномелиоративными работами черноморские склоны (от Адлера до Туапсе) были обработаны всего лишь на площади около 3800 га с лесонасаждениями. В 10-20 годах XX века на ответственных городских участках (например, в г. Ульяновске после оползня 1915 г.) для борьбы с оползнями строились контрфорсы. Они были эффективными удерживающими сооружениями только для оползней незначительных объемов. В 30-40-е годы XX века для защиты от склоновых процессов началось строительство комплексных защитных сооружений. В их состав входили: устройства для отвода поверхностных и подземных вод; удерживающие, улавливающие (отводящие) и гидротехнические сооружения; планировка склонов и лесомелиорация.

В качестве отвода поверхностных вод для защиты от оползней использовались лотки (мощные камнем, бетонные, сборные железобетонные и деревянные), неукрепленные каналы, кюветы. В эти годы основными сооружениями для отвода поверхностных вод были деревянные лотки на сваях, которые, как правило, разрушались после каждого оползня. Они были неэффективными и в случаях, когда не разрушались оползнем. Деревянные противооползневые сооружения редко давали положительный эффект. Несколько лучшие результаты были при использовании деревянных

треугольных труб из пластин. Так, например, построенные в 1928 г. в городе Ульяновске такие трубы, обсыпанные битым кирпичом, пропускали воду ещё в 1957 г. Применяемые в эти годы конструкции лотков из железобетонных коробов или бетонных плит с перепадами оказались неприемлемыми на активных оползнях (рис. 1).



**Рис. 1. Разрушенный бетонный лоток (фото И.С. Рогозина, 1958 г., г. Ульяновск)**

Для перехвата потока грунтовых вод в довоенные годы использовались дренажные прорезы, канавы, штольни. Их назначение – осушение пород оползнеопасных частей склонов, снижение поверхностного и гидродинамического давления, что приводит к повышению устойчивости склонов. Так, например, построенные в 1927 г. и в 1939-1940 гг. две штольни

на участках Дагомыс-Мамайка и Приморский парк (Б. Сочи), работают до настоящего времени. Однако эффективность применяемых дренажей, в равной мере, как и в других городах России (Нижний Новгород, Омск, Волгоград, Ульяновск, Саранск, Владимир, Суздаль и др.), не всегда достаточна из-за неверно выбранной конструкции дренажа или неправильной глубины его заложения. Поэтому, часто эти сооружения дренируют водоносные горизонты ниже поверхности смещения оползня или они кольматируются (часто железистыми, сульфатными или карбонатными соединениями), образуя так называемые «водяные мешки» и ухудшая устойчивость склонов.

Удерживающие сооружения – подпорные стены, шпоны оказались эффективными только для небольших по объему оползней блокового типа. На эрозионно-, абразионно-подмываемых участках склонов подпорные стены играли роль волноотбойных подпорных сооружений. Для оползней в сотни тысяч куб.м. и более и оползней течения данные сооружения оказались неэффективными. Кроме того, шпоны могут применяться ограничено – на оползнях с малой мощностью смещающихся пород (в среднем до 4,0 м) и находящихся в стабильном состоянии. Их следует считать дополнительным мероприятием в общем комплексе противооползневой защиты.

Планировка склонов в виде подрезок оползневых склонов в довоенные годы чаще применялась как аварийное мероприятие при строительстве железных дорог. Других мероприятий, повышающих устойчивость склонов, здесь не проводилось. Поэтому наблюдались постоянные смещения пород на полотне дороги, объемами в несколько тысяч куб.м., что требовало регулярной уборки оползневых масс. В качестве примера можно назвать железную дорогу на участке Туапсе – Адлер. Достаточно распространенным в городах было террасирование оползневых склонов. При возможности их осуществления (отсутствие в основании склонов капитальных зданий и сооружений или невозможности их переноса) это мероприятие играет положительную роль. В случаях, когда рельеф склона не позволял существенно уменьшить его средний угол, возводились подпорные стенки с устройством дренажа (для перехвата грунтовых вод выше подпорной стенки). Однако эти дренажи часто кольматировались железистыми, сульфатными или карбонатными соединениями.

Состав комплекса защитных сооружений и мероприятий зависит от типов склоновых процессов, механизма их проявления, местных инженерно-геологических условий и основных факторов образования и активизации процессов [5]. Анализ эксплуатируемых защитных сооружений в городах России позволяет констатировать следующее:

- большинство запроектированных и существующих комплексных систем инженерной защиты от склоновых процессов не учитывают механизм смещения (оползни незатухающей ползучести или выдавливания, оползни вязкопластического течения, оползни течения, оползни блокового типа), поэтому применяемые мероприятия инженерной защиты не всегда являются научно обоснованными;
- на основании многолетнего опыта борьбы со склоновыми процессами в настоящее время имеются достаточно эффективные комплексы защитных мероприятий. Они учитывают сложность природно-техногенной обстановки, многообразие факторов развития склоновых процессов и механизм их проявления;
- встречающиеся в настоящее время случаи недостаточной эффективности выполненных мероприятий защиты часто обусловлены незавершенностью запроектированного комплекса (ошибки проектировщиков), плохим качеством работ или недостоверными данными инженерных изысканий (ошибки изыскателей). Поэтому деформации примерно 65% зданий и сооружений и появление более 70% опасных оползневых процессов в пределах территорий со сложными инженерно-геологическими условиями возникают по двум основным причинам:
- ошибочные заключения изыскателей;
- ошибочные проектные разработки таких мероприятий инженерной защиты, которые бы предупреждали неравномерные осадки зданий и сооружений, а не являлись бы причинами активизации, например, снижения несущих свойств пород их оснований или появления опасных процессов.

Аварийные разрушения зданий и сооружений от оползней могут происходить даже в случаях, когда они построены на склонах крутизной  $\geq 3^0$ , на участках, где их освоение ведется без анализа взаимодействия геологических, гидрогеологических, гидрологических условий и видов деятельности человека (рис. 2).

Для устранения этих причин при разработке проектной документации по инженерной защите территории от оползней необходимо учитывать следующие материалы инженерно-геологических изысканий, требования о наличии которых отсутствуют в существующих нормативных документах.



**Рис. 2. Активизация оползня незатухающей ползучести (выдавливания) в верхнеэоценовых глинах киевской свиты, разрушающий дорогу и здание; средняя крутизна склонов 3°**

1. Результаты анализа геоморфологических особенностей осваиваемой территории и воссоздания её исходной палеогеодинамической обстановки в плиоцен-четвертичное время (Pg<sub>3</sub>-Q<sub>4</sub>). Эти данные обязательно должны присутствовать в материалах инженерно-геологических изысканий. Особое внимание уделяется эрозионным склонам долин рек и оврагов (балок), многие из которых в современную эпоху являются

погребенными дисперсными грунтами. В материалах изысканий на такие погребенные древние эрозионные формы ссылки отсутствуют, то есть они не выявлены. В результате, построенные на указанных участках здания и сооружения, неизбежно испытывают аварийные разрушения. Примеров таких разрушений и ошибок изыскателей довольно много.

Например, *аварийное состояние 7-этажного дома* в г. Ростов-на-Дону [5]. При изысканиях под строительство в разрезе площадки были вскрыты непросадочные лессовидные суглинки, глины твердой консистенции. Грунтовые воды до глубины 20 м не встречены. Участок представлял собой ровную спланированную территорию. После сдачи дома в эксплуатацию начались деформации фундаментов и несущих конструкций дома. Несмотря на неоднократно проводившиеся работы по укреплению грунтов оснований и конструкций дома (силикатизация грунтов, устройство металлических поясов и т.п.), эти деформации не прекращались. Изысканиями по выявлению причин деформаций здания установлено, что дворовый фасад оказался расположенным на месте оврага, засыпанного верхнечетвертичными лёссовидными суглинками мощностью 10,3 м. В зоне оползневого смещения суглинки текучей консистенции с углом внутреннего трения  $\varphi = 4-6^\circ$ , сцеплением  $C = 0,014$  МПа. Борты оврага имели крутизну  $40^\circ$ , а его тальвег  $- 8^\circ$ . Утечки из водонесущих коммуникаций и суффозионное разуплотнение грунтов явились причинами медленного сползания грунтов по тальвегу оврага к уровню вреза другого оврага, более низкого порядка, расположенного рядом.

Аналогичная ситуация произошла в г. Екатеринбурге, где 2 здания были разрушены по углам (рис. 3) в зоне погребенного оврага.



**Рис. 3. Деформации зданий имеют чёткую локализацию по их углам**

Критериями для обоснования необходимости инженерной защиты от опасных проявлений склоновых гравитационных процессов при изысканиях в пределах территорий с развитием эрозионных форм рельефа являются:

а) профили, высота, крутизна склонов и бортов оврагов и строительных выемок. Они могут иметь ступенчато-выпуклые (рис. 4), ступенчато-вогнуто-выпуклые (вогнутость вверху, выпуклость внизу), ступенчато-выпукло-

вогнутое (вогнутость внизу), прямолинейные и вогнутые профили; б) дрена-руемые слонами подземные воды в виде мочажин, родников (нисходящих и восходящих), эпизодические (сезонные) или постоянно действующие ручьи по тальвегам оврагов, временные ручьи и заболачивание.

Автором на большом фактическом материале было установлено и эмпирически подтверждено [7], что если склоны, борты оврагов вскрывают дисперсные грунты, то отмеченные виды профилей эрозионных форм свидетельствуют о том, что склоны (борта оврагов, строительных выемок) находятся или в состоянии динамического равновесия (при их высоте до  $\leq 7$  м и крутизне  $\leq 8^\circ$ ), или в неустойчивом состоянии (при высоте  $> 7$  м и крутизне  $> 8^\circ$ ).



**Рис. 4. Аварийное состояние 5-этажных домов в г. Калуге, вызванное активизацией оползней на бортах крупного оврага с выпукло-ступенчатым профилем**

Склоны прямолинейного профиля в сложившихся природно-техногенных условиях относятся к категории склонов динамического равновесия, которое может перейти в неустойчивое состояние при строительном их освоении без выполнения соответствующей

щей инженерной подготовки территории. Склоны вогнутого в плане профиля с опиранием на поймы являются относительно устойчивыми.

2. Сведения о минеральном составе пород в пределах осваиваемой территории. При этом необходимо обращать внимание на однотипность в разрезе литолого-генетических типов пород, одинаково измененных процессами выветривания, разгрузки и различных техногенных нагрузок. Если в зоне взаимодействия зданий и сооружений будут находиться массивы пород, сложенные дисперсными грунтами, следует руководствоваться следующими основными эмпирически подтвержденными закономерностями.

2.1. Глинистые грунты *Na* – монтмориллонитового состава твердой консистенции в природных условиях при техногенном взаимодействии с водой сильно набухают (давление набухания может колебаться в пределах  $0,48 \div 2,5$  МПа) и приобретают свойство незатухающей ползучести. На склонах, откосах и бортах оврагов высотой  $\geq 7$  м и крутизной  $\geq 3^0$  образуются оползни выдавливания (незатухающей ползучести).

Основным мероприятием защиты будет исключение условий обводнения грунтов до достижения ими влажности набухания. Если грунты приобрели эту влажность, тогда в качестве защитных мероприятий могут быть удерживающие сооружения – контрбанкеты. При отсутствии свободных площадей для укладки контрбанкета или планировки (террасирования) склонов применяются напряжённые подпорные стенки или буронабивные сваи с напряжением 10% от величины оползневого давления с их заглублением ниже поверхности смещения на 5,0 м [5].

При наличии грунтов *Na* – монтмориллонитового состава в основаниях зданий, которые в природных условиях имеют твердую консистенцию и высокие значения механических свойств, как это было в г. Невинномысск Ставропольского края. В основании плиты залегали глины указанного минерального состава, которые имели твердую консистенцию. Поэтому при строительстве дома необходимо было бы принять меры по недопущению их техногенного увлажнения до влажности набухания. Поскольку, никаких мероприятий защиты грунтов от набухания не было принято, высотное здание на плитном фундаменте было разрушено (рис. 5). Для защиты этого здания от разрушения следовало бы выполнить следующие мероприятия инженерной защиты от его разрушения [1].

В основании плиты следовало бы уложить геотекстильное полотно (ГП) плотностью  $150 \text{ г/м}^2$  и закрепить его анкерами по краям и в местах соединения полотен с шагом 2,5-5,0 м. Геотекстиль является разделяющей и дренирующей прослойкой. Он изготовлен из полиэфира – это долговечный и химически нейтральный материал, экологически безопасен, можно работать с ним зимой до температуры минус  $10^0\text{C}$ . После этого этапа выполнить укладку георешётки

ГР-5 и анкеровать её с шагом 2,5 м (анкер должен иметь П-образную форму длиной не менее 40 см, диаметром  $d=5-7$  мм. Затем заполнить ячейки решётки слоем песка на 5см выше решётки и произвести уплотнение виброплитой. Георешётка–армирующий материал. Совместно с песком она работает как монолитная противофильтрационная конструкция, воспринимает и распределяет нагрузку. Георешётка изготовлена из полиэтилена, который химически нейтрален и долговечен.



Рис. 5. Разрушение здания с плитным типом фундамента (г. Невинномысск)

2.2. В глинистых грунтах монтмориллонит-гидро-слиудистого состава твердой консистенции в природных условиях при взаимодействии с водой, содержащей более 3% примесей пирита, гипса или хорошо разложившегося органического вещества, развиваются деформации вязкопластического течения. На склонах и откосах, вскрывающих данные грунты, крутизной  $\geq 6^0$  и высотой  $\geq 7$  м образуются оползни вязкопластического течения;

глинистые грунты любого минерального состава твердой консистенции в природных условиях, содержащие более 3% примесей гипса, или пирита, или органического вещества при взаимодействии с водой (или со щелочными и кислыми водами) приобретают свойство текучести. На склонах, откосах и бортах оврагов высотой  $\geq 7$  м и крутизной  $\geq 4^0$  образуются оползни вязко-пластического течения.

Причиной разрушения дороги на склонах г. Аигба при строительстве олимпийских объектов в 2012 г. стали оползни вязкопластического течения, для защиты от которых были построены подпорные стенки. Грунты оползня обтекали сваи подпорной стенки, не разрушив их (рис.6). Это мероприятие явилось грубой ошибкой проектировщиков.

Для предотвращения оползней вязкопластического течения также необходимо исключать условия обводнения грунтов, слагающих склоны в зоне сильного выветривания. В противном случае в верхней части склонов выполняется полукольцевой дренаж или с помощью скважин, или в виде верховой нагорной канавы для перехвата подземных и поверхностных вод и их сброса за пределы склонов. По периметру канавы также следовало бы уложить геокомпозитный дренажный мат «Славрос». Для укрепления слабых грунтов следовало бы армировать их с целью повышения их несущих свойств. Это комбинирование грунтов и армирующих элементов посредством устройства в грунтовой среде вертикальных стержневых элементов. Армирующие элементы при этом меняют условия деформирования грунтов основания зон оползневых смещений, взаимодействуя с грунтом по боковой поверхности и по торцам. Для этих целей использовался метод «Геокомпозит», который позволяет улучшить физико-механические свойства грунтов и предотвратить развитие опасных оползневых процессов в них.



**Рис. 6. Оползень вязкопластического течения, разрушивший дорогу и нижерасположенные здания, несмотря на защитную стенку из куста буронабивных свай, в которой отсутствуют следы разрушений. Грунты оползня обтекали сваи**

Следует помнить, что если воды имеют резкую анизотропию в содержании карбонатных сульфатных и железистых соединений, то при их выходе на поверхность или в однослойные дренажи эти соединения выпадают в осадок в виде геля, который коагулирует породы в приповерхностных частях массивов (или дрен). Поэтому должны быть запроектированы дренажи, работающие по типу «обратного фильтра».

В противном случае простой однослойный дренаж вместо мероприятия защиты превратится в фактор активизации оползней.

2.3. Сыпучие слюдистые разномерные пески являются суффозионно-неустойчивыми, легко размываются поверхностными водами с образованием на склонах, откосах строительных выемок, бортах оврагов высотой  $\geq 7$  м и крутизной  $\geq 14^\circ$  оползней течения. Для этих склонов также будут не эффективными любые типы свай.

2.4. Дисперсные грунты с большой пористостью, со слабыми структурными связями, малой влажностью и малой гидрофильностью, с малым содержанием глинистых частиц, но с высоким содержанием крупной пыли при техногенном взаимодействии с водой легко размываются, являются суффозионно неустойчивыми, обладают суффозионно-просадочными свойствами; на склонах и откосах строительных выемок, как правило, образуются оползни течения или разжижения;

2.5. Сыпучие слюдистые разномерные пески являются суффозионно-неустойчивыми, легко размываются поверхностными водами с образованием на склонах, откосах строительных выемок, бортах оврагов высотой  $\geq 7$  м и крутизной  $\geq 14^\circ$  оползней течения (рис. 7).



**Рис. 7. 17 февраля 2006 г. филиппинская деревня из 350 домов была погребена под 10 м толщиной оползня течения [3]**

Для защиты грунтов по закономерностям 2.3, 2.4, 2.5 от данных процессов рекомендуются такие три альтернативных метода [2]:

• закрепление грунтов основания зданий с помощью противосуффозионного раствора. Для этих целей используется закрепляющий состав на этилово-битумной основе, который позволяет исключить условия суффозионного выноса мелких и пылеватых фракций из песчаных и песчано-суглинистых грунтов. Этот состав предназначен для создания водостойких оболочек на частичках грунтов и

предотвращения их от растворения и суффозии. Оптимальным является такой состав раствора: лак «этиноль» – 88-90%, ксилол – 7-8%, битум марки БН-1V -3-4%, адгезив (5%-ый раствор едкого Na в этиловом спирту) – 0,02-0,1%;

- инъекции тонкодисперсного вяжущего материала (метод «Nikro-dur»). Он производится в Германии путем различного измельчения портландцементов и введения специальных добавок. Это на 100% минеральное вяжущее вещество имеет плавно изменяющийся гранулометрический состав (весовой процент  $d_{95} < 6-24$ ) и огромную удельную поверхность (8000–24000  $\text{см}^2/\text{г}$ ). По своим свойствам он сульфатостойкий с замедленным схватыванием суспензии (1-2% в течение часа) и небольшим ростом размеров частиц на начальном этапе, незначительной усадкой ( $< 0,5\%$ ). Удобный режим схватывания и особенности роста частиц грунтов при низких давлениях (до 3-5 атм.), больший, чем в других бездисперсных составах радиус распространения, позволяет автору рекомендовать его для применения. Он экономичнее других материалов;
- биодренаж: способность ряда растений поглощать корневой системой влагу непосредственно из грунтовых вод или их капиллярной каймы. Например, одно ивовое дерево дренирует столько же влаги, сколько дренирует 1 п. м горизонтальной дрены. Лесные ивовые полосы способны понизить уровень грунтовых вод на 1,0-1,5 м и оказывать дренирующее влияние на расстояние до 200 м.

Следует обращать также внимание на такие особенности некоторых типов грунтов:

- при взаимодействии с поверхностными водами моренных суглинков днепровского оледенения и повышении их естественной влажности на 10-20% в их массиве формируются зоны низких значений показателей сдвига (угол внутреннего трения снижается до 80 против расчетного 160, сцепление – до 0,006 МПа против расчетного 0,25 МПа); на склонах эти

зоны являются наиболее вероятными поверхностями смещения пакетов и слоев грунтов с образованием оползней блокового типа (рис. 8);

- супеси твердой консистенции в природных условиях при дополнительном техногенном увеличении их естественной влажности всего на 4–6% приобретают текучую консистенцию, способны вытекать из-под фундаментов зданий, со склонов и откосов с образованием оползней вязкопластического течения при углах внутреннего трения  $60$ , сцеплении –  $0,002$  МПа;
- разнородные пылеватые пески, супесчано-суглинистые грунты являются суффозионно-неустойчивыми (с выносом мелких и пылеватых фракций на участки разгрузки подземных вод на поверхности склонов) при градиентах их потока  $\geq 0,01$  и скорости  $\geq 1$  м/сутки. Такие градиенты на склонах возникают в периоды водообильных дождей или сбросов техногенных поверхностных вод, аварийных утечек воды из водонесущих коммуникаций и т.п. Следствием этого процесса в данных грунтах является формирование зон разуплотнения мощностью около 2,0-х метров и, как результат, дополнительные осадки грунтов основания здания.

Ярким примером ошибок проектировщиков можно назвать строительство филиала сбербанка в г. Калуга, запроектированного высотой в 5 этажей с одноуровневой подземной автостоянкой под всей площадью его надземной части. Конструктивная схема здания – каркасно-связевая. Все конструкции из монолитного железобетона. Оно опирается на монолитную железобетонную плиту толщиной 800 мм. В отчете по инженерно-геологическим изысканиям было отмечено, что для площадки застройки характерны такие опасные процессы:

- техногенное подтопление с залеганием грунтовых вод на глубине 2,0 м;
- активизация суффозионного выноса мелких и пылеватых фракций из песчано-супесчано-суглинистых грунтов при техногенном изменении градиента грунтовых вод в этих грунтах более 0,01, сопровождаемая разуплотнением грунтов в основаниях зданий и сооружений с образованием на поверхности равнины суффозионных воронок. Поэтому, для сохранения гидрогеологических условий в качестве недопущения развития указанных процессов, было рекомендовано со стороны потока грунтовых вод в строящемся здании устроить стенку в грунте.



**Рис. 8. Оползень блокового типа, угрожающий разрушению 16-этажного дома в г. Железнодорожном**

Проектировщики проигнорировали эти рекомендации и выполнили следующие мероприятия. Ограждение котлована проектом было предусмотрено в виде шпунта из труб-стоек с заполнением их полостей местным грунтом. В связи с близким к поверхности залеганием УГВ, работы по устройству подземной части здания намечалось выполнять под защитой строительного водопонижения до 6,0 м. Защита от грунтовых вод подземного пространства здания предусмотрена в виде 3<sup>х</sup> слоев гидростеклоизола по бетонной подготовке под фундаментной плитой и по внешней поверхности наружных стен

подземной части здания, образующие замкнутую систему гидроизоляции по внешнему контуру подземного пространства. Для сбора и отвода каптированных вод был предусмотрен горизонтальный кольцевой дренаж выше заложения фундаментной плиты, состоящий из дренажной трубы диаметром 150 мм с 2-х слойной фракционной обсыпкой и пристенного дренажа с засыпкой траншеи до поверхности земли песком, либо местным грунтом.



**Рис. 9. Аварийный выброс грязевого потока в строительный котлован**

Легко видеть, что запроектированные и выполненные мероприятия защиты спровоцировали активизацию суффозионного разуплотнения грунтов оснований зданий, расположенных в зоне влияния этой защиты и кольматацию 2-х слойного дренажа. Поскольку из первоначального градиента грунтовых вод близких к нулю, после вскрытия котлована этот градиент возрос до нескольких единиц.

Это увеличение градиента и образование зон кольматации (водяных мешков) вызвало прорывы грязевых потоков воды из зон кольматации («водяных мешков»). В результате, 4 декабря 2006 г. в непосредственной близости к площадке строительства произошел аварийный выброс подземных вод, что спровоцировало суффозионное разуплотнение песчаных грунтов и привело к провалу асфальтового покрытия вдоль улицы и выбросу воды в котлован. За 4-5 часов котлован был заполнен водой до уровня, соответствующего положению слоя мелких песков (рис. 9).

Разработку проектной документации защитных мероприятий от оползневых смещений надлежит выполнять также с учётом данных, изложенных в [3,4,5,6,7]:

- количества горизонтов грунтовых и подземных вод; абс. отм. их вскрытия; условий для поверхностного стока дренируемых вод; о водообильности, напорах, уклонах поверхностей пьезометрических уровней, выщелачивающей агрессивности к породам, их примесям, цементу и металлам;
- об участках повышенного содержания в водах сульфатных соединений и свободной углекислоты (наряду с повышенным содержанием сухого остатка);
- сведений о климатических условиях осваиваемых территорий. При этом собираются данные о: количестве одновременно выпадающих осадков и их продолжительности; о дождях в 50 мм и более за 12 часов и менее (ливневые – 30 мм и более за 1 час); резких изменениях температуры (на 5°C и более); площадях водосборного бассейна и распределении жидких осадков на инфильтрацию в массивы грунтов и поверхностный сток.



**Рис. 10. Активизация оползней в периоды затяжных водообильных дождей с поверхностью отрыва непосредственно у стены котельной**

Аномальные ливневые дожди, как это было 2.08.2003 г. в г. Калуге, с интенсивностью более 30 мм/час, вызвали сильные ливневые потоки и резкий подъем уровня воды в притоках р. Ока. В результате получили значительные повреждения 3 дамбы, размывает участок автодороги «Калуга-Медынь», разрушены 25 жилых частных дома. В зоне чрезвычайной ситуации оказались более 17,1 тыс. человек. На рис. 10 дан пример активизации оползня в г. Калуге с аварийными деформациями котельной.

#### Список литературы

1. Геосинтетические материалы Славрос. Группа компаний «Славрос». Буклет, 2008.
2. Шешеня Н.Л. Мероприятия инженерной защиты для безопасной эксплуатации храма и дома причта Михаило-Архангельской церкви (д. Путилково Красногорского района). Сб. тезисов 4-го Международного научно-практического Симпозиума 8-10 октября 2009 г., Сергиев Посад, 2009, с. 34-36.
3. Шешеня Н.Л. Требования к комплексным инженерным изысканиям для обоснования проектов защитных мероприятий на участках развития склоновых гравитационных процессов. Журнал «Инженерная геология», май 2006, ОАО «ПНИИИС», с. 5-14.
4. Шешеня Н.Л. Рекомендации по инженерно-геологической типизации оползневых склонов применительно к задачам оценки устойчивости и инженерной защиты. М. Стройиздат, 1984, 80с.
5. Шешеня Н.Л. Инженерно-геологическое обоснование мероприятий инженерной защиты зданий и сооружений от опасных процессов. Журнал «ПГС», № 11, 2007, с. 7-9.
6. Шешеня Н.Л. Основные требования к инженерно-геологическим изысканиям для обоснования мероприятий инженерной защиты от опасных проявлений оползней. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. Выпуск 10(29), 2008, с.31-36.
7. Шешеня Н.Л. Основные критерии обоснования необходимости защиты зданий от проявлений опасных геологических процессов. Тр. Международной конференции по геотехнике. Развитие городов и геотехническое строительство. Санкт-Петербург, 16-19 июня, 2008, с. 459-463.

Делемень И.Ф.<sup>1,2</sup>, Константинова Т.Г.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, delemen@kscnet.ru

<sup>2</sup> Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга, Петропавловск-Камчатский

<sup>3</sup> Камчатский филиал Геофизической службы РАН, Петропавловск-Камчатский, lrg334@emsd.ru

## ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ЗДАНИЙ В СВЯЗИ С РАЗЖИЖЕНИЕМ ГРУНТОВ В ДОЛИНЕ РУЧЬЯ ПОГРАНИЧНОГО (Г. ПЕТРОПАВЛОВСК-КАМЧАТСКИЙ)

#### Введение

В настоящее время на территории г. Петропавловска-Камчатского действует карта инженерно-геологических условий города Петропавловска-Камчатского, составленная Камчатским Филиалом Дальневосточного Треста Инженерно-Строительных Изысканий (ДальТИСИЗ) в 1974 году в масштабе 1:10 000. Территория города по инженерно-геологическим условиям разделена на четыре самостоятельные области: А, Б, В, Г.

В область Б вошла центральная часть территории города, с юга она ограничивается Петровской сопкой и Култучным озером. Рельеф, по преимуществу, вулканогенный и выработанный. Поверхность контрастная, резко расчлененная. Мощность рыхлых отложений на большей части площади составляет 0-50 метров, редко превышает 100 метров.

Карта сейсмического микрорайонирования (СМР) города Петропавловска-Камчатского масштаба 1:10 000 составлена ВостСибТИСИЗОм в 1974 году на площадь в 45 км. На картах выделены зоны сейсмической интенсивности VIII, IX и X баллов, которые подразделены на подзоны в зависимости от инженерно-геологических условий. Десятибалльная зона занимает 30% исследованной площади.

25 ноября 1971 года в 70 км от города произошло Петропавловское землетрясение на глубине 100 км с магнитудой 7,2. Значительные повреждения в черте города Петропавловска-Камчатского произошли на территории областной больницы, часть строений пришли в аварийное состояние.

На рис. 1 приведены фрагменты карт сейсмического микрорайонирования (а) и инженерно-геологических условий (б) территории областной больницы с обозначением каждого обследованного здания, его номера и типа строения. Цветом обозначены степени повреждений зданий, сейсмичность площадки и инженерно-геологические условия этой территории.

В 1971-1974 годах в районе областной больницы с помощью инструментальных геофизических изысканий, макросейсмических обследований последствий землетрясений 1959 и 1971 годов и анализа поведения грунтов при сильных землетрясениях выделены участки с сейсмической опасностью X баллов (рис. 1а) [5]. На карте инженерно-геологических условий эта часть города выделена как благоприятная (рис. 1б). При землетрясении 1971 года многие строения пришли в аварийное состояние.

В главном корпусе областной больницы (1068) косыми, вертикальными и горизонтальными трещинами покрыты потолки и капитальные стены с раскрытием до 4 см. Образовались трещины в деревянных перекрытиях, раскрылись антисейсмические швы. В двух местах порваны водопроводные трубы. Степень повреждения  $d=3$ .

В инфекционном корпусе (номер обследованного здания 1068) раскрылись антисейсмические швы, появились трещины по всем сопряжениям стен, косые трещины в стенах с отколом больших кусков штукатурки, потолок в сетке трещин. Повреждены пилястры. Над входной дверью обвалился карниз. Верхняя часть наружной стены подалась наружу. Лопнула водопроводная труба. Степень повреждения  $d=3$ .

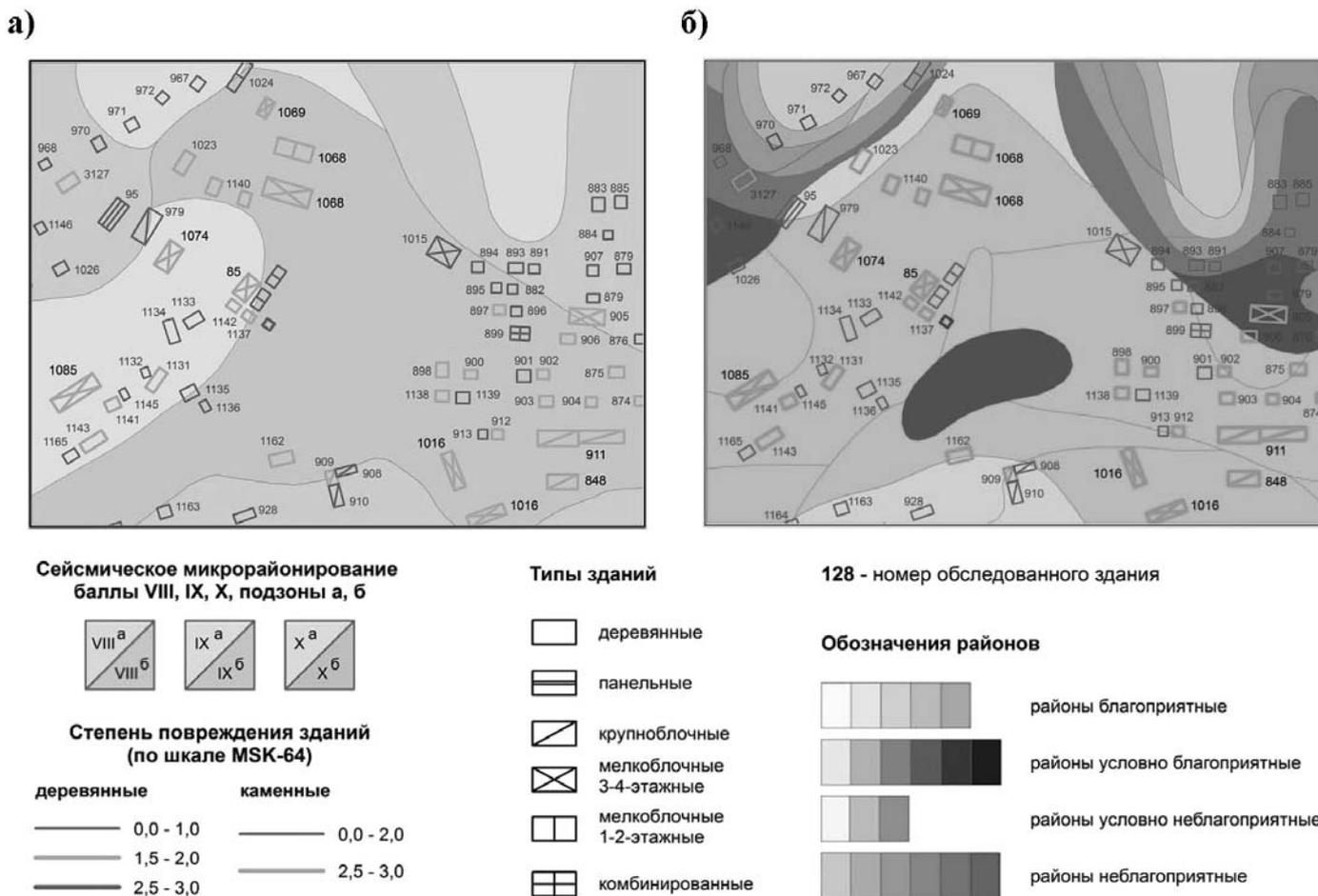


Рис. 1. Фрагменты карт сейсмического микрорайонирования (а) и инженерно-геологических условий (б) территории областной больницы. На них вынесены обследованные здания, их номера и типы строения. Цветом обозначены степени повреждений зданий, сейсмичность площадки и инженерно-геологические условия этой территории

В трехэтажном мелкоблочном здании поликлиники № 5 (1069), построенном в 1970 году на улице Ленинградская, № 114, при землетрясении появились косые трещины в несущих стенах, в перегородках, много трещин на стенах вдоль лестничных клеток, в стенах над дверными проемами, в нескольких местах перегородки отстали от несущих стен. Наиболее пострадал южный торец здания. Степень повреждения  $d=2,5$ .

В мелкоблочном четырехэтажном здании медицинского училища (1074), расположенного на улице Ленинградская, № 106, при землетрясении сильно растрескалась штукатурка стен, перегородок и потолков, а стены лестничной клетки, продольные и поперечные стены покрылись сквозными диагональными трещинами. Многие швы между плитами перекрытия раскрылись. Образовались крестообразные трещины по всей ширине южной торцевой стены. Наиболее пострадал южный торец дома. Степень повреждения  $d=3$ .

### **Факторы, влияющие на повреждения зданий и сооружений**

Анализ повреждения зданий показывает, что на территории г. Петропавловска-Камчатского можно выявить несколько факторов, влияющих на их повреждаемость. Последовательность факторов приведена, на наш взгляд, по мере возрастания степени их влияния на снижение устойчивости зданий.

1. Крутизна склонов на пологих и слабо наклонных участках практически не сказывается на повреждаемости зданий. При прочих условиях возможна тенденция к возрастанию повреждаемости по мере увеличения крутизны склона.

2. Влияние литологического состава грунтов выражается следующим образом: здания, возведенные на крупнообломочных грунтах и дресвяно-щебенистых, более устойчивы, чем здания, построенные на супесчаных (пластичной и текучей консистенции) и тонкодисперсных песчаных (мелкозернистых и пылеватых) грунтах [5].

3. Фациальные условия. Здания, расположенные на неконсолидированных оползневых телах, на конусах выноса, как правило, повреждаются в большей степени, чем расположенные вне их. Однако, в отдельных случаях, («черепитчатое» строение типа плотнейшей упаковки) являются устойчивыми основаниями. Этим можно объяснить, например, что здание Драматического театра, расположенное на одном из древних оползневых тел, при землетрясении 1971 г. имело низкую повреждаемость (степень повреждения его  $d=1$ , а рядом расположенные строения имели  $d=1,5-2$ ).

4. Гидрогеологические условия. Близкое залегание уровня грунтовых вод повышает вероятность повреждения зданий при сильном событии, особенно на супесях и песках мелкозернистых и пылеватых.

5. По сравнению с перечисленными выше факторами, наибольшую опасность при землетрясениях на территории краевого центра Камчатки представляют тиксотропные свойства грунтов, склонных к разжижению при вибрациях. Здания, возведенные на этих грунтах, имели наибольшие повреждения (здание главного и инфекционного корпусов областной больницы, поликлиника 5, общежитие медучилища – для них  $d=2,5-3$ ).

Важное значение в локализации участков повышенной повреждаемости зданий имеют также разломы. Это вызвано тем, что в пределах разломных зон наблюдается пространственное сочетание нескольких из перечисленных выше факторов повреждаемости. Вероятно, именно таким сочетанием комплекса признаков объясняется повышенная повреждаемость зданий на улице Набережная и в районе улицы Пограничной.

### **Краткая характеристика грунтов, склонных к разжижению**

Камчатским отделением ДальНИИСа в 1990 г., в районе центрального рынка на грунтах, подобных грунтам на территории областной больницы, выполнены работы по определению изменения свойств грунтов в состоянии разжижения.

Площадка изысканий представлена делювиальными грунтами разной консистенции и влажности. Для анализа технических характеристик грунт – сооружение, из трех пройденных скважин с глубин 3,0 – 4,5 м были отобраны пробы песка дресвяного влажного, супеси пластичной с дресвой, дресвяного грунта с супесью пластичной.

Результаты испытаний грунтов показали, что наблюдалась потеря прочностных свойств исследуемых грунтов:

- для супесей пластичных удельное сцепление после испытания уменьшилось более чем в 4 раза (0,003 МПа до испытания, 0,0007 МПа – после вибрации);
- угол внутреннего трения уменьшился с  $38^\circ$  до  $30^\circ$ ;

В течение 30 секунд после начала вибрации произошла осадка песков дресвянистых и дресвяного грунта с супесью пластичной консистенции, сопровождающаяся оттоком воды, а в супесях пластичных произошло разжижение и незначительный отток воды. В этих грунтах значительная часть влаги находится в связанном состоянии.

При лабораторных испытаниях измерены амплитуды колебаний в пересчете на 1 метр грунтового основания на частотах колебаний 5 и 10 Гц. Амплитуды колебаний грунта на частотах 5 и 10 Гц возросли в 30 раз. Эти испытания подтвердили, что данные грунты при вибрациях разжижаются и их прочностные свойства ухудшаются [4].

Таким образом, результаты макросейсмических обследований сильных землетрясений в городе Петропавловске-Камчатском показали, что здания, возведенные на грунтах, подверженных разжижению, получили наибольшие повреждения.

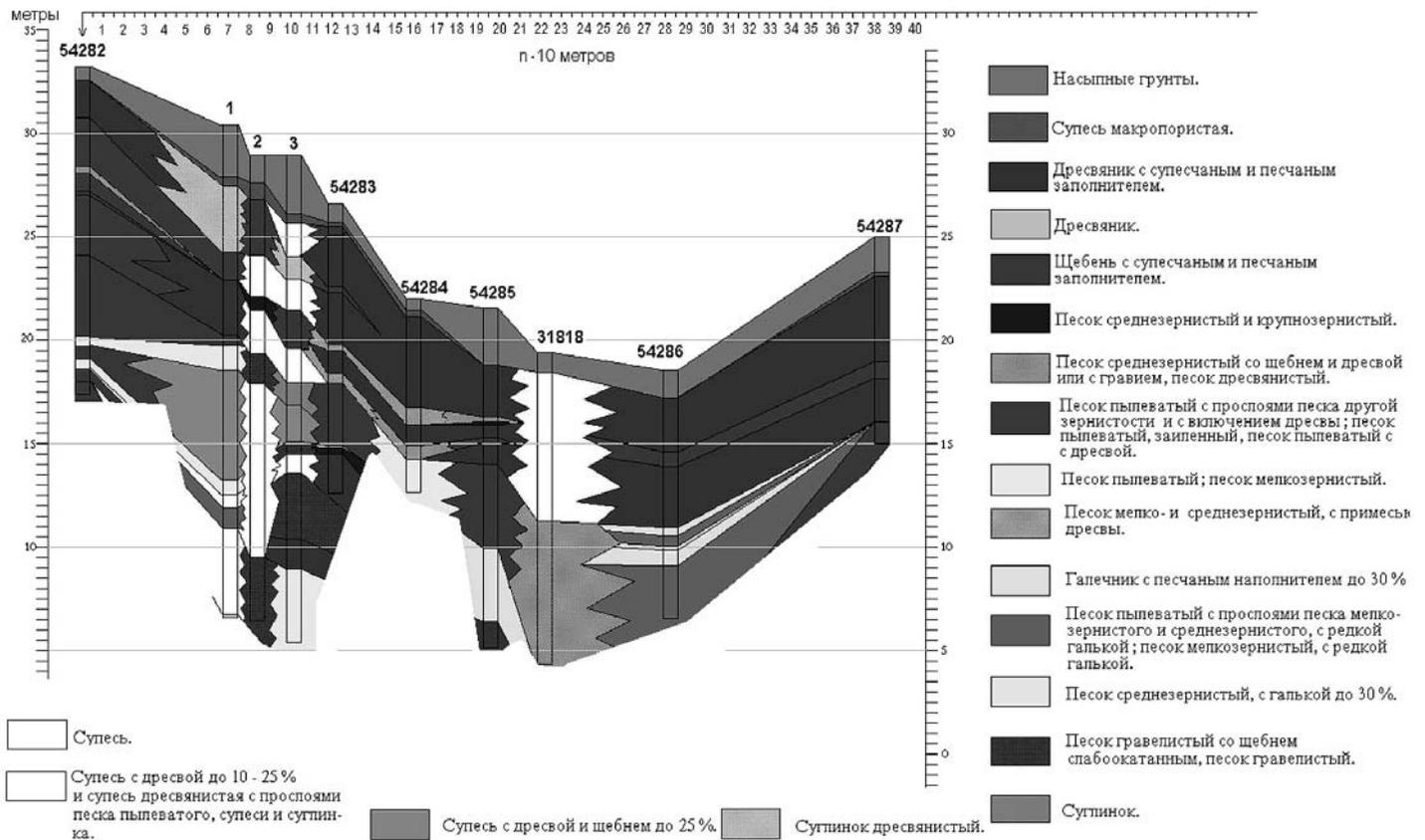
В некоторых местах поймы ручья Пограничного, где разрез сложен линзами торфа и слабо структурными пучинистыми грунтами (например, на участке автомагистрали в районе стадиона «Спартак»), даже при работе бурового станка они переходят в разжиженное состояние.

### **Анализ геоморфологических условий изученного участка залегания грунтов, склонных к разжижению**

Важнейшей особенностью геоморфологического строения участка расположения областной больницы является то, что он расположен в межгорной котловине (депрессии), приуроченной к сочленению грабен-долины ручья Ленинградского и долины ручья Пограничного. Последняя заложилась в месте пересечения крупного грабена Пограничного (ширина около 1 км, СВ простирание) и крупного широтного сброса (по другим оценкам – сбросо-сдвига) широтного простирания, в геоморфологическом отношении представляющего собой систему сбросовых уступов, ограничивающих с севера локальные горстовые массивы Петропавловского горста. Мощность рыхлых отложений, слагающих пойму и правый борт долины ручья, составляет по-

рядка 30 – 35 м. Разрез их сложен, отмечается как значительная изменчивость литологического строения осадочной толщи как в вертикальном сечении, так и по горизонтали (рис. 2).

На участке пересечения отмеченных выше тектонически обусловленных морфоструктурных элементов (два грабена и система сбросовых уступов) у подножия горстового поднятия сопки Зеркальной сформировалась межгорная Зеркальная депрессия (котловина), имеющая в плане форму равнобедренного треугольника, нижнее основание которого совпадает с осевой зоной долины руч. Пограничного, а две другие стороны образованы сбросовыми уступами СВ и СЗ простирания, расположенными у основания сопки Батарейной и Пограничной. Наши исследования не подтвердили гипотезы о связи эрозийного расчленения территории на уровне современных долин с палеодолиной реки Пра-Авачи, что предполагалось ранее другими исследователями [3].



**Рис. 3. Литологический разрез участка расположения комплекса зданий областной больницы (вкrest простирания долины ручья Пограничного). Составил И.Ф. Делемень**

Территория участка террасирована. Выделяются два уровня террас. Верхняя, наиболее высокая, занимает северо-восточную часть участка и примыкает к основанию сопки Зеркальной. Абсолютная высота террасы 32-42 м, причем отмечается постепенное возрастание высот по направлению к Зеркальной сопке (восточная часть участка) и по направлению к верховьям палеодолины руч. Ленинградского (в западной части). Положение террасового уступа верхней террасы предопределено блоковым строением цокольной поверхности грабена, что хорошо подтверждается анализом мощностей рыхлых отложений. Высота уступа террасы – 2,3 м.

Нижняя терраса имеет абсолютную высоту 20-30 м, причем наблюдается слабый наклон в западном направлении – к осевой части палеодолины руч. Ленинградского. Высота уступа террасы – 1, реже 1.5 м. Уступы обеих террас имеют субширотное простирание, что однозначно свидетельствует о генетической связи террас с развитием долины руч. Пограничного. Каждая из обеих террас разделяется на два или три более мелких уровня.

Долина руч. Ленинградского выражена весьма слабо, по сути это неширокая (50-80 м) эрозийная ложбина, заполненная продуктами пролювиального и делювиального сноса обломочного материала со смежных участков. Кроме этой долины, поверхность обеих террас пересекается серией других эрозийных ложбин (шириной не более 20-40 м при глубине вреза, не превышающей 0.5-1 м), выполненных отложениями того же состава, что и окружающие участки. Отличие состоит только в том, что в пределах таких промоин относительно повышенное содержание пролювиальной составляющей в суммарном разрезе рыхлых отложений.

Нижняя терраса (15-20 м) практически незаметно переходит в пойму руч. Пограничного, некогда протекавшего в районе существующего рынка.

Уклон рельефа на участке в целом незначительный и редко превышает 3-5°. Исключение составляют бровки террас и участки подрезки склонов, где уклоны увеличиваются до 10-30 и более градусов.

Неотектонические движения на участке практически отсутствуют. Исключение составляет субмеридиональная зона малоамплитудной вертикальной деформации террас, выявленная в восточной части участка. Анализ мощностей и высот залегания литологических горизонтов позволяет допустить возможность таких деформаций и в местах расположения террасовых уступов. Снижение же высоты каждой террасы по простиранию обусловлено не столько неотектоникой, сколько сочетанием денудационно-эрозионных процессов и различной скорости осадконакопления.

Застройка территории производилась с учетом существующего рельефа. Техногенная нагрузка в значительной степени сгладила особенности природного рельефа, поэтому современные и погребенные долины временных потоков и ручьев, прорезающих террасы в направлении с севера на юг, в рельефе выражены весьма слабо. Кроме того, происшедшие техногенные изменения гидросети существенно изменили режим эрозионных процессов, практически прекратив боковую эрозию.

Что касается ручья Ленинградского, то о его существовании в прошлом можно только предполагать. Техногенные же изменения рельефа участка в основном происходили путем планировки (выемка грунта в более возвышенной части площадки и формирование насыпи в пониженной). Кроме того, при относительно более высоком уклоне рельефа (около 3°) со стороны таких площадок, обращенных к склону, формировались незакрепленные уступы. В северо-восточном углу площадки (у котельной) создание прокладка коммуникаций и съездов сопровождалась формированием техногенных врезов в рельефе.

Таким образом, геоморфологические условия непосредственно на этом участке определяются в основном строением террас и техногенными изменениями.

Сама депрессия также имеет двухэтажное (двухрусное) строение. Породы нижнего этажа (скальное основание) сложены флишоидной толщей верхнемеловых метаморфизованных песчаников и алевролитов. Залегание пород, судя по строению смежных обнажений, моноклинальное, с падением слоев к юго-юго-западу (190-220°). Верхний этаж представлен четвертичными осадочными образованиями различного генезиса, имеющими циклическое строение разреза. Каждый цикл начинается тонкозернистыми отложениями (пески, супеси), вверх по разрезу в строении горизонта начинают преобладать дресвянистые пески и дресвяники, и завершают разрез горизонта (цикла осадконакопления) щебнистые супеси и щебни. По данным бурения скважин выделяется до 4-5 таких циклов.

Кроме того, отмечается изменчивость фациального состава горизонтов – по мере приближения к сопке Зеркальной возрастает размерность и содержание обломков в супесчаной матрице. Такое строение толщи приводит к тому, что в сочленении долины руч. Пограничный и древней долины руч. Ленинградского количество супесчаного материала резко возрастает, достигая в зоне сочленения 80-100% (по суммарной мощности).

Определяющее значение в формировании состава грунтов и их пространственном распределении играет не столько современная блоковая и разломная тектоника, сколько геоморфологический фактор (хотя и обусловленная неоднородностями поверхности нижнего структурного этажа). Современная и древняя эрозионная сеть обусловлена развитием долины руч. Пограничного и его притока – руч. Ленинградского. Кроме того, по геоморфологическим и по литолого-фациальным данным выделяется ряд более мелких эрозионных ложбин, имеющих скорее не аллювиальное, а пролювиальное и озерно-аллювиальное происхождение. В разрезе они представлены маломощными линзовидными телами суглинков, песков и диатомитов, а на поверхности – неглубокими (< 1-2 м) и неширокими ложбинами (< 5-10 м). В основании аллювиальных отложений отмечается горизонт галечников, что хорошо согласуется с позднеплейстоценовым постгляциальным уровнем моря. На галечниках расположена толща тонкообломочных осадков.

Пойма приурочена к осевой части Пограничного разлома и врезана в первую надпойменную террасу (сложена супесями и дресвяниками), которая далее сменяется второй и третьей террасами, которые сложены чередованием супесей, песков, дресвы и щебня. Представляется важным, что более возвышенная часть первой надпойменной террасы сложена преимущественно дресвяниками, а ближе к долине Ленинградского ручья в разрезе террасы преобладают супеси.

В пределах осадочной толщи тектонические разрывы в том виде, как принято их выделять (наличие смещений, разрывов слоев и вертикальных деформаций) не обнаружены. Вместе с тем выделяется серия разрывов конседиментационных неотектонических линейных зон резкого изменения мощности и фациального состава горизонтов. Эти зоны, согласно установившимся взглядам, представляют собой зоны длительной релаксации напряжений над разрывами скального основания. На наш взгляд, на данной территории образование сейсмоструктурных разрывов маловероятно. Исключение представляют сейсмогенные рвы неразломного происхождения, образование которых возможно при определенных условиях.

Итак, существующая на данном участке неоднородность состава грунтов и строения осадочной толщи непосредственно определяется геоморфологическими и литолого-фациальными условиями осадконакопления, и только лишь косвенно (через пространственный контроль эрозионной сети) – разломной тектоникой.

По степени однородности условий на исследуемом участке можно выделить следующие блоки:

*Субширотный уступ верхней террасы.* Анализ перечисленных выше признаков позволил сделать вывод о том, что уступ заложен над неотектонической сбросовой зоной, секущей скальное основание. При сильном сейсмическом событии возможно образование сейсмогенных рвов, закладывающихся у основания уступов. Кроме того, в местах техногенной подрезки уступа в северо-восточной части участка могут возникнуть небольшие оползни и оплывины склона.

*Осевая зона субширотного грабена руч. Пограничного* выполнена толщей тонкообломочных отложений, на 80-100% состоящих из супесей и песков, характеризующихся тиксотропными свойствами. Границы распространения этих отложений и тиксотропные свойства грунтов рассмотрены отдельно.

На участке выделяются также три зоны конседиментационных дислокаций, возможно, так или иначе связанных с расположенными на глубине разрывными нарушениями.

*Западная зона* соответствует осевой части грабена руч. Ленинградского. Она также выполнена толщей тонкообломочных отложений, состоящих из супесей и песков, характеризующихся тиксотропными свойствами. Отличие состоит в том, что эта зона имеет меньшую ширину, а мощность отложений постепенно уменьшается в северном направлении. Границы распространения этих отложений и тиксотропные свойства грунтов будут рассмотрены ниже. Помимо явления тиксотропности, возможна неоднородная осадка зданий, если торцевая часть здания расположена на грунтах в пределах краевой части зоны, а остальная – за ее пределами. Это явление рассмотрено нами на примере условий размещения главного корпуса больницы.

*Центральная зона* характеризуется развитием деформаций поперечного изгиба реперных горизонтов осадочного слоя в течение всего периода осадконакопления. Это является благоприятным фактором для образования сейсмогенных рвов растяжения. Действительно, при бурении скв. 1 (21-23 декабря 1971 г.), буровой снаряд на глубине 11.8 м вошел в текучую супесь, содержащую 25% дресвы и щебня, и около 5 м (до глубины 17.1 м) прошел под собственным весом.

Не исключая тиксотропного механизма этого явления, мы все же полагаем, что в данном месте снаряд, скорее всего, вошел в погребенный сейсмогенный ров, либо иную полость, образовавшуюся вследствие растяжения слоев.

Аналогичное явление наблюдалось И.В. Мелекесцевым (устное сообщение) при проходке в супесях котлована при строительстве дома в одном из новых микрорайонов г. Петропавловска-Камчатского. Не исключается вероятность образования в Центральной зоне новых рвов при очередном сильном сейсмическом событии.

*Западная зона* представляет собой границу контрастных условий осадконакопления, что отразилось в смене фациально-литологических условий, а также в разной высоте террас по обе ее стороны. В пределах северо-восточной части участка возможно образование небольших оползней в пределах сгущения мест подрезки склонов и техногенных врезов. Другие опасные явления не предполагаются.

*Ареал развития тиксотропных грунтов* ограничен грабенами ручьев Пограничный, Ленинградский и смежными с ними участками. Принципы и методика картирования границ ареала основываются на приуроченности тонкодисперсных лагунных отложений, являющихся предположительно тиксотропными к осевой части древней долины, выработанной, возможно, в днище раннеголоценового или верхнеплейстоценового фьорда. Кроме того, установлено, что с геологической точки зрения проявление тиксотропных свойств связано с тремя факторами:

- преобладанием в разрезе (75 % и более от всего объема отложений) пылеватых, тонкозернистых осадков (супеси и пески);
- высоким содержанием в песках и супесях тонкодисперсных вулканических пеплов и пепловых частиц (местами диагенетически замещенных глинистыми минералами).

На наш взгляд, индикатором тиксотропности могут служить текстурные и структурные признаки взмучивания осадка, которые отмечаются в пределах описаного выше ареала тиксотропных пород, и особенно характерны для пестроцветных супесей, неслоистых или имеющих нарушенную первично слоистую текстуру с хаотической ориентировкой микрослойков.

По соотношению перечисленных признаков отмечается определенная зональность, обусловленная согласованным изменением значений всех трех параметров. В обеих зонах содержание песков и супесей в разрезе, а также содержание в них тонкодисперсных пеплов вкrest зон возрастает по направлению к оси зоны, а вдоль них – по мере уменьшения высоты рельефа. Менее выражена, но тоже отмечается такая же тенденция для залегания уровня подземных вод.

Наиболее неблагоприятное, с точки зрения сочетания рассмотренных факторов, достигается в месте сочленения грабенов Пограничного и Ленинградского (участок расположения терапевтического корпуса), где мощность тиксотропных отложений, выполняющих погребенную котловину в рельефе кровли скального основания, резко возрастает.

Ареал развития тиксотропных пород распространяется в восточном и западном направлении за пределы Участка. Тиксотропные породы образовались при интенсивном накоплении в условиях озера или морской лагуны пеплов, выбрасывавшихся при извержениях близлежащих вулканов. Это позволяет использовать данные геоморфологии для трассирования зон тиксотропности.

В частности, в восточном направлении эта зона, вероятно, следует далее в восточном направлении через территорию рынка и здания Камчатского педагогического института, причем можно ожидать наличия котловины (погребенной под тиксотропными супесями), на участке расположения общежития КГПИ.

Далее, вероятно, происходит фациальное замещение супесей более крупнозернистыми, не склонными к разжижению отложениями. В западном направлении осевая зона ареала проходит на участке расположения Комсомольской площади и далее – в направлении Култушного озера, где супеси фациально замещаются илами и болотными отложениями. Следовательно, помимо зданий областной больницы, в ареал развития тиксотропных пород попадает комплекс зданий КГПИ, что необходимо учесть при развитии программы сейсмоусиления ответственных сооружений г. Петропавловска-Камчатского.

Считается, что в рыхлых отложениях Петропавловска-Камчатского при прочих равных условиях на сейсмическую балльность участка влияет в первую очередь разуплотнение горных пород [7]. На рисунке 3 видны две таких субвертикальных зоны, сложенные переслаиванием песков пылеватых с линзами песка более крупной размерности, и обе они заложены над погребенными руслами в долине ручья.

Казалось бы, этот критерий можно использовать для интерпретации инженерно-геофизических исследований для выявления участков разреза, где залегают грунты, склонные к разжижению. Однако на рисунке 3 можно увидеть, что подверженные разжижению при землетрясении 1971 года пески пылеватые характеризуются одним из самых высоких значений плотности частиц среди всех грунтов, слагающих разрез.

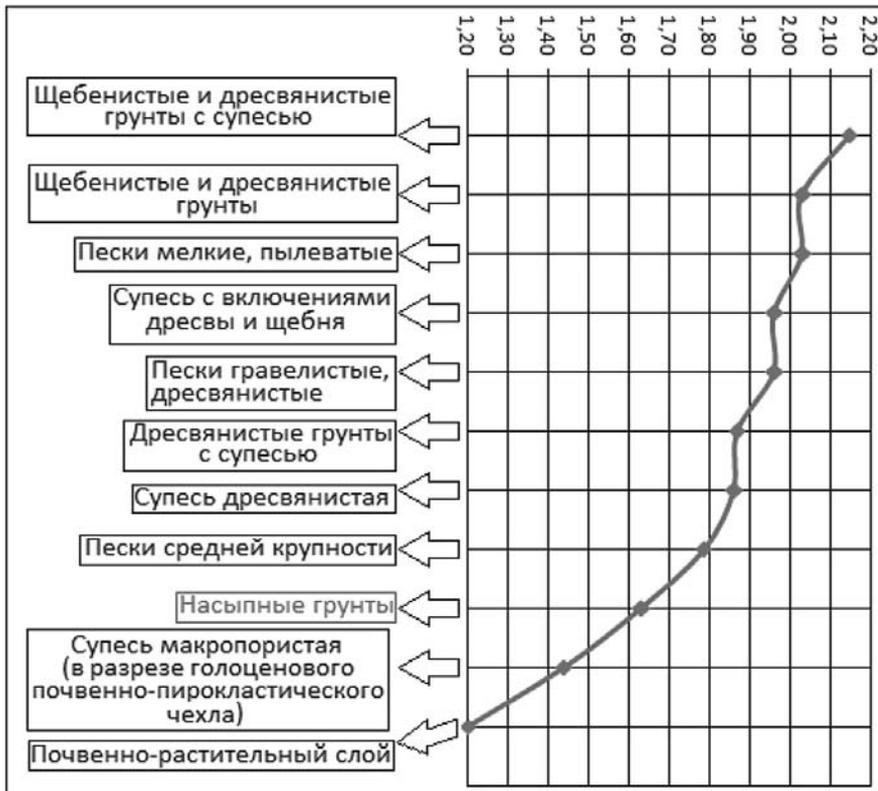


Рис. 3. Вариационный ряд плотности частиц грунта, г/см³

**Заключение**

Изучение сейсмогеологических условий имеет большое значение для оценок сейсмической опасности и риска. Одним из факторов таких условий является разжижение грунтов, которое рассматривается как «переход водонасыщенного дисперсного грунта в текучее (пльвинное) состояние под внешним воздействием (статическим, динамическим, фильтрационным), причем процесс разжижения включает в себя стадии разрушения структурных связей, течения и последующего уплотнения грунта» [2, п.3.35, с.85]. Известно, что при описанном выше механизме при достаточно сильном сейсмическом воздействии разжижению подвержены преимущественно водонасыщенные грунты [1].

По этим причинам одни и те же пески, склонные к разжижению, не разжижаются, если уровень грунтовых вод расположен значительно ниже их подошвы, и наоборот. Именно

поэтому ареалы залегания таких грунтов приурочены преимущественно к прибрежным фациальным обстановкам (лагуны и заливы), а на суше – к грабенам, озёрным депрессиям, поймам рек, кальдерам и т.д.

Естественно, каждая из таких обстановок относится к определённому типу фациальных обстановок – лагунных и прибрежно-морских, тектонического рельефа и вулканогенных, флювиогляциальных и ледниковых, аллювиальных, озёрных и т.д.

Для рассматриваемой территории характерно неглубокое (первые метры) залегание уровня грунтовых вод [6]. В соответствии с рассматриваемыми механизмами, глубина залегания разжижающихся грунтов должна была бы составить 2-4, максимум до 10-12 м. Действительно, субвертикальные зоны над палеорулами соответствуют этому условию. Однако основная часть горизонтов с разжижавшимися песками расположены на большей глубине пологих горизонтов залегания песков, склонных к разжижению (20 – 25 м).

На наш взгляд, одно из возможных причин этому – движение песков вследствие нарушения связей между частицами песка при сейсмических колебаниях, причем не обязательно находящихся в водонасыщенном состоянии (реологическое разжижение). Не исключено, что способствует этому значительное содержание в таких песках частиц вулканического пепла, обладающего в обычном состоянии высокими адгезионными свойствами. Вероятно, этим можно объяснить также то, что разжижению при сейсмических событиях подвергаются более глубоко залегающие пески, состоящие из смеси как плотных частиц (продукт разрушения метаморфических пород) и частиц пепла.

*Исследования выполнены по бюджетной тематике КФ ГС РАН, а также по теме 1 Программы ФНИ государственных академий наук на 2014-2016 гг. по направлению исследований в части 67 «Фундаментальные проблемы развития литогенетических, магматических, метаморфических и минералообразующих систем» (ИВиС ДВО РАН) и при финансовой поддержке Минобрнауки России, в рамках программы стратегического развития ФГБУ ВПО «Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга» на 2012 – 2016 г.*

**Список литературы**

1. Вознесенский Е.А. Землетрясения и динамика грунтов // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 2. С. 101-108.
2. ГОСТ 25100–2011 – Грунты. Классификация. 2011. М.: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому нормированию и сертификации в строительстве (МНТКС), 2011. 63 с.
3. Камчатка, Курильские и Командорские острова / История развития рельефа Сибири и Дальнего Востока. Под ред. И.В. Лучицкого. М.: Наука. 1974. 438 с.
4. Константинова Т.Г. «Особенности грунтов, обладающих свойствами тиксотропии (на примере Петропавловска-Камчатского, Кировакана, Нефтегорска). Память и уроки Нефтегорского землетрясения. Южно-Сахалинск, 2000. С. 133-136.
5. Константинова Т.Г., Шаранов В.Г. О принципах построения карты сейсмического микрорайонирования территории г. Петропавловска-Камчатского. М., «Наука», 1977. С. 232-236.
6. Константинова Т.Г., Делемень И.Ф. О влиянии гидрогеологических условий на последствия сильных землетрясений на Камчатке // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России: Труды Третьей науч.-техн. конф., 9-15 окт. 2011 г., Петропавловск-Камчатский. – 2011. – С. 180-184.
7. Тараканов А.И. Зоны разуплотнения горных пород и их влияние на сейсмическую балльность // Инженерно-строительные изыскания. 1979, № 3(55). С. 65-69.

Волков Ф.Е., Гера А.А.

ГУП институт «БашНИИстрой», Уфа, zashogio@bk.ru

## УКРЕПЛЕНИЕ ВОДОНАСЫЩЕННЫХ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ СУГЛИНКОВ ОСНОВАНИЯ 12-ТИ ЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА ЗАЩЕЛАЧИВАНИЕМ

В последние годы строительство жилых зданий все чаще приходится осуществлять на площадках, расположенных на надпойменных террасах, сложенных большой толщиной связнодисперсных грунтов, обладающих сильной деформируемостью. В этой связи актуальным становится вопрос облегчения надежности основания и эффективности фундамента. Рассмотрим это на примере строительства 12-ти этажного 6-ти секционного жилого дома на второй надпойменной террасе р. Белой г. Уфа.

Результаты инженерно-геологических изысканий строительной площадки показывают, что основанием фундаментной плиты в сжимаемой зоне равной 13,5 м являются текучепластичные суглинки. Осадка основания фундаментной плиты составляет 25,8 м. При такой осадке основания необходимо применять либо свайно-плитный фундамент, либо увеличивать модуль деформации грунта основания до величины, при которой осадка основания будет в пределах предельной деформации основания фундамента (фундаментная плита на укрепленном основании).

При первом варианте фундирования (свайно-плитный фундамент) сваи придется погружать на глубину более 20 м, опирая нижний конец сваи в песок гравелистый. Потребуется составные сваи. Все это значительно удороживает свайно-плитный вариант фундамента. Устройство фундаментной плиты на укрепленном основании (второй вариант) может оказаться несколько дешевле первого варианта, но зато технологически проще, с меньшими затратами труда на строительной площадке, с одновременным ведением работ по возведению стен здания и укреплению грунта ниже подошвы плиты, что сокращает сроки строительства здания.

Из всех рассматриваемых методов укрепления грунтов на данной площадке рекомендуется использовать для укрепления текуче-пластичных суглинков метод защелачивания [1], как наиболее эффективный для таких грунтов. Метод основан на нагнетании в грунт раствора гидроксида натрия. В результате химического взаимодействия глинистого грунта с гидроксидом натрия возникают новообразования, цементирующие частицы грунта. Такое укрепление обеспечивает повышение его прочности и водоустойчивости.

В геоморфологическом отношении площадка приурочена ко второй надпойменной террасе р. Белой. Рельеф ровный, абсолютные отметки дневной поверхности изменяются в пределах 101.3-103.20.

В геологическом строении площадка до изученной глубины 60,0 м участвует четвертичная, неогеновая и пермская системы. Четвертичная система представлена суглинком от мягкопластичного до текучепластичного, с тонкими прослойками песка мелкого и включением органического вещества, глиной тугопластичной и песком гравелистым, полимиктовым, водонасыщенным. Неогеновая система сложена переслаиванием твердой глины. Пермская система представлена мергелем выветрелым с прослоями известняка и известняком трещиноватым.

В результате статической обработки данных свойств грунтов установлено 4 ИГЭ (рис. 1) и определены расчетные их значения с доверительной вероятностью 0,85-0,95.

- ИГЭ 1 – суглинок текучепластичный;
- ИГЭ 2 – суглинок мягкопластичный;
- ИГЭ 3 – глина тугопластичная;
- ИГЭ 4 – песок гравелистый.

Установленный уровень подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта на период изысканий (14.10.11-04.11.11 года) зафиксирован на глубине 0,5-1,6 м от дневной поверхности (абсолютные отметки уровня воды 101.00-101.04 м и БС).

По химическому составу подземные воды гидрокарбонатно-сульфатно кальциевые с минерализацией 1,1-1,2 г.

По данным статического зондирования грунтов удельное сопротивление ИГЭ 1 под конусом зонда в среднем составляет 1,0 МПа, ИГЭ 2 – 1,5 МПа.

Осадку основания фундаментной плиты рассчитываем исходя из значений показателей механических свойства текуче-мягкопластичных суглинков (ИГЭ 1, ИГЭ 2, табл.1) и параметров плиты: ширина  $b = 17$  м; длина  $l = 21$  м, используя формулу (5.16) [5].

$$S = \beta \sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{zp,i} \cdot h_i}{E_i},$$

где  $\beta = 0,8$ ;  $E_i$  – модуль деформации  $i$ -слоя грунта;  $\sigma_{zp,i}$  – среднее значение вертикального нормального напряжения от внешней нагрузки в  $i$ -слое грунта;  $\xi = 2z/b$ ;  $Z = \varepsilon \cdot b/2 = 0,4 \cdot 17/2 = 3,4$  м ( $h_i$ ) – ступень;  $p = 260$  кПа – среднее давление под плитой;  $\sigma_{zg,i} = 19,8 \text{ кН/м}^3 \cdot 3,4 \text{ м} = 67,32 \text{ кН/м}^3$  (ступень);  $\sigma_{zp,i} = a_i \cdot p$ , где  $a_i$  коэффициент, принимаемый по табл.5.8 [5].

Вертикальные напряжения в слое грунта сжимаемой толщи приведены в табл. 2.

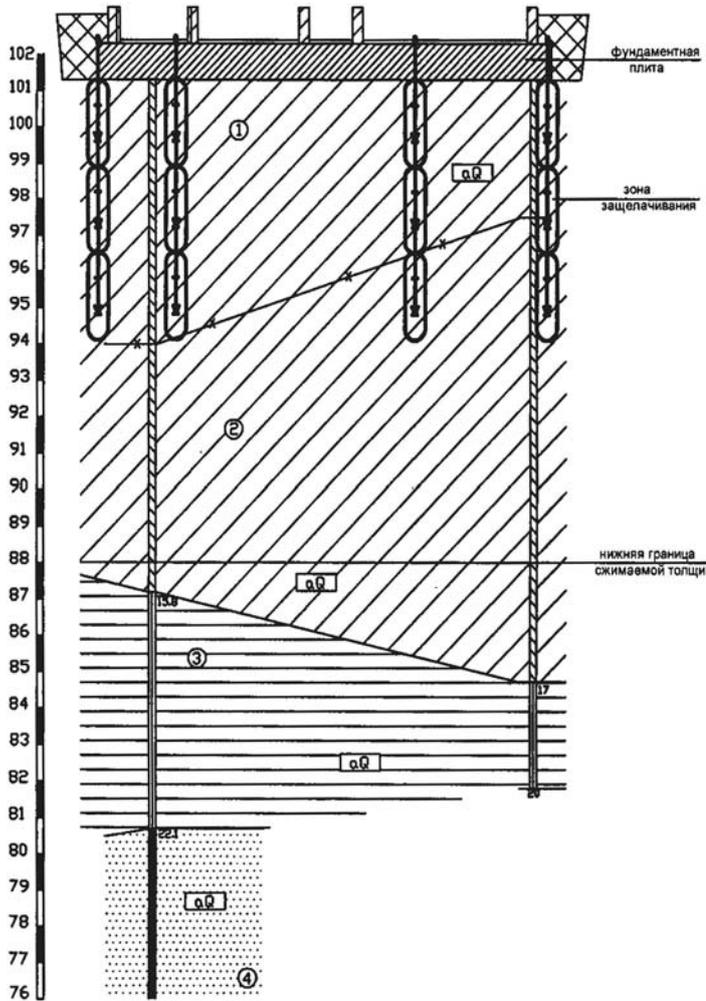


Рис 1. Инженерно-геологический разрез с зоной защелачивания

Рекомендуемые расчетные значения показателей физико-механических свойств всех установленных в разрезе инженерно-геологических элементов сведены в таблице 1.

Первый вариант двухслойного основания: средняя предельная деформация основания фундаментной плиты составляет 25,85 см. Осадка основания значительно превышает предельные деформации основания фундаментов объектов нового строительства табл. Д.1, п.3 .

Для уменьшения осадки основания увеличиваем модуль деформации текучепластичного суглинка до 30 МПа (используя метод защелачивания).

Второй вариант двухслойного основания: средняя предельная деформация основания фундаментной плиты составляет 13,72 см. Осадка основания меньше предельной деформации основания для многоэтажного бескаркасного здания с несущими стенами из кирпичной кладки с армированием.

Таким образом, укрепляя текуче-мягкопластичные суглинки на глубину 6,8 м ниже подошвы плиты до модуля деформации равном 30 МПа получим надежное основание, средняя осадка которого не будет превышать 14 см.

Для оценки степени укрепляемости водонасыщенных аллювиальных суглинков легких пылеватых текуче-мягкопластичных, отобранных на исследуемой площадке с глубин 3,0; 4,0; 6,0; 8,0 м, растворами щелочи и подбора концентрации раствора, при которой достигаются необходимые значения показателей характеристик образцов грунта, чтобы модуль деформации был не менее 30 МПа, были выполнены соответствующие лабораторные исследования. В качестве реагента (реагирующего раствора) были использованы растворы натра едкого 2,5; 3,5 и 5,0 н. концентрации. В качестве показателя степени укрепляемости грунта использовался предел прочности на одноосное сжатие (5.2. Метод одноосного сжатия) [3].

Результаты исследований приведены в таблице 3.

Таблица 1

Расчетные значения показателей свойств грунтов ИГЭ 1,2,3,4

Наименование показателей	Ед. изм	Рекомендуемые расчетные значения							
		ИГЭ 1		ИГЭ 2		ИГЭ 3		ИГЭ 4	
		$\alpha=0,85$	$\alpha=0,95$	$\alpha=0,85$	$\alpha=0,95$	$\alpha=0,85$	$\alpha=0,95$	$\alpha=0,85$	$\alpha=0,95$
Влажность природная	д.ед.	0,27	0,27	0,25	0,25	0,26	0,26	-	-
Плотность грунта	г/см <sup>3</sup>	1,97	1,96	1,98	1,98	1,92	1,90	-	-
Плотность сухого грунта	г/см <sup>3</sup>	1,55	1,54	1,58	1,57	1,51	1,50	-	-
Число пластичности	%	10	10	11	11	18	18	-	-
Показатель текучести	д.ед.	0,80	0,80	0,55	0,55	0,28	0,28	-	-
Коэффициент пористости	д.ед.	0,72	0,72	0,69	0,69	0,77	0,77	-	-
Угол внутреннего трения при природной влажности	град.	19	18	18	17	17	16	-	-
Удельное сцепление при природной влажности	МПа	0,004	0,003	0,01	0,008	0,05	0,05	-	-
Модуль деформации при природной влажности	МПа	7	7	10	10	19	19	-	-
Расчетное сопротивление	МПа	-	-	-	-	-	-	0,4	0,4

Вертикальные напряжения в i-ом слое грунта сжимаемой толщи

Глубина, м $h_i$	$\xi$	$a_i$	Напряжение, кПа			Модуль деформации природного грунта, кПа	Модуль деформации укрепленного грунта, кПа
			От внешней нагрузки $\sigma_{zp,i}$	От собственного веса грунта			
				$\sigma_{zg,i}$	$0,5\sigma_{zg,i}$		
0	0	1,00	260	29,55	14,77	7000	30000
3,4	0,4	0,967	251,4	96,87	48,44		
6,8	0,8	0,828	215,28	164,19	82,10	10000	10000
10,2	1,2	0,651	169,29	231,51	115,76		
13,6	1,6	0,497	129,22	298,83	149,42		
Нижняя граница сжимаемой толщи						1 вариант	2 вариант

Таблица 3

Значения предела прочности на одноосное сжатие ( $R_{cy}$ ) образцов суглинков защелоченных растворами NaOH

Образец грунта. Глубина отбора, м.	Концентрация раствора NaOH, н.	Предел прочности на одноосное сжатие, МПа					
		Время твердения, сут.					
		14		Среднее значение	28		Среднее значение
Суглинок легкий пылеватый текучепластичный. 3,0 м	2,5	0,30	0,27	0,28	0,28	0,40	0,34
	3,5	0,24	0,46	0,35	0,40	0,40	0,40
	5,0	0,39	0,48	0,44	0,88	0,84	0,86
Суглинок тяжелый пылеватый текучепластичный. 4,0 м	2,5	0,19	0,32	0,26	0,35	0,32	0,29
	3,5	0,21	0,40	0,31	0,49	0,44	0,47
	5,0	0,35	0,54	0,45	0,94	0,83	0,89
Суглинок легкий пылеватый мягкопластичный. 6,0 м	2,5	0,27	0,24	0,26	0,44	0,44	0,44
	3,5	0,28	0,30	0,29	0,57	0,40	0,49
	5,0	0,48	0,46	0,47	0,82	0,77	0,80
Суглинок легкий пылеватый мягкопластичный. 8,0 м	2,5	0,16	0,30	0,23	0,33	0,28	0,31
	3,5	0,22	0,40	0,31	0,30	0,48	0,39
	5,0	0,38	0,60	0,49	0,96	0,84	0,90

Как видно из материалов таблицы 3, обработка образцов суглинков растворами щелочи приводит к существенному упрочнению их как с ростом концентрации раствора, так и с увеличением времени твердения.

Нормативное значение  $R_{cy}$  образцов суглинков составило: при обработки их раствором NaOH 2,5 н. концентрации – 0,35 МПа; 3,5 н. – 0,44 МПа; 5,0 н. – 0,86 МПа. Соответственно модуль деформации: 2,5 н. – 20 МПа; 3,5 н. – 25 МПа; 5,0 н. – 65 МПа. По результатам лабораторных исследований принята рабочая концентрация раствора щелочи 5 н. при этой концентрации достигаются необходимые значения параметров характеристик укрепленных суглинков.

Проектные параметры укрепления массива дисперсного природного грунта, являющегося основанием фундаментной плиты строящегося многоэтажного дома, при нагнетании в грунт через метровый перфорированный иньектор 1,2 раствора натра едкого в одну заходку будут соответствовать данным (см. рис. 1) [4]:

- радиус укрепления грунта – 0,7 м;
- расстояние между точками иньекции – 1,5 м;
- количество точек иньекции в фундаментной плите (секцииА) – 168 точ.;
- мощность укрепленного грунта – 6,8 м;
- количество заходов на точке иньекции – 3 заход.;
- количество заходов на секцию – 504 заход.;

- расход раствора щелочи на секцию – 605 ;
- расход натра едкого – 120т;
- объем укрепленного грунта – 2016 ;
- погружение и извлечение инъекторов – 1344 п.м.

Работа выполнена за 60 рабочих дней.

Оценка степени укрепления грунтов защелачиванием осуществлялась сравнением скорости погружения инъектора при ударно-вибрационном зондировании [2] в интервале глубины от уровня подошвы фундаментной плиты до 7,0 м (зона защелачивания), как в зоне защелачивания, так и вне её.

Использовалась пневмоударная машина ПУМ-65 (энергия еденичного удара 180 Дж). Точки зондирования располагались на расстоянии 35 и 60 см от точек инъекции.

Результаты испытаний приведены в таблице 4.

Таблица 4

**Скорость ( $V_{см/с}$ ) погружения инъектора в неукрепленный и укрепленный грунты**

Глубина погружения зонда, м	Неукрепленный грунт	Точки инъекции					
		т. 95		т. 109		т. 49	
		Точки зондирования укрепленного грунта на расстоянии от точки инъекции, см					
Уровень подошвы фундамента		35	60	35	60	35	60
0,5	12,5						
1,0	10,0	0,064	0,401	0,094	0,189	0,075	0,320
1,5	10,0		0,403		0,147		0,301
2,0	6,25		0,385		0,316		0,345
2,5	2,94		0,333		0,230		0,250
3,0	2,08		0,137		0,292		0,241
3,5	1,92		0,078		0,217		0,215
4,0	1,78		0,045		0,182		0,196
4,5	2,0				0,186		0,201
5,0	1,72				0,253		0,235
5,5	1,04				0,244		0,226
6,0	1,09				0,182		0,215
6,5	0,69				0,178		0,198
7,0	0,69				0,183		0,205
7,5	0,68						
Нормативное значение			0,255		0,226		0,242

Неукрепленный грунт  $V_{см/с} = 2,073$   
 Укрепленный грунт  $V_{см/с} = 0,229$   
 $K = 9,05$

$E$  – модуль деформации, МПа

$q_c$  – удельное сопротивление грунта под конусом зонда, МПа

$q_c = 1,0$  МПа,  $E = 7$  МПа,  $q_y = 9,0$  МПа,  $E_y = 63$  МПа

$V$  – скорость погружения инъектора при ударно-вибрационном зондировании, см/с.

Как видно из таблицы 4, в защелоченном массиве грунта (с глубиной от 2,5 до 5,0 м) скорость погружения полуметровой части инъектора, на расстоянии 60 см от точки инъекции, в 9 раз меньше, чем в незащелоченном грунте. Это указывает на то, что при защелачивании грунта произошло его укрепление, т.е. сжимаемость его уменьшилась в 9 раз.

Сжимаемость некрепленного грунта определялась величиной удельного сопротивления грунта под конусом зонда табл.И.5 [6]. Используя линейную зависимость между модулем деформации и удельным сопротивлением грунта под конусом зонда (табл. И.5) находим, что укрепленный грунт характеризуется модулем деформации равным 63 МПа.

Инженерно-геодезические наблюдения за осадками здания на протяжении всего его строительства показали, что осадка здания не превысила расчетной величины (рис.2).

Таким образом, в процессе защелачивания массива аллювиального суглинка основания фундаментной плиты под подошвой фундамента создано искусственное основание с заданным свойством.

Выполненная работа свидетельствует о том, что используя метод защелачивания можно управлять характеристиками прочности и деформируемости слабых водонасыщенных глинистых грунтов, создавая нужное искусственное основание фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях.

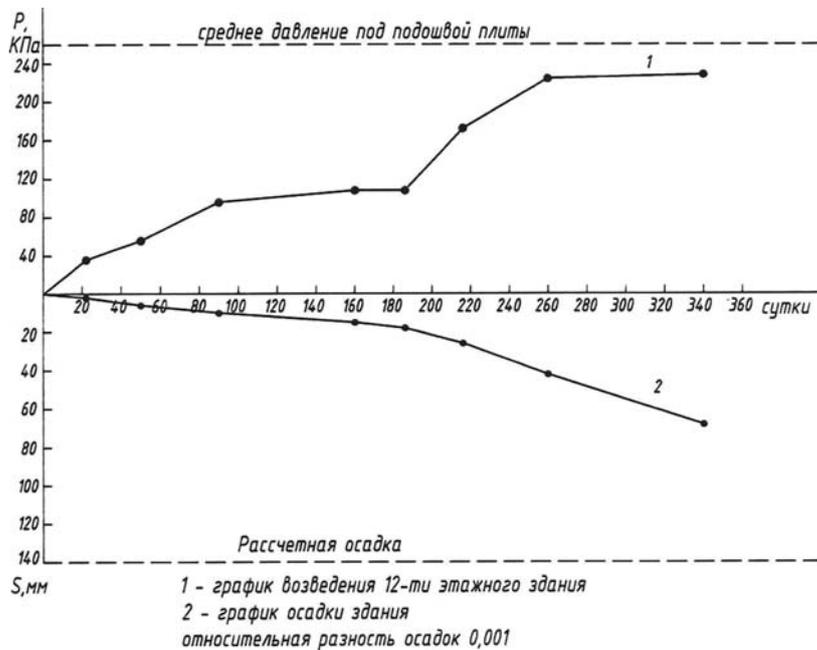


Рис.2 Графики возведения (1) и осадки (2) строящегося жилого 12-ти этажного здания

### Список литературы

1. Волков Ф.Е., Злочевская Р.И. Новый химический способ закрепления водонасыщенных лесовых и глинистых пород «защелачивание»// Инж. геология. 1988. №1. С.15-29.
2. ГОСТ 19912-2012. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием.-М.: Стандартинформ, 2013.
3. ГОСТ 12248-2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости.-М.: Стандартинформ, 2011.
4. Рекомендации по укреплению глинистых грунтов оснований здания и сооружений. ГУП институт «БашНИИстрой», Уфа, 2005.-С. 36.
5. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*.-М.: Минрегион России, 2010.
6. СП 47.13330.2012. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.-М.: Минрегион России, 2012.

Колесников В.П., Артемьев Д.А., Бурмистров А.Д.  
ООО НПО «Уралгеополе», Пермь, info@uralgeopole.ru

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТНЫХ РАБОТ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕТОДИКИ ГРУППОВЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ

Метод ВЭЗ является одним из базовых методов электротометрии. С начала его создания (начало прошлого века) по настоящее время накоплен огромный материал по изучению его информационных возможностей на основе теоретических исследований и большого опыта использования его при решении широкого круга задач [1, 6].

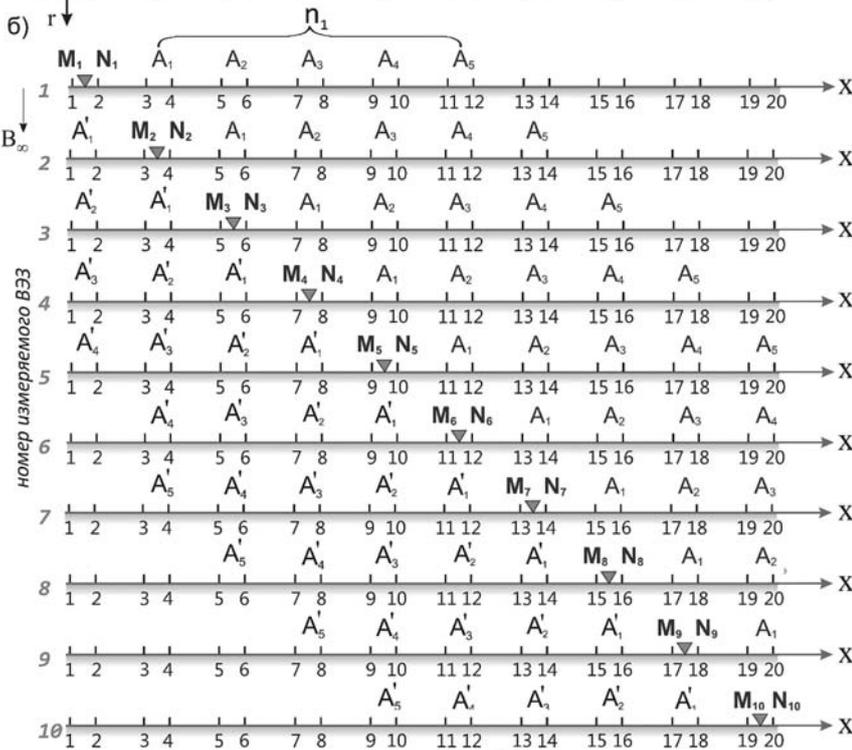
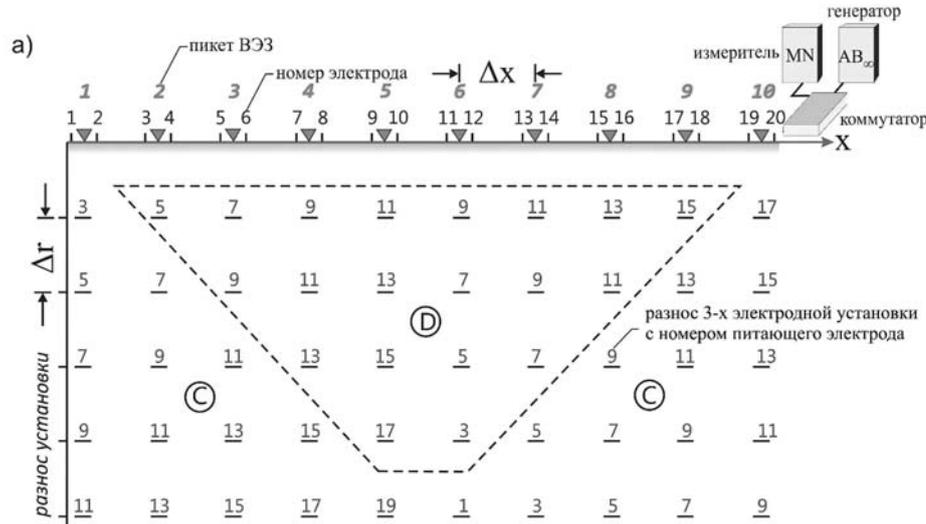
Развитие этого метода нацелено на повышение его информативности, автоматизацию процесса интерпретации, повышение оперативности и экономической эффективности ведения работ [3]. При этом развиваются как элементы классического подхода, так и создаются новые технологии, в частности, метод электротомографии. Одним из основных достоинств второго подхода является высокая оперативность съемки. С использованием существующей его модификации 2D-электротомографии [1], предназначенной в основном для малоглубинных исследований, связанных с решением геологоразведочных, инженерно-геологических и археологических задач, получен обширный материал, заверяющий успешность его применения.

В настоящей публикации рассмотрены возможности аналогичного подхода к развитию классического метода зондирования. Необходимость и актуальность этого возникла в процессе исследовательских и мониторинговых работ, выполняемых авторами на территории ВКМКС с целью выявления потенциально опасных зон и прогноза развития возможных негативных процессов [2]. Особенности условий ведения работ являются относительно повышенная глубинность изучаемой среды, охватывающая интервал от приповерхностной части разреза до залегания верхней части кровли покровных солей (150-180 м), необходимость изучения динамики изменения физических свойств на основе сравнительного анализа съемок разных лет, выполненных методом ВЭЗ. Для этого в настоящее время проводится ежегодно обрабатывается около четырехсот физических точек наблюдения при максимальном разnose АВ = 540 м, а на отдельных участках до 740 м. Интерпретация результатов съемки и мониторинговых наблюдений выполняется с помощью системы программ ЗОНД. В целом, применение разработанной технологии, заверяемой результатами геодезической наблюдений, образованием провальных явлений, показывает достаточную информативность получаемых материалов. Одним из существенных недостатков использования этой технологии является весьма низкая производительность съемки, не обеспечивающая возможность оперативного получения информации, особенно в случае интенсивного развития негативных процессов.

В целях повышения оперативности съемки опробована возможность применения метода групповых зондирований [7], сочетающего ряд достоинств электротомографии и классического метода вертикального электрического зондирования.

Суть методики заключается в измерении электрического сопротивления с помощью аппаратного комплекса, состоящего из генератора тока, измерителя, коммутатора и многоэлектродной установки в виде косы (рис. 1), отличающейся тем, что используется система парных электродов, расположенных с постоянным шагом вдоль профиля наблюдений, выполняющих в

процессе зондирования последовательно функцию как приемных, так и питающих линий, обеспечивая независимость задания длины приемной линии MN от шага между пикетами и разносами установки, снижение, при необходимости, переходного сопротивления заземления питающей линии посредством подачи тока в землю спаренными электродами, осуществление визуального контроля каждой из получаемых в процессе измерений кривых зондирования, повышение плотности наблюдений по сравнению с аналогами за счет получаемого дополнительного зондирования. Благодаря данной методике реализуется принципиальная возможность съемки совокупности зондирований по профилю с однократным установлением измерительной установки и получением полезной информации по участку профиля в интервале расположения измерительной косы.



Условные обозначения: M, N - приемные электроды; C - область 3-х электродной установки; A, B - питающие электроды; D - область 3-х и 4х электродных установок.

Рис. 1. Схема установки для групповых зондирований

Практическая реализация этой методики в условиях ВКМКС потребовала решения следующих задач: а) определение оптимальных размеров параметров многоэлектродной установки, обеспечивающей при минимально возможном количестве электродов получение информации об исследуемой толще пород при детальности наиболее приближенной к съемке методом ВЭЗ ; б) изготовление многоэлектродной измерительной установки, удобной для проведения полевых наблюдений; в) оценку возможного влияния факторов, связанных с конструктивными особенностями установки, главным образом возможных индуктивных, емкостных проявлений при использовании многопроводной косы.

В результате проведенного анализа различных вариантов соотношения между длиной установки, длиной приемной линии, расстоянием между парами, числом зондирований, выполненных в соответствии с необходимыми требованиями, отмеченными в [7], в качестве наиболее оптимальных выбраны следующие параметры измерительной установки: расстояние между парами электродов (шаг приращения длины разноса) – 20 м; расстояние между спаренными электродами (длина MN) при измерениях с разносами до 70-100 м, выбрано равной 10 м, а при последующих разносах MN=50 м; количество пар (точек зондирования) – 20 (рис. 2). Общая длина многоэлектродной установки при выбранных ее параметрах составила 620 м.

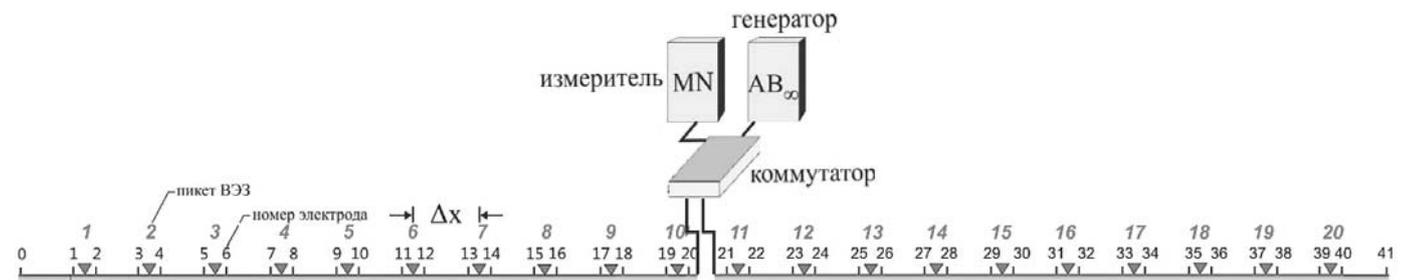


Рис. 2. Схема изготовленной многоэлектродной установки

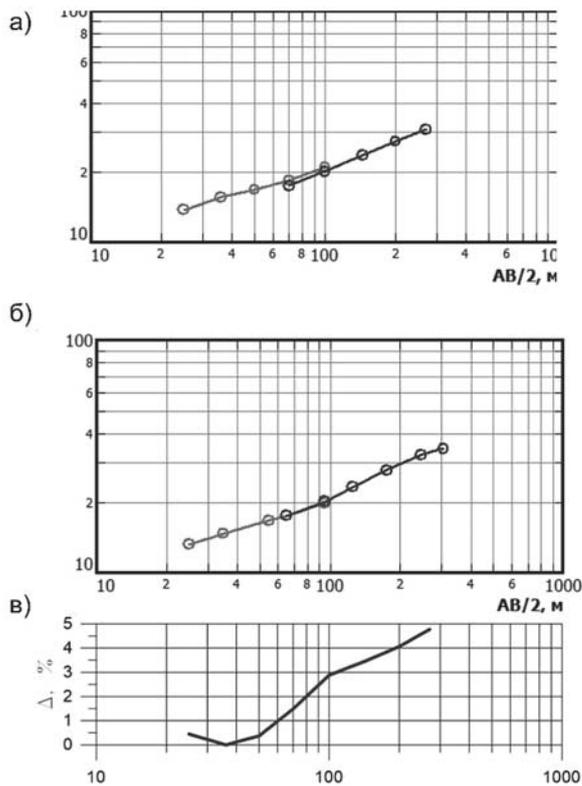


Рис. 3. Графики кажущегося сопротивления, полученные с помощью ВЭЗ (а) и ГЗ (б). Кривая разности между результатами ВЭЗ и ГЗ (в)

Для удобства перемещения установки, уменьшения ее размеров, осуществления рационального контроля при выполнении измерений многоэлектродная установка разделена на две равные симметрично расположенные относительно центра части.

Учитывая необходимость проведения измерений с использованием двух приемных линий, ввиду необходимой глубинности зондирования и необходимого при этом поддержания величины изменяемого сигнала в допустимых пределах, добавлены два дополнительных электрода на концах измерительной линии. В итоге количество электродов, используемых в установке составило 42. Для повышения прочностных и изоляционных свойств коса была усилена полиамидным канатом диаметром 3 мм и покрыта термополимерным изоляционным покрытием. Диаметр установки составил 10-18 мм. Общий вес каждой из двух частей изготовленной установки составил 15 кг. В качестве электродов использованы медные стержни длиной 20 см и диаметром 3 см, легко подключаемые к измерительной линии.

В целях оценки достоверности и возможного влияния конструктивных факторов проведена сравнительная оценка кривых зондирования, получаемых методом групповых зондирований с результатами применения традиционного метода ВЭЗ. Полученные графики зондирования показывают тождественность общего характера поведения графиков зондирования (рис. 3а, 3б). Однако численная оценка относительного

расхождения графиков зафиксировала заметное повышение значений кажущегося сопротивления, полученных многоэлектродной установкой по сравнению с использованием традиционной установки ВЭЗ, закономерно возрастающее по мере увеличения разносов, начиная с  $r = 50$  м (рис. 3в). Максимальная величина этого расхождения при использованной методике наблюдений с максимальным разносом  $r = 270$  м составила 4.7 %, что сопоставимо с погрешностью полевых наблюдений.

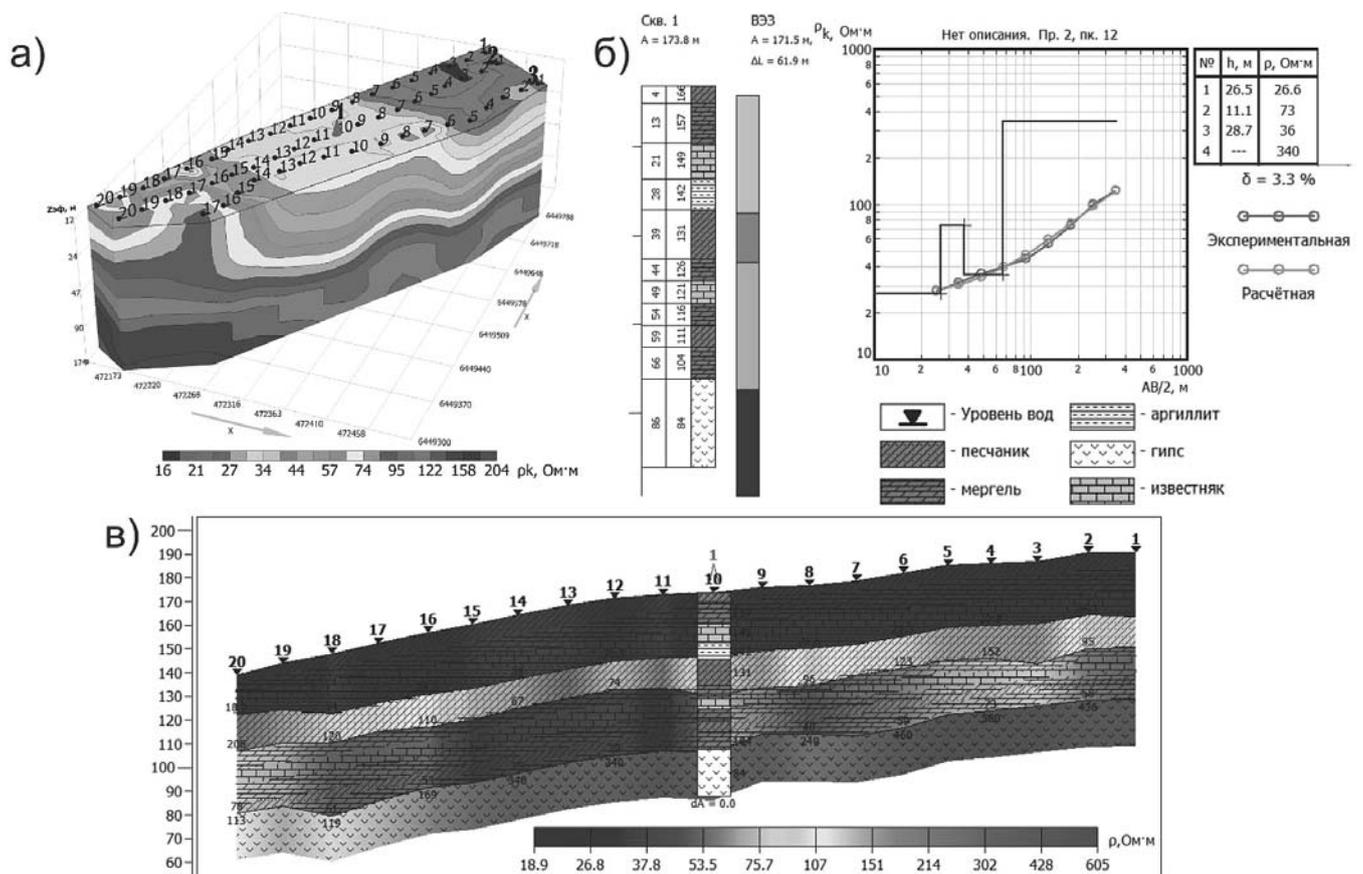


Рис. 4. Результаты интерпретации групповых зондирований. Поле значений кажущегося сопротивления (а), результаты интерпретации параметрического зондирования (б), геоэлектрический разрез по профилю 2 (в)

Наиболее вероятной причиной расхождения можно считать наличие емкостных электрических проявлений при использовании многопроводных измерительных линий, которое в данном случае является определенным ограничением на проведение электрических зондирований при исследовании геоэлектрического разреза на глубинах, превышающих изучаемый в данном случае интервал глубин.

В целях оценки технологичности практического применения проведена съемка с использованием изготовленной установки по одному из участков в целях решения гидрогеологических задач. Исследуемый интервал глубин составлял от приповерхностной части разреза (8-10 м) до 150 м. Съемка была проведена в ручном режиме коммутации по трем профилям исследования, включающем 57 физических точек наблюдения. Измерения проводилась при использовании аппаратного комплекса АМС-1М [4, 5]. Сравнительная оценка оперативности проведения съемки показала, что время, затраченное на измерения по методике групповых зондирований, сократилось примерно в 4-5 раз относительно времени, необходимого для съемки с такой же плотностью наблюдений по методике ВЭЗ. Обработка и интерпретация результатов съемки были выполнены с помощью системы программ «Зонд» (рис. 4).

В целом результаты выполненных исследований показали перспективность развития данной технологии. В настоящее время проводятся работы по изготовлению коммутатора и модифицированного аппаратно-программного комплекса АМС-ЗОНД для автоматической регистрации и интерпретации наблюденного поля с контролем получаемых результатов.

### Список литературы

1. Бобачев А.А., Большаков Д.К., Модин И.Н., Шевнин В.А. Электроразведка. Т2. – М. -2013.
2. Жуков А.А., Колесников В.П., Ласкина Т.А. Мониторинговый контроль физического состояния среды методами электрометрии на потенциально опасных участках образования деформаций земной поверхности // Горный информационно-аналитический бюллетень. Mining informational and analytical bulletin. №4/2015 – с. 163-171
3. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. – М: Научный мир, 2007. – 248 с.
4. Колесников В.П., Зеленин В.П. Инструкция по электроразведочной аппаратуре АМС-1. – Пермь, 2008
5. Комплекс для геоэлектроразведки. Патент на изобретение № 97542
6. Матвеев Б.К. Электроразведка. – М: Недра, 1990.
7. Способ геоэлектроразведки. Патент на изобретение №2545309, 24.02.2015 г.

Исаев О.Н.

НИИОСП им. Н.М. Герсегонова, Москва, geotechnika2008@gmail.com

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗОНДОВ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМИ ДАТЧИКАМИ И УСТРОЙСТВАМИ ПРИ ИСПЫТАНИИ ГРУНТОВ МЕТОДОМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Статическое зондирование грунтов (СРТ) с использованием **электрических зондов**, являющееся основным полевым методом испытания грунтов в современной практике инженерно-геологических изысканий, выполняется путем статического непрерывного или прерывистого погружения в грунт зонда, состоящего из штанги и специального электрического (как правило, тензометрического) **наконечника**, расположенного в нижней части зонда и служащего для измерения удельных сопротивлений грунта под **конусом**  $q_c$ , МПа, и на участке боковой поверхности (**муфте трения**)  $f_s$ , МПа, наконечника зонда.

В России, согласно актуализированной редакции ГОСТ 19912-2012 «Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием» диаметр конуса наконечника – 35,7 мм, длина муфты трения – 310 мм (рис. 1). Такие зонды в отечественной практике часто называют **стандартными**. Кроме стандартных применяются также **нестандартные** зонды, отличающиеся от стандартных размерами (диаметром наконечника, длиной муфты трения) или наличием дополнительных датчиков и устройств. Большинство зарубежных зондов, в рамках требований российских норм, относятся к нестандартным. Диаметр их конуса, кроме основного размера 35,3...36,0 мм, может быть 25 мм (применяется редко) и 50 мм (применяется все чаще), а длина муфты трения значительно меньше отечественной и составляет 132,5...135,0 мм.

В последние годы широкое распространение получают **специальные электрические зонды**, отличающиеся от стандартных зондов тем, что имеют дополнительные устройства и датчики (порового давления, температуры, радиоактивного каротажа, электрического сопротивления, сейсмодатчик, инклинометр и др.), позволяющие измерять дополнительные характеристики грунта или контролировать процесс зондирования. В отечественных и зарубежных публикациях [2,5,6] приводятся более двадцати видов дополнительных датчиков и устройств. Специальные зонды могут классифицироваться по:

- назначению:
- геотехнического применения,
- геоэкологического применения,
- многофункционального применения.
- конструктивному принципу:
- с одномодульным наконечником (дополнительные датчики и устройства располагаются внутри основного наконечника);
- с двух и более модульным наконечником (дополнительные датчики и устройства располагаются в отдельном модуле или модулях, располагаемых выше основного наконечника).

## Дополнительные датчики и устройства, используемые при статическом зондировании для геотехнических целей (по И.Б. Рыжкову и О.Н. Исаеву [2])

Геотехническое применение		
Датчики (устройства)	Измерение	Применение
1	2	3
Акселерометр/ Сейсмограф ( <i>Accelerometer/Geophone</i> )	Скорости продольных и поперечных упругих волн	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Модуль деформации грунта при малых деформациях</li> <li>• Модуль сдвига грунта при малых деформациях</li> </ul>
Акустический датчик ( <i>Acoustic</i> )	Акустической эмиссии	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вид грунта</li> <li>• Сжимаемость грунта</li> <li>• Структура грунта</li> </ul>
Бокового давления датчик ( <i>Lateral Stress</i> )	Нормального давления на боковую поверхность зонда	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Оценка природного напряженного состояния грунта</li> </ul>
Вибромодуль ( <i>Vibratory Module</i> )	Сопротивления грунта зондированию при задавливании зонда с вибрацией	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Возможность разжижения песков</li> </ul>
Видео устройство ( <i>Video</i> )	Видео изображение грунта в процессе зондирования	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Размер частиц грунта</li> <li>• Стратиграфия грунта</li> </ul>
Гамма-каротаж ( <i>Gamma Radiation</i> )	Интенсивности естественного гамма-излучения	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Естественная радиоактивность грунта</li> <li>• Глинистость дисперсных пород</li> </ul>
Гамма-гамма-каротаж ( <i>Gamma- Gamma Radiation</i> )	Интенсивности вторичного гамма-излучения	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Плотность грунта</li> </ul>
Инклинометр ( <i>Inclinometer</i> )	Вертикальности зонда	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Предотвращение повреждения зонда</li> <li>• Корректировка глубины погружения зонда</li> </ul>
Крыльчатка ( <i>Vane</i> )	Вращательного момента	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сопротивление грунта срезу</li> <li>• Чувствительность (структурная прочность) грунта</li> </ul>
Нейтрон-нейтрон-каротаж ( <i>Neutron- Neutron Radiation</i> )	Потери энергии нейтронов в процессе их рассеяния в грунте	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Влажность грунта</li> </ul>
Порового давления датчик ( <i>Pore water pressure</i> )	Давления поровой воды	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Поровое давление воды</li> <li>• Вид грунта</li> <li>• Коэффициент консолидации грунта</li> <li>• Коэффициент фильтрации грунта и др.</li> </ul>
Прессиометрический модуль ( <i>Pressuremeter Module</i> )	Радиальных деформаций	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Модуль деформации грунта</li> <li>• Модуль сдвига грунта</li> <li>• Горизонтальные напряжения в грунте</li> <li>• Сопротивление грунта сдвигу</li> <li>• Прочностные характеристики грунта</li> </ul>
Рефлектометр ( <i>Time Domain Reflectometry</i> )	Диэлектрической константы пульсирующей электромагнитной волны	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Корреляция с влажностью грунта</li> </ul>
Температурный датчик ( <i>Temperature</i> )	Температуры зонда при его движении и остановке	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Природная температура грунта</li> <li>• Оценка вида грунта</li> <li>• Определение состояния грунта (талое, мерзлое)</li> <li>• Теплофизические свойства грунта</li> </ul>
Температурный датчик и нагревательный элемент ( <i>Temperature and Heat</i> )	Температуры зонда при его нагреве	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Теплофизические свойства грунта</li> </ul>
	Нагрев и измерение сопротивления оттаявшего грунта зондированию	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Оценка механических свойств мерзлых грунтов при их оттаивании</li> </ul>
Электросопротивления датчик ( <i>Electrical Resistivity</i> )	Силы тока в грунте между изолированными электродами	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Электропроводность грунта</li> <li>• Вид грунта</li> <li>• Коррозионная активность грунта</li> <li>• Пористость песков</li> <li>• Определение уровня подземных вод</li> </ul>

Дополнительные датчики и устройства, используемые при статическом зондировании для геоэкологических целей (по И.Б.Рыжкову и О.Н.Исаеву [2])

Геоэкологическое применение		
Датчики (устройства)	Измерение	Применение
1	2	3
Водородного показателя датчик (pH)	Концентрации ионов водорода	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Пролиты кислоты</li> <li>• Исходный пункт проливов</li> </ul>
Гамма-каротаж (Gamma Radiation)	Интенсивности естественного гамма-излучения	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Зоны радиоактивных загрязнений</li> </ul>
Диэлектрической проницаемости датчик (HIM-probe)	Диэлектрической проницаемости грунта в переменном электрическом поле	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Загрязнения в виде органических жидкостей</li> </ul>
Комплексной оптоэлектроники устройство (Integrated Optoelectronics)	Химической концентрации с помощью волновой интерференции	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Выявление аммиака</li> <li>• Определение водородного показателя</li> </ul>
Лазерно-индуцированной флуоресценции датчик (LIF)	Флуоресценции углеводородных загрязнений	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Загрязнения нефтепродуктов (топлива, бензина, нефти, смазочных материалов), способных флуоресцировать</li> </ul>
Окислительно-восстановительного потенциала датчик (Redox Potential)	Окислительно-восстановительный потенциал	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Мониторинг обстановки в период биовосстановления опасных отходов</li> </ul>
Рамановский спектрограф для комбинационной спектроскопии (Raman Spectroscopy)	Концентрации ионов аргона, вызванных лазерной флуоресценцией	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Загрязнения в виде органических жидкостей</li> <li>• Выявление хлорированных углеводородов</li> </ul>
Температурный датчик (Temperature)	Температуры зонда	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Эндотермическая / экзотермическая активность в результате химических реакций</li> <li>• Выявление зон воздействия термальных вод</li> <li>• Выявление зон нарушения режима подземных вод за счет утечек из водонесущих коммуникаций</li> </ul>
Электросопротивления датчик (Electrical Resistivity)	Силы тока в грунте между изолированными электродами	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Проникание соленой воды</li> <li>• Пролиты кислоты</li> <li>• Минерализация подземных вод</li> </ul>

В основном специальные зонды применяют для изучения особых грунтовых условий и специфических грунтов. За рубежом чаще всего используют зонды с дополнительными датчиками порового давления (CPTU) и сейсмотатчиками (SCPT, SCPTU).

Согласно российским нормам [1,3], применение специальных зондов допускается, если это предусмотрено требованиями действующих нормативно-технических документов или техническим заданием на инженерно-геологические изыскания.

В трех случаях стандарт [1] напрямую требует обязательное их использование.

При испытании грунтов на глубину более 10 м [1] следует применять специальные зонды с наконечниками, оснащенными инклинометром, показания которого необходимо использовать для определения фактической глубины зондирования и предотвращения поломки зонда. Допускается располагать инклинометр непосредственно над наконечником.

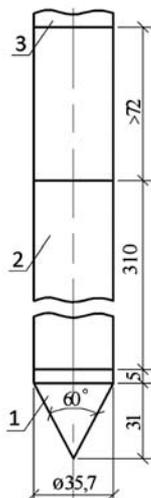


Рис. 1. Стандартный электрический зонд (по ГОСТ 19912-2012): 1 - конус; 2 - штанга; 3 - муфта трения

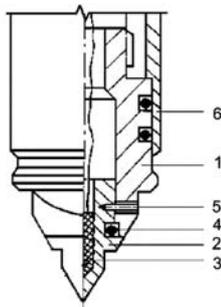
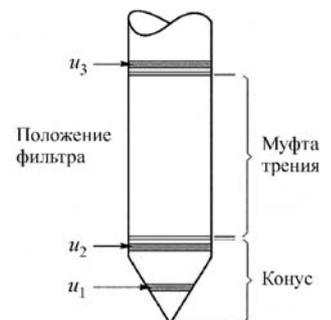


Рис. 2. Специальный электрический зонд с датчиком температуры: 1 – основной конус, 2 – малый конус, 3 – датчик температуры, 4 – уплотнение, 5 – крепежный винт, 6 – муфта трения

Рис. 3. Специальный электрический зонд с датчиком порового давления:  $u_1$  – поровое давление измеряется на конусе,  $u_2$  – поровое давление измеряется между основанием конуса и муфтой трения,  $u_3$  – поровое давление измеряется выше муфты трения



Для испытаний многолетнемерзлых грунтов [1,3] необходимо использовать специальные электрические зонды с датчиком температуры, устанавливаемым, как правило, в конусе наконечника зонда и служащим для измерения температуры наконечника и грунта (рис. 2).

Для испытания грунтов на континентальном шельфе следует использовать специальные электрические зонды с датчиком порового давления и фильтром  $u_2$ , устанавливаемым между конусом и муфтой трения (рис.3). За рубежом фильтр также может устанавливаться в конусе ( $u_1$ ) и над муфтой трения ( $u_3$ ).

### Список литературы

1. ГОСТ 19912-2012. Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. – М.: Стандартинформ, 2012. – 19 с.
2. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов. – М.: АСВ, 2010. – 496 с.
3. СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах.
4. International Reference Test Procedure for CPT and CPTU (IRTP). Correct-ed. 2001.
5. Lunne T., Robertson P.K. and Powell J.J.,M. 2004. Cone penetration testing in geotechnical practice. London and New York: Spon Press.
6. Burns S.E., Mayne P.W. Penetrometers for Soil Permeability and Chemical Detection / Funding provided by NSF and ARO issued by Georgia Institute of Technology Report No GIT-CEEGEO-98-1, July 1998. Georgia Tech. 1998.

Коледа С.

Компания «КРЕДО-ДИАЛОГ», Минск

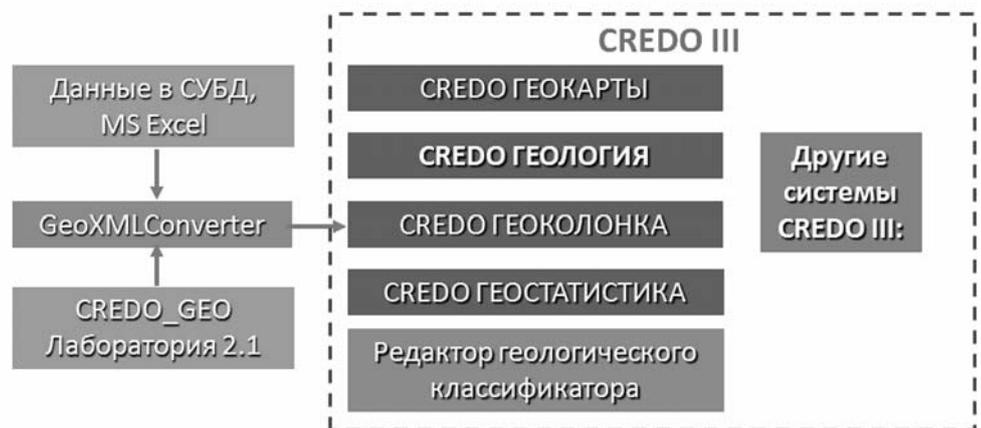
## ЕДИНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СРЕДА ОБРАБОТКИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Компания «Кредо-Диалог» продолжает развитие инженерно-геологического направления в комплексе CREDO. После выпуска системы CREDO ГЕОСТАТИСТИКА в феврале 2015 года, программный комплекс CREDO обеспечивает обработку всей геологической информации в едином информационном пространстве.

### Задачи, стоявшие перед разработчиками

- Создание и управление геологическими данными по объекту в рамках единой информационной среды, в которой обеспечен доступ как к исходным выработкам с опробованием, так и к различным моделям геологического строения.
- Одновременный доступ к различной топогеодезической и проектной информации.
- Редактирование состава и дополнение данных геологического классификатора, позволяющего описать практически любые геологические сущности, используемые в исходных данных и модели геологического строения.
- Ввод и редактирование неограниченного числа выработок на площадке, данных по опробованию в выработках, уровней и горизонтов, результатов зондировок различного вида.
- Обработка различных видов полевых и лабораторных испытаний, с возможностью одновременной интерпретации полученных результатов в геологическом строении.
- Развернутые возможности импорта/экспорта данных по исходным выработкам, в том числе через открытый обменный формат.

Рис. Текущее состояние комплекса



### Преимущества использования ПП CREDO для инженера-геолога

- Ввод и редактирование неограниченного числа выработок на площадке, данных по опробованию в выработках, уровней и горизонтов, результатов зондировок различного вида.
- Получение физико-механических характеристик грунтов и расчеты несущей способности свай по данным статического и динамического зондирования по одной и группе точек на площадке.
- Расчет физико-механических характеристик и химических грунтов на основе исходных данных опробования и испытаний грунтов.
- Статистическая обработка результатов опробования и настраиваемый инструментарий автоматического выделения инженерно-геологических элементов на площадке.

- Создание инженерно-геологических разрезов произвольной плановой геометрии, в которых могут создаваться и редактироваться плоская, полосная и объемная модели геологического строения.
- Построение карт срезов по различным поверхностям, карт кровли погребенных отложений, изопахит, гидроизогипс и других типов изолиний по данным объемной геологической модели.
- Выпуск большой номенклатуры различных ведомостей, каталогов и протоколов с возможностью настройки шаблона.
- Подготовка и выпуск чертежей топографических планов и карт-срезов, схем выработок на площадке, инженерно-геологических колонок и разрезов, условных геологических обозначений.
- Комплексная 3D-визуализация цифровой модели местности, геологического строения площадки и проектных решений по площадному или линейному объекту.
- Получение геологического строения в любой точке площадки, по проектной поверхности, в продольном и поперечных профилях произвольного линейного объекта при вариантном проектировании.

## Выводы

Таким образом, текущее состояние комплекса CREDO предоставляет пользователям различные виды создания, редактирования, анализа и визуализации модели геологического строения, удобные возможности по созданию специальных выходных графических материалов. Комплексное взаимодействие систем CREDO ГЕОЛОГИЯ, CREDO ГЕОКОЛОНКА, CREDO ГЕОКАРТЫ и CREDO ГЕОСТАТИСТИКА обеспечивает пользователей высокоэффективным и удобным инструментом для обработки материалов инженерно-геологических изысканий.

Кочергин А.В.<sup>1</sup>, Абрамов А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «Стройдормаш», Екатеринбург, kav@sdm.ur.ru

<sup>2</sup>ООО «ТИИС «Инновация», Тюмень

# НЕКОТОРЫЕ ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ БУРОВЫМИ УСТАНОВКАМИ АО «СТРОЙДОРМАШ»

## Введение

Какую буровую технику применяют изыскательские компании при геологических изысканиях? Падение объемов строительства приводит к сокращению изысканий. При этом наблюдается занижение расходов на изыскания на тендерных площадках. Всем известные проблемы. Тем не менее большинство зарекомендовавших себя на рынке изыскательских организаций продолжает серьезно относиться к проблеме технического оснащения, справедливо полагая, что применение эффективной техники позволяет повысить качество работ, сократить сроки проведения изысканий. А повышение производительности приводит к прямой экономической выгоде.

Рассмотрим конкретные примеры проведения геологических изысканий в различных регионах страны с применением буровой техники АО «Стройдормаш»:



1. ООО «Геопроект» из Республики САХА (Якутия) при выборе буровой установки придерживалось следующих критериев: машина должна быть надежной, с небольшой массой, на шасси УРАЛ с высокой проходимостью и производительной. Этим объясняется выбор – БГМ-12 с максимальным набором дополнительных опций. К ним относятся не только лебедка со свободным сбросом, немецкий вращатель с функцией смещения от оси скважины, гидравлический хомут для работы с обсадными трубами, но также зажим для буровых штанг.

Надежность обеспечивается качественной сборкой преимущественно из импортных комплектующих, высокая про-

изводительность достигается обеспечением требуемой скорости бурения и сокращением времени на проведение спускоподъемных операций.

Все это позволяет существенно сократить время на проведение буровых работ при инженерно-геологических изысканиях на строительных объектах различного назначения в Республике Якутия.



2. Ряд краснодарских изыскательских компаний предпочитает установку УРБ-2М с немецкими вращателем для бурения скважин при геологических изысканиях. Машины комплект буровыми насосами, компрессорами, зажимами для обсадных труб, как правило – дополнительными зажимами для буровых штанг. Например, ООО «Геопроектстрой» имеет в парке 10 установок АО «Стройдормаш», 4 установки эксплуатируются в ООО «Инжпроектстрой», ООО «Водолейбурсервис» успешно использовало УРБ-2М при проведении работ на объектах олимпиады в г. Сочи. Мнение начальника УБР ООО «Геопроектстрой» Жука В.В.: «Установки отвечают запросам к проведению инженерных изысканий, мобильны и ремонтпригодны по всей территории России. География работ – от Заполярья при – 43 гр. до + 55 градусов в Монголии. Грунты – различные, в

том числе алевролиты, диориты, габбро, базальт, порфириды. Изыскания проводились при помощи колонкового и пневмударного инструмента с продувкой и с промывкой диаметром до 127мм и с использованием обсадных колонн диаметром до 168мм. Так же проводилось статическое зондирование грунтов, выполнялись работы по бурению с понтонов для проектирования мостовых сооружений». С 2015 года интерес компаний Краснодарского края проявился к новым установкам АО «Стройдормаш» – УРБ-51 и УРБ-41.



3. ООО «Стройтехбурение» (г. Мирный, Якутия) остановило свой выбор на УРБ-51 с двойным зажимом для облегчения и ускорения погружения и подъема обсадных труб. Наличие такой опции позволило существенно повысить производительность работы установки при работе с обсадными трубами в сложных условиях работы в регионах Якутии.

4. ООО «ТИИС (Тюменский институт инженерных систем) «Инновация» для проведения инженерно-геологических изысканий приобрело новую установку АО «Стройдормаш» – УРБ-41 в комплекте с буровым насосом и компрессором. Опыт такой эксплуатации представляет особый интерес для производителя установки. Информацией поделился начальник отдела ООО «ТИИС» Абрамов А.В.:



«Работы производились в Новом Уренгое, Ямбурге, Нефтеюганске в условиях мерзлоты, грунт – песок, суглинок. Заказчики – «Газпромдобыча – Ямбург», «Газпромдобыча-Уренгой». Применялось колонковое бурение с полным отбором керна, диаметр – 127 мм, глубина – 20 метров. В смену бурили 2-3 скважины, много времени уходило на извлечение мерзлого керна. Установка очень удобна в работе, большой запас мощности, при бурении было достаточно второй скорости из четырех доступных. Усилие на забой позволяло осуществлять статическое зондирование на глубину до 16 м без применения анкерения».

ялось колонковое бурение с полным отбором керна, диаметр – 127 мм, глубина – 20 метров. В смену бурили 2-3 скважины, много времени уходило на извлечение мерзлого керна. Установка очень удобна в работе, большой запас мощности, при бурении было достаточно второй скорости из четырех доступных. Усилие на забой позволяло осуществлять статическое зондирование на глубину до 16 м без применения анкерения».

### Заключение

Опыт эксплуатации различных установок АО «Стройдормаш» в разных климатических и геологических условиях при бурении скважин для целей инженерно-геологических изысканий показывает их высокую эффективность. Важную роль играют приемлемая для современных условий цена при обеспечении необходимых функциональных возможностей.

Корабельников Н.А., Глушков Б.В.

Воронежский государственный университет (ВГУ), МИП ООО «Акма-Универсал», Воронеж, korabel\_na@mail.ru

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СТРАТИФИКАЦИЯ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО РЕГИОНА

Очень часто при экспертизе материалов инженерно-геологических изысканий возникают вопросы об индексации выделяемых инженерно-геологических элементов. Свод правил предписывает при выполнении инженерных изысканий соблюдать нормативные правовые акты Российской Федерации. В области стратификации таковыми являются региональные стратиграфические легенды, разрабатываемые структурными подразделениями министерства природных ресурсов РФ (ранее министерство геологии СССР).

Стратиграфические легенды разрабатываются на территории крупных геологических (тектонических) структур, например, на территорию Воронежской антеклизы (Воронежского кристаллического массива), для серии листов государственной геологической карты. Так, к примеру, Воронежская серия листов Госгеолкарты-200 полностью охватывает территорию Воронежской антеклизы, склон Днепровско-Донецкой впадины, прилегающую часть Пачелмского авлакогена и склон Московской синеклизы. Она полностью или почти полностью включает в себя 7 областей (Воронежскую, Курскую, Орловскую, Брянскую, Белгородскую, Тамбовскую и Липецкую), по периферии заходит в пределы еще 8 областей (Калужской, Смоленской, Тульской, Рязанской, Пензенской, Саратовской, Волгоградской и Ростовской (рис. 1).

При производстве инженерных изысканий привычнее пользоваться не границами листов топографической карты, а административными границами. Поэтому настоящая инженерно-геологическая стратификация составлена для областей Центрально-Черноземного региона (ЦЧР), которые полностью вписываются в рамки Воронежской серии листов Госгеолкарты-200. К тому же, авторами накоплен большой опыт по данной территории во время производства геологического доизучения площадей (ГДП-200) и инженерно-геологической съемке масштаба 1:200 000 (Листы: М-37-ХVI, ХХII; М-37-ХII, N-37-XXX, XXXVI; N-38-XXXI, М-37-Х, N-37-XXIX, М-37-И,II,III).

Легенда Воронежской серии листов Госгеолкарты-200 была подготовлена авторским коллективом ЦРГЦ и утверждена НРС МПР 30 декабря 1999 года [1]. Изменения в легенду вносились в 2004, 2011, 2015 годах [2]. До этого, из известных авторов, существовали схемы: МСК 1983 г.; ГУЦР 1976 г.; схемы геологических съемок масштаба 1:200 000 60-х годов XX века. Кроме указанных легенд в настоящей работе использована эталонная база изобразительных средств госгеолкарты-200(1000) (ЭБЗ) последней версии [3].

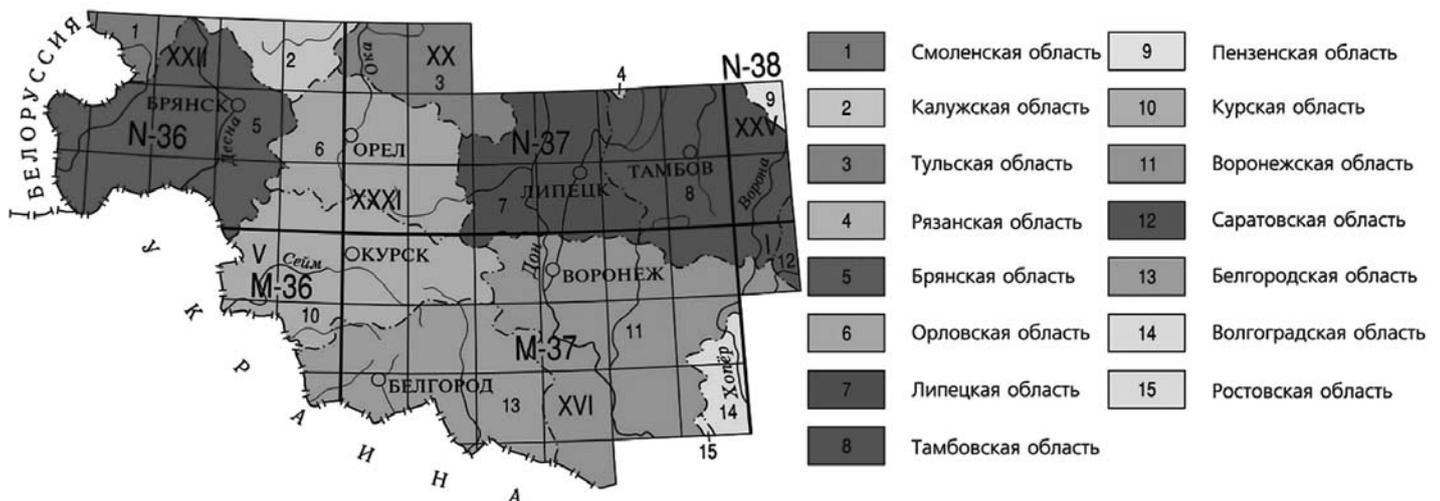


Рис. 1. Схема расположения листов Воронежской серии

Основная цель данной работы это – разработать рациональную схему инженерно-геологической стратификации (выделения стратиграфо-генетических комплексов (СГК) грунтов) и сопоставить ее с современной и устаревшими стратиграфическими схемами четверичных отложений на территории ЦЧР.

Стратиграфо-генетические комплексы выделены в соответствии со сложившимися в современной инженерной геологии подходами, сформулированные И.В. Поповым, Г.К. Бондариком, В.Т. Трофимовым [4, 5, 6].

Основным результатом работы является таблица сопоставления выделенных стратиграфо-генетических комплексов грунтов со стратиграфическими схемами четвертичных отложений (Приложение 1). В таблице – четыре основные колонки: 1) наименование инженерно-геологического подразделения; 2) современная геологическая стратификация; 3) устаревшая геологическая стратификация; 4) литологический состав и характерные особенности грунтов.

На территорию ЦФО составлены геологические карты масштаба 1:500 000 [7], эти карты имеются в свободном доступе в сети Internet ([www.geokniga.org](http://www.geokniga.org)), поэтому геологические индексы, которые используются на этих картах обозначены знаком \*.

Выделение большинства СГК очевидно, но по некоторым стоит сделать небольшие пояснения.

Голоценовые образования – приведены только те, который широко представлены на изучаемой территории. В *голоценовые аллювиальные отложения пойм* включены также болотные и пролювиальные отложения, которые распространены в границах пойм рек, так как во многих случаях они образуют единый комплекс с фациальными переходами от одних отложений к другим.

*Неоплейстоценовые лессовидные, почвенно-лессовые, делювиальные образования* – в этот комплекс кроме лессовидных и почвенно-лессовых образований включены делювиальные отложения, так как на присклоновых участках водораздельных пространств отделить одно от другого просто не представляется возможным.

В *среднеоплейстоценовые и нижнеоплейстоценовые ледниковые* включены *водно-ледниковые отложения стадии наступания ледника*, так как они, залегая непосредственно под мореной, имеют ограниченное распространение.

*Нижнеоплейстоценовые аллювиальные и озерные отложения* во внеледниковой области включены в состав *нижне-среднеоплейстоценовых аллювиальных и озерных отложений*, так как они образуют единую толщу однотипных по генезису отложений, которые на практике трудно отделить друг от друга. В ледниковой зоне, по той же причине, эти отложения включены в состав *эоплейстоценовых-нижнеоплейстоценовых аллювиальных отложений*.

В состав комплекса – *неогеновые, эоплейстоценовые, нижнеоплейстоценовые лессовидные, элювиальные, делювиальные и солифлюкционные образования*, включены элювиальные образования неогена, потому как литологически они трудно отличимы от эоплейстоценовых и нижнеоплейстоценовых образований того же генезиса.

Представленную таблицу предлагается, после апробации в ведущем геологическом институте России – ВСЕГЕИ, утвердить в СРО «АИИС» как региональное руководство.

## Список литературы

1. Легенда Воронежской серии листов Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (издание второе). Составители: Т.Е. Горбаткина, Ю.И. Иосифова и др. ЦРГЦ, Москва, 1999 г.
2. Изменения и дополнения к Легенде Воронежской серии Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (второе издание). Гл. редактор Г.В. Холмовой, отв. исп. А.В. Черешинский. Воронеж, 2011 г.
3. Эталонная база изобразительных средств госгеолкарты-200/2 (версия X.01.01)
4. Попов И.В. Инженерная геология. – 2-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 1959.
5. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии. – М.: Недра, 1981. – 272 с.
6. Теоретические проблемы инженерной геологии//Под редакцией В.Т. Трофимова и В.А. Королева – М., Изд. МГУ, 2000, 166с.
7. Отчет о результатах работ по теме «Составление комплекта карт геологического содержания масштаба 1:500 000 и мелче по территории деятельности Центрального ДПП». Т.Е. Горбаткина, Ю.И. Иосифова, Н.Д. Кононов, Москва, 2001 г.

Интернет ресурсы: <http://arcscripsts.esri.com>, <http://egip.mka.mos.ru/egip/>

Бершов А.В.

МГУ им. М.В. Ломоносова, ГК «ПетроМоделинг», Москва, alexey.bershov@petromodeling.com

# О НЕОБХОДИМОСТИ ПЕРЕХОДА В ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ К ТРЕХМЕРНОМУ (3D) МОДЕЛИРОВАНИЮ И ПРЕДСТАВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Рис. 1. Схема построения трехмерной инженерно-геологической модели

На сегодняшний день в инженерно-геологических изысканиях сложилась неустойчивая ситуация. С одной стороны, хроническое недофинансирование, явные сложности с актуализацией советской нормативной документации, появление иностранных компаний, несущих иные нормы и подходы. С другой стороны, все более насущная необходимость перехода к цифровой передаче информации, в частности данных инженерных изысканий [1], применение современных программных комплексов (позволяющих решать задачи в трехмерной постановке [7]) для проектирования все более сложных зданий и сооружений, появление новых методов исследования инженерно-геологических условий [4, 5, 9, 10] (и более дешевых, и более быстрых) и моделей поведения грунта [6, 8]. В таких условиях устоявшийся подход моделирования инженерно-геологических условий, основанный на таблице с расчетными и нормативными показателями и двухмерными разрезами с цифрами, обозначающими номера инженерно-геологических элементов, зачастую дает сбои. Проектные решения, принимаемые на базе таких моделей, грешат ошибками, причем ошибками, заложенными на самых ранних стадиях и, как следствие, чрезвычайно сложными к исправлению. За примерами ходить не надо – это и трамплины, и медиацентр, и всплывающие газо- и нефтепроводы.

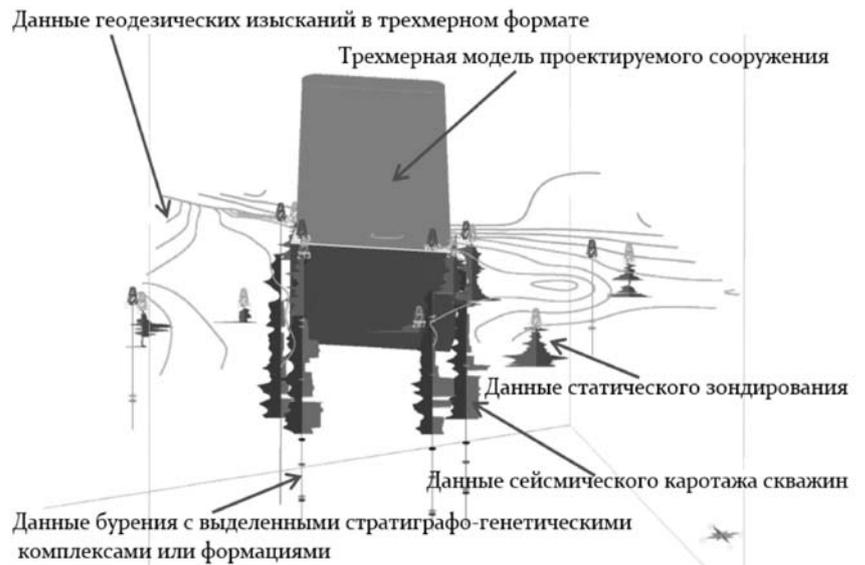
Выход из сложившейся ситуации видится автору в применении трехмерных инженерно-геологических моделей – цифровых систем в пространственной постановке, исследование которых служит средством для получения информации о инженерно-геологических условиях в целом и (или) их компонентах в частности при обеспечении нужд хозяйственной деятельности. Конечно речь не идет о полной замене сложившегося подхода и требуется достаточно долгий переходный период, да и само трехмерное моделирование требуется не всегда, а лишь при строительстве сложных и уникальных объектов, где мы имеем достаточное количество инженерно-геологической информации.

В общем виде алгоритм построения трехмерной инженерно-геологической модели приведен на рисунке 1. Он содержит 4 явных этапа и неявные этапы калибровки модели, производимые вслед за каждым этапом жизненного цикла сооружения. При этом моделирование начинается в самом начале – при планировании строительства.



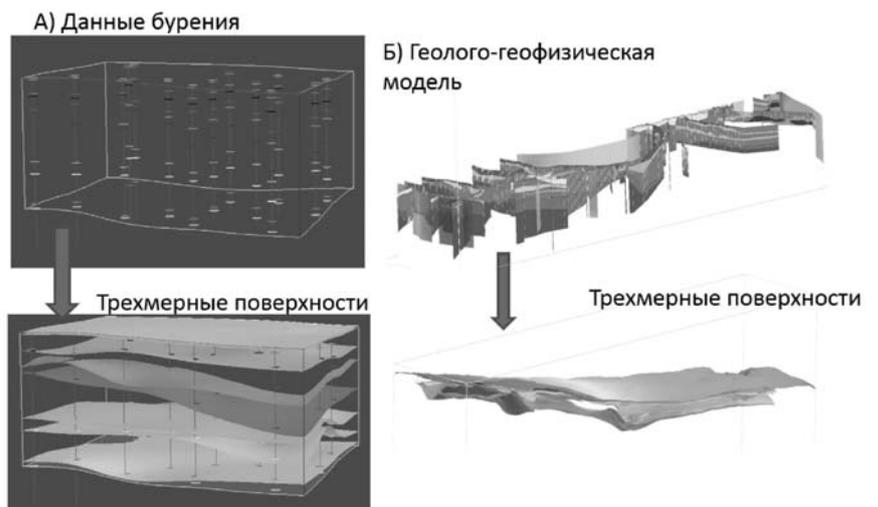
Этап 1. Сбор инженерно-геологической, геодезической, геофизической, проектной и другой информации (например, по предпроектной и проектной стадиям). Приведение всех данных к одному формату и пространственным координатам. Внесение данных в единый программный комплекс (рис. 2).

**Рис. 2. Пример данных интегрированных в едином трехмерном пространстве**

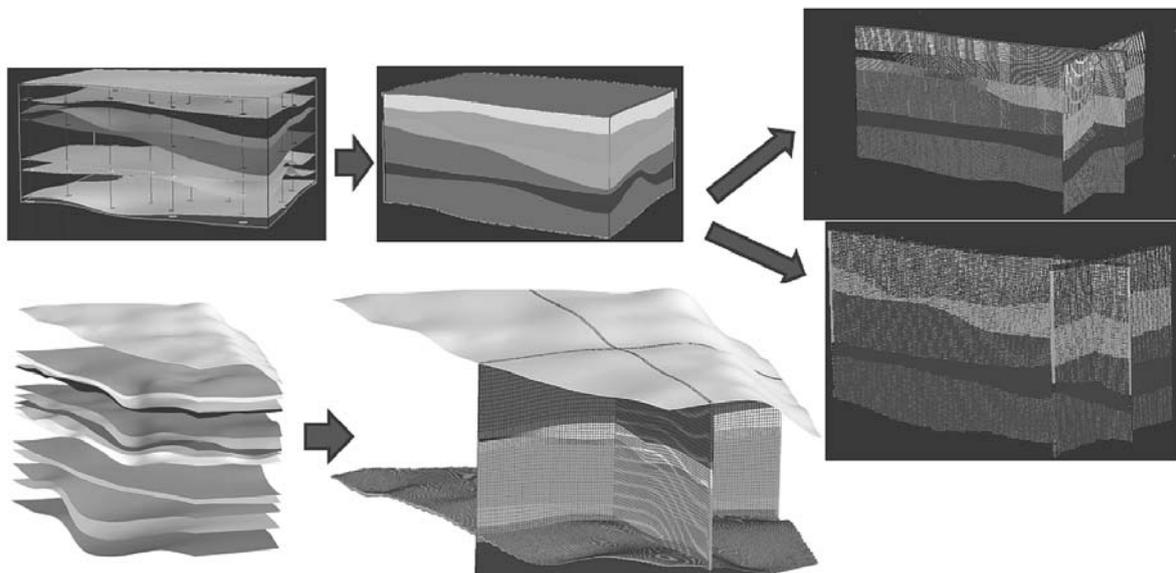


Этап 2.1. Построение структурной модели – непрерывных поверхностей, отражающих положение в пространстве кровли и подошвы протяженных геологических тел одного генезиса (рис. 3). При таких построениях важными моментами являются следующие: мы не можем построить локальные тела (линзы, пустоты и т.п.), важнейшим моментом становится стратиграфическая схема и представления об истории развития территории. В противном случае моделирование поверхностей может превратиться в механистическое соединение тел с номерами (как зачастую происходит и сейчас), однако, такие «модели» приводят к плачевным результатам.

**Рис. 3. Пример смоделированных по данным бурения (а) и геолого-геофизическим данным (б) поверхностей кровли, выделенных геологических единого генезиса**

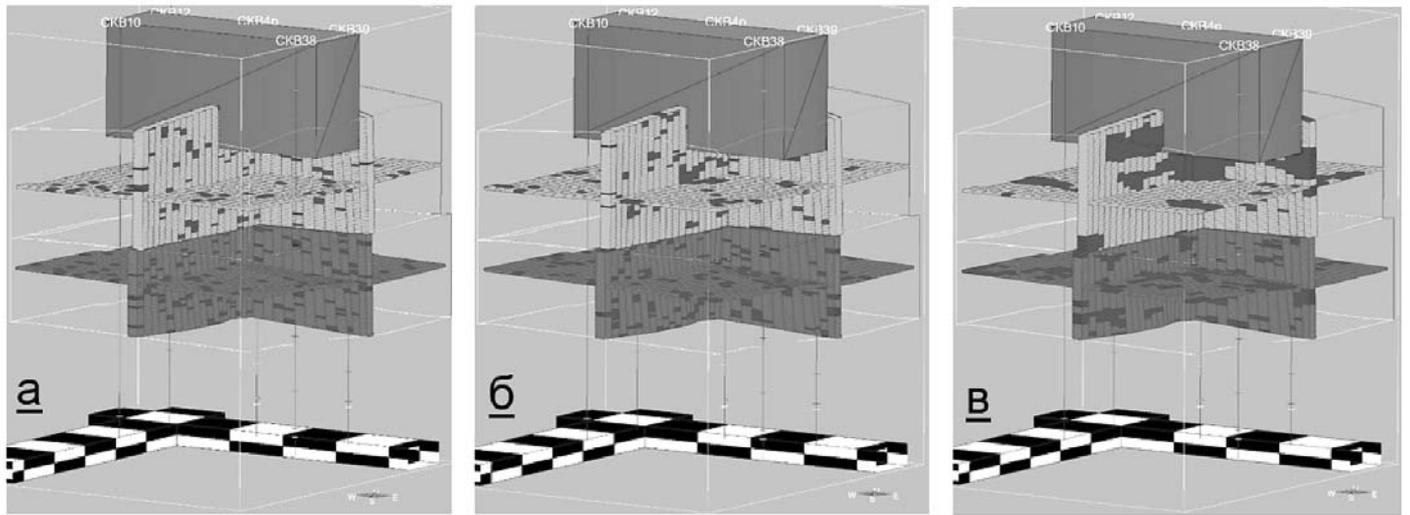


Этап 2.2. Дискретизация объема моделируемого массива и получение конечных элементов. Необходимо отметить, что построенные сетки (их конформность и стратиграфичность или их отсутствие) имеют значительное влияние на проводимое в дальнейшем геостатистическое моделирование на базе, которого и проводят оценку состояния и свойств грунтов, слагающих массив, и его геологическую неоднородность.



**Рис. 4. Пример построения однородных и неоднородных конечных элементов (сеток)**

Этап 2.3. Выявление (вероятностное) наиболее опасных регионов в смоделированном трехмерном инженерно-геологическом массиве: карстовые полости (рис. 5), линзы слабых грунтов (рис. 6), карманы специфических грунтов – эллювия, набухающих и просадочных разностей [3].



Реализация	Процентное содержание карстовых полостей, %		Средний размер карстовой полости, м	
	В толще К2	В толще К4	В толще К2	В толще К4
Без карста	0	0	-	-
Минимальный карст	<u>а</u> 8	11	0,63×3,15	0,44×2,20
Средний карст	<u>б</u> 12	12	0,95×4,75	0,68×3,40
Максимальный карст	<u>В</u> 29	22	2,01×10,05	0,99×4,95

Рис. 5. Пример моделирования карстовых пустот по данным бурения и описания карьеров

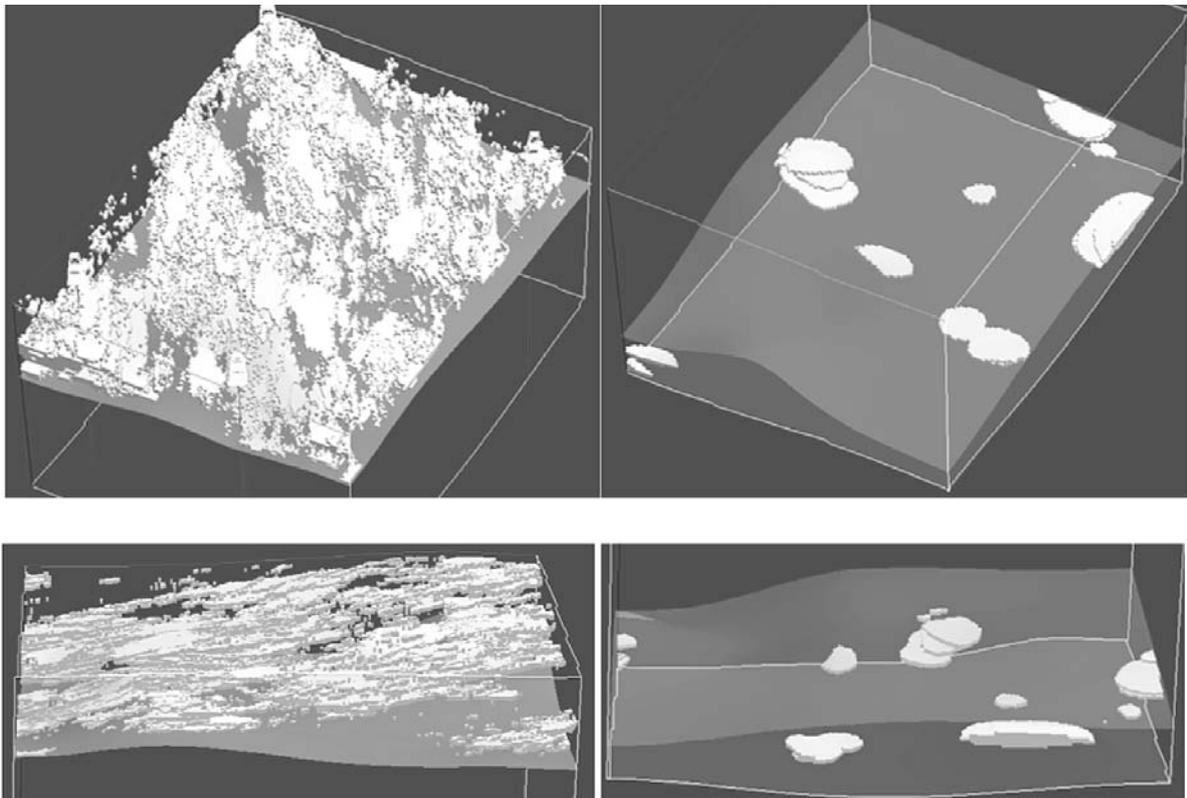
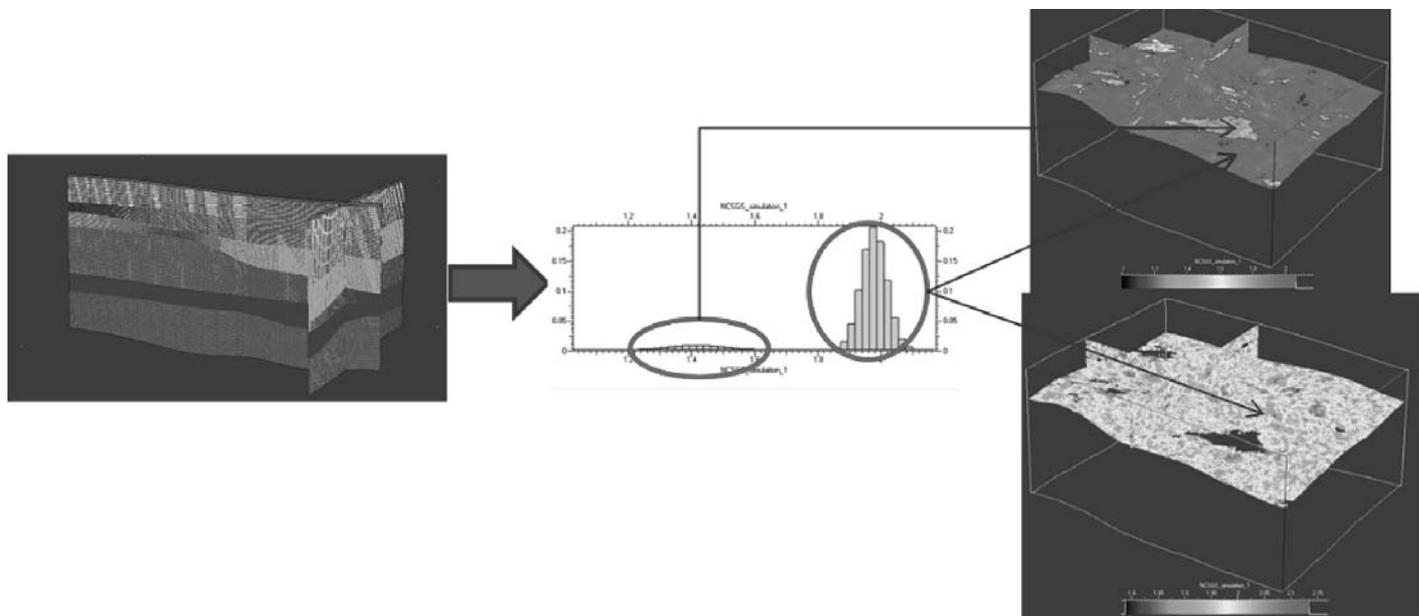


Рис. 6. Пример моделирования линз супесей в аллювиальном теле (а) и захороненных торфяных тел (б)

Этап 3. Моделирование в пространстве необходимого набора значений показателей свойств грунтов. В изучаемом объеме, представленном в виде совокупности тетраэдров/гексаэдров, проводится геостатистическое моделирование по фактическим данным, причем для каждого выделенного геологического тела отдельно. При этом физические и физико-механические свойства могут быть приурочены либо к вершинам ячеек, либо к их геометрическому центру. Непрерывные значения свойств грунтов моделируются методом случайного поля Гаусса (Gaussian Simulation), основанным на Простом Кригинге, с нестационарной формой и направлением вариограммы, полученной по фактическим данным лабораторных и полевых исследований грунтов с выявленным размером вариаций и/или учитывая экспертную оценку (рис. 7).



**Рис. 7. Пример геостатистически смоделированных свойств в каждом конечном элементе. Моделирование производится для каждого выделенного геологического тела отдельно**

Этап 4. Предоставление проектировщикам инженерно-геологически обоснованной 3D-модели грунтового основания проектируемых сооружений в виде трехмерной сетки конечных элементов с заданными свойствами набор которых определяется дальнейшим назначением модели. Например, если речь идет о геомеханическом моделировании, то набор свойств может быть ограничен используемой моделью поведения грунта – МС – плотность грунта, угол внутреннего трения, сцепление, модуль деформации, коэффициент Пуассона, угол дилатансии.

В дальнейшем, на следующих этапах жизненного цикла сооружений, получение дополнительной инженерно-геологической информации (например, после проведения стадии РД) или (и) проведения геотехнического мониторинга приводит к калибровке, построенной трехмерной инженерно-геологической модели и уточнению пространственного положения опасных регионов и распределения свойств грунтов.

**Возможности подхода, основанного на трехмерном инженерно-геологическом моделировании:**

- Предложенный подход к описанию инженерно-геологических условий позволяет решать широкий спектр инженерно-геологических задач, в том числе выявление пространственных закономерностей распределения строения, состояния и свойств грунтов, пространственной локализации ослабленных зон и т.п., декларируемых во многих нормативных документах, например, ГОСТ 20522-2012.
- 3D-моделирование позволяет получать однозначные, непротиворечивые, легко визуализируемые инженерно-геологические 3D-модели, содержащие необходимую информацию о свойствах слагающих их грунтов в каждом конечном элементе (фигуре разбиения). В частности, разрез по любому интересующему сечению в пределах модели, а не по скважинам.
- Анализ и статистическое моделирование (симулирование) построенных моделей позволяет найти наихудшие реализации, локализовать пространственные неоднородности и проводить расчеты на основе наихудших (наилучших) условий.
- Построенные модели используются для любых расчетов, в том числе основывающихся на методе конечных элементов: напряженно-деформированного состояния системы грунтовой массив-сооружение, осадок сооружения и мощности сжимаемой толщи, устойчивости склонов, возможности формирования карстовых провалов, фильтрационных задач, задач тепло-массопереноса и т.д.

**Преимущества подхода, основанного на трехмерном инженерно-геологическом моделировании:**

- Получаемые модели имеют более высокое качество, чем стандартные двухмерно-табличные разрезы. Сам принцип построения компьютерных трехмерных моделей предполагает разрешение неоднозначностей и противоречий в положении поверхностей кровли и подошвы выделяемых геологических тел на этапе их создания.
- Полученные модели легко визуализируются и, как следствие, позволяют рассматривать объекты моделирования с любого ракурса, реализуют автоматическое и полуавтоматическое составление сечений любой сложности и направлений для нужд проектировщиков.

- Легко калибруются и актуализируются при получении новой инженерно-геологической информации и не требуют больших затрат на новые изыскания в случае изменения посадки сооружения.
- Позволяют перейти к оценке инженерно-геологических рисков на локальном (объектном) уровне, поскольку изначально основаны на вероятностном анализе геологических неопределенностей.
- Предоставляют проектировщикам инженерно-геологически обоснованную 3D-модель грунтового основания проектируемых сооружений в виде трехмерной сетки конечных элементов с заданными свойствами.
- Позволяют осуществлять на своей основе многовариантное проектирование и находить надежное и оптимальное решение [1].
- Благодаря своей точности и высокой интегрированности данных из различных источников, позволяют избегать дорогостоящих проектных решений с большими коэффициентами запаса на геологическую неоднородность.
- Являются основой для проведения геотехнического мониторинга во время строительства и эксплуатации сооружений [2].

### Список литературы

1. Барваилов В.А. Неопределенность данных инженерно-геологических изысканий и поведение системы «основание-фундамент-сооружение» // Инженерные изыскания. – 2014. – № 17. – С. 16–23.
2. Бершов А., Томс Л. Концепция геотехнического мониторинга на территориях объектов, расположенных на хребтах Псехако и Аибга // Инженерные изыскания. – 2013. – № 14. – С. 48–52.
3. Бершов А., Гаврилов А., Баранов А. Моделирование НДС системы «сооружение – закарстованный массив» в среде plaxis // 8-я научно-техническая конференция пользователей программного комплекса PLAXIS. – НИИП-Информатика Санкт-Петербург, 2014. – С. 9–11.
4. Широков В.Н., Куринов М.Б. Метод среза целиков грунта в редакции ГОСТ 20276-2012: основные требования и новые возможности // Инженерные изыскания в строительстве. Материалы девятой общероссийской конференции изыскательских организаций. Москва: ООО «Геомаркетинг», 2013. с. 36-39.
5. Широков В.Н., Куринов М.Б., Голубь М.П. К вопросу об испытании грунтов штампами различного диаметра // Инженерные изыскания в строительстве. Материалы Десятой Общероссийской конференции изыскательских организаций. — «Академическая наука» – ООО «Геомаркетинг», Москва, 2014. – С. 49–52.
6. Сас И.Е., Бершов А.В. Об особенностях модели поведения скального грунта Ноек-Brown и определении исходных параметров // Инженерные изыскания. – 2015. – № 14. – С. 5–11.
7. Слышкина Е.С., Баранов А.А., Бершов А.В. Расчет устойчивости северных склонов хребта Аибга в районе поселка Эсто-Садок (Красная Поляна) // Инженерная геология. – 2015. – № 6. – С. 4–15.
8. Тер-Мартirosян З.Г. и др. Выбор исходных параметров и схемы испытаний в зависимости от используемой модели грунта // Инженерные изыскания. – 2015. – № 8. – С. 34–40.
9. Кошелев А.Г. Опыт разработки и создания нового оборудования в ГУП «Мосгоргеотрест» // Инженерные изыскания. – 2015. – № 9. – С.46–54.
10. Болдырев Г.Г. и др. Метод бурового зондирования // Инженерные изыскания. – 2012. – № 12. – С. 38–44.

**Балков Н.Н., Цыпорин Б.В.**

ООО «Геомаш-Центр», Москва, mail@geomash.ru

## ТЕЗИСЫ К ДОКЛАДУ «ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ БУРОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ «ГЕОМАШ»

### I. Проходка скважин и отбор проб грунтов вибрационным способом на буровой установке УГБ производства «Геомаш»

Компания «Геомаш» на основе серийно выпускаемой буровой установки УГБ разработала установку с комплексом вибрационного бурения КВБМ, которая позволяет осуществлять бурение скважин вращательным, ударно-канатным способами, а также производить проходку скважин и отбор проб грунтов вибрационным способом бурения при проведении инженерно-геологических изысканий.

Комплекс КВБМ, в сравнении с известной буровой установки АВБ-2М, осуществляющей технологию вибрационного бурения, имеет следующие преимущества:

- высокочастотный виброгенератор с частотой до 150 Гц (АВБ-2М — 40 Гц);
- возмущающее усилие до 10 т. (усилие возникающее в момент вращения дебалансов в виброгенераторе) (АВБ-2М — 3,5 т);
- КВБМ имеет возможность создания нагрузки на забой за счет усилия подачи (принудительного усилия), в отличие от создания на буровой установке АВБ-2М нагрузки весом бурового инструмента;
- гидропривод на КВБМ, в отличие от электропривода на АВБ-2М, более надежен в эксплуатации, т.к. гидропривод более устойчив к воздействию вибрации;
- высокая механическая скорость бурения – 250 – 300 метров в час при погружении виброзонда диаметром 127 мм; скорость погружения обсадной колонны диаметром 168 мм – 100-120 метров в час;
- увеличенная длина рейса за счет использования виброзондов собственной разработки длиной 3 метра, в отличие от АВБ-2М — 2 м; изготовление виброзондов для проходки водонасыщенных (обводненных) грунтов;

- виброзонды производства «Геомаш» имеют съемный башмак, что позволяет оперативно провести замену в полевых условиях, в отличие от приварного башмака на инструменте для АВБ-2М.  
Отбор проб грунтов при вибрационном бурении осуществляется в полном соответствии с ГОСТ 12071-2000.



Рис. 1. УГБ-543-203-001, ПБУ-2 на объекте в г. Вязники

## II. Технология ударно-канатного бурения с обсадкой скважины равнопроходными полыми шнеками ШР- 187, ШР-230

Основные преимущества при использовании обсадной колонны представленной полыми равнопроходными шнеками в сравнении с обычными обсадными трубами:

- применение колонны полых шнеков позволяет обсаживать грунты с твердыми включениями и пропластками, плотные глины и породы дающие «пробку», такие как водонасыщенные грунты с большим пластическим давлением.

Ударно-канатное бурение является эффективной технологией с точки зрения получения качественного результата отбора проб грунтов.

Отбор проб грунтов при ударно-канатном бурении осуществляется в полном соответствии с ГОСТ 12071-2000.

## III Применение гидромолота на малогабаритных буровых установках

- Гидромолот обеспечивает отбор проб забивным способом на малогабаритных буровых установках типа ББУ 000/ББУ 001 в полном соответствии с ГОСТ 12071-2000.
- Отбор проб осуществляется стандартными забивными грунтоносами  $d=89, 108, 121$  мм.
- Применяется стандартный буровой инструмент: бурильные трубы ТБСУ-43, ТБСУ-63,5, штанги динамического зондирования  $d=42$  мм.

Это решение для целого класса малогабаритных буровых установок, у которых отсутствует возможность осуществлять ударно-канатное бурение с использованием буровых лебедок со свободным сбросом.



Рис. 2. Gidrohammer для пункта III

Широков В.Н., Куринов М.Б., Голубь М.П.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, shirokov@geol.msu.ru, kurinovmsu@mail.ru, golubmaxim@icloud.com

## НАТУРНОЕ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАНИЯ СВЯЗНЫХ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИИ СООРУЖЕНИЙ

В практике инженерно-геологических исследований с целью получения наиболее полной и достоверной информации об объекте часто обращаются к комплексированию методов. Такой методический подход используется как при изучении скальных и дисперсных грунтов, так и при лабораторных и полевых исследованиях. Другими словами, он оказывается востребованным независимо от объекта исследований и применяемых методов [1, 2, 6]. В нашей работе представлены результаты изучения деформируемости дисперсных связных грунтов, рассматриваемых в качестве основания сооружений, методами пробных нагрузок и математического моделирования.

Наиболее распространённым и достоверным методом определения показателей деформационных свойств грунтов принято считать испытания штампами или, иначе, метод пробных нагрузок [5]. Испытания штампом – широко используемый в СССР и России метод моделирования поведения грунтов в основании сооружений. Государственный стандарт 20276-2012 «Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости» штампы, используемые при изысканиях, подразделяет на 4 типа. Выбор типа штампа, а по сути, кроме типа IV – его размера, зависит, согласно названного СНиП и СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения», от стадии (этапа) изысканий, типа сооружения и степени его ответственности, положения в разрезе исследуемой толщи грунта относительно фундамента, а также вида, подвида и разновидности грунта.

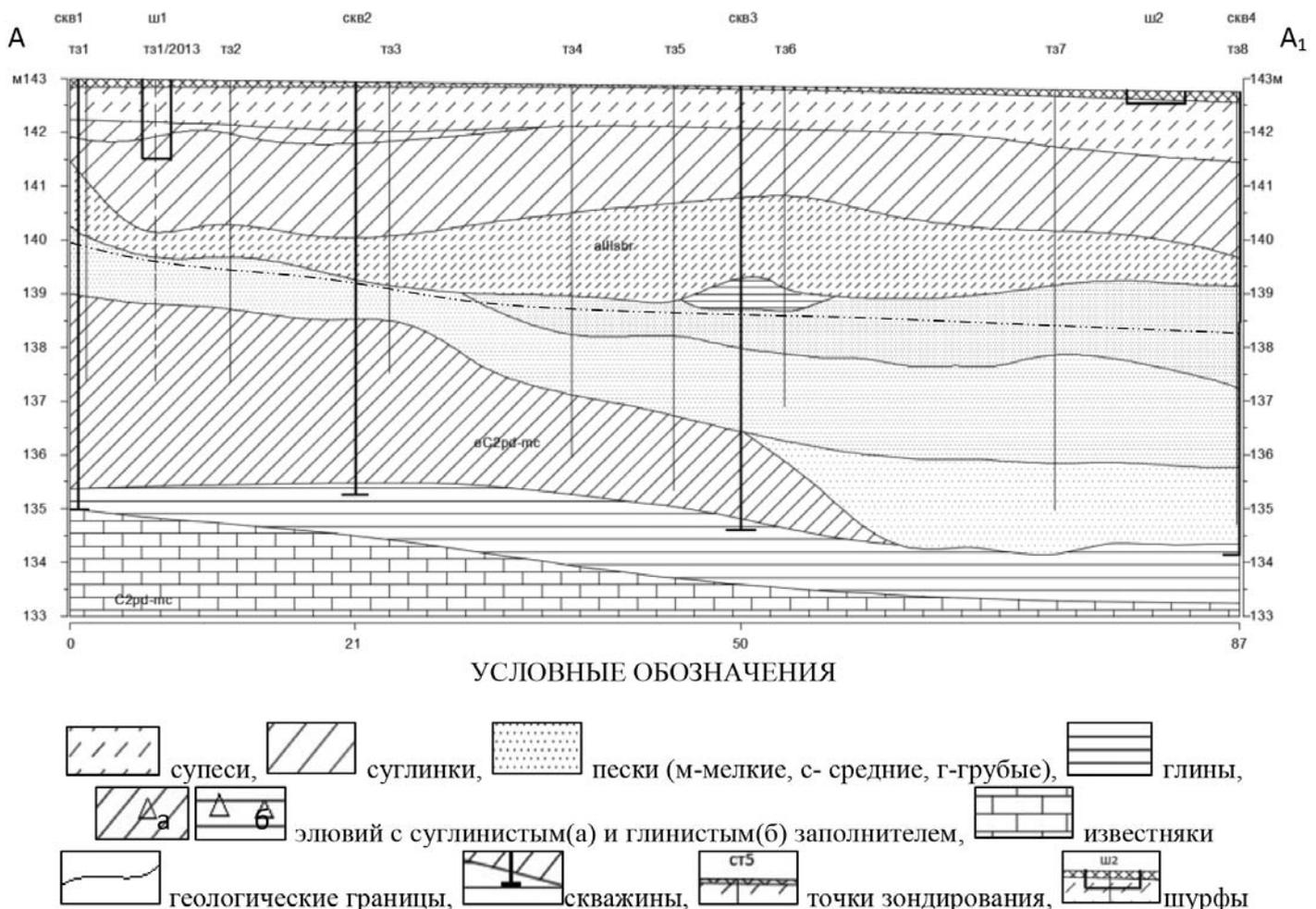


Рис. 1. Геологический разрез I надпойменной террасы р. Москва на участке работ

Вместе с тем хорошо известен тот факт, что с увеличением размеров штампа в зону его влияния попадают грунты, залегающие на больших глубинах, чем при использовании штампов малого диаметра [3]. Иначе говоря, использование штампов разного типа приводит к тому, что в деформируемый объём вовлекается разное количество слоёв, отличающихся составом,

состоянием и свойствами грунтов, а в пределах одного слоя – разное количество неоднородностей структуры [4]. Рассмотрим, каким образом использование штампов различного размера отразится на результатах опытных работ.

В качестве объекта исследований нами выбран массив грунтов аллювиального генезиса в пределах первой надпойменной террасы р. Москва в районе г. Звенигород Московской области. На участке работ верхняя часть разреза (рис. 1) представлена супесями и суглинками позднечетвертичного возраста (аQIII<sub>sb</sub>). Супеси залегают с поверхности до глубины 1,3-1,5 м. Супесь желтого цвета, песчанистая, твердой консистенции, с плотностью 1,70 г/см<sup>3</sup> и влажностью 15%. При описании стенок шурфа в толще отмечено большое количество макропор, ходов червей, корней растений, а также круто наклонённых или субвертикальных трещин (рис. 2). Суглинки залегают ниже по разрезу на глубинах от 1,1 до 2,8 м. Суглинок серого цвета, легкий, пылеватый, твердой консистенции, с плотностью 2,10 г/см<sup>3</sup> и влажностью 17%. При отборе монолитов из шурфа было отмечено, что сложение суглинка является однородным без видимых нарушений сплошности, трещины и макропоры во вскрытой части разреза отсутствовали.

Испытания выполнялись в шурфах на глубинах 0,5 м в супесях и 1,5 м в суглинках. Штампы устанавливались на спланированную поверхность дна выработки. Для проведения экспериментальных работ использовалась установка статического нагружения УСН – 1 (рис. 3), оснащённая круглыми жёсткими штампами, как предусмотренными стандартом изысканий площадью 2500, 1000 и 600 см<sup>2</sup>, так и нестандартизированными штампами площадью порядка 300 и 140 см<sup>2</sup>. Усилия создавались гидравлическими домкратами, давление фиксировалось по манометру, а для измерения деформаций использовались прогибомеры.

Нагрузка на штамп передавалась ступенями по 0,02 МПа, которые выдерживались до условной стабилизации деформаций. Нагружение продолжалось до потери грунтом несущей способности, после чего выполнялась разгрузка.

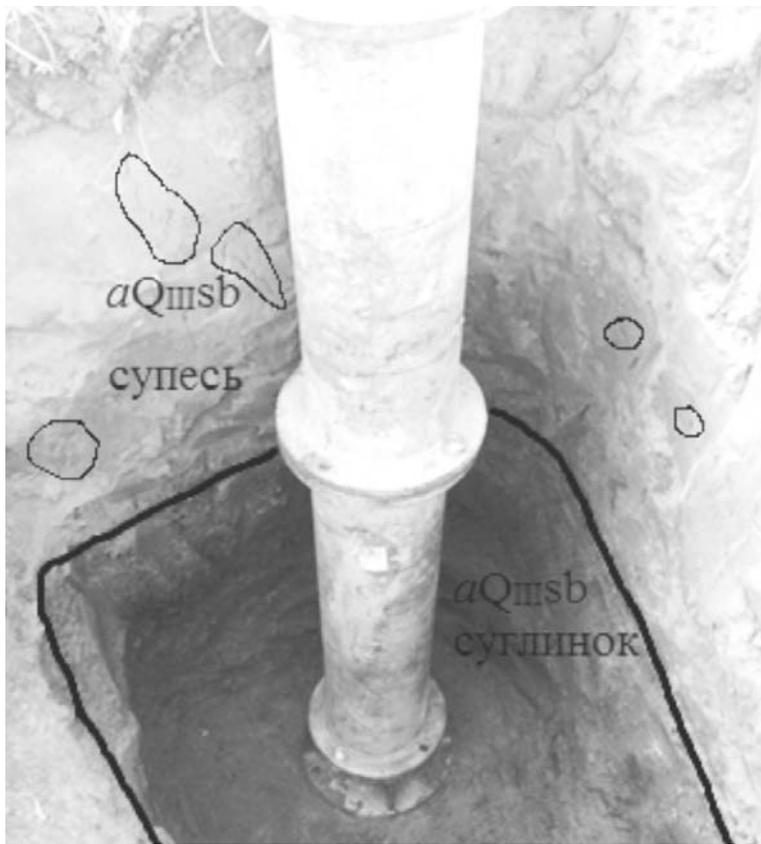


Рис. 2. Аллювиальные отложения I надпойменной террасы р. Москва на участке работ



Рис. 3. Установка УСН – 1 в рабочем положении

Штамповые испытания позволили проследить изменение осадки грунтов во времени при постоянных значениях нагрузки, зависимость осадок от действовавших нагрузок, рассчитать величины модуля деформации грунтов  $E$ , а также на основе анализа графиков  $S = f(P)$  определить значения критических напряжения  $P_{cr1}$  и  $P_{cr2}$ . Методика обработки графиков подробно была рассмотрена в работе [7]. Там же отмечалось, что на фоне закономерного возрастания осадки грунта с увеличением нагрузки на штамп отмечается увеличение крутизны графиков по мере возрастания площади штампов (см. рис. 6). Иначе говоря, чем больше была площадь штампа, тем большая осадка фиксировалась на момент условной стабилизации для одной и той же ступени нагружения. С другой стороны, для достижения одной и той же осадки к штампу меньшей площади было необходимо приложить большее давление. Эти результаты вполне сопоставимы с общими представлениями о деформируемости грунтов под местной нагрузкой: с увеличением площади воздействия возрастает мощность (толщина) деформируемой толщи, что и приводит к увеличению осадки.

Основные результаты обработки полевых исследований представлены на рис. 4 и 5. Модуль деформации грунтов вычислялся по формуле:

$$E = (1 - \nu^2)K_p K_1 D \frac{\Delta P}{\Delta S}$$

где,  $\nu$  – коэффициент поперечного расширения (для супесей – 0,30; для суглинков – 0,35);

$K_p$  – коэффициент заглубления штампа (согласно ГОСТ принимался равным 1);

$K_1$  – коэффициент, принимаемый для жесткого круглого штампа 0,79;

$D$  – диаметр штампа;

$\Delta P$  – приращение давления на штамп;

$\Delta S$  – приращение осадки штампа, соответствующее  $\Delta P$ .

Как для супесей, так и для суглинков характерны следующие тенденции изменчивости названных выше параметров. Расчёты модуля деформации грунтов на линейном участке взаимосвязи «нагрузка – осадка» свидетельствуют о его статистической стабильности: для супеси при изменении площади штампа более чем в 15 раз минимальное и максимальное значения  $E$  равны 5,9 и 6,9 МПа, а для суглинка по результатам испытаний штампами площадью 600 и 2500 см<sup>2</sup> соответственно 20,3 и 20,1 МПа.

В тоже время величины модулей, полученные для интервала нагрузок 0,05-0,10 МПа, имеют тенденцию к уменьшению с увеличением площади штампа, причём диапазон изменений составляет от 4,0 до 8,2 МПа у супеси и от 18,2 до 22,2 МПа у суглинка.

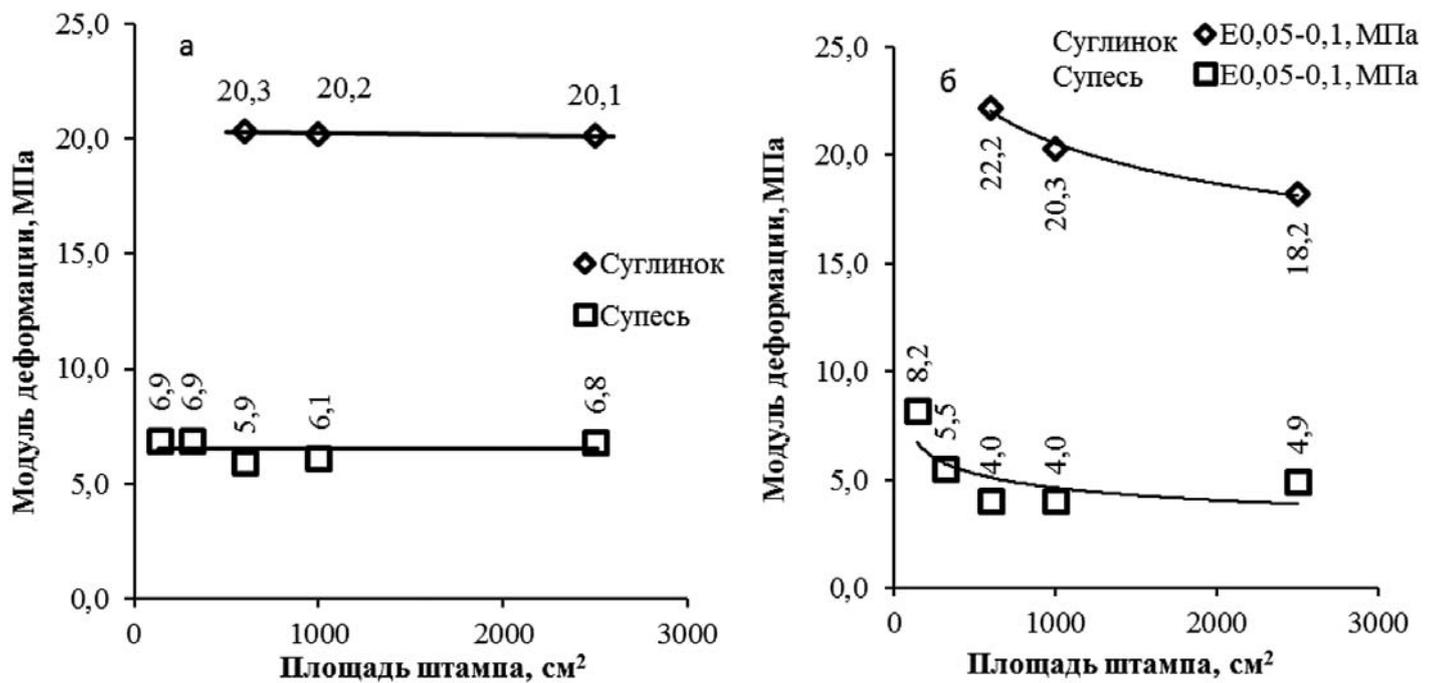


Рис. 4. Зависимость модуля деформации от площади штампа: (а) на линейном участке графика  $S = f(P)$ , (б) на интервале нагрузки 0,05-0,10 МПа

В отличие от модуля деформации, изменчивость величин начальной  $P_{cr1}$  и предельной  $P_{cr2}$  критических нагрузок в зависимости от площади штампов имеет явно выраженную закономерность: и  $P_{cr1}$ , и  $P_{cr2}$  с увеличением площади штампа уменьшаются (рис. 5), причём степень изменчивости значений  $P_{cr1}$  существенно меньше, чем  $P_{cr2}$ .

Результаты экспериментов позволяют отметить и такую тенденцию: по мере увеличения площади штампов наблюдается сближение начальных и предельных значений критических напряжений, т.е. уменьшение участка сдвигов, от 0,20 МПа для штампа площадью 150 см<sup>2</sup> до 0,07 МПа для штампа площадью 2500 см<sup>2</sup> для супесей и от 0,30 МПа для штампа площадью 600 см<sup>2</sup> до 0,10 МПа для штампа площадью 2500 см<sup>2</sup> за счёт более интенсивного уменьшения  $P_{cr2}$ , т.е. снижения несущей способности грунта с увеличением площади штампа.

Параллельно со штамповыми испытаниями, которые мы рассматриваем как натурное моделирование поведения грунтов в основании сооружений, выполнялось математическое моделирование рассматриваемого процесса с использованием пакета Plaxis [8]. Напряжённо-деформированное состояние грунтов под штампом рассчитывалось с использованием модели упрочняющегося грунта на основе данных, полученных для супесей и суглинков лабораторными методами в ходе компрессионных испытаний, одноосного и трёхосного сжатия.

С целью учёта структурной неоднородности грунтового массива авторами выполнен совместный анализ результатов, полученных как в ходе штамповых испытаний, так и математического моделирования. Так как наличие в массиве макропор и трещин, прежде всего, способствует снижению параметров прочности грунтов, то верификация математической модели осу-

существлялась за счёт уменьшения значений угла внутреннего трения и сцепления. Наличие результатов испытаний грунтов штампами различного размера позволяет осуществить следующий приём. Первоначально созданная на основе лабораторных данных модель сравнивается с результатами одного из штамповых испытаний, и путём подбора параметров прочности на сдвиг осуществляется её максимальное приближение к фактическому графику зависимости осадки от нагрузки. Затем уже модифицированная таким образом модель используется для прогноза осадок под штампом иного, как правило, большего диаметра. Степень совпадения результатов нового расчёта и соответствующих экспериментальных данных является критерием работоспособности модели и возможности её использования для прогноза поведения грунта под нагрузками. Результаты такого анализа для штампов площадью 600 см<sup>2</sup> и 2500 см<sup>2</sup> представлены на рис. 6.

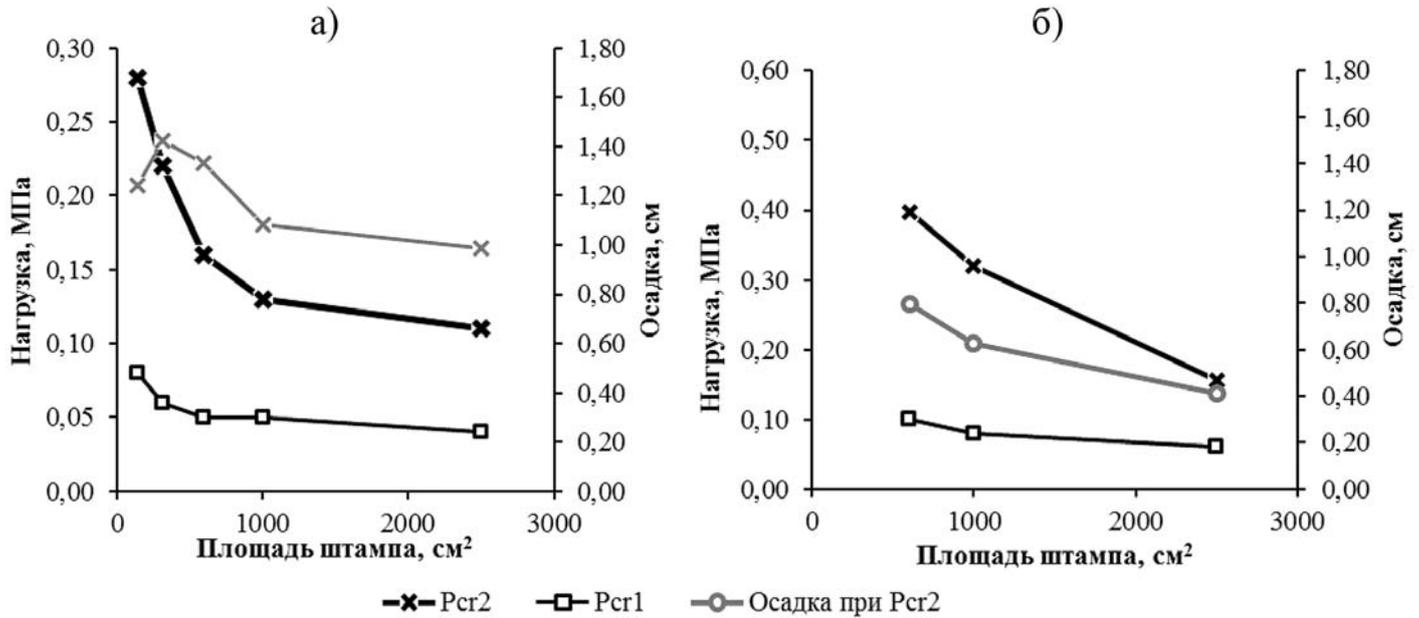


Рис. 5. Зависимость критического давления и соответствующей осадки от площади штампа: а) для супеси, б) для суглинка

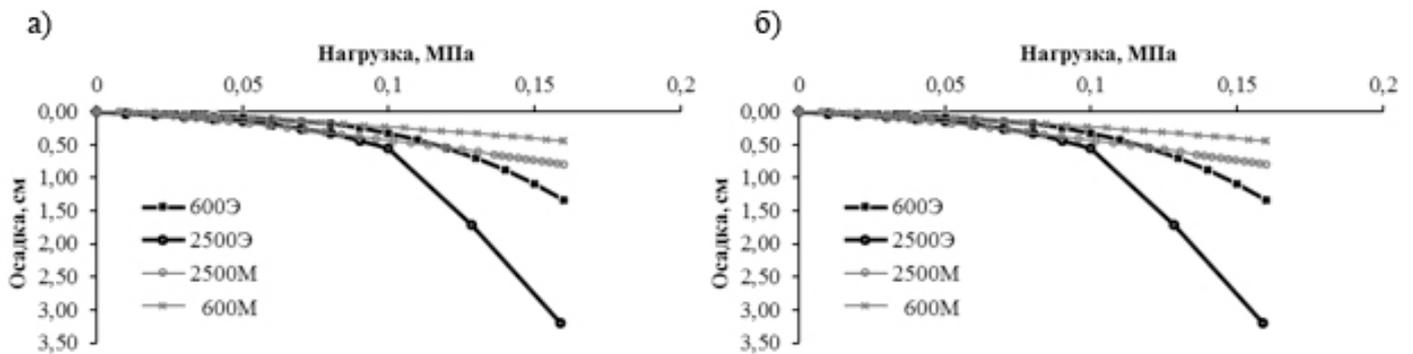


Рис. 6. Зависимость осадки от площади штампа по результатам полевых испытаний (Э) и математического моделирования (М): а) для супеси, б) для суглинка

Как и в натурном эксперименте, при математическом моделировании для одинаковых нагрузок большая осадка фиксируется у штампа большей площади, у него же раньше наступает потеря несущей способности. Наименьшие расхождения между натурным и математическим моделированием получены для суглинка. В этом случае модельная кривая как бы накладывается на экспериментальную (рис. 6б).

Для супеси расчётная модель и натурный эксперимент имеют достаточно высокую сходимость лишь на начальном этапе деформирования в пределах линейного участка взаимосвязи «нагрузка – осадка» (рис. 6а). С появлением и развитием сдвиговых деформаций модельная кривая значительно отклоняется от экспериментального графика: фиксируемые на ней деформации существенно отстают от роста осадок в ходе штамповых испытаний. На наш взгляд, подобное соотношение расчётных и экспериментальных данных связано со структурными особенностями изученных грунтов. Как отмечалось выше, суглинки отличаются монолитным сложением, а для супесей характерно наличие большого количества макропор и трещин, способствующих более раннему разрушению грунта. В результате, с ростом сдвиговых деформаций в силу неоднородности супесей, их осадка при натурном эксперименте резко возрастала, а в случае модельного расчёта подобный эффект не наблюдался.

Таким образом, разномасштабные штамповые испытания можно рассматривать как один из способов верификации моделей, создаваемых в среде Plaxis для прогноза деформирования грунтов в основании сооружений.

### Список литературы

1. Золотарёв Г.С. Методика инженерно-геологических исследований: М.: Изд-во МГУ, 1990. 384 с.
2. Каширский В.И. Методика исследований состава и свойств дисперсных грунтов полевыми методами в условиях мегаполиса (на примере г. Москвы) / Диссертация на соискание уч. ст. канд. техн. наук. М., 2005. 197 с.
3. Каширский В.И. Особенности испытаний четвертичных и дочетвертичных дисперсных грунтов полевыми и лабораторными методами // Инженерные изыскания. 2013. №5. С. 34-43.
4. Куринов М.Б., Широков В.Н. Структурно-вещественная организация грунтов и необходимость её учёта при проведении инженерно-геологических изысканий / Инженерные изыскания в строительстве. Материалы Восьмой Общероссийской конференции изыскательских организаций. М.: ООО «Геомаркетинг», 2012. С. 68-69.
5. Полевые методы испытаний грунтов (в вопросах и ответах) / Г.Г. Болдырев. - Пенза: РАТА, 2013. 356 с.
6. Широков В.Н. Изучение нарушенности массивов скальных грунтов при разведке глубоких горизонтов месторождений полезных ископаемых / Инженерная геология: теория, практика, проблемы (Под ред. В.Т. Трофимова). — Изд-во Московского университета Москва, 1993. — С. 155–182.
7. Широков В.Н., Куринов М.Б., Голубь М.П. К вопросу об испытании грунтов штампами различного диаметра // Инженерные изыскания в строительстве / Материалы Десятой Общероссийской конференции изыскательских организаций. — «Академическая наука» – ООО «Геомаркетинг», Москва, 2014. — С. 49–52.
8. Plaxis 2D. Руководство пользователя. СПб: ООО «НИП-Информатика», 2012.

# СЕКЦИЯ «ГЕОТЕХНИКА – РАСЧЕТЫ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ, МОНИТОРИНГ»

Улицкий В.М.

ФГБОУ ВПО ПГУПС, ТС-207 ISSMGE «Взаимодействие оснований и сооружений»,  
Санкт-Петербург, mail@georec.spb.ru

## ПРОГНОЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЗДАНИЙ И ТРАНСПОРТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫМИ ГРУНТАМИ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОМЕРЗАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ

### Введение

В последние годы резко сократилась информативность инженерно-геологических изысканий для проектирования на многолетнемерзлых грунтах. В тоже время осложнился сам процесс проектирования, так как впервые возникла потребность в создании крупных портов на Северном морском пути. Это привело к необходимости развития транспортной инфраструктуры в приполярных широтах. Для расчетного обеспечения подобных проектов существует необходимость комплексного изучения вечномерзлых грунтов, изменение состояния которых является гарантом безопасности проектируемых уникальных сооружений. Активному строительству способствует добыча полезных ископаемых, таких как нефть и газ, имеющих важное значение для развития современной международной науки и техники. Крупные плавающие заводы по сжижению газа, каких не знала практика строительства прошлых лет, требуют сверхмощных причальных сооружений и соответствующих подъездных путей к месторождениям природных ископаемых, карьерам, обогатительным фабрикам и т.п.

Специалистами кафедры «Основания и фундаменты» Петербургского государственного университета путей сообщения исследованы изменения теплофизических свойств вечномерзлых грунтов в процессе строительства и эксплуатации объектов морского порта в районе пос. Сабетта (рис. 1) и даны соответствующие рекомендации по сохранению грунтов в основании портовых сооружений в мерзлом состоянии.

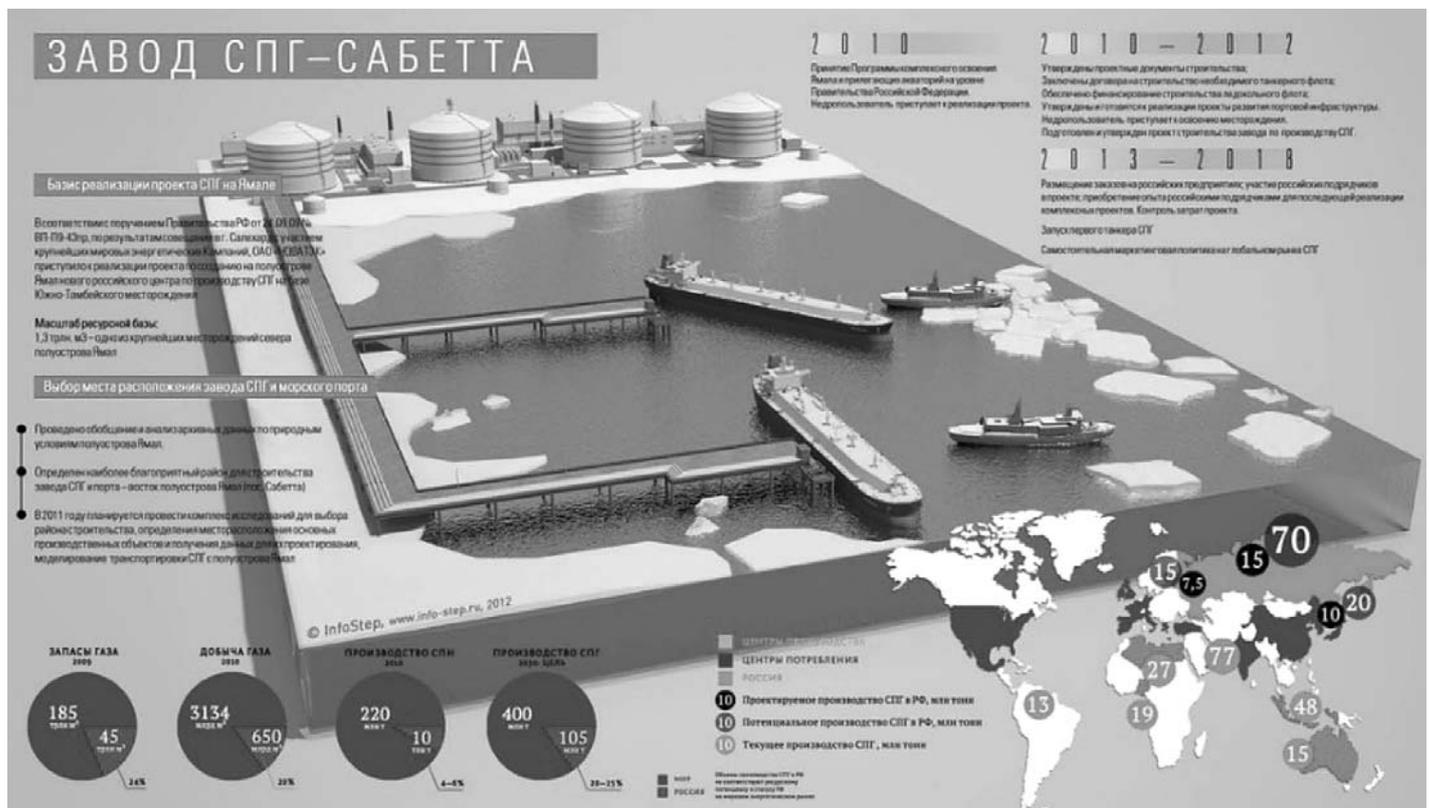
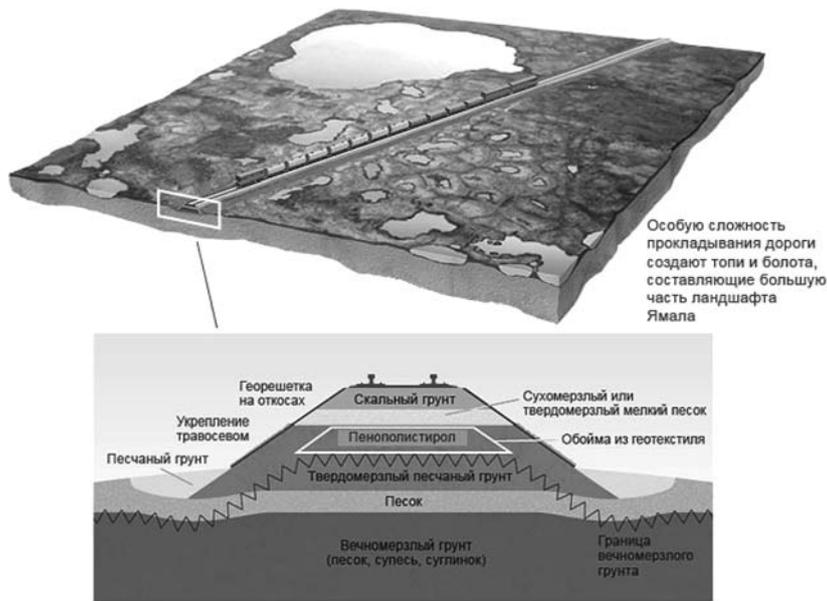


Рис. 1. Морской порт Северного морского пути <http://lightproduction.ru/catalog/by-tag/3d/info-sabetta>

Для обеспечения возможности круглогодичных грузопассажирских перевозок на полуостров Ямал и промышленного освоения региона ведется строительство новой железнодорожной линии «Обская – Бованенково – Карская» [1]. Основным назначением строящейся железнодорожной линии является освоение Бованенковского, Харасавейского и прилегающих к ним газовых месторождений (обеспечение строительства и эффективной эксплуатации магистральных газопроводов Ямал-Запад, доставка вахт работников).

Трасса железной дороги проходит в сложных инженерно-геологических, гидрологических и гидрогеологических условиях. Район строительства характеризуется суровым климатом, наличием сплошной вечной мерзлоты и сильной снегозаносимостью [2, с. 52]. Компанией «Газпром» для создания железнодорожной насыпи предложена концепция устройства земляного полотна с утеплителем из пенополистирола (рис. 2).



**Рис. 2. Концепция строительства железной дороги на вечномерзлых грунтах** <http://www.gazprom.com>

При проектировании железных дорог в сложных климатических условиях как правило учитываются многолетние природные явления, поэтому проектировщикам необходимо иметь информацию о происходящих процессах в земляном полотне и верхнем строении пути с прогнозом на десятилетия вперед. Особенно это важно в зоне вечной мерзлоты, по которой в России проложено более 5000 км железнодорожных путей. В этом аспекте брошенные участки строительства по проектам 501 и 503 («Мертвая дорога» Салехард – Игарка) представляют уникальный объект для сбора научных данных о долговременных процессах, происходящих с железнодорожным полотном и верхним строением пути. Здесь имели место просадки при протаивании вечномерзлого грунта, достигающие одного и более

метров, а величины выпучивания опор мостов от 0,5 метров и более. Фактически потеряно свыше 1000 км пути, где оставлена вся техника. Эти затраты достаточно трудно оценить (рис. 3) [<http://visual.rzd.ru/>].

В настоящее время для ликвидации имеющихся деформаций и стабилизации земляного полотна на пучиноопасных участках железных дорог России (по схеме: эффективность = затраты + технологичность + долговечность) в большинстве случаев назначают укладку теплоизоляционного покрытия в основном из экструзионного пенополистирола.



**Рис. 3. «Мертвая дорога» Салехард – Игарка**

Этот метод реконструкции железнодорожных насыпей в испытаниях МПС занял особое место по основным показателям и был признан наиболее эффективным в самых неблагоприятных условиях, даже при затрудненном поверхностном водоотводе и в зонах повышенных силовых воздействий [4, с. 69].

Транссибирская железнодорожная магистраль, построенная в дореволюционный период, проходит по территориям в условиях глубокого сезонного промерзания грунта, максимальная глубина которого достигает 4,5 м в районах Забайкалья. Абсолютное большинство грунтов, залегающих в пределах этой

глубины, являются пучиноопасными. Наиболее уязвимыми в таких условиях являются малонагруженные фундаменты опор контактной сети. Многие распространенные и рекомендуемые методы борьбы с выпучиванием фундаментов не являются долговечными и после нескольких лет эксплуатации теряют свою эффективность. Одним из методов обеспечения надежной работы малонагруженных фундаментов в морозопасных грунтах является способ заанкеривания фундаментов в талых слоях

грунта, расположенных ниже глубины сезонного промерзания, либо способ вмораживания опор в вечномёрзлые грунты. В Санкт-Петербурге в бывшем ЛИСИ одним из авторов настоящей статьи были проведены натурные наблюдения за различными конструкциями столбчатых фундаментов [5, с. 22]. Численное моделирование с использованием современных расчетов температурных полей подтвердило эффективность предложенных анкерных конструкций [3, с. 124].

### **Противопучинные мероприятия в виде устройства врезной подушки**

Исследования эффективности противопучинных мероприятий выполнялись на опытном участке Забайкальской железной дороги Транссибирской магистрали [3, с. 159]. Уклон поверхности долины способствовал скоплению дождевых и талых вод у земляного полотна в период паводков, создавая эффект ограждающей дамбы. Этот участок железной дороги подвергался опасным сезонным деформациям морозного пучения в зимний период и в период оттаивания в виде просадок пути летом. Максимальная измеренная температура воздуха в период наблюдений на экспериментальном участке составляла от «плюс» 36°C летом до «минус» 53°C зимой [3, с. 161].

Земляное полотно имеет направление с северо-запада на юго-восток. При этом южная экспозиция солнечной радиации расположена на правом откосе насыпи в направлении Чита-Хабаровск. Откос с северной стороны меньше облучается солнцем и поэтому промерзает на большую глубину. Здесь учитывается и эффект радиационного таяния льда при высокой солнечной инсоляции.

Экспериментальные наблюдения показали, что после устройства противопучинной подушки к концу ноября насыпь промерзает на всю толщину со стороны откосов, а по оси пути только наполовину. К апрелю глубина промерзания находится уже ниже исходного уровня подземных вод. Здесь должен быть учтен эффект миграции влаги к фронту промерзания.

Наиболее интенсивно деформации морозного пучения растут в течение ноября-декабря при промерзании грунта до 1,5 м; в январе-марте при постепенном промерзании грунтов основания деформации пучения превышают 30 мм. Наибольшая скорость промерзания наблюдается в ноябре месяце. Спад интенсивности пучения при максимальной глубине промерзания в апреле месяце можно объяснить повышением температуры воздуха и оттаиванием грунтов с дневной поверхности, происходящих с наибольшей скоростью в мае месяце.

Проведенные исследования показали, что устройство противопучинной врезной подушки на экспериментальном участке уменьшило глубину промерзания по оси пути, однако процесс промерзания захватывал пучинистые грунты основания и способствовал интенсивной миграции влаги из водоносного песка, поэтому величина морозного пучения продолжает оставаться значительной – до 150 мм.

### **Численное моделирование**

Для комплексного изучения проблемы было проведено численное моделирование с использованием программного модуля «Termoground», разработанного специалистами Санкт-Петербургского государственного университета путей сообщения (бывший ЛИИЖТ) и Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (бывший ЛИСИ) для решения теплофизических задач. Основой численного моделирования является программный комплекс FEM models [6], широко внедряемый в практику проектирования группой компаний «Геореконструкция» в многообразных грунтовых условиях различных регионов России, в том числе для уникальных высотных зданий и глубоких подземных сооружений.

Для исследования процесса промерзания, морозного пучения и оттаивания были промоделированы различные варианты работы насыпи в течение года: до устройства противопучинных мероприятий; с устройством шлаковой врезной подушки; с укладкой различных теплоизоляционных материалов.

Расчеты показали, что в теплый период года происходит полное оттаивание грунтов в теле насыпи и основании. Дополнительное устройство теплоизоляционного слоя из экструзионного пенополистирола, толщина которого определялась расчетом, позволило снизить величину отрицательной температуры в теле насыпи по оси пути до значений, незначительно влияющих на деформации морозного пучения. Такое конструктивное мероприятие снизило влияние процессов промерзания, морозного пучения и оттаивания в теле насыпи, уменьшив величину деформаций морозного пучения до малоопасных величин 10-15 мм.

В целом по всей длине исследуемого участка из-за разных величин деформаций морозного пучения и оттаивания происходит искривление плана и профиля пути. Противопучинная врезная подушка не дала должного эффекта в рассмотренных климатических и инженерно-геологических условиях. Для суровых климатических условий Забайкалья замена морозоопасного грунта на непучинистый материал оказалась недостаточной. На данном экспериментальном участке насыпи было предложено выполнить укладку экструзионного пенополистирола на основную площадку земляного полотна [3, с. 165].

### **Противопучинные мероприятия в виде устройства системы охлаждающих устройств**

Железнодорожный путь на участке 1373-1374 км Байкало-Амурской магистрали (БАМ) в районе станции Казанкан проходит по юго-восточному склону Северо-Муйского хребта. Земляное полотно расположено на моренных отложениях, представленных переслаивающимися песками, супесями и суглинками, приобретающими при увлажнении пластичные и тиксотропные свойства. Присутствующие в инженерно-геологическом разрезе водонасыщенные грунты способны проявлять текучие свойства под действием динамических нагрузок от движения поездов. На отдельных участках, до глубины 1,5 м, встречены лессовые макропористые грунты. Необходимо отметить, что здесь повсеместно распространены многолетнемерзлые породы. Рассматриваемый участок был построен по проекту Сибгипротранса и введен в эксплуатацию в 1981 г. Он десятки лет испытывает постоянные аварийные деформации за счет грунтов, обладающих просадочными свойствами. Из первоначальных четырех путей остался функционирующим только один (рис. 4) [7, с. 17].



**Рис. 4.** Железнодорожный путь на участке 1373-1374 км ВСЖД в районе станции Казанкан с охлаждающей системой из каменной наброски и двух рядов вертикальных металлических труб с керосином (фото Е.А. Козыревой, сентябрь 2003 г.) [7, с. 18]

Многочисленные попытки стабилизировать участок по проектам специализированных организаций положительных результатов не дали (рис. 4), несмотря на значительные финансовые и материальные затраты. Это свидетельствует о том, что без современного численного моделирования все интуитивные поиски решений, по выходу из сложившейся ситуации, малоэффективны. Вид бессистемно стоящих и недействующих колонн охлаждения является укором специалистам, пренебрегающих достижениями науки в практике проектирования.

#### Основные выводы

1. Предлагаемые различными проектными и производственными организациями конструкции земляного полотна в районах многолетнемерзлых грунтов и в регионах с глубоким сезонным промерзанием должны быть подтверждены соответствующими численными моделями. Это является требованием Федерального закона № 384 от 30 декабря 2009 г. «Технический регламент «О безопасности зданий и сооружений».

2. Необходим постоянный мониторинг за всеми транспортными сооружениями на предмет возможного соответствия натурных данных – проектным, с учетом предельного состояния грунтового основания (по деформациям и устойчивости), а также принципам строительства на мерзлоте.

3. Отрицательный опыт строительства железной дороги Салехард-Игарка должен стать предметом тщательных исследований.

4. Успешное освоение регионов со сложными грунтовыми условиями (многолетнемерзлые грунты и грунты с глубоким сезонным промерзанием) не возможно без использования научных достижений отечественных специалистов в области строительства на вечной мерзлоте.

#### Список литературы

1. Уникальный мост через реку Юрибей [Электронный ресурс]: <http://www.gazprom.ru/press/gallery/events/812876/>
2. 80 лет на благо страны // К юбилею ПАО «Ленгипротранс». – 2015. – 67 с.
3. Кудрявцев С.А., Сахаров И.И., Парамонов В.Н. Промерзание и оттаивание грунтов (практические примеры и конечноэлементные расчеты) / Группа компаний «Геореконструкция», СПб, 2014 г. – 247 с.
4. Парамонов В.Н. Расчетная оценка эффективности геоматериалов для противопучинной защиты реконструируемых транспортных сооружений / В.Н. Парамонов, И.И. Сахаров, С.А. Кудрявцев. Применение геоматериалов при строительстве и реконструкции транспортных объектов: Материалы междунар. науч.-техн. конф. (17-18 янв. 2002 г.; СПб) / ПГУПС – СПб, 2002. – С. 69-72.
5. Улицкий В.М. Исследование особенностей работы анкерных фундаментов в пучинистых грунтах. Автореф. дис. канд. техн. наук. Л.: 1969. – 24 с.
6. Программа FEM-models мощный расчетный инструмент... [Электронный ресурс]: <http://www.georec.spb.ru/FEM-models>
7. Кондратьев В.Г. Причины многолетних деформаций железнодорожного пути на станции Казанкан Восточно-Сибирской железной дороги и возможные способы его стабилизации / В.Г. Кондратьев, Н.А. Валиев, С.В. Кондратьев // Инженерная геология. – 2014. – № 5. – С. 16-28. ISSN 1993-5056.

**Фролов В.С.**

ЗАО «Институт Гипростроймост – Санкт-Петербург»

## **О КОМПЛЕКСИРОВАНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УНИКАЛЬНЫХ И ОСОБО СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Проектирование уникальных объектов и объектов повышенного уровня ответственности связано с необходимостью получения расширенного комплекса данных о строении природной среды, развитии опасных геологических и гидрометеорологических процессов и явлений. На примере изысканий по объекту: «Строительство транспортного перехода через Керченский пролив» показан комплекс видов и методов инженерных изысканий.

Для строительства Транспортного перехода выбран Тузлинский вариант, предполагается постройка двух параллельных мостов (автомобильного и железнодорожного). Для получения необходимого и достаточного комплекта информации проведены изыскания: инженерно-геодезические, инженерно-гидрометеорологические, инженерно-геологические, инженерно-экологические, кроме этого проведено инженерно-археологическое обследование, обследование на обнаружение ВОП, инженерно-геотехнические исследования прочностных и деформационных характеристик грунтов, определение динамических свойств грунтов слагающих разрез в пределах полосы прохождения трассы Транспортного перехода, уточнение исходной сейсмичности.

При производстве комплексных инженерных изысканий было задействовано большое число научных, проектных и изыскательских институтов и организаций: ФГБУ «ГОИН им. Н.Н. Зубова», Институт Физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, ГНИНГИ, ГНЦ ФГУП «Южморгеология», ВНИИГ им. Веденеева, НИПИСтройТЭК, ИТЦ специальных работ и экспертиз, НПФ «ГТ Инспект», ООО «Инженерная Геология», Мостдоргеотрест, ООО «Лотос Гео», ЗАО КГЭ «Астра», ЗАО «Глобал Оффшор Сервей», НИИ Диагностики, лаборатория кафедры инженерной геологии МГУ под руководством проф. Вознесенского Е.А. и другие.

Условия строительства Транспортного перехода весьма сложные: высокая сейсмичность, глубокое залегание несущего горизонта, значительная мощность слабых грунтов, переслаивающихся с песками, значительная коррозионная активность вод и грунтов, газовые эманаии, климатические особенности, наличие значительного количества ВОП, сложные гидрологические условия в Керченском проливе, близость курортных зон, наличие биосферных заповедников.

Для оценки условий проектирования и строительства был выработан комплексный подход к изысканиям, сочетавший прямые и косвенные методы, включая математическое моделирование процессов.

**Волохов Е.М., Зеленцов С.Н., Киреева В.И.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

## **КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВРЕДНОГО ВЛИЯНИЯ ПОДЗЕМНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ В МЕГАПОЛИСАХ**

Интенсивное освоение подземного пространства в крупных городах, как известно, приводит к негативному воздействию на геологическую среду и объекты существующей наземной инфраструктуры.

Обеспечение охраны зданий, сооружений и природных объектов при ведении горных работ должно опираться на нормативные документы, регламентирующие прогноз сдвижений и деформаций, оценку степени их воздействия на наземные объекты. В нашей стране таких нормативных документов для условий строительства сооружений подземным способом в мегаполисах до сих пор нет.

Единственный утвержденный нормативный документ, напрямую имеющий отношение к указанной проблематике – это «ИНСТРУКЦИЯ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ ЗА СДВИЖЕНИЯМИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И РАСПОЛОЖЕННЫМИ НА НЕЙ ОБЪЕКТАМИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В МОСКВЕ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ» (РД 07-166-97). В данной инструкции, помимо регламентации наблюдений за сдвигами земной поверхности, приводится методика прогнозной оценки сдвижений и деформаций при строительстве подземных сооружений. Но этот документ разработан исключительно для условий подземного строительства в городе Москве.

Для условий строительства выработок метрополитена ВНИМИ, ВНИИГалургии и Ленметрострой разработали «ПОСОБИЕ по проектированию мероприятий для защиты эксплуатируемых зданий и сооружений от влияния горнопроходческих работ при строительстве метрополитена». Это пособие разработано ещё 70-х годах, оно не содержит методики деформационных наблюдений и предназначено только для выработок метрополитена. Кроме того, оно так и не было утверждено в качестве нормативного документа. К сожалению, большая часть разработок пособия, касающихся прогноза деформаций, уже устарела.

Здесь сразу необходимо расставить правильные акценты при использовании сложившейся терминологии. Во-первых, в теоретической механике, в горном и маркшейдерском деле понятием деформация определяют первые производные от смещений в определенных направлениях. В строительстве, геотехнике, инженерной геодезии и других отраслях под деформациями понимают, как указанные выше производные, так и сами смещения.

Во-вторых, термин предельные деформации также используется в разных ситуациях. В маркшейдерской практике под предельными, понимают те деформации, которые могут привести к аварийному состоянию сооружения, повлечь угрозу жизни людей. В строительной практике предельными часто называют деформации фиксирующие некоторый уровень («предел») деформаций, который соответствует варианту неудовлетворительных показателей эксплуатации зданий.

Указанные терминологические нестыковки являются принципиальными и часто приводят к неправильной интерпретации результатов исследований, искажению оценок и неоправданным спорным ситуациям. Поэтому далее мы будем использовать понятия сложившееся в горном и маркшейдерском деле, как более подходящие для вопросов оценки вредного влияния горных работ. Деформациями будем называть первые и вторые производные по смещениям (или сдвигениям) в вертикальном и горизонтальном направлении. Именно определенные значения деформаций конструктивных элементов зданий или их оснований могут представлять опасность при переходе в запредельное состояние. При этом смещения (или оседания) даже в случае их очень больших значений (до первых метров), при определенных условиях, вообще могут не представлять никакой опасности. Эти, очевидные на первый взгляд, рассуждения перестают быть таковыми в случае использования неправильных определений, терминов и общих подходов к расчетам.

Примером столкновения разных парадигм и подходом является оценка вредного влияния строительства станции «Адмиралтейская», самой глубокой станции Санкт-Петербургского метрополитена. Большое сечение выработок, существенная глубина ведения горных работ и применение специальных технологий строительства определили условия возникновения мульды оседаний внушительных размеров, но с относительно плавным распределением сдвижений. В зону оседаний попали десятки зданий исторической застройки в центре Санкт-Петербурга. Максимальные оседания в центральной части мульды превысили 100мм, но производные от этих оседаний имели весьма скромные значения. Именно такие, значительные по меркам городского подземного строительства, оседания и оказали на многих специалистов шокирующее воздействие, были сделаны необоснованные выводы об угрозе утраты целых кварталов исторической застройки. Однако, как показала практика, эти горные работы в конце 90-х годов практически не повлияли на здания, как раз из-за малых значений деформаций наклона и кривизны. На здания гораздо большее влияние оказали работы по эскалаторному тоннелю, вестибюлю станции и зданию над ним, организованные несколько лет назад.

В методологии оценки вредного влияния обычно рассматривают два уровня оценки:

1. определение границ зоны влияния и выявление объектов, попадающих в зону;
2. оценка степени влияния по всем объектам в зоне влияния и анализ допустимости деформаций по каждому с учетом его особенностей.

Этим двум уровням оценки соответствуют два основных вида критериев: граничные критерии (определяющие границы зоны влияния) и основные критерии (обеспечивающие оценку степени влияния на здания и сооружения).

В традиционной маркшейдерской оценке вредного влияния горных работ используются деформационные критерии (т.е. критерии на базе значений деформаций, как первых производных от сдвижений). Здесь выделяют допустимые и предельные деформации, значения которых назначаются с учетом особенностей подрабатываемого объекта. Значения сдвижений или смещений в качестве основного критерия, не используется вообще. Допустимыми называют деформации, при которых можно обеспечить эксплуатацию зданий или сооружений, с учетом проведения текущих наладочных и ремонтных работ. Предельными, как было отмечено выше, называют деформации определяющие аварийное состояние сооружения.

В строительной практике использование сдвижений или смещений в качестве критерия оценки влияния получило широкое распространение в виду удобства и специфики их измерения геодезическими методами. Однако применение таких критериев всегда подразумевало развитие деформаций, которые можно было контролировать по величине смещений доступных для измерения элементов сооружений или оснований последних. Указанными критериями оперируют основные нормативные документы в строительстве СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83», ТСН 50-302-2004 «Проектирование фундаментов зданий и сооружений» (для условий Санкт-Петербурга).

Наши исследования показали справедливость подходов известных научных школ ВНИМИ, ИПКОН РАН и ВНИИГАлургии в сфере оценки вредного влияния горных работ применительно к строительству подземных сооружений в городах. Анализ многочисленных натуральных данных и математического моделирования сдвижений и деформаций горных пород позволил выявить закономерности деформирования подрабатываемой толщи над тоннельными и другими выработками в широком спектре условий. Ключевым геомеханическим эффектом, выявленным при анализе деформирования оснований, является плавность деформирования большой приповерхностной толщи пород, включая и основания. Существенных деформаций в основаниях, даже при больших значениях оседаний, обычно выявить не удается, что позволяет сделать вывод о несущественности деформаций оснований практически любых зданий. Поэтому основное внимание должно уделяться несущим конструкциям зданий и сооружений. При этом надо оценивать не смещения (сдвигения или оседания), а их производные: горизонтальные деформации, деформации наклона и кривизны.

Прямое использование значений деформационных критериев нормативных документов из горной отрасли (таких например как: ПБ 07-269-98 «Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях», РД 07-166-97 «Инструкция по наблюдениям за сдвигениями земной поверхности и расположенными на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений», «Временные правила охраны сооружений и

природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок руд цветных металлов с не изученным процессом сдвижения горных пород», СП 21.13330.2012 «Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.01.09-91») для случаев городского подземного строительства нам представляется неправомерным. Значения этих граничных и основных критериев надо существенно корректировать в сторону уменьшения.

В заключении ещё раз отметим: оценка вредного влияния горных работ на здания, сооружения и природные объекты неотъемлемая часть мероприятий, связанных с обеспечением их охраны при проектировании и строительстве подземных сооружений любого назначения. В основу корректной оценки вредного влияния горных работ должно быть положено использование критериев, оперирующихся значениями деформаций как первых производных от сдвижений горных пород. На стадии проектирования такая оценка сводится к сравнению прогнозных значений показателей деформаций с допустимыми и предельными их значениями, зависящими от типа зданий или сооружений, подлежащих охране, характера их оснований, конструктивных особенностей и других факторов.

Участившееся в последние годы, использование показателей и критериев действующих нормативных документов, регламентирующих вопросы проектирования и строительства зданий и сооружений, таких как СП 22.13330.2011 и ТСН 50-302-2004, для оценки влияния подземных горных работ, недопустимо. Физическая природа деформационных процессов, проявляющихся в вертикальных смещениях оснований и фундаментов, рассматриваемых в

СП 22.13330.2011, ТСН 50-302-2004 и других подобных документах, и процессов, развивающихся в породах при ведении горных работ различна. Критерии, полученные для условий нагружения оснований, в основном использующиеся в СП 22.13330.2011 и ТСН 50-302-2004, не способны обеспечить адекватную оценку вредного влияния горных работ на подрабатываемые здания и сооружения, когда основная часть их оснований работают в режиме разгрузки.

Достоверная оценка степени вредного влияния горных работ может быть обеспечена только при использовании методик и нормативных документов, специально предназначенных для этих целей. В области оценки вредного влияния горных работ необходимо отметить широко известные работы признанных во всей стране научно-исследовательских организаций, таких как ВНИМИ, ИПКОН РАН, ВНИИГалургии и других, при участии которых разработаны нормативные документы, регламентирующие вопросы оценки вредного влияния горных работ. К таким документам прежде всего относятся: ПБ 07-269-98, РД 07-166-97, СП 21.13330.2012.

Использование деформационных критериев указанных документов может позволить обосновать достоверную оценку вредного влияния горных работ при строительстве подземных сооружений в мегаполисах, с учетом обоснованной корректировки значений допустимых и предельных деформаций для современных зданий, зданий исторической застройки, различных сооружений, подземных коммуникаций и природных объектов.

**Карасев М.А.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, karasevma@gmail.com

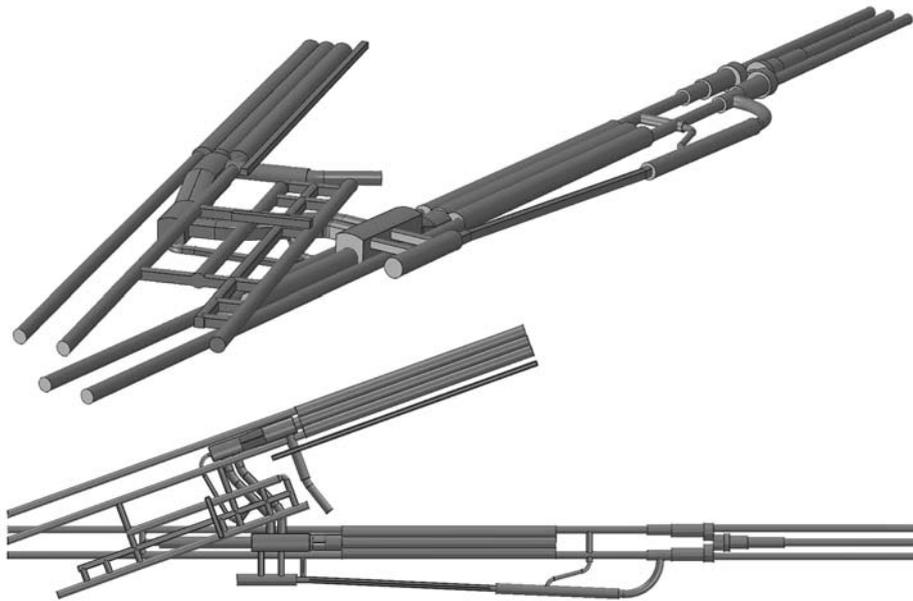
## **ПРОГНОЗ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СЛОЖНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ**

Развитие крупных городов непосредственно связано с комплексным освоением подземного пространства. Это и объекты метрополитена, транспортные и сервисные тоннели, подземные склады и хранилища, объекты инфраструктуры и магазины и т.д. Строительство любых подземных сооружений приводит к изменению напряженного состояния, сопровождающегося деформациями породного массива, которые распространяются до поверхности земли, что конечно может оказать негативное воздействие на здания и объекты инфраструктуры расположенные на поверхности земли. Сами же подземные сооружения по технико-экономическим соображениям обычно стремятся располагать на незначительной глубине от поверхности земли, что только увеличивает степень их влияния на объекты городской инфраструктуры. Однако не всегда строительство подземных сооружений приводит к проявлению негативных последствий, проявляющихся в виде повреждений отдельных элементов зданий или объектов инфраструктуры, а степень их воздействия можно нивелировать за счет применения различных мер защиты или изменения технологического режима строительства. В любом случае инженерное решение должно базироваться на прогнозных величинах деформаций земной поверхности и породного массива, вызванных строительством подземного сооружения.

Первые попытки прогноза деформаций земной поверхности были выполнены в работках Пека и Лиманова, которые в дальнейшем были дополнены в работках О'Рейли и Нью, Аттевеля, Вудмана, Девиса, Маира и других. В основном, методы прогноза, предложенные данными авторами, базируются на результатах натурных наблюдений, которые были обобщены в виде аналитических зависимостей. Общим недостатком данных методов является неопределенность при выборе параметров аналитических зависимостей, диапазон изменения которых достаточно широк, а четких рекомендаций по выбору численных показателей авторами работ не предлагается. В итоге, данные методы используются либо для предварительного прогноза деформаций зем-

ной поверхности, что позволяет вывить зоны влияния строительства подземных сооружений, либо используются на хорошо изученных участках строительства, где накоплен значительный задел по натурным исследованиям.

Значительное количество исследователей занималось разработкой методов прогноза земной поверхности на основании аналитических методов. Среди них наиболее известными являются работы Лиманова, Verrijt и Booker, Подакова, Сагасета, Ли, Логанафана и Поолуса, Пинто и др. Основным ограничением представленных в данных работах методов прогноза земной поверхности является упрощенный подход как к описанию процесса строительства тоннелей, так и особенностям механического поведения окружающего породного массива. В последние годы были предприняты попытки учесть различные особенности поведения грунтов, как например анизотропия деформационных свойства, однако модели так и остались достаточно простыми и не позволяли полностью преодолеть недостатки присущие первым работам в этой области. В связи с чем, данные методы не нашли широкого применения в практике проектирования тоннелей и используются для верификации численных решений и в академической практике.



**Рис. 1. Геометрическое представление объемно-планировочного решения станционного узла метрополитена**

Общим для рассмотренных выше подходов к прогнозу деформаций земной поверхности является весьма упрощенное геометрическое представление подземных сооружений, и отсутствие возможности достоверно учесть взаимодействие между несколькими подземными сооружениями, находящимися в зоне влияния друг друга. С учетом того, что современные подземные комплексы могут включать в себя несколько десятков подземных сооружений, такое ограничение данных методов является одной из причин снижения их популярности применения в инженерной практике.

В настоящее время прогноз деформаций земной поверхности в основном выполняется на основании численного моделирования строительства подземных сооружений. Этому способствовало развитие представлений о процессах деформирования грунтов, появления продвинутых моделей поведения сред, которые позволяют описывать взаимосвязь между напряжениями и деформациями для сложных траекторий нагружения, а также значительное повышение производительности вычислительной техники. Разработаны и различные методики прогноза деформаций земной поверхности при строительстве подземных сооружений как щитовым способом, так и различными модификациями горного способа. Все это способствовало широкому применению данных методов для решения реальных практических задач. Однако несмотря на это, прогноз деформаций земной поверхности при строительстве сложных подземных комплексов (рисунок 1), включающих в себя значительное количество пересекающихся друг с другом подземных сооружений все, еще представляет для исследователей определенные сложности.

В работе рассмотрены методологические вопросы прогноза деформаций земной поверхности при строительстве сложных пространственных подземных сооружений, таких как станции метрополитена или пересадочные узлы метрополитена, где обычные подходы не позволяют получить необходимый результат. Вопросы связанные с оценкой повреждения зданий или сооружений в данной работе не рассматриваются, но некоторые комментарии будут сделаны в заключении к работе.

Методика основана на разделении сложного пространственного объекта на простые, численное моделирование которых достаточно хорошо изучено, с дальнейшей аккумуляцией всех полученных результатов в рамках единой модели, отражающей все рассматриваемые подземные сооружения с целью прогноза деформаций земной поверхности. Апробация методики выполнена для инженерно-геологических условий г. Санкт-Петербург, на примере прогноза деформаций земной поверхности при строительстве станционных комплексов метрополитенов.

Численное моделирование строительство подземных сооружений, как и большинства задач геомеханики, имеющих практическое значения, всегда выполняется с учетом особенностей технологии их строительства, что приводит к разделению задачи на этапы, количество которых может быть весьма значительным. Так, например, если рассматривать строительство станции метрополитена пилонного типа, то в обычно в практике строительства Санкт-Петербургского метрополитена величина заходки равна 0.75 м, а протяженность трех параллельных тоннелей составляет 450 м. Таким образом, чтобы детально выполнить численное моделирование строительства станции метрополитена необходимо как минимум разделить решение на 600 этапов. С учетом того, что задача о взаимовлиянии одних подземных сооружений станции метрополитена на другие должна решаться в пространственной постановке, и ориентировочном количестве конечных элементов, аппроксимирующих реальную геометрию станции, равном 100 000 – 150 000, продолжительность решения такой задачи становится весьма

значительным (может достигать нескольких суток, а в случае применения сложных моделей поведения среды и намного больше). Если рассматривать станционный комплекс в целом то по опыту автора, размерность задачи возрастают от 1 000 000 до 1 500 000 конечных элементов, второго порядка точности. Количество рассматриваемых этапов также возрастает, что в конечном счете приводит если и к теоретически решаемой задаче, но в промежуток времени, который находится за пределами практического применения. Таким образом необходимо выполнять расчет так, чтобы с одной стороны не снизить достоверность результатов моделирования, с другой стороны получить результат расчетов в обозримый промежуток времени.

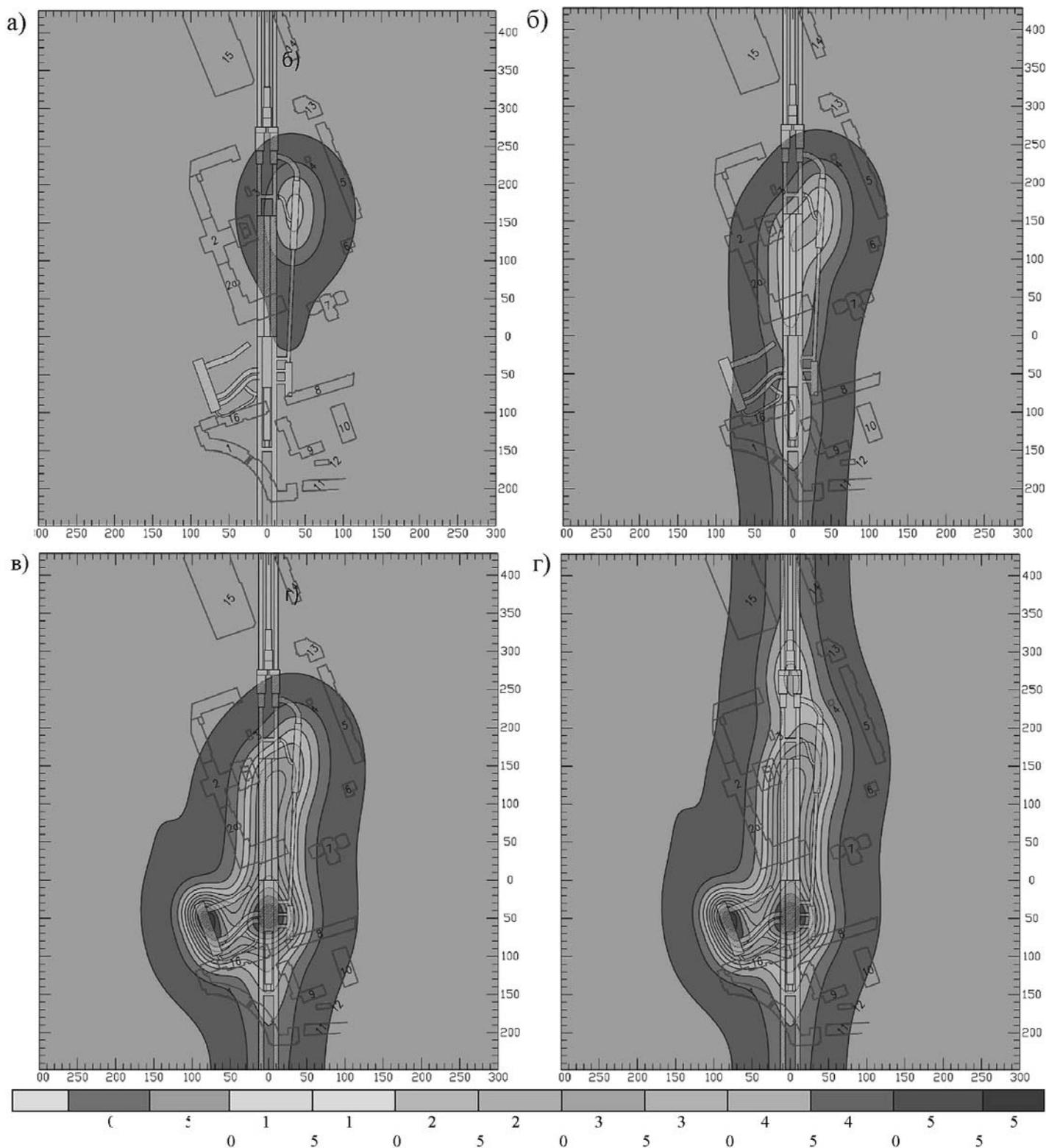


Рис. 2. Результаты прогноза деформаций земной поверхности при строительства станционного комплекса на различных этапах его строительства: а – строительство выработок околостольного двора, б – строительство левого станционного тоннеля, в – строительство комплекса выработок пересадочного узла, г – после завершения строительства всех подземных сооружений

В работе предложен подход с разделением прогноза деформаций земной поверхности при строительстве сложного пространственного подземного сооружения, например, станционного комплекса метрополитена (рисунок 1), который содержит в себе около 20 отдельных подземных сооружений и два этапа. На первом этапе выполняется численное моделирование строительства отдельных подземных сооружений с целью определения деформаций их породного контура. Это позволяет детально учесть последовательность строительства конкретного подземного сооружения, этапность разработки грунта в забое и установка обделки, изменение напряженного состояния породного массива, вызванное уже построенными смежными подземными сооружениями. На втором этапе результаты прогноза деформаций породного контура объединяются в единой модели которая геометрически включает в себя все подземные сооружения станционного комплекса. В дальнейшем, такая модель будет называться глобальной. К границам контура подземных сооружений прикладываются вынужденные смещения, полученные на первом этапе расчета. По результатам второго этапа численного моделирования выполняется построение мульды сдвижения земной поверхности от строительства подземных сооружений станционного комплекса. Детализация строительства сложного пространственного подземного сооружения в данном случае ограничивается размерами отдельных подземных сооружений.

Пример результатов прогноза деформаций земной поверхности по представленной выше методике представлен на рисунке 2 в виде эпюр оседаний земной поверхности от строительства подземного станционного комплекса метрополитена на различных этапах его сооружения.

В заключении можно отметить, что в работе детально изложены вопросы прогноза деформаций земной поверхности при строительстве подземных сооружений сложной пространственной конфигурации. Представленный подход позволяет получить достоверные картины деформирования земной поверхности на различных укрупненных стадиях строительства подземных сооружений в независимости от их сложной пространственной конфигурации и элементов (отдельных сооружений) из которых они состоят.

Однако в работе не уделено внимание другому важному аспекту, который позволит повысить достоверность прогноза и как следствие надежность эксплуатируемых объектов существующей застройки, это учет совместной работы объектов, расположенных на поверхности земли и подземных сооружений. Достоверность проведения таких расчетов складывается из решения нескольких отдельных задач. Первой из них является включения зданий и сооружений в совместный работу с породным массивом и подземных сооружений. Это окажет влияние на детализацию технологии строительства подземного сооружения при выполнении численного моделирования на всех этапах его сооружения. Другой важной задачей, является выработка критериев оценки степени повреждения зданий или сооружений. Так как совместный расчет зданий и подземных сооружений предполагает возможность получить детальную картину напряженно-деформированного состояния его отдельных элементов, необходимо установить допустимые и предельные величины показателей, которые характеризуют работоспособность отдельных элементов здания и устойчивости всего здания в целом. На настоящий момент, этот вопрос нельзя назвать полностью проработанным. И заключительной задачей является оценка остаточной жесткости/несущей способности отдельных элементов здания, их напряженно-деформированное состояния на момент строительства подземного сооружения, состояния отдельных несущих и ограждающих конструкций. Если для вновь построенных объектов, рядом факторов можно пренебречь, то для зданий и сооружений исторической застройки не учет данных факторов приведет к ошибочным решениям, и они должны быть учтены при создании численной модели и выполнении оценки степени их повреждения. Однако этот вопрос по мнению автора является наименее проработанным и существуют лишь качественные способы оценки состояния элементов зданий и сооружений.

Таким образом в области прогноза степени воздействия подземных сооружений на здания расположенные в зоне их влияния решены далеко не все вопросы, и остается широкий круг проблем, требующих проведения научно-исследовательских работ и всестороннего научного обсуждения.

Потемкин Д.А., Трушко О.В.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», potyomkin@list.ru, ov\_trushko@mail.ru

## **ВЛИЯНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА СООРУЖАЕМЫХ ОТКРЫТЫМ СПОСОБОМ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА НА ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА**

Моделирование напряженно-деформированного состояния грунтового массива, вмещающего элементы конструкций станции «Новокрестовская»,

«ул. Савушкина» и «Яхтенная» выполнены в программном комплексе ABAQUS, реализующем метод конечных элементов.

Общий вид конечно-элементной модели для инженерно-геологических условий ст. м. «Новокрестовская» представлен на рисунке 1. Геометрические размеры грунтового массива для всех трех станций приняты равными: длина (по оси X) – 400 м, ширина (по оси Y) – 120 м, высота (по оси Z, являющейся вертикальной) – 50 м.

Грунтовые слои, ввиду своей многочисленности, разнообразия свойств [1] и мощности, сгруппированы из соображений схожести физико-механических свойств. В каждой модели массив представлен пятью группами слоев, которые выделены на рисунке 1 разными цветами.

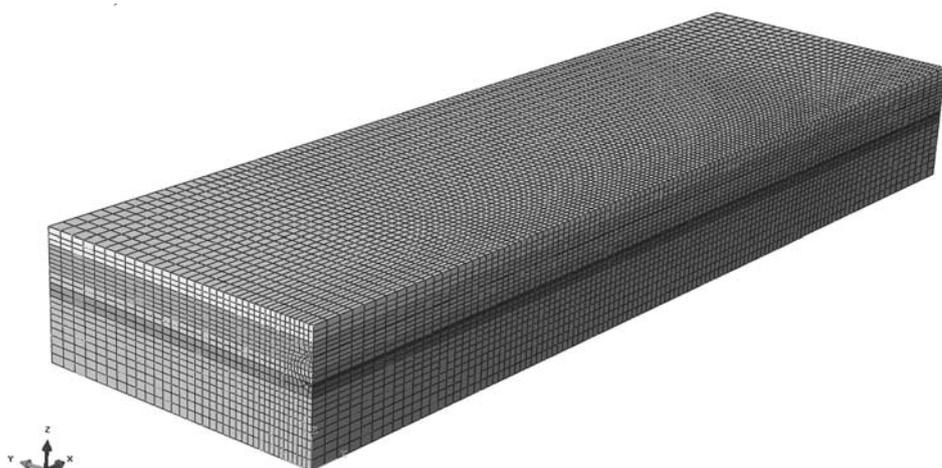


Рис. 1. Общий вид конечно-элементной модели грунтового массива

В расчетах грунты рассматриваются как упруго-пластическая среда, прочность которой задается известным критерием Кулона-Мора:

$$\sigma_1 = \frac{2c \cdot \cos \varphi + \sigma_3 (1 + \sin \varphi)}{1 - \sin \varphi}$$

где  $\sigma_1$  и  $\sigma_3$  – максимальные и минимальные главные напряжения в массиве,  $c$  – сцепление,  $\varphi$  – угол внутреннего трения.

Расчетные физико-механические характеристики групп грунтовых слоев для трех стационарных комплексов представлены в таблицах 1, 2 и 3.

Таблица 1

Расчетные физико-механические характеристики групп грунтовых слоев для условий ст. м. «Новокрестовская»

№ п/п	Наименование	Мощность слоя, м	$\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	E, МПа	$\nu$	c, МПа	$\varphi$ , °
1.	Группа №1	6	1950	20,0	0,33	0,001	26
2.	Группа №2	10	1960	7,0	0,37	0,010	14
3.	Группа №3	4	1850	7,5	0,40	0,010	10
4.	Группа №4	5	1950	12,0	0,36	0,012	13
5.	Группа №5	-	2130	100,0	0,35	0,050	21

Примечание:  $\gamma$  – объемный вес грунта; E – модуль деформации грунта; c – сцепление;  $\varphi$  – угол внутреннего трения;  $\nu$  – коэффициент Пуассона

Таблица 3

Расчетные физико-механические характеристики групп грунтовых слоев для условий ст. м. «Яхтенная»

№ п/п	Наименование	Мощность слоя, м	$\gamma$ , кг/м <sup>3</sup>	E, МПа	$\nu$	c, МПа	$\varphi$ , °
1.	Группа №1	4	1960	10,0	0,36	0,001	19
2.	Группа №2	8	1930	8,5	0,37	0,015	14
3.	Группа №3	6	1850	9,0	0,40	0,010	10
4.	Группа №4	9	2180	15,0	0,33	0,022	21
5.	Группа №5	-	2130	100,0	0,35	0,050	21

Конструкция стационарного комплекса моделировалась следующими конструктивными элементами, вступающими в работу согласно технологическим этапам строительства станции: «стена в грунте»; двухпутевой перегонный тоннель, проводимый сквозь объем грунта, подлежащий выемке при сооружении станции; четыре последовательно возводимых перекрытия, появляющихся после соответствующих этапов земляных работ; буронабивные сваи-колонны, устраиваемые в грунте до начала его выемки.

Ввиду симметричности станции относительно продольной оси (ось X) рассмотрена только половина ее конструкции и грунтового массива, то есть решалась осесимметричная задача.

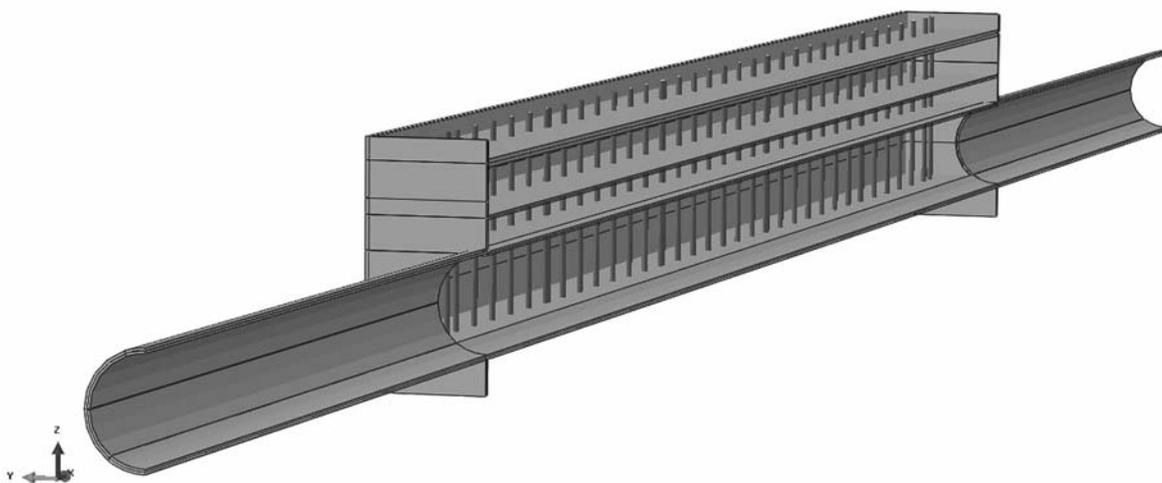
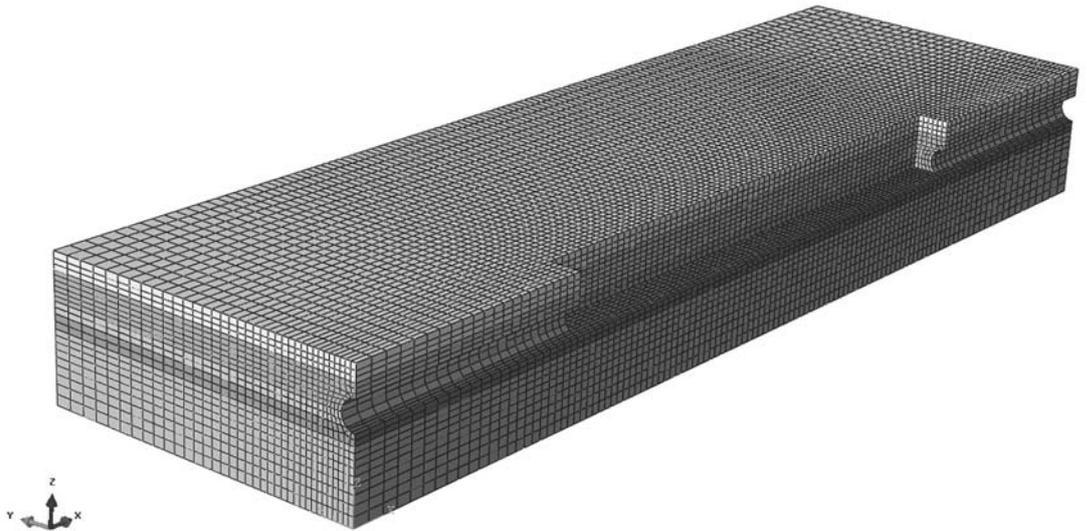
На рисунке 2 представлена конечно-элементная модель грунтового массива в районе строительства ст. м. «Новокрестовская» с «выемкой» в месте расположения самой станции и подходящих перегонных двухпутевых тоннелей.

Принятые при моделировании геометрические размеры конструктивных элементов: общая длина станции – 204,6 м; ширина – 25,6 м. Глубина «стены в грунте» – 25,0 м при мощности ограждения – 1,0 м по протяженной части и 0,7 м – в торцах станции; диаметр двухпутевого перегонного тоннеля – 10,4 м при толщине обделки – 0,5 м; четыре перекрытия, устраиваемые на отметках 15,2 м; 9,0 м; 5,5 м и 2,59 м (за нулевую отметку принят уровень головки рельсов в перегонном тоннеле) имеют толщину 1,2 м (верхнее) и 0,6 м (три нижних). На рисунке 3 показаны основные элементы конструкции станции и перегонных тоннелей.

**Рис. 2. Конечно-элементная модель грунтового массива с «выемкой» в месте расположения выработок**

Результатирующее напряженно-деформированное состояние грунтового массива складывалось поэтапно, при этом последовательно производился расчет следующих этапов [2]:

1. Геостатический расчет собственного веса вмещающего станцию грунтового массива;
2. Сооружение в грунтовом массиве конструкции «стена в грунте» и устройство свай-колонн;
3. Проведение двухпутевого перегонного тоннеля, в том числе через оуьем грунта, подлежащего выемке при сооружении станции;
4. Первый этап земляных работ – выемка грунта от поверхности до первого перекрытия (см. рисунок 3);
5. Монтаж конструкции первого перекрытия;
6. Второй этап земляных работ – выемка грунта между первым и вторым перекрытием;
7. Монтаж конструкции второго перекрытия;
8. Третий этап земляных работ – выемка грунта между вторым и третьим перекрытием;
9. Монтаж конструкции третьего перекрытия с частичным демонтажем обделки в колотте перегонного тоннеля в пределах внутреннего объема станции;
10. Четвертый этап земляных работ – выемка грунта между третьим и четвертым (последним) перекрытием с частичным демонтажем обделки в боках перегонного тоннеля в пределах внутреннего объема станции (рисунок 3);
11. Монтаж конструкций четвертого перекрытия.



**Рис. 3. Основные элементы конструкции станции и перегонных тоннелей**

Грунтовой массив моделировался восьмиузловыми призматическими элементами типа «solid», элементы конструкций – четырехузловыми оболочечными элементами

типа «shell» и двухузловыми балочными элементами типа «beam». Общее количество элементов модели для ст. м. «Новокрестовская» составило 96000 шт., для ст. м. «ул. Савушкина» – 112000 шт., для ст. м. «Яхтенная» – 100000 шт. Разница в количестве элементов объясняется различной конфигурацией и мощностью грунтовых слоев и, как следствие, различным количеством элементов, потребовавшихся для дискретизации области грунтового массива.

Влияние строительства станции метрополитена на смещения в грунтовом массиве оценивалось величинами вертикальных (по оси Z) и горизонтальных (по оси Y, перпендикулярно оси станции) смещений.

Численное моделирование строительства станций метрополитена «Новокрестовская», «ул. Савушкина» и «Яхтенная» показало следующие результаты.

Ст. м. «Новокрестовская»

На рисунке 4 и 5 представлены эпюры результирующих вертикальных и горизонтальных смещений от строительства ст. м. «Новокрестовская».

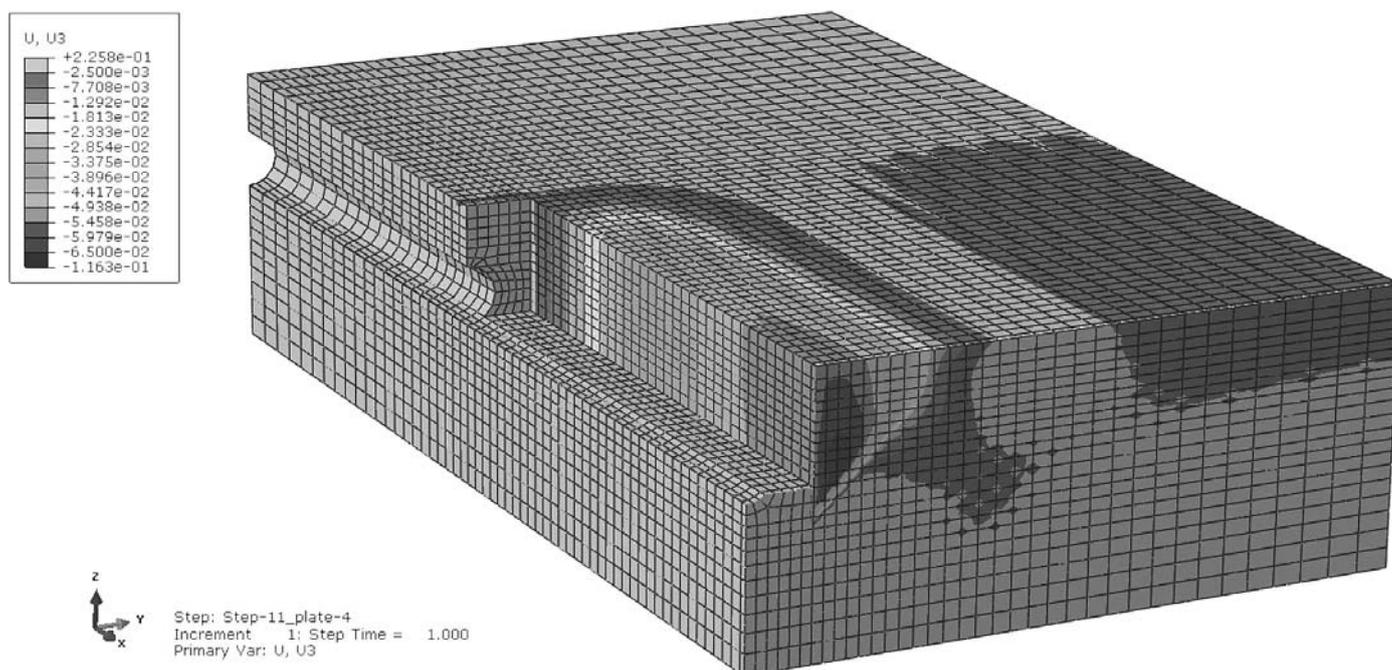


Рис. 4. Результирующие вертикальные смещения в грунтовом массиве от строительства ст. м. «Новокрестовская»

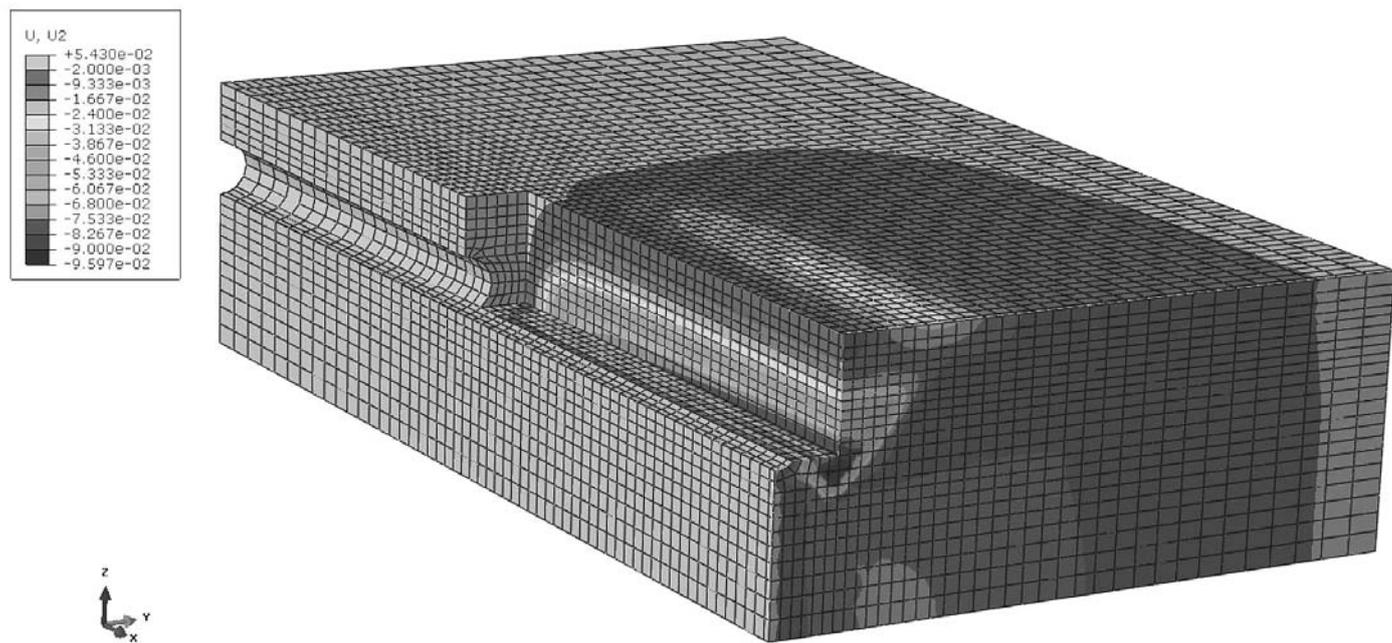


Рис. 5. Результирующие горизонтальные смещения в грунтовом массиве от строительства ст. м. «Новокрестовская»

Максимальные вертикальные смещения поверхности могут достигать значения 0,052 м непосредственно у «стены в грунте» при 0,065 м в нижней части «стены» на глубине 15,0...25,0 м. Оседание до 0,002 м прослеживается на расстоянии до 33,0...35,0 м от «стены» (45,0...47,0 м от оси станции) по оси Y.

Горизонтальные смещения (по оси Y) в сторону станции до 0,002 м прослеживаются на расстоянии до 85,0...91,0 м от «стены» (97,0...102,0 м от оси станции).

Численные значения вертикальных и горизонтальных смещений земной поверхности (от «стены в грунте» по оси Y в средней части станции) представлены в таблицах 4 и 5 соответственно.

Таблица 4

Численные значения вертикальных смещений земной поверхности при строительстве ст. м. «Новокрестовская»

Расстояние от стены, м	Оседание, м								
0,00000	-0,05245	15,66790	-0,03189	32,79590	-0,00196	54,18170	-0,00276	80,90370	-0,00334
1,99535	-0,05138	18,26240	-0,02354	36,03920	-0,00133	58,23300	-0,00256	85,96580	-0,00294
2,12516	-0,05148	20,95480	-0,01666	39,40270	-0,00165	62,43620	-0,00316	91,21880	-0,00331
9,33928	-0,04817	23,75400	-0,01270	42,89540	-0,00144	66,79960	-0,00285	96,67100	-0,00291
10,76530	-0,04536	26,65750	-0,00706	46,51800	-0,00217	71,32710	-0,00332	102,32900	-0,00329
13,17170	-0,03954	29,67180	-0,00332	50,27960	-0,00204	76,02690	-0,00294	108,20200	-0,00290

Таблица 5

Численные значения горизонтальных смещений земной поверхности при строительстве ст. м. «Новокрестовская»

Расстояние от стены, м	Оседание, м								
0,0000	-0,0017	15,6681	-0,0269	32,7965	-0,0101	54,1827	-0,0064	80,9050	-0,0035
1,9954	-0,0063	18,2627	-0,0262	36,0401	-0,0079	58,2340	-0,0053	85,9670	-0,0026
2,1252	-0,0065	20,9553	-0,0257	39,4036	-0,0083	62,4373	-0,0055	91,2201	-0,0022
9,3391	-0,0193	23,7546	-0,0203	42,8963	-0,0067	66,8008	-0,0046	96,6723	-0,0014
10,7653	-0,0223	26,6582	-0,0162	46,5190	-0,0072	71,3283	-0,0046	102,3310	-0,0008
13,1719	-0,0239	29,6724	-0,0111	50,2806	-0,0059	76,0281	-0,0037	108,2030	0,0000

Ст. м. «ул. Савушкина»

На рисунке 6 и 7 представлены эпюры результирующих вертикальных и горизонтальных смещений от строительства ст. м. «ул. Савушкина».

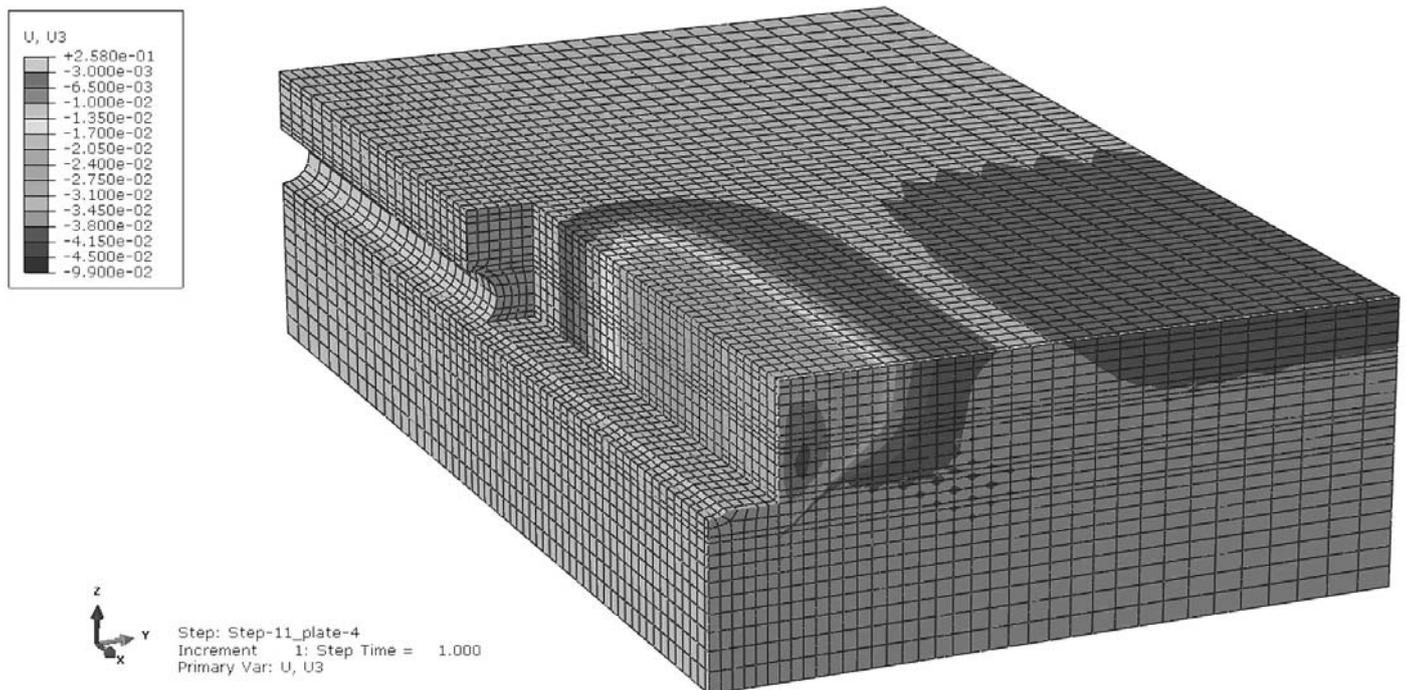


Рис. 6. Результирующие вертикальные смещения в грунтовом массиве от строительства ст. м. «ул. Савушкина»

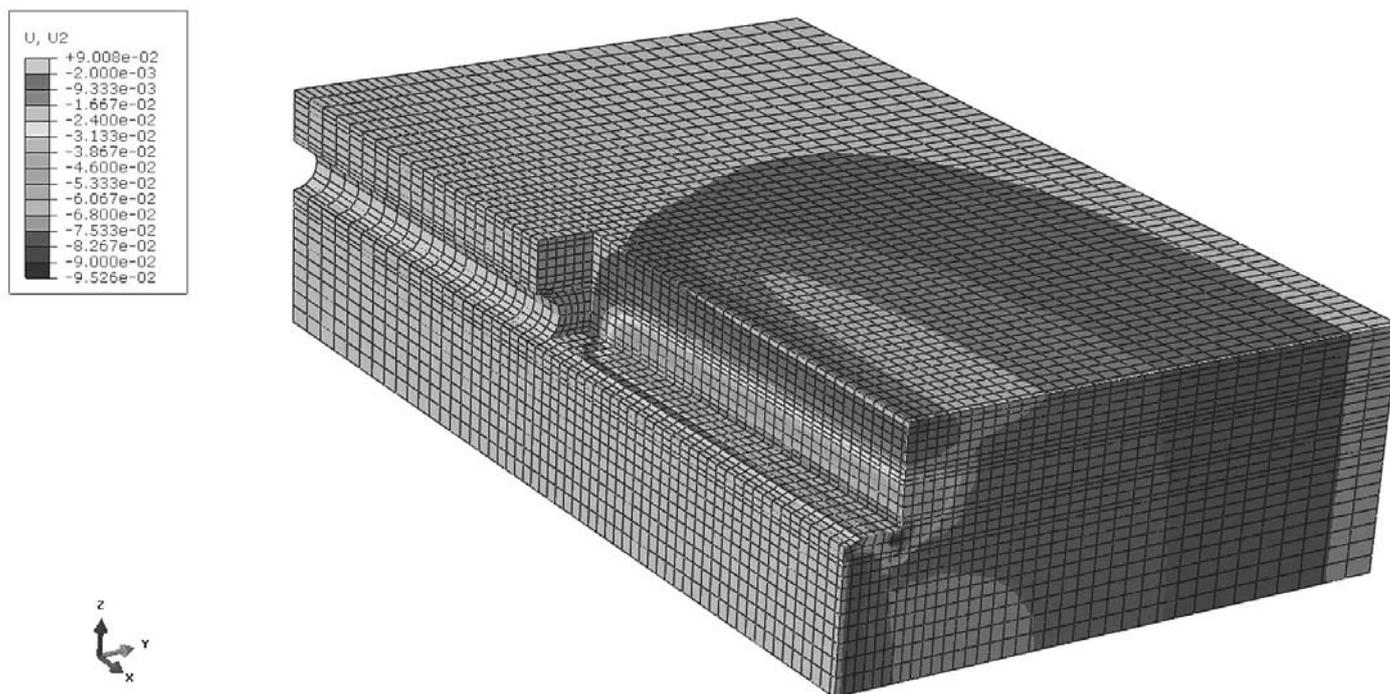


Рис. 7. Результирующие горизонтальные смещения в грунтовом массиве от строительства ст. м. «ул. Савушкина»

Максимальные вертикальные смещения поверхности могут достигать значения 0,033 м непосредственно у «стены в грунте» при 0,043 м в нижней части «стен» на глубине 15,0...20,0 м. Оседание до 0,003 м прослеживается на расстоянии до 43,0...46,0 м от «стены» (55,0...58,0 м от оси станции) по оси Y.

Горизонтальные смещения (по оси Y) в сторону станции до 0,002 м прослеживаются на расстоянии до 92,0...96,0 м от «стены» (104,0...108,0 м от оси станции).

Численные значения вертикальных и горизонтальных смещений земной поверхности (от «стены в грунте» по оси Y в средней части станции) представлены в таблицах 6 и 7 соответственно.

Таблица 6

Численные значения вертикальных смещений земной поверхности при строительстве ст. м. «ул. Савушкина»

Расстояние от стены, м	Оседание, м								
0,00000	-0,03279	13,17400	-0,02380	29,66560	-0,00471	54,17740	-0,00332	80,90110	-0,00367
1,99501	-0,03039	13,18580	-0,02378	32,78960	-0,00366	58,22860	-0,00336	85,96330	-0,00352
4,06787	-0,03156	15,67170	-0,01948	36,03250	-0,00311	62,43250	-0,00356	91,21670	-0,00364
6,21772	-0,03067	18,26600	-0,01557	39,39700	-0,00288	66,79590	-0,00351	91,21680	-0,00364
8,45051	-0,02982	20,95820	-0,01163	42,88950	-0,00283	71,32400	-0,00367	96,66920	-0,00348
10,76740	-0,02694	23,75380	-0,00868	46,51310	-0,00299	71,32400	-0,00367	102,32800	-0,00361
10,77360	-0,02693	26,65440	-0,00625	50,27450	-0,00307	76,02380	-0,00354	108,20100	-0,00347

Таблица 7

Численные значения горизонтальных смещений земной поверхности при строительстве ст. м. «ул. Савушкина»

Расстояние от стены, м	Оседание, м								
0,0000	-0,0005	15,6719	-0,0220	32,7902	-0,0152	58,2294	-0,0084	85,9643	-0,0039
1,9950	-0,0055	18,2662	-0,0215	36,0332	-0,0134	62,4333	-0,0081	85,9643	-0,0039
4,0679	-0,0083	20,9586	-0,0211	39,3977	-0,0127	66,7968	-0,0071	91,2178	-0,0031
6,2178	-0,0126	20,9963	-0,0211	42,8902	-0,0113	71,3249	-0,0066	96,6702	-0,0020
8,4506	-0,0156	23,7542	-0,0193	46,5138	-0,0109	76,0248	-0,0056	102,3290	-0,0011
10,7675	-0,0190	26,6548	-0,0182	50,2753	-0,0098	76,0248	-0,0056	108,2020	0,0000
13,1742	-0,0205	29,6661	-0,0162	54,1782	-0,0094	80,9021	-0,0049	85,9643	-0,0039

Ст. м. «Яхтенная»

На рисунке 8 и 9 представлены эпюры результирующих вертикальных и горизонтальных смещений от строительства ст. м. «Яхтенная».

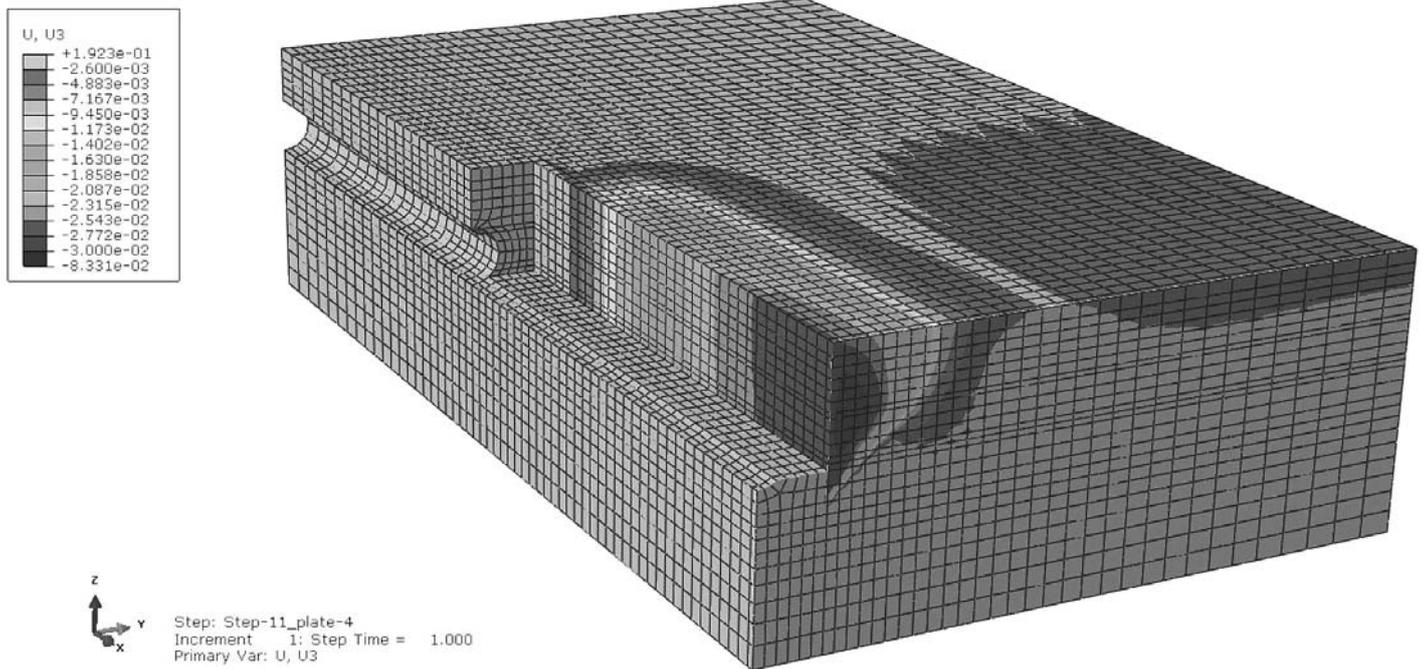


Рис. 8. Результирующие вертикальные смещения в грунтовом массиве от строительства ст. м. «Яхтенная»

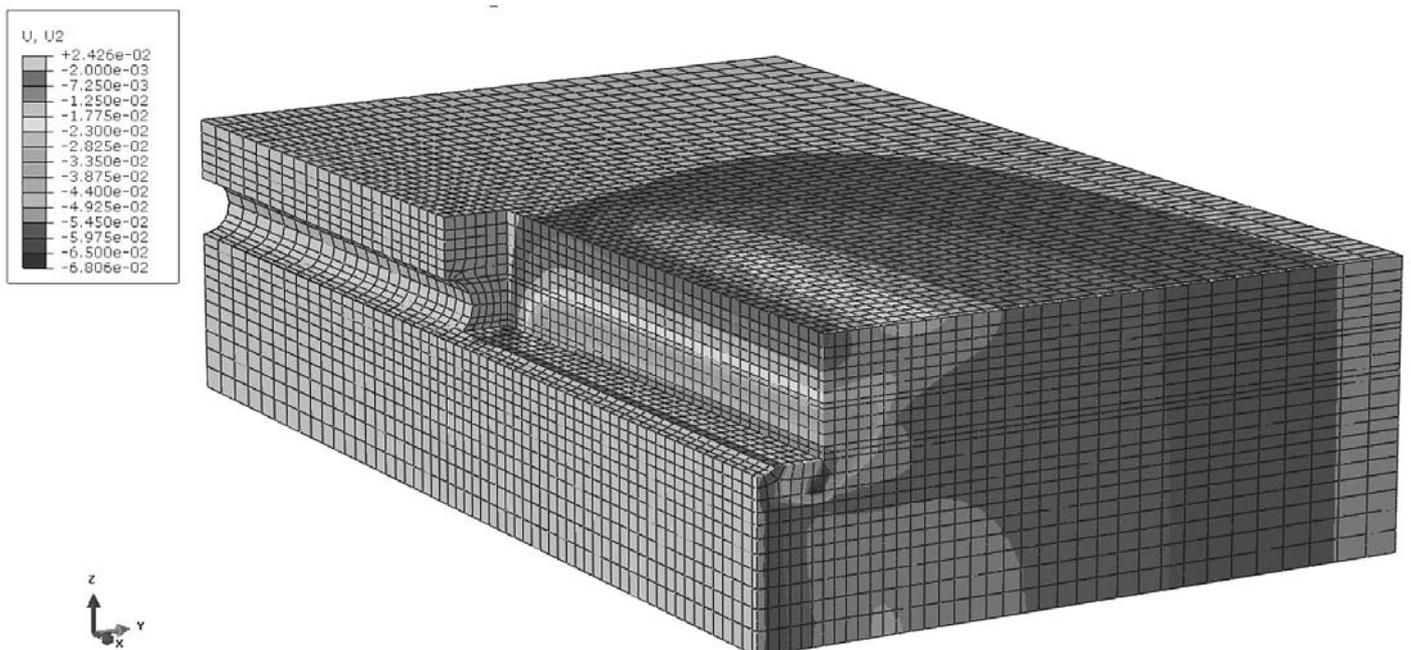


Рис. 9. Результирующие горизонтальные смещения в грунтовом массиве от строительства ст. м. «Яхтенная»

Максимальные вертикальные смещения поверхности могут достигать значения 0,026 м непосредственно у «стены в грунте» при 0,030 м в нижней части «стены» на глубине 6,0...20,0 м. Оседание до 0,0026 м прослеживается на расстоянии до 40,0...46,0 м от «стены» (52,0...58,0 м от оси станции) по оси  $Y$ .

Горизонтальные смещения (по оси  $Y$ ) в сторону станции до 0,002 м прослеживаются на расстоянии до 91,0...96,0 м от «стены» (103,0...109,0 м от оси станции).

Численные значения вертикальных и горизонтальных смещений земной поверхности (от «стены в грунте» по оси  $Y$  в средней части станции) представлены в таблицах 8 и 9 соответственно.

Таблица 8

Численные значения вертикальных смещений земной поверхности при строительстве ст. м. «Яхтенная»

Расстояние от стены, м	Оседание, м								
0,00000	-0,02719	13,17900	-0,01622	29,67250	-0,00323	54,18330	-0,00278	80,90630	-0,00289
1,99579	-0,02447	15,67800	-0,01298	36,03860	-0,00259	58,23360	-0,00303	85,96800	-0,00311
4,06911	-0,02459	18,27180	-0,00969	39,40370	-0,00249	62,43810	-0,00287	91,22160	-0,00287
6,22030	-0,02320	20,96510	-0,00729	42,89500	-0,00268	66,80090	-0,00310	96,67370	-0,00310
8,45379	-0,02172	23,76040	-0,00557	46,51930	-0,00263	71,32940	-0,00289	102,33200	-0,00286
10,77220	-0,01922	26,66230	-0,00400	50,27970	-0,00288	76,02870	-0,00312	108,20500	-0,00309

Таблица 9

Численные значения горизонтальных смещений земной поверхности при строительстве ст. м. «Яхтенная»

Расстояние от стены, м	Оседание, м								
0,0000	-0,0049	13,1792	-0,0199	29,6731	-0,0137	54,1840	-0,0080	80,9072	-0,0042
1,9958	-0,0091	15,6783	-0,0201	36,0393	-0,0118	58,2344	-0,0078	85,9690	-0,0036
4,0691	-0,0115	18,2722	-0,0200	39,4044	-0,0105	62,4389	-0,0069	91,2226	-0,0026
6,2204	-0,0145	20,9655	-0,0187	42,8957	-0,0103	66,8017	-0,0066	96,6748	-0,0019
8,4539	-0,0167	23,7608	-0,0172	46,5200	-0,0092	71,3303	-0,0056	102,3330	-0,0009
10,7724	-0,0186	26,6628	-0,0147	50,2804	-0,0091	76,0296	-0,0051	108,2060	0,0000

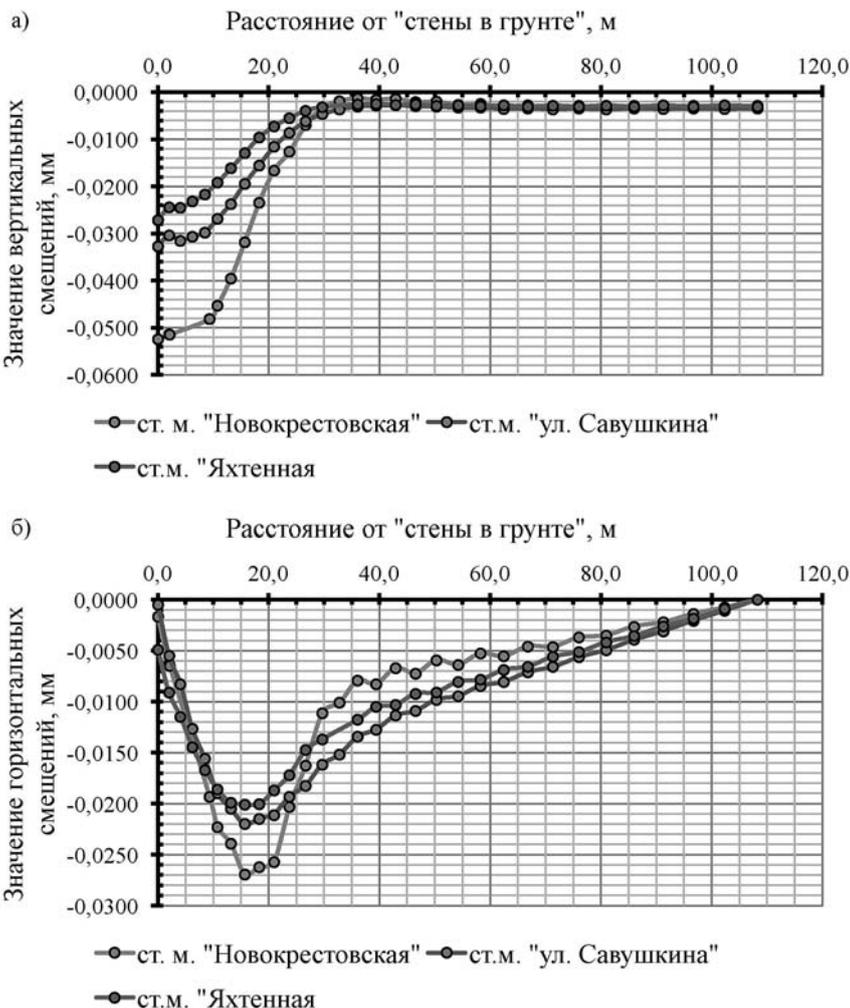


Рис. 10. Распределение вертикальных (а) и горизонтальных (б) смещений перпендикулярно оси станции (по оси Y) от «стены в грунте» в массив

На рисунке 10 («а» и «б») представлены графики изменения вертикальных и горизонтальных смещений перпендикулярно оси станции (по оси Y) от «стены в грунте» в массив.

Таким образом численное моделирование поведения вмещающего станционные комплексы грунтового массива показало, что наибольшие величины вертикальных и горизонтальных смещений в пределах зоны влияния в нем будет вызывать строительство ст. м. «Новокрестовская», наименьшее – ст. м. «Яхтенная»; при этом общие размеры самой зоны влияния имеют схожие значения.

**Список литературы**

1. Технический отчет по инженерно-геологическим изысканиям для разработки проектной документации. Строительство Невско-Василеостровской линии метрополитена метрополитена от станции «Приморская» до станции «Зоопарк». 2743-ИИ. Ленметрогипротранс. 2012.
2. ОТЧЕТ о работе «Моделирование сдвижения земной поверхности при проходке перегонного тоннеля ТПМК», Горный университет, Санкт-Петербург, 2013.

Рис. 10. Распределение вертикальных (а) и горизонтальных (б) смещений перпендикулярно оси станции (по оси Y) от «стены в грунте» в массив

Новоженин С.Ю.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, snovx@mail.ru

## ВРЕДНОЕ ВЛИЯНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ЭСКАЛАТОРНЫХ ТОННЕЛЕЙ И ЕГО ОЦЕНКА

Строительство эскалаторных тоннелей для обеспечения связи станций глубокого заложения с земной поверхностью или подуличными переходами на сегодняшний момент является основным технологическим решением, применяемым в мегаполисах нашей страны. При этом вопрос обеспечения охраны зданий и сооружений от вредного влияния проходки стоит особенно остро, так как именно эскалаторные тоннели вследствие конструктивных особенностей, геометрии (наклон под углом  $30^\circ$ ), сложных условий проходки оказывают наибольшее воздействие на массив и земную поверхность из всех выработок метрополитена.

При строительстве эскалаторных тоннелей на земной поверхности формируется область вредного влияния, в пределах которой развиваются сдвигения и деформации (зачастую неравномерно) – мульда сдвигения. Размеры мульды зависят от нескольких факторов, главным из которых является мощность неустойчивых пород на участке строительства. Величина максимального оседания ( $\eta_{\max}$ ) в мульде сдвигения во многом определяется деформационными свойствами вмещающих пород. Кроме того, при оценке вредного влияния рассматривается зависимость распределения сдвижений в мульде. Особую важность для исследования представляет оценка деформационных характеристик процесса сдвигения – деформаций наклонов ( $i$ ) и кривизны ( $k$ ) в мульде. Даже при небольших величинах вертикальных сдвижений (оседаний) возможно возникновение значительных деформаций наклонов и кривизны, которые могут привести к повреждению, а иногда и разрушению подрабатываемых зданий. Наиболее полно деформационные критерии проработаны в «Правилах охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях» [1].

На сегодняшний день активно используются два способа проходки эскалаторных тоннелей: под защитой ледопородного ограждения и с использованием тоннелепроходческого механизированного комплекса (ТПМК).

Первый способ традиционно применялся для строительства эскалаторных тоннелей в сложных горно-геологических условиях (обводненные, неустойчивые породы), но в настоящее время его использование ограничено и возможно только при отсутствии городской застройки на участке строительства (рис. 1).



Рис. 1. Проходка эскалаторного тоннеля в заморозке

Во время самой проходки тоннеля, как показывают данные натурных наблюдений, существенных проявлений процесса сдвигения на земной поверхности не происходит из-за работы созданного ледопородного ограждения. Но при последующем оттаивании пород геомеханическое состояние массива существенно изменяется, что приводит к интенсивному развитию сдвижений и деформаций в толще и в мульде сдвигения на поверхности. Размеры мульды в этом случае могут колебаться от 60 до 130 м в поперечном направлении и превышать 110 м в продольном. Максимальные оседания в мульде на момент окончания наблюдений

могут достигать 450 мм. Возникновение оседаний происходит плавно и постепенно, без провалов, что видно на графике развития мульды во времени (рис. 2).

Основные характеристики мульд сдвигения для эскалаторных тоннелей станций, пройденных в заморозке, представлены в таблице 1. Деформационные характеристики определены не для всех эскалаторных тоннелей вследствие отрывочности данных.

В случаях, когда строительство происходит в стесненных городских условиях и необходимо обеспечить безопасность зданий и сооружений на поверхности, используется проходка ТПМК (рис. 3). Принцип действия ТПМК основан на удержании забоя в стабильном состоянии при его разработке. Это реализуется созданием со стороны щита активного грунтового пригруза, воспринимающего действующее давление водонасыщенного неустойчивого грунта. В качестве пригруза используется отделяемый от породного массива грунт, находящийся в призабойной герметически изолированной головной камере щита. Грунт в камере превращается в подвижную, связную и однородную массу путем кондиционирования с помощью подаваемых компонентов: пены, пластифицирующих и стабилизирующих материалов. Геомеханические процессы, возникающие в массиве при проходке эскалаторных тоннелей ТПМК, определяются многими факторами, механизм которых подробно рассмотрен в работе [2].

Такая проходка, в свою очередь, позволяет уменьшить вредное влияние на земную поверхность, однако полностью исключить вредное воздействие не позволяет. Об этом свидетельствуют данные натурных наблюдений за сдвижением земной поверхности во время проходки. На всех объектах строительства эскалаторных тоннелей в Санкт-Петербурге были организованы наблюдательные станции, на базе которых осуществлялся мониторинг процесса сдвигения. Результаты этих наблюдений показали систематическое появление оседаний земной поверхности и породного массива над тоннелями, достигающих не менее 50 – 60 мм даже при соблюдении всех режимов технологических режимов проходки [3]. Размеры мульд в этом случае достигают порядка 70 – 110 м в продольном и поперечном направлении. В таб. 2 представлены основные характеристики мульд сдвигения для эскалаторных тоннелей станций, пройденных ТПМК.

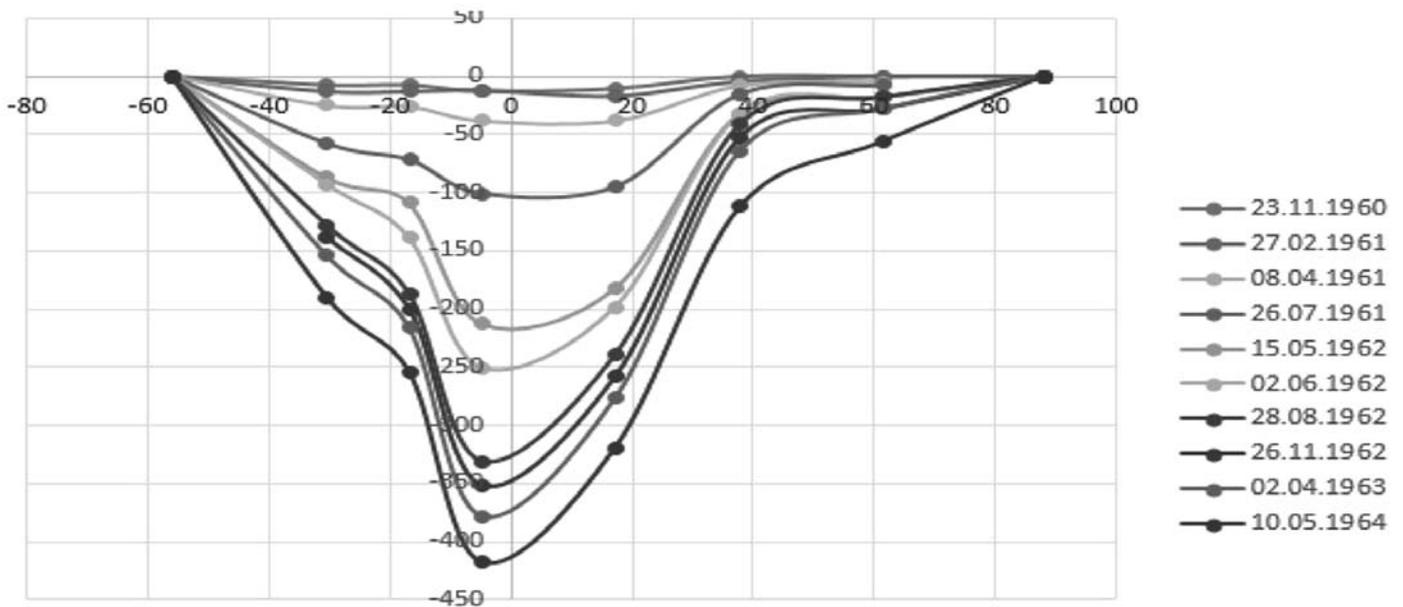


Рис. 2. Развитие мульды сдвижения при строительстве эскалаторного тоннеля станции «Сенная» в главном поперечном сечении

Таблица 1

Характеристики мульд сдвижения от строительства эскалаторных тоннелей с замораживанием грунтов в Санкт-Петербурге

Параметры мульды	Эскалаторные тоннели станций метро		
	Сенная	Садовая	Лиговский проспект
Оседание на конец проходки тоннеля, мм	176	118	86
Оседание на момент окончания наблюдений, мм	418	462	260
Деформации наклонов, -	0.013	-	-
Деформации кривизны, 1/м	0.001	-	-
Размеры мульды по оси тоннеля, м	>100 м	>80 м	>110
Размеры полумульд перпендикулярно оси тоннеля (левая / правая), м	56/88	-/56	90/130
Положение точки макс. оседания (расстояние от БВВ), м	40	29	-

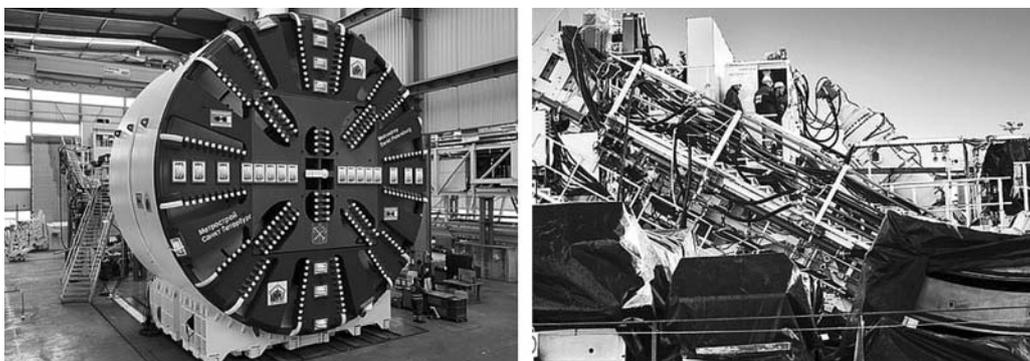


Рис. 3. Проходка эскалаторного тоннеля тоннелепроходческим механизированным комплексом

Натурные маркшейдерские наблюдения являются основным методом изучения процесса сдвижений и деформаций. Закономерности развития сдвижений и деформаций строятся на

основании накопленных данных наблюдений. С развитием технологий подземного строительства возрастают требования к организации мониторинговых наблюдений, как в техническом, так и в методологическом направлении. Совершенствование приборов определяется развитием техники и происходит постоянно. Следует отметить, что проведение мониторинговых наблюдений процесса сдвижения в современных реалиях подземного строительства недостаточно обосновано нормативными документами.

Характеристики мульд сдвижения от строительства эскалаторных тоннелей, пройденных ТПМК в Санкт-Петербурге

Параметры мульды	Эскалаторные тоннели станций метро		
	Обводный канал	Адмиралтейская	Спаская
Оседание на конец проходки тоннеля, мм	92	27	30
Оседание на момент окончания наблюдений, мм	93	48	57
Деформации наклонов, -	-0.0064	0.0026	-0.0025
Деформации кривизны, 1/м	0.0014	0.0002	0.0002
Размеры мульды по оси тоннеля, м	>110	>110	>75
Размеры полумульд перпендикулярно оси тоннеля (левая / правая), м	30/35	45/75	40/35
Положение точки макс. оседания (расстояние от БВВ), м	24	60	35

В условиях высоких скоростей проходки эскалаторных тоннелей, когда деформации подрабатываемого массива за короткое время могут достигать значительных величин, становится особенно важной организация непрерывных наблюдений за процессом сдвижения на поверхности. Необходимость обеспечения сохранности зданий и сооружений, особенно представляющих историческую и культурную ценность, предъявляет высокие требования к точности и частоте проводимых измерений. Для решения таких задач наиболее целесообразно применение систем деформационного мониторинга на базе роботизированных электронных тахеометров (рис. 4).



Рис. 4. Роботизированный электронный тахеометр Trimble

Такие системы способны обеспечить высокую точность измерений смещений на небольших участках наблюдений. Согласно паспортным характеристикам приборов, точность определения смещений указанными системами составляет до 1-3 мм в зависимости от измеряемых расстояний и условий видимости. При условии косвенного исключения систематических погрешностей измерений точность таких систем может достигать величин 0,3-0,5 мм. При проведении наземного деформационного мониторинга применение систем на базе роботизированных электронных тахеометров позволяет обеспечить оптимальное соотношение показателей точности измерений перемещений точек, периодичности получения данных, стоимости проведения наблюдений.

Крайне важным аспектом обеспечения сохранности объектов, попадающих в зону влияния горных работ при проходке эскалаторных тоннелей в неустойчивых грунтах, является скважинный мониторинг. В настоящее время существуют технологически новые и перспективные способы автоматизированного мониторинга деформационных процессов в глубине массива горных пород на основе использования скважинных систем. Такие системы основаны на создании наблюдательной станции, состоящей из нескольких скважин с размещенными в них датчиками перемещений. На сегодняшний день скважинный мониторинг применялся при проходке трех эскалаторных тоннелей метрополитена в Санкт-Петербурге (тоннели станций метро «Адмиралтейская», «Спаская», «Спортивная»). В случае наблюдения за массивом горных пород при проходке эскалаторных тоннелей специалистами ОАО «НИПИИ «Ленметрогипротранс» [4] использовались наиболее распространенные приборы – скважинные стержневые экстензометры.

Наблюдательная станция на основе скважинных систем, использовавшаяся при строительстве эскалаторного тоннеля станции метро «Адмиралтейская», состояла из четырех вертикальных скважин, размещенных над осью эскалаторного тоннеля на расстоянии 28 м, 75 м, 84 м, 110 м от БВВ соответственно (рис. 5). В скважинах на разных глубинах с шагом 10 м были размещены реперы.

Наибольшие оседания устья скважины на поверхности (27 мм на момент окончания проходки) зафиксированы на скважине Э-3. Согласно показаниям экстензометров, наибольшие оседания в массиве локализованы вблизи отделки тоннеля в слое суглинка с включением гравия и гальки отдельными валунами, от мягкопластичной до полутвердой консистенции на глубине порядка 40 м. Ниже указанного слоя залегают слои протерозойских глин, характеризующиеся высокими значениями физико-механических характеристик. Наибольшие вертикальные деформации зафиксированы по скважинам Э-2 и Э-3 на глубинах около 25 м. Значения вертикальных деформаций составляют от 0,004 до 0,006. Эти зоны повышенных деформаций растяжения находятся в слое ленточных глин текучей консистенции и ограничиваются подстилающими их прослойками ленточных суглинков (согласно данным экстензометров в этих скважинах, вертикальные деформации на глубинах около 30 м затухают до значений 0,0005 и 0,001 соответственно).

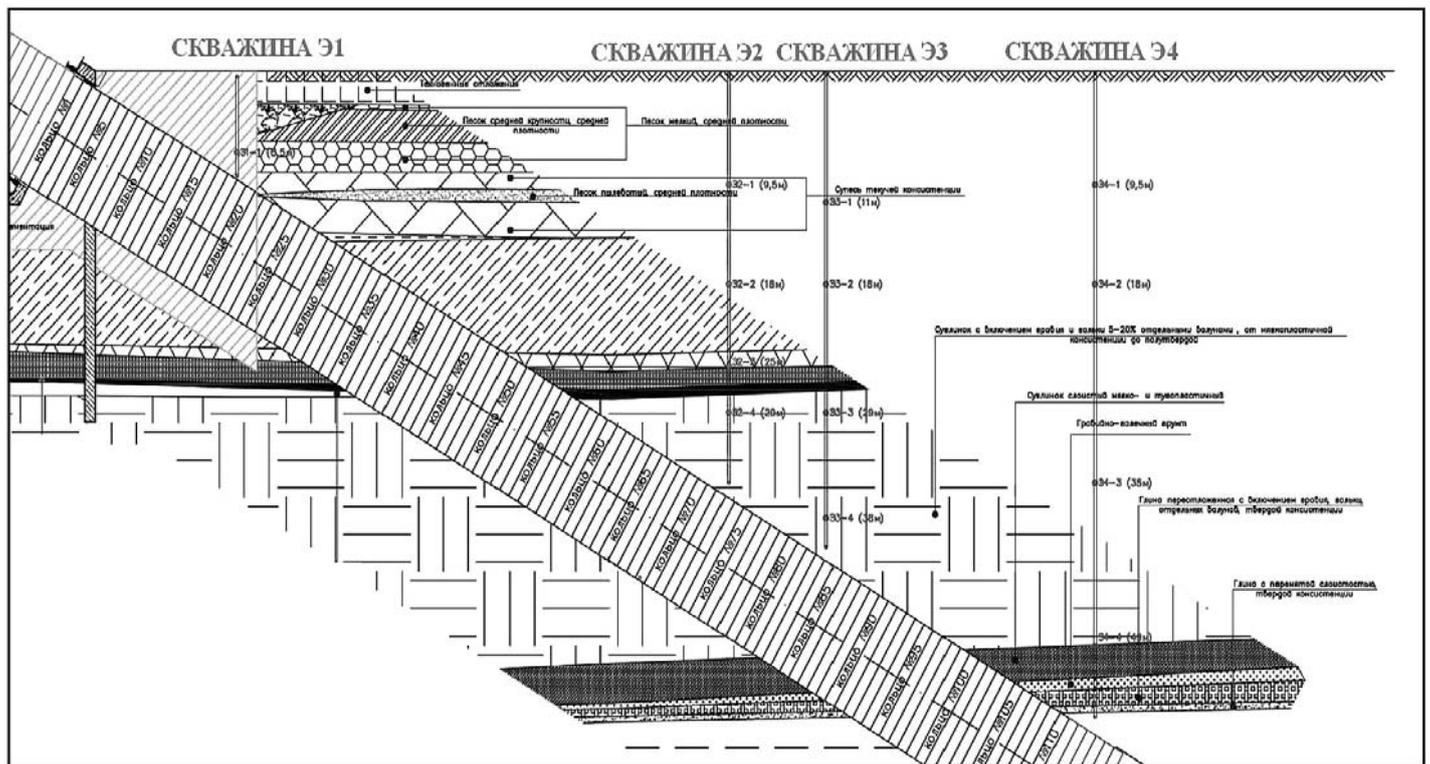


Рис. 5. Расположение глубинных реперов при строительстве эскалаторного тоннеля станции метро «Адмиралтейская»

Анализируя общую картину распределения деформаций, можно сказать, что зона наибольшего влияния горных работ локализована над средней частью тоннеля. Необходимо отметить недостаток данных скважинного мониторинга по первой части тоннеля за зоной грунтозакрепления. Величина этой зоны составляет 47 м (расстояние между скважинами Э-1 и Э-2). Таким образом, можно предположить возникновение значительных сдвижений и деформаций в массиве в пределах этого участка.

Необходимо указать на ряд методических недостатков при проведении скважинного мониторинга. Во-первых, не всегда производился контроль неизменности положения оголовков скважин по вертикали. Так как экстензометры фиксируют оседания только относительно устья скважин, то определение абсолютных смещений массива без учета вертикальных сдвижений устьев скважин невозможно. Во-вторых, опыт мониторинга каждой предыдущей проходки эскалаторного тоннеля должен быть учтен при проведении следующей. Например, выход из строя экстензометров при превышении значениями измеряемых сдвижений пределов измерений должен определять выбор типов приборов с более широкими пределами измерений для следующего применения. Третьим важным моментом является обоснованность применяемых методов наблюдения. Характер данных, полученных по результатам наблюдений по наклонным скважинам при мониторинге строительства эскалаторного тоннеля станции «Спаская», не позволяет проводить их совместный анализ с другими данными мониторинга деформаций.

Для изучения процесса сдвижения при строительстве таких сложных объектов, как эскалаторные тоннели, необходимо использовать комплексные наблюдательные станции, обеспечивающие контроль не только за зданиями, сооружениями и земной поверхностью, но за подрабатываемым массивом пород в режиме реального времени.

Традиционным методом оценки распределений сдвижений и деформаций в мульде является традиционный для маркшейдерского дела метод тип кривых (МТК), позволяющий анализировать форму распределений на основе использования единичных функций оседаний. Такая форма представления данных позволяет сравнивать кривые независимо от величины максимального оседания и длин полумулды. С использованием метода типовых кривых были описаны мульды всех эскалаторных тоннелей в Санкт-Петербурге. В результате проведенного анализа были получены функции, описывающие форму полумулды, возникающих при проходке эскалаторных тоннелей (рис. 6).

Эффективным и актуальным способом прогноза вредного влияния проходки эскалаторных тоннелей на массив и земную поверхность является математическое моделирование на основе метода конечных элементов. Работы в данном направлении ведутся на кафедре маркшейдерского дела Горного университета. На основании изучения опыта проходок эскалаторных тоннелей станций «Адмиралтейская», «Спаская», «Обводный канал» выполнена прогнозная оценка вредного влияния проектируемых эскалаторных тоннелей станций «Василеостровская», «Приморская». Верификация моделей производилась по имеющимся данным натурных наблюдений процесса сдвижения в аналогичных условиях (рис. 7).

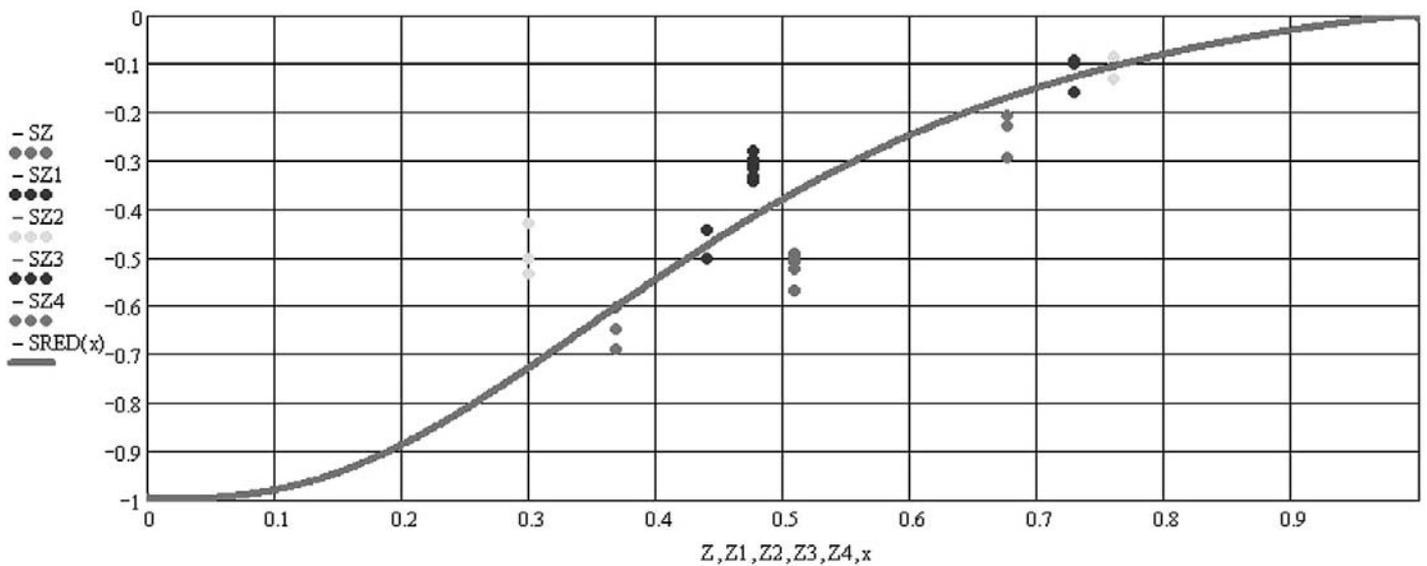


Рис. 6. Типовая кривая оседаний, построенная по натурным данным

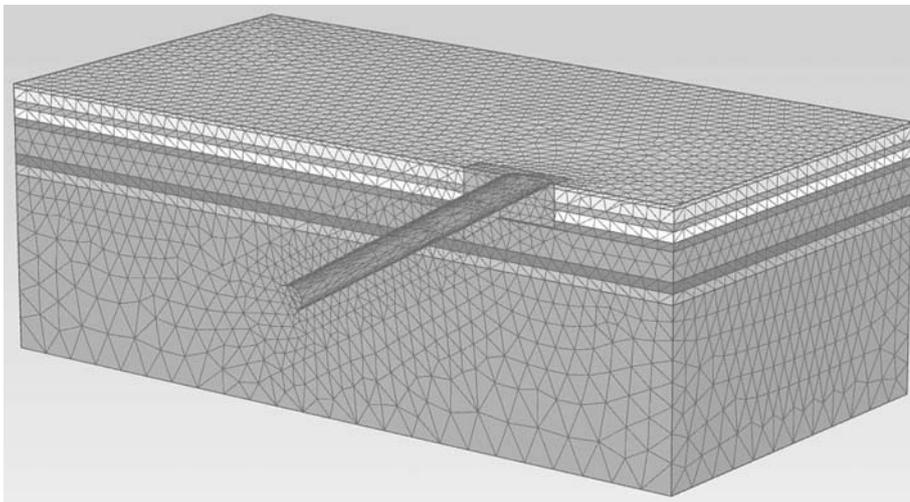


Рис. 7. Конечноэлементная модель проходки эскалаторного тоннеля

На основании проведенных исследований можно сделать вывод, что на сегодняшний день проблема исследования вредного влияния проходки эскалаторных тоннелей актуальна. Следует признать, что присутствует ряд проблем, связанных с нормативным обеспечением охраны зданий и сооружений, методическим обеспечением мониторинга, вследствие чего снижается точность исходных данных для прогнозных оценок смещений и деформаций. Только совместная работа специалистов в области геотехнологий, геомеханики, смещения позволит комплексно решить вышеуказанную проблему.

Только совместная работа специалистов в области геотехнологий, геомеханики, смещения позволит комплексно решить вышеуказанную проблему.

### Список литературы

1. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях [Текст]: ПБ 07–269–98: утв. постановлением Госгортехнадзора России от 16.03.98 № 13. – СПб. – 1998. – 291 с.
2. Волохов Е.М. Проблемы оценки смещений и деформаций горных пород при сооружении эскалаторных тоннелей с использованием тоннелепроходческих механизированных комплексов / Е.М. Волохов, С.Ю. Новоженин, В.И. Киреева // Маркшейдерия и недропользование – 2015. – №2 (76). – С. 15-18.
3. Новоженин С.Ю. Прогноз смещений и деформаций горных пород при сооружении эскалаторных тоннелей метрополитена тоннелепроходческими механизированными комплексами : дисс. ... канд. техн. наук: 25.00.16 / С.Ю. Новоженин. – Санкт-Петербург, 2014. – 147 с.
4. Маслак В.А. Строительство эскалаторных тоннелей в слабых грунтах щитовым способом [Текст] / В.А. Маслак, К. П. Безродный, М. О. Лебедев // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2011. – Вып.1. – С. 330–337.

Протосеня А.Г.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, kaf-sgp@mail.ru

## ПРОГНОЗ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ МАЛООСАДОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Освоение подземного пространства мегаполисов связано с высокими техническими и экологическими рисками, как для подземных сооружений, так и для зданий, расположенных на поверхности в зоне их влияния. В последнее время сложность проектируемых объектов возрастает, создаются многофункциональные подземные комплексы, объединяющие в себе сооружения различного назначения. Вместе с тем, применяемые методы расчета подземных сооружений не соответствуют современному уровню развития науки и требованиям, предъявляемым к проектируемым объектам. Сложные инженерно-геологические и градостроительные условия развития подземного пространства мегаполисов накладывают особые требования на этапе проектирования и строительства подземных сооружений. Сооружения мегаполиса, наземные и подземные, взаимодействуют между собой, образуя многоуровневую систему, безопасное обращение с которой возможно только на основе комплексного геомеханического анализа и мониторинга, включающего в себя натурные и инженерно-геологические исследования, применение современных методов расчета и технологий строительства.

Основным направлением прогнозирования техногенных аварий и геомеханической безопасности при освоении подземного пространства мегаполисов является комплексное внедрение численного моделирования строительства подземных сооружений, а также систем геотехнического мониторинга за состоянием земной поверхности и несущих конструкций наземных и подземных сооружений. Численное моделирование строительства подземных сооружений должно выполняться на основе разрабатываемых пространственных моделей, с учетом особенностей инженерно-геологических условий, плотности застройки и порядка ведения строительных работ.

Методология прогноза геотехнических процессов должна базироваться на следующих принципах:

- на представительной и объективной оценке инженерно-геологических и гидрогеологических условий и характеристик грунтового массива;
- на уравнениях состояния и законах деформирования грунтового массива, в том числе учитывающих нелинейное деформирование сред и их ползучесть;
- на использовании пространственных геомеханических моделей массива, учитывающих взаимодействие наземных зданий и подземных сооружений;
- на учете основных этапов технологии строительства зданий и сооружений в пространственных численных моделях расчета;
- на многовариантных численных экспериментах, позволяющих в процессе проведения расчетов и проектирования вносить конструктивные и технологические изменения с целью снижения воздействия подземных сооружений на наземные здания и исключения аварийных ситуаций.

Кроме того, обязательным условием при подземном строительстве в мегаполисах является использование геотехнического мониторинга и совместного сотрудничества Заказчика, Проектировщика и Подрядчика в процессе реализации проекта.

При возведении зданий и подземных сооружений в черте современного города чаще всего не удается проводить работы таким образом, чтобы совсем не оказывать влияния на дома, находящиеся в непосредственной близости от нового строительства. В результате работ по экскавации котлованов и последующему устройству несущих конструкций подземных сооружений существующие дома могут претерпевать неравномерные осадки. В их стенах появляются трещины или происходят нарушения эксплуатационной пригодности отдельных конструктивных элементов. В таких случаях всегда стоит задача определения габаритов так называемой «зоны влияния строительства» – такого участка, на котором могут происходить какие-либо негативные процессы, вызванные ведущимися строительными работами. Если эти прогнозируемые дополнительные деформации представляют угрозу для нормальной эксплуатации зданий, то необходимо разработать комплекс специальных мероприятий, позволяющих защитить фундаменты и основные несущие конструкции существующих домов, а если избежать негативного влияния не удастся, поставить вопрос о пересмотре концепции нового строительства.

Среди малоосадочных технологий в настоящее время наибольшее распространение получил способ строительства сооружений «стена в грунте» и строительства тоннелей с использованием специализированными тоннелепроходческими комплексами и пригрузом забоя.

Технология возведения несущих стен по технологии «стена в грунте» получила распространение при сооружении полузаглубленных строительстве. Полуэмпирические методы прогноза деформаций и осадок земной поверхности в окрестности полузаглубленных сооружений разрабатывались Пекком [1], Сугимото [2], Боулесом [3], Clough и O'Rourke [4] и на настоящий момент не сильно развиты. Это связано с тем, что данные методы развивались на основании обобщения результатов натурных наблюдений за смещениями стен глубоких котлованов и оседанием земной поверхности. Недостатком такого подхода является сложность обобщения данных, полученных по результатам геотехнического мониторинга.

Нами развиты методы геотехнического прогноза на основе использования численных методов анализа. В качестве объекта исследования принято полузаглубленное сооружение, которое является одним из элементов главной насосной станции города Санкт-Петербурга. Сооружение котлована главной насосной станции выполняется с применением способа «стена в грунте»

(стена из буросекущихся свай). Диаметр буросекущихся свай составляет 1500 мм, периметр замкнутый. В дальнейшем котлован по замкнутому периметру оборудуется бетонными блоками. Нижняя отметка “стены в грунте” расположена на глубине 30 м от поверхности земли. Глубина котлована составляет 7,6 м. В дальнейшем с уровня дна котлована будут построены три камеры и осуществлено проведение водозаборных тоннелей.

Инженерно-геологические условия строительства насосной станции весьма сложные. Массив до глубины 25 м представлен песками водонасыщенными, разной крупности с нарушенным природным сложением. В период проведения буровых работ уровень грунтовых вод был зафиксирован на глубине 2,5 м. Положение среднегодового уровня грунтовых вод располагается на глубине порядка 2,6 м.

Горизонтальные смещения несущей стены развивались во времени и на конечный период наблюдений составили 52 мм по одной из стен и 61 мм по стене, расположенной на противоположной стороне. На 53 день с момента наблюдения скорость смещений стенок котлована практически стала равной 0.

При выполнении численного моделирования необходимо уделять особое внимание следующим аспектам: геомеханической модели грунтового массива, взаимодействию между несущими элементами полузаглубленного сооружения и грунтовым массивом, постановке задачи.

С учетом того, что большая часть грунтового массива представлена песками, различной крупности, их поведение в работе рассмотрено на основании модели упрочняющегося грунта, реализация которой выполнена в программных комплексах для проведения геотехнических расчетов Plaxis, Z-Soil и др. Модель упрочняющегося грунта основана на гиперболической модели Дункана и Ченга [5], в формулировку которой были внесены ряд изменений, а сама модель разработана на основании теории пластического течения [6]. Поверхность пластического течения данной модели, описывающая за пластические деформации формоизменения, получена на обобщении критерия прочности Кулона-Мора в пространстве главных напряжений. Вторая поверхность пластического течения, шатровая, описывает изменение объемных пластических деформаций.

Численное моделирование сооружения насосной камеры под защитой ограждающей стены рассматривалась в пространственной постановке. Несмотря на то, что длина камеры больше ее ширины, справедливо говорить о плоско-деформационной постановке лишь с некоторым допущением. Другим фактором, введяшим бы дополнительные допущения при решении задачи в плоско-деформационной постановке, является устройство железобетонной рубашки по периметру насосной камеры. Опираие рубашки осуществляется только в краевых зонах, что в явном виде учесть при моделировании в плоско-деформационной постановке невозможно, а косвенные методы трудоемки и предполагают множество допущений.

Численное моделирование сооружения насосной станции осуществлялась в следующей последовательности: формирование начального равновесного состояния в грунтовом массиве; устройство стены из буросекущихся свай; разработка грунта в котловане под защитой стены из буросекущихся свай и устройство железобетонной рубашки котлована.

Коэффициент бокового давления для несвязных и слабо связных грунтовых массивов, не подвергнутых переуплотнению, можно приближенно оценить по следующей зависимости  $\lambda = 1 - \sin(\varphi)$ , где  $\varphi$  – угол внутреннего трения.

Расчет веса стены из буросекущихся свай выполнялся с учетом полного ее сечения.

При проведении численного моделирования, рассматривалась возможность проскальзывания грунта относительно ограждающей стены при достижении напряжений на их контакте величины, превышающей прочность контакта сдвигу.

Разработка грунта в котловане осуществляется заходками и разделена на V этапов. Мощность первой заходки 1.6 м, последующих 4 заходок – 1,5 каждая.

Результаты численного моделирования оценивались по величинам горизонтальных смещений стены из буросекущихся свай по ее высоте в среднем сечении по длинной стороне котлована, а также по горизонтальным смещениям стены котлована по ее длине на уровне поверхности земли.

Максимальные горизонтальные смещения реализуются в середине пролета стены на уровне поверхности земли и достигают значения 65 мм, у конца свай они минимальны и составляют 25 мм. На угловых точках горизонтальные смещения близки к нулевому значению и они постепенно увеличиваются к центру стены. Из представленных результатов видно, что жесткости несущей стены недостаточно для снижения горизонтальных смещений до приемлемого уровня.

Сравнивая результаты численного моделирования с результатами геотехнического мониторинга, можно отметить достаточную сходимость результатов по величине максимальных смещений, при этом качественно зависимости горизонтальных смещений по глубине (середина длинной части стены насосной камеры) имеют незначительное отличие друг от друга. По длине насосной станции, горизонтальные смещения, качественно совпадают с результатами геотехнического мониторинга.

Полученные результаты свидетельствуют о корректной постановке при решении задачи прогноза деформаций грунтового массива в окрестности полузаглубленного сооружения. Проведенные исследования позволили расширить возможности программного комплекса Abaqus в части решения задач геотехники.

Для строительства тоннелей в сложных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях мегаполисов в нашей стране и за рубежом широко используются специализированные проходческие комплексы с пригрузом забоя.

Использование вышеназванных комплексов позволяет получить малые осадки грунтового массива и обеспечить сохранность поверхностных зданий и сооружений.

Для геотехнического обеспечения строительства тоннелей по трассе необходимо прогнозировать давление пригруза на лоб забоя и осадки земной поверхности.

Прогноз давления пригруза и осадок земной поверхности при строительстве тоннелей может осуществляться с помощью экспериментально-аналитических методов и с использованием численных методов.

Для исследования влияния усилия пригруза забоя на напряженно-деформированное состояние массива, была составлена математическая модель участка породного массива, вмещающего тупиковую выработку кругового очертания, закрепленную бетонной крепью, а в головной части – оболочкой комплекса. Отставание крепи от забоя принято равным 1 м. Незакрепленный участок выработки и плоскость забоя оставались свободно деформируемыми или подвергались пригрузу с различным усилием.

Моделирование пригруза выполнялось равномерно распределенной нагрузкой, приложенной непосредственно к плоскости забоя и к стенкам тоннеля на участке между этой плоскостью и оболочкой комплекса.

Согласно расчетной схеме, в модели создавалось начальное неравнокомпонентное поле напряжений под действием собственного веса породного массива. При моделировании диаметр выработки тоннеля в проходке принимался равным 7,1 м, а глубина его заложения – 50 м. Выбор именно таких параметров проходки обусловлен тем, что результаты моделирования в последующем сравниваются с натурными данными, полученными при проведении перегонных тоннелей метрополитена Санкт-Петербурга на участке между станциями «Лесная» – «Площадь Мужества».

Размеры модели в направлении осей  $x$  и  $y$  были выбраны такими, чтобы они превышали размеры выработки в 7 раз. Задача решалась в объемной постановке. Боковые и торцевые грани модели были закреплены от перемещений в направлении осей  $x$  и  $z$  соответственно. Нижняя грань модели была закреплена от перемещений в направлении оси  $y$ . Верхняя грань модели оставлена свободно деформируемой. Задача решалась в упругопластической постановке. Для учета влияния прочностных и деформационных свойств пород, слагающих массив, и параметров пригруза забоя при проведении выработки на смещения массива решение выполнялось в два этапа:

- на первом этапе вычислялось начальное поле напряжений и исторических смещений в нетронутом массиве под действием собственного веса при граничных условиях, приведенных выше;
- на втором этапе модель массива с напряженно-деформированным состоянием, определенным на первом этапе, ослаблялась выработкой кругового очертания. Для определения смещений, образующихся в результате проведения тоннеля, из поля полных смещений вычиталась его историческая составляющая, найденная на первом этапе.

Прочностные и деформационные характеристики грунтового массива, соответствуют физико-механическим характеристикам грунтов, в которых проводилось строительство перегонных тоннелей на участке между станциями «Лесная» – «Площадь Мужества».

При выполнении математического моделирования величина пригруза забоя  $q$  изменялась в пределах от 100 кПа до 1 МПа; она представлена в долях  $\gamma H$ , где  $\gamma$  – удельный вес грунта,  $\text{kH/m}^3$ ;  $H$  – глубина заложения выработки, м). Задачей моделирования было получение графических зависимостей вертикальных и продольных смещений от величины пригруза при фиксированных прочностных и деформационных характеристиках грунтов.

В целом, по результатам следует, что для поддержания плоскости забоя от обрушения достаточен незначительный по отношению к величине вертикальной составляющей геостатического поля напряжений пригруз (порядка  $0,1-0,2\gamma H$ ). Однако, применение такого пригружающего давления не обеспечит безосадочной технологии строительства, а потому применимо только при строительстве горных тоннелей, где отсутствует плотная застройка поверхности. Для обеспечения минимальной осадки поверхности необходимо создание пригруза не менее  $0,25\gamma H$ .

Сравнение результатов математического моделирования с натурными данными маркшейдерских съемок при строительстве перегонных тоннелей между станциями «Лесная» – «Площадь Мужества» метрополитена Санкт-Петербурга указывает на их достаточную сходимость. Погрешность в определении величины вертикального оседания поверхности составляет порядка 1-2 мм. Кроме того, расчетная величина пригруза забоя, при которой отсутствуют вертикальные осадки земной поверхности, согласуется с фактической величиной пригруза 0,56 МПа.

Применим такой же подход для моделирования процесса проходки двухпутного перегонного тоннеля метрополитена г. Санкт-Петербурга при строительстве Фрунзенского радиуса.

Данный тоннель имеет по своей длине переменную глубину заложения, изменяющуюся от 10 до 40 м. Для большей наглядности в данной статье рассмотрен только наиболее неблагоприятный вариант с точки зрения действующих во вмещающем грунтовом массиве напряжений – при заложении тоннеля в 40 м.

Тоннель имеет внутренний диаметр 9,4 м, а его обделка представлена железобетонными блоками толщиной в 500 мм. Строительство тоннеля выполняется механизированным тоннелепроходческим комплексом с грунтопригрузом забоя. Принципиальная расчетная схема, заложенная в модель строительства двухпутного тоннеля, не отличается от схемы, за исключением геометрических размеров тоннеля и глубины заложения.

Основные этапы моделирования строительства двухпутного тоннеля совпадают с теми этапами, которые были описаны для моделирования участка «Размыва» выше.

Необходимо отметить, что при отсутствии пригруза на поверхности впереди тоннеля формируются вертикальные осадки величиной порядка 70 мм, в то время как пригруз порядка 400 кПа ( $\approx 0,4\gamma H$ ) обеспечивает оседания поверхности в пределах погрешности расчета.

Для поддержания плоскости забоя от обрушения достаточен незначительный по отношению к величине вертикальной составляющей геостатического поля напряжений пригруз (порядка  $0,1-0,2\gamma H$ ). Для обеспечения минимальной осадки поверхности необходимо создание пригруза не менее  $0,3\gamma H$ .

Заметим также, что для прогнозирования полных величин оседания земной поверхности при строительстве тоннелей необходимо дополнительно к мультиседаниям земной поверхности, формирующейся впереди лба забоя тоннеля, добавлять мультиседания, образующуюся вследствие изменения его объема на незакрепленном участке от лба забоя до первого кольца

обделки, введенного в работу, а также мульду оседаний, формирующуюся в результате совместного деформирования породного контура тоннеля и его обделки, протекающего из-за неоднородности поля начальных напряжений во вмещающем массиве пород. В то же время, поскольку с помощью подбора величины пригруза лба забоя тоннеля можно в значительной степени повлиять только на первую составляющую полной мульды оседания земной поверхности, то для прогноза рациональной величины пригруза забоя тоннеля с применением численных методов следует отталкиваться от двух основных условий – условия необходимости обеспечения устойчивого состояния пород лба забоя тоннеля и условия необходимости минимизации вертикальных оседаний земной поверхности в области, находящейся впереди лба забоя тоннеля.

На основании выполненного анализа существующих методов прогноза оседаний земной поверхности при строительстве тоннелей с применением механизированных тоннелепроходческих комплексов с пригрузом забоя, можно сделать следующие выводы. Существующие экспериментально-аналитические методы прогноза способны давать недостаточно точные прогнозные величины осадок, а потому их можно использовать для выполнения предварительных расчетов. Окончательный прогноз оседаний земной поверхности следует выполнять на основании решения задач механики подземных сооружений о напряженно-деформированном состоянии тоннелей в пространственной постановке.

### Список литературы

1. Peck R.B. Deep excavation and tunneling in soft ground. Proceedings of the 7<sup>th</sup> international conference on soil mechanics and foundation engineering. Mexico City. State of the art Volume, pp. 225-290, 1969.
2. Sugimoto. Prediction for the Maximum Settlements of Ground Surface by Open Cut. Proceedings of Japan Society of Civil Engineers. № 373, VI-5, 1986.
3. Bowles J.E. Foundation Analysis and Design, 4th edition. McGraw-Hill Book Company, New York, 1988.
4. Clough G.W., O'Rourke T.D. Construction-induced movements of in-situ walls. Design and performance of earth retaining structures. ASCE special publication. №25, pp. 439-470, 1990.
5. Duncan, J.M. and Chang, C.Y. 1970. Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils. Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, American Society of Civil Engineers (ASCE). 96(5), 1629–1653.
6. Schanz, T., Vermeer, P.A. and Bonnier, P.G. 1999. The Hardening Soil Model: Formulation and Verification. Beyond 2000 in Computational Geotechnics-10 years of Plaxis, Balkema, Rotterdam, pp. 281–96.
7. Механика подземных сооружений. Пространственные модели и мониторинг / Протосеня А.Г., Огородников Ю.Н., Деменков П.А., Карасев М.А., Потемкин Д.А., Козин Е.Г. СПб: СПГУ-МАНЭБ, 2011. – 355 с.

Сольский С.В.<sup>1</sup>, Дубровская Н.В.<sup>1</sup>, Чернышева Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>АО «ВНИИГ» им. Б.Е. Веденеева, <sup>2</sup>ООО «НПК Проектводстрой», Санкт-Петербург

## ОБОСНОВАНИЕ ПРОГРАММ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ СЛОЖНЫХ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Согласно Федеральному закону Российской Федерации от 30.12.2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» в целях обеспечения безопасности зданий и сооружений при строительстве и эксплуатации объекта должно быть предусмотрено проведение геотехнического мониторинга компонентов окружающей среды, состояния оснований, строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения в процессе строительства и в период эксплуатации зданий и сооружений.

Также необходимость проведения геотехнического контроля и мониторинга регламентируется следующими действующими нормативными документами РФ: СП 22.13330.2011 «Основания зданий и сооружений» Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*, СП 116.13330.2012 Актуализированная редакция СНиП 22-02-2003 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов», СП 45.13330.2012 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87.

В развитие положений этого Закона и нормативов Федерального уровня разработаны, в частности, территориальные строительные нормы Москвы и Санкт-Петербурга, регламентирующие проведение геотехнического мониторинга (МГСН 2.07-01, ТСН 50-302-2004 и т.д.), а также СТО Газпром 2-3.1-072-2006 «Регламент на проведение геотехнического мониторинга объектов газового комплекса в криолитозоне».

Приведенные нормативы и регламенты разработаны, и безусловно учитывают, специфику, как элементов окружающей природной среды, так и техногенных элементов и воздействий, свойственных объектам строительства и эксплуатации зданий и сооружений в тех или иных природных условиях.

Однако, следует иметь в виду, что на техногенно-нагруженных территориях у сложных природно-технических систем зачастую возникают ситуации, когда источники опасных воздействий и реципиенты риска во времени могут меняться местами и возникать новые, в зависимости от стадии жизненного цикла их существования (изыскания – проектирование – строитель-

ство – эксплуатация – консервация – ликвидация) и безусловно, система контроля и мониторинга, закладываемая с самого начала предполагаемого строительства должна эти факторы учитывать.

Прямых указаний, каким образом создать рациональную систему геотехнического мониторинга, учитывающих указанные особенности, в перечисленных документах нет.

Нами предлагается обоснование универсальной методологии разработки программ проведения геотехнического мониторинга с применением метода анализа безопасности сложных природно-технических систем для широкого спектра промышленных объектов на территориях с различными природно-климатическими условиями.

Методика основана на анализе природно-климатических условий объекта, учете возможных опасных природных явлений, и конкретных особенностей создаваемого объекта.

Методика предполагает разработку геотехнического прогноза, включающего:

1. Оценку рисков, возникающих при строительстве и эксплуатации сложной ПТС (определение границ системы и предмета анализа безопасности, идентификация возможных опасных ситуаций на территории промышленного объекта, сценарии возможных опасных ситуаций, качественная и количественная оценка уровня последствий возможных опасных ситуаций, установление перечня факторов и показателей по ведению контроля и мониторинга по ПТС по результатам анализа риска);

2. Расчетную оценку влияния расчетных нагрузок на ПТС, назначение критериальных показателей по результатам оценки степени рисков (в зависимости от типа зданий и сооружений на объекте и природно-климатических условий территории размещения промышленного объекта).

Также методика предполагает назначение контролирующих параметров, с разработкой схемы наблюдательной сети, методов фиксации изменений контролируемых параметров и требования к точности измерений (методика обоснования выбора диагностических показателей, обоснование состава и назначения перечня диагностических показателей).

При своевременном проведении геотехнического контроля во время строительства, по программам, разработанным в составе проекта и рабочей документации на основе предложенной методике, можно избежать технологических рисков и экономических потерь. Своевременное выявление опасных процессов и явлений позволит локализовать их на ранних стадиях и предотвратить возникновение аварийных ситуаций, не подвергая риску здоровье и жизнь людей, сохранность дорогостоящего оборудования, зданий и сооружений.

**Деменков П.А., Очкуров В.И.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, dem-petr@ya.ru

## **МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО– ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ СТАНЦИЙ МЕТРОПОЛИТЕНА ГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ЭТАПОВ СТРОИТЕЛЬСТВА**

Условия строительства станций метрополитена характеризуются множеством взаимосвязанных природных, техногенных и антропогенных факторов, отражающих специфику требований к способам и технологиям их строительства. При проектировании и строительстве вмещающий массив, технология строительства и станция должны рассматриваться как элементы динамической природно-технической геосистемы.

Натурные исследования свидетельствуют о существенном влиянии технологии строительства (последовательность проходки тоннелей, постепенное раскрытие сечения тоннелей, подвигание забоя и т.д.) на величину и характер распределения нагрузок по обделке станций метрополитена глубокого заложения.

Существующие методы расчета конструкций станций метрополитена глубокого заложения, как правило, основаны на схеме заданных нагрузок, не учитывают сложную объемно-планировочную схему станций и основные этапы технологии их строительства, а также другие условия и факторы, оказывающие значительное влияние на развитие геомеханических процессов и напряженное состояние и, в связи с этим, не в полной мере отражают особенности их работы.

Расчет сложных конструкции станций в виде стержневой системы на основе строительной механики требует использования значительных допущений, что является серьезной проблемой особенно при разработке принципиально новых конструкций, технологических решений и типов станций ввиду невозможности достоверной оценки величины влияния вносимых изменений в существующую расчетную схему. Для разработки адекватной расчетной схемы, при таком подходе, необходимо строительство станции метрополитена с большими запасами прочности, с дальнейшим проведением натурных исследований на ней, что требует значительных затрат материальных ресурсов при строительстве и времени для разработки рациональной конструкции. Дальнейшее совершенствование станций будет проводится последовательно, длительное время с постепенной корректировкой расчетной схемы и конструкций в соответствии с полученными результатами на вновь построенных станциях.

Таким образом, применяемые сейчас подходы к расчету и проектированию станций метрополитена являются очень трудоемкими и не позволяют получить полную картину формирования ее напряженно-деформированного состояния.

С современных позиций геомеханики и геотехнологии массив, технология строительства и станция рассматриваются как подсистемы открытой динамической геосистемы (рисунок 1). Система «массив – технология строительства – станция» отображает взаимодействие факторов и их сочетаний, влияющих на эффективность строительства и эксплуатацию станций метрополитена.

Подсистема «Грунтовый массив» формирует исходную информацию о параметрах вмещающего массива, что определяет требования к технологии строительства станции. Подсистема «Станция метрополитена» содержит характеристики функционального назначения объекта и, в свою очередь, формулирует требования к характеристикам вмещающего массива. Подсистема «Технология строительства» содержит технологические решения, удовлетворяющие требованиям подсистем «Грунтовый массив» и «Станция метрополитена». Подсистема «Подготовка и воздействие на грунтовый массив» изменяет характеристики естественного поля напряжений и содержит технологические решения, удовлетворяющие требованиям подсистем «Грунтовый массив» и «Технология строительства».

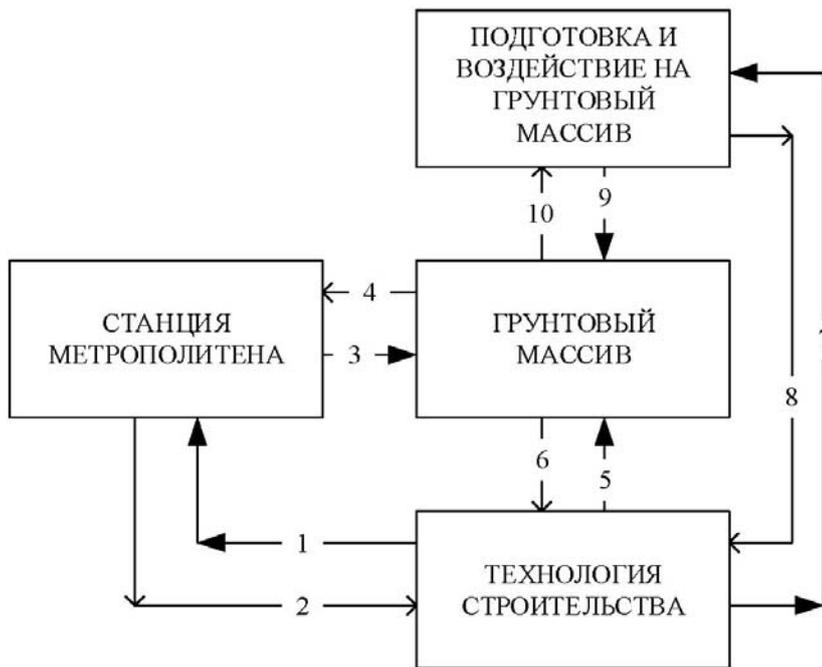


Рис. 1. Схема динамической системы «массив – технология строительства – станция»

Прямые и обратные связи подсистем составляют единую систему «массив – станция». Прямая связь 1 выражает управление человеком строительством станции. Обратная связь 2 отражает реакцию станции на применяемую технологию строительства. Прямая связь 3 отражает влияние, в основном, при эксплуатации станции на вмещающий массив, строения на поверхности, коммуникации, а их реакцию – обратная связь 4. Прямая связь 5 – управляющее воздействие на вмещающий массив через технологию строительства при отсутствии необходимости улучшения условий строительства (отсутствие подсистемы «Подготовка и воздействие на грунтовый массив»). Обратные связи 6, 8, 10 – реакция грунтового массива, объектов на поверхности и коммуникаций, попадающих в зону влияния строительства

станций метрополитена, на технологию его строительства. Прямые связи 7, 9 – управляющее воздействие на вмещающий массив через технологию строительства.

Прямые и обратные взаимосвязи подсистем системы «массив – станция» являются базой для обоснования технологических решений строительства станций метрополитена. Применение различных методов подготовки и способов воздействия на грунтовый массив формируют обратные связи, в разной степени минимизирующих реакцию системы «массив – технология строительства – станция» на природные, техногенные и антропогенные воздействия.

Суть управления системой «массив – станция» заключается в поддержании её в устойчивом (эксплуатационном) состоянии, минимизируя негативное взаимовоздействие составляющих её подсистем.

Система «массив – станция» ориентирует на вариантность стратегий строительства станций метрополитена, формируемых из типовых модулей (тактик). Типовые модули представляют методы подготовки и способы воздействия на массив, технологии, технические и технологические решения строительства станций метрополитена в различных горно-геологических условиях.

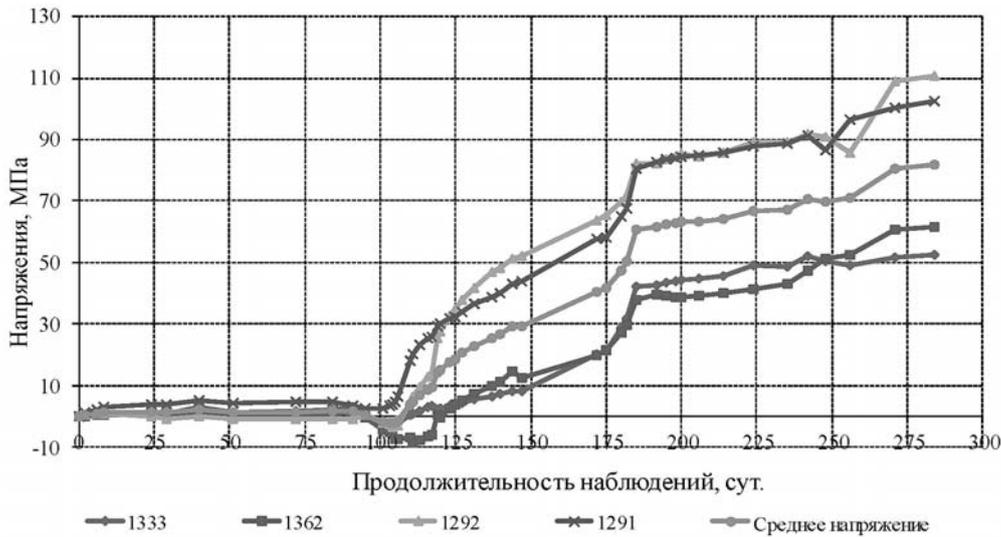
Тогда проектирование системы заключается в поиске оптимального сочетания возможных вариантов поведения подсистем, при котором минимизируются их негативные воздействия друг на друга.

Из рассматриваемой системы «массив – технология строительства – станция» наибольшее влияние на формирование НДС станций оказывает технология их строительства. Это подтверждается натурными исследованиями, проведенными как совместно с ОАО «Ленметрогипротранс», так и лабораторией ЦНИИС на станциях различных типов.

В качестве примера можно привести результаты исследования, проведенного на колонной станции «Комендантский проспект» (рисунок 2).

На графике развития напряжений во времени в стальных колоннах можно выделить несколько наиболее значимых этапов строительства среднего тоннеля станции:

- разработка калотты – происходит активный рост напряжений с незначительным их снижением в момент нахождения забоя на исследуемом колонно-прогонном комплексе;
- разработка ядра среднего тоннеля – наблюдается скачок напряжений (105 сут);
- разборка тубингов временного заполнения также приводит к резкому увеличению нагрузки на колонны (125 сут);
- разработка обратного свода – влияние на формирование НДС (снижение напряжений) становится заметным на расстоянии 3-3,5 м до исследуемого участка и прекращается сразу после его прохождения (137 сут).

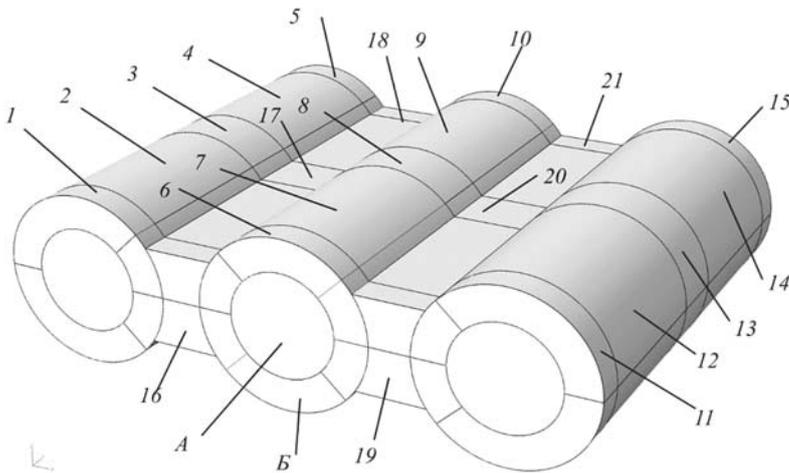


**Рис. 2. График формирования напряжений в стальных колоннах левого колонно-прогонного комплекса (участок 2) по четырем граням**

Решение геомеханических задач на основе предложенных подходов наиболее эффективно с помощью численного моделирования (методы конечных и граничных элементов) [3-5].

Численное моделирование станций различных типов также подтверждает необходимость учета технологии строительства при расчете станций.

В качестве примера можно привести численное моделирование пилонной станции. Общий вид конечно-элементной модели, которая включает в себя окружающий массив и обделку пилонной станции метрополитена глубокого заложения приведен ниже (рисунок 3).

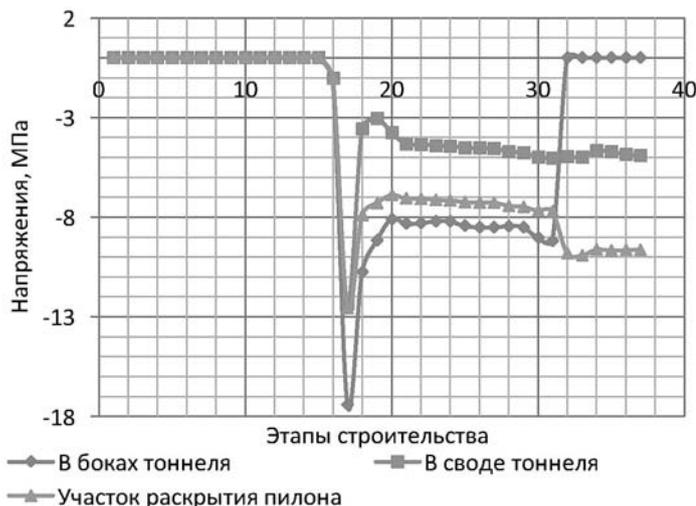


**Рис. 3. Элементы модели пилонной станции метрополитена глубокого заложения (цифрами указаны этапы строительства станции)**

Ниже приведены полученные зависимости изменения напряжений от этапа строительства для левого станционного тоннеля на участке раскрытия проема (рисунок 4).

Рост напряжений в обделке левого и правого станционных тоннелей в основном вызван непосредственно их строительством. Как показывают зависимости, строительство правого тоннеля практически не сказывается на напряженном состоянии обделки в левом тоннеле. Раскрытие проема, увеличивает напряжение в своде и на участке раскрытия соответственно на 1 и 3 МПа.

Падение напряжений в боках обделки до нуля на этапе раскрытия пилона связано с тем что точка замера располагалась непосредственно на участке раскрытия, где напряжения после демонтажа обделки стали равными 0.



**Рис. 4. Изменение сжимающих напряжений по мере строительства станции пилонного типа (боковой станционный тоннель, на участке проема)**

На рисунке 5 приведены зависимости изменения напряжений от этапа строительства для левого станционного тоннеля на протяженном участке тоннеля.

Можно отметить, что на данном участке раскрытие проема оказывает более значимое воздействие на напряженное состояние обделки. Так напряжение в боках увеличивается в 4 раза. В своде происходит падение на 1 МПа. На участке раскрытия также наблюдается некоторая релаксация напряжений, связанная с их перераспределением в сторону участка раскрытия проема.

В целом можно отметить, что пиковые напряжения в некоторых элементах достигают максимальной величины на

промежуточном этапе строительства и могут существенно превосходить значение установившихся напряжений на конечном этапе. Кроме того, наблюдается перераспределение напряжений в элементах конструкций в процессе всего строительства.

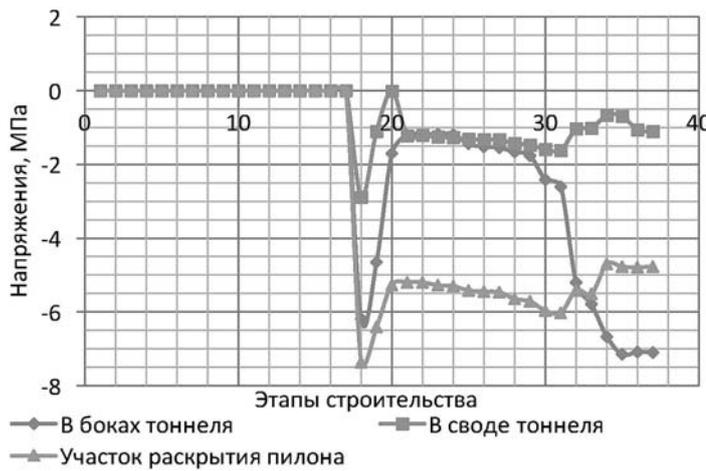


Рис. 5. Изменение сжимающих напряжений по мере строительства станции пилонного типа (боковой станции тоннель, на протяженном участке)

Вычислительная способность современных высокопроизводительных систем позволяет рассматривать сложные по объёму-планировочному решению конструкции станций метрополитена без значительных упрощений, с учетом этапов их строительства, а также продолжительности воздействия нагрузок. Учесть все технологические факторы невозможно. При анализе технологии строительства станции важно выделить наиболее ответственные этапы строительства, которые оказывают сильное влияние на формирование напряженно-деформированного состояния системы «массив – станция» [1, 2].

Структура оптимизации технологии строительства станций включает следующие технологические процессы: методы подготовки грунтового массива, способы воздействия на грунтовый массив, способы строительства станций метрополитена, варианты реализации способа строительства станций метрополитена (рисунок 6).

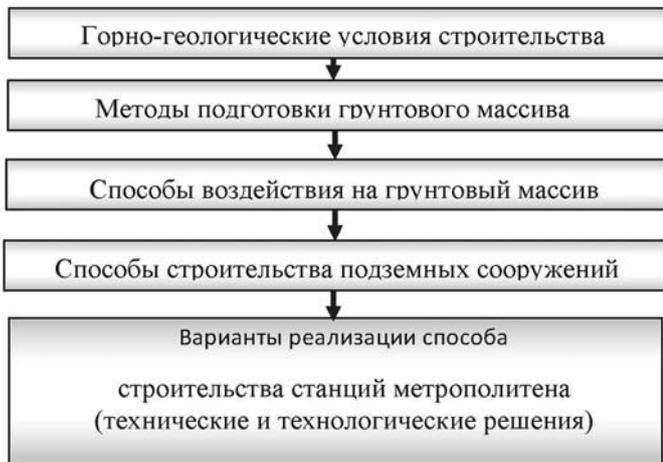


Рис. 6. Структура оптимизации технологии строительства станций метрополитена

Конструктивное совершенствование станций метрополитена может выполняться по следующим направлениям: изменение формы, изменение размеров, замена материала, изменение конструктивной схемы (рисунок 7).

Изменение формы позволяет исключить из работы слабо нагруженные участки несущего элемента, тем самым снизить его материалоемкость. Геометрические параметры конструкции увязаны с величиной нагрузки и сопротивлением материала. Часть элементов конструкции станции недогружена и имеет избыточный запас прочности. В идеальной ситуации запас прочности конструкций станций должен быть

одинаковым по всем элементам. Замена материала несущих конструкций станций должна быть ориентирована на снижение их металлоемкости. По возможности рекомендуется заменять дорогостоящие стальные и чугунные элементы на монолитный и сборный железобетон.

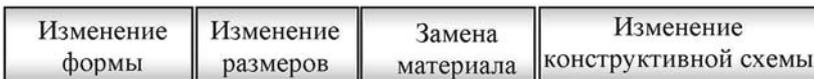


Рис. 7. Структура направлений совершенствования конструкций станций метрополитена

Создание различных вариантов моделей станции позволяет получить наиболее рациональную конструкцию с обоснованными параметрами.

Предложенная методология прогнозирования напряженно-деформированного состояния конструкций станций метрополитена глубокого заложения с учетом этапов строительства позволяет получить полную информации об объекте проектирования, как на этапе строительства, так и в процессе дальнейшей эксплуатации. Открытость динамической системы позволяет в случае необходимости оперативно вносить корректировки в модель и давать рекомендации по устранению возникших нештатных ситуаций.

**Список литературы**

1. Деменков П.А. Исследование напряженного состояния обделки пилонной станции метрополитена глубокого заложения / П.А. Деменков, М.А. Карасев // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. Серия: Науки о земле. – Тула: Гриф и К. – 2009. – С. 50-55.
2. Деменков П.А. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния обделки колонной станции закрытого типа с учетом последовательности ее строительства / П.А. Деменков, Д.Н. Петров, М. Яндрис // Gornictwo i geologia. Kwartalnik, zeczty 2. Gliwice. – 2010. – Tom 5. – С. 29-37.
3. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975.
4. Зубков В.В. О математическом моделировании напряженного состояния массива горных пород //Горная геомеханика и маркшейдерское дело: Сб. научных трудов / ВНИМИ. СПб., 1999.
5. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. М.: Недра, 1987.

Илюхин Д.А., Малюхина Е.М.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, dmitrii.il505@gmail.com, elenamaliukhina@gmail.com

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВИДА ЗАВИСИМОСТИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОТЫ ЗОНЫ ВОДОПРОВОДЯЩИХ ТРЕЩИН

Для решения задачи по определению положения верхней границы зоны водопрводящих трещин необходимо получить четкое представление о том, по какому закону происходит распределение кривизны подрабатываемого массива. Зная это, можно будет выявить, на каком удалении от выработанного пространства расположен слой с граничной кривизной или, другими словами, определить положение верхней границы зоны водопрводящих трещин.

Из анализа результатов натуральных наблюдений за сдвижением пород в толще Авершиным С.Г. [1,2] были установлены отношения между наибольшими величинами оседаний, наклонов и кривизны на поверхности и под землёй.

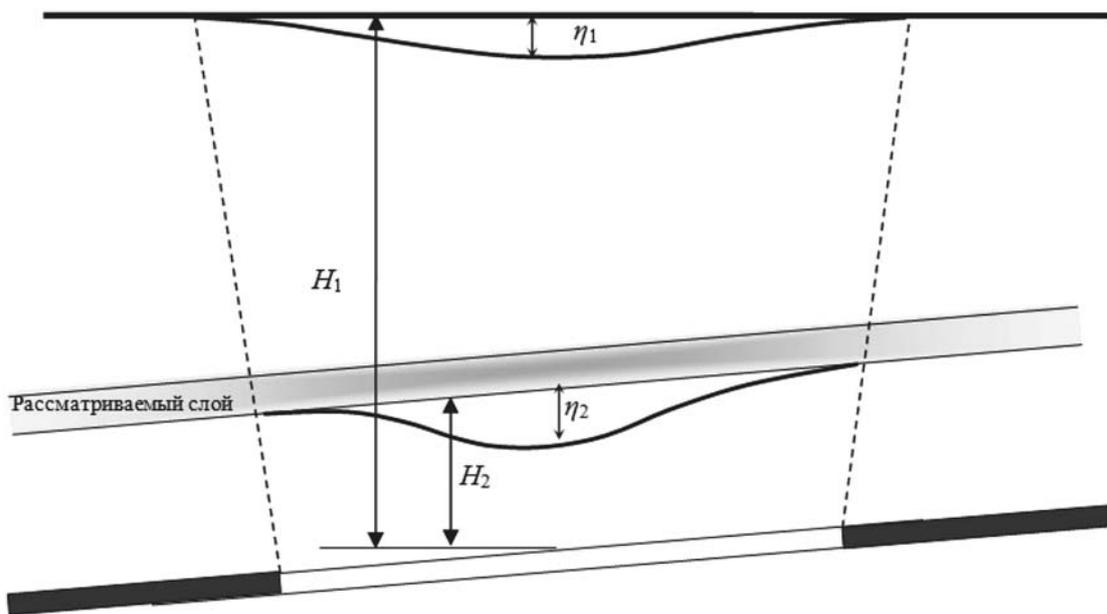


Рис. 1. Схема распределения максимальных оседаний поверхности и некоторого слоя в массиве относительно выработки

Так, величины максимальных оседаний на поверхности и под землёй (слоя пород) относятся как величины, обратные корню квадратному из расстояний этих точек до разрабатываемого пласта или слоя (рисунок 1):

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \sqrt{\frac{H_2}{H_1}}, \quad (1)$$

где  $H_1$  и  $H_2$  – соответственно расстояния по вертикали от поверхности до выработки и от слоя породы до выработки;  $\eta_1$  и  $\eta_2$  – соответственно величины наибольших оседаний поверхности и слоя породы под землёй.

Первая производная от оседаний  $\eta_1$  и  $\eta_2$  является наклоном в этих точках  $\eta'_1$  и  $\eta'_2$ . Отношение величин наклонов поверхности и слоя пород обратно пропорциональны величинам расстояний от выработки до поверхности и от выработки до слоя породы [1,2]:

$$\frac{\eta'_1}{\eta'_2} = \frac{H_2}{H_1}, \quad (2)$$

где  $\eta'_1$  – наклон поверхности, находящейся на расстоянии по вертикали от выработки  $H_1$ ;  $\eta'_2$  – наклон слоя пород, расположенного на расстоянии по вертикали от выработки  $H_2$  (рис. 1).

Вторая производная от оседаний  $\eta_1$  и  $\eta_2$  будет являться кривизной в этих точках  $\eta''_1$  и  $\eta''_2$ . Согласно [1,2], отношение величин кривизны поверхности и слоя пород обратно пропорционально квадрату расстояний от выработки до поверхности и от выработки до слоя пород:

$$\frac{\eta''_1}{\eta''_2} = \frac{H_2^2}{H_1^2}, \quad (3)$$

где  $\eta''_1$  – кривизна поверхности, находящейся на расстоянии по вертикали от выработки  $H_1$ ;  $\eta''_2$  – кривизна слоя пород, расположенного на расстоянии по вертикали от выработки  $H_2$  (рисунок 1).

Данные выражения могут позволить получить необходимую для проведения расчётов информацию. При увеличении расстояния от подработанного пласта по вертикали происходит быстрое уменьшение кривизны кривой оседания, медленнее затухают наклоны кривой и наиболее медленно затухают величины наибольших оседаний. Представленные выражения подтверждают данные факты и демонстрируют виды зависимости между перечисленными показателями и величиной расстояния до выработанного пространства.

Данный вид зависимости является общим для всех месторождений, однако для конкретных условий требуется его адаптация. На Яковлевском месторождении внедрена система мониторинга, основанная на наблюдениях за оседаниями глубинных (рисунок 3) и поверхностных реперов. Контроль за сдвигами подработанного массива осуществляется путем проведения периодических замеров глубинных реперов. Периодичность замеров варьируется в зависимости от условий ведения подземных работ вблизи той или иной группы реперов. Поскольку кроме непосредственно величины вертикальных оседаний маркшейдерская служба также ведет учет изменения величин наклонов и кривизны, глубинные реперы обычно группируются в профильные линии, соответствующие подземным выработкам, в которых рассматриваемые реперы закреплены. Всего на руднике на данный момент можно выделить 8 профильных линий реперов. Данные маркшейдерского замера заносятся в журнал мониторинга, обрабатываются и хранятся в службе мониторинга Яковлевского рудника. На основе имеющейся информации имеется возможность наглядно проследить динамику сдвижений в рассматриваемой выработке. На рисунке 2 показана динамика оседаний глубинных реперов западного вентиляционно-закладочного орта. Разрывы на графике оседаний обусловлены либо уничтожением глубинного репера, либо его временной недостижимостью для произведения замера, вызванной обвалом породы или ведением подземных работ.

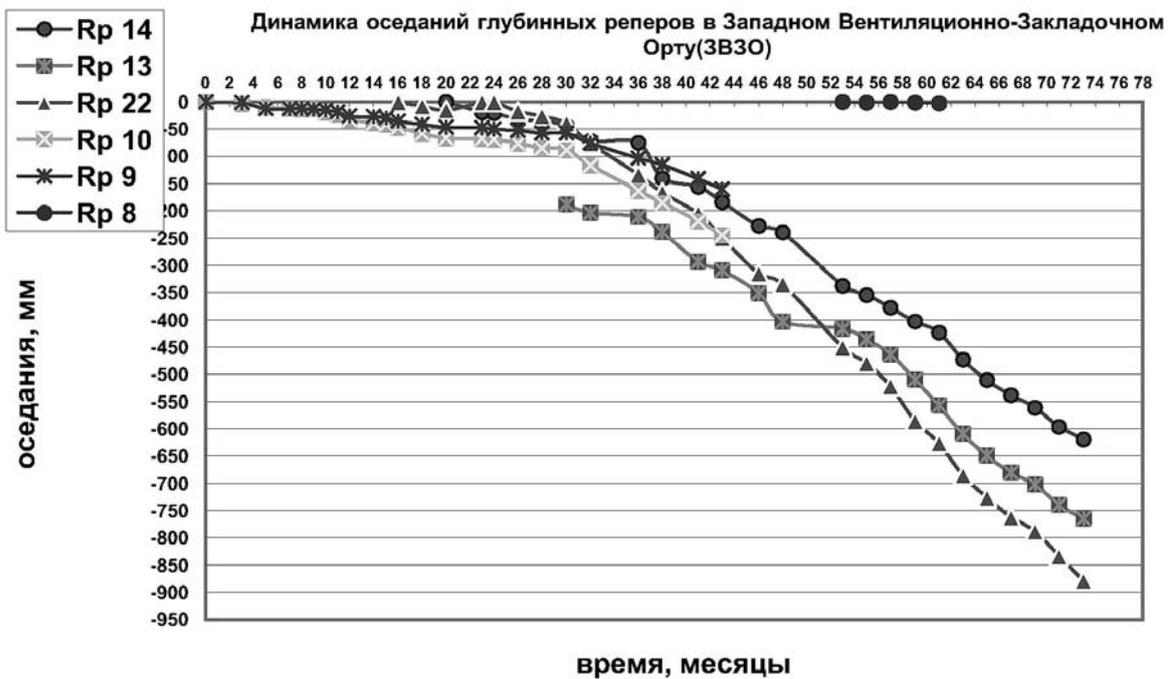


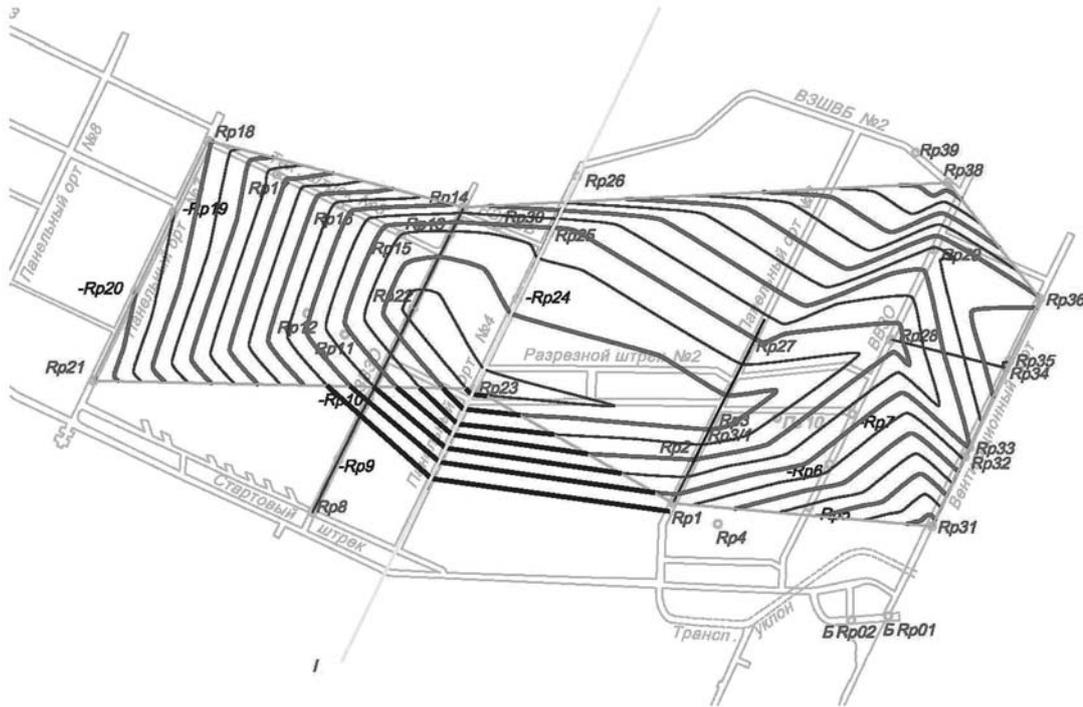
Рис. 2. Оседания глубинных реперов

График демонстрирует оседания за период с августа 2007 г. по сентябрь 2013 г. В начале данного временного промежутка разработка блока, в котором находится рассматриваемая выработка, была на начальном этапе. Этим объясняется небольшие величины вертикальных смещений реперов. Примерно на 24-м месяце с момента начала наблюдений замечен значительный наклон графиков вниз. В настоящее время отработка в районе западного вентиляционно-закладочного орта подошла к концу, прилегающие к нему выработки заложены бетонной смесью. При этом, возросшая площадь выработанного пространства при условии наличия недозакладки провоцирует дальнейшие оседания подработанного массива, которые могут продолжаться до тех пор, пока кровля заложённых выработок не достигнет кровли закладочного массива. Таким образом, можно наблюдать вертикальные сдвиги подработанной толщи, протекающие уже после полной закладки прилегающих выработок. Исходя из данных схемы установки глубинных реперов западного вентиляционно-закладочного орта можно сделать вывод о том, что сдвиги профильной линии по форме схожи с классической мульдой сдвижения. Наибольшая величина вертикального смещения, равного 878 мм, зафиксирована на репере Rp22, расположенном приблизительно в центре орта.

При рассмотрении с данной точки зрения выработанного пространства Яковлевского месторождения можно провести аналогию с предложенным методом прогнозирования влияния подработки выработки. В качестве расстояния от поверхности до выработки ( $H_1$ ) следует принять глубину участка ведения очистных работ с закладкой выработанного пространства, то есть расстояние от земной поверхности до горизонта -370м, приблизительно равное 600 м. За расстояние до слоя породы  $H_2$  можно принять расстояние от выработок горизонта -370м до фактического расположения глубинных реперов, закрепленных в скважинах в 9 м над кровлей этих выработок (рисунок 2).



Для адаптации предложенного метода был построен разрез по линии I (рисунок 4).

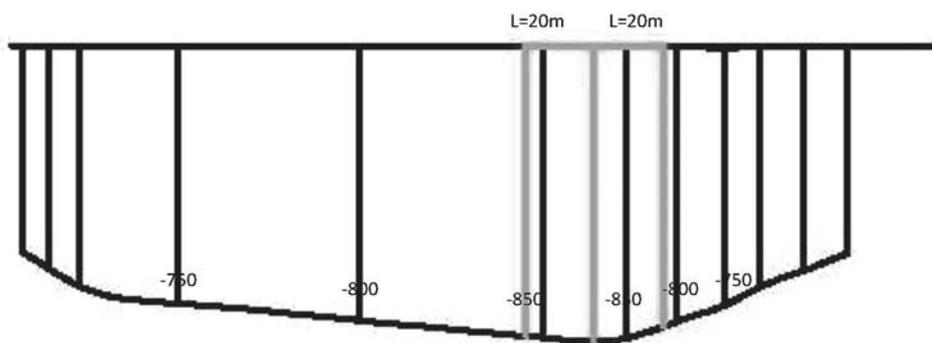


**Рис. 4** Схема подземной наблюдательной станции с изолиниями оседаний

На разрезе по вертикали откладывались величины оседаний. Через концы получившихся отрезков посредством построения сплайновой кривой была построена мульда сдвижения глубинных реперов (рисунок 5).

На основании полученной мульды была найдена точка с наибольшей величиной оседаний, от которой по линии разреза были отложены расстояния в 20 м в обе стороны. Величина

на наибольшего оседания на текущем разрезе составила  $-0,880$  м. На двух соседних точках были зафиксированы оседания  $-0,815$  и  $-0,854$  м. Аналогичным способом были зафиксированы смещения поверхностных реперов, где величина максимальных оседаний составила  $-0,176$  м, оседания соседних реперов равны соответственно  $0,174$  и  $0,168$  м. На поверхности расстояния от точки максимальных оседаний до соседних поверхностных реперов составило 55 м и 62 м. Исходя из данных условий отношение максимальных оседаний на поверхности и на уровне закрепления глубинных реперов равно  $0,2$ . Значение корня квадратного отношения расстояний от участка работ до уровня закрепления реперов до уровня земной поверхности составляет  $0,122$ . Полученные величины полностью не совпадают, однако их численное сходство в условиях значительной разницы в рассматриваемых расстояниях свидетельствует о подтверждении предлагаемой модели и равенства (1).



**Рис. 5.** Разрез по профильной линии I

На наличие в данной зависимости незначительных отклонений может сказаться множество факторов. Во многом взаимосвязь оседаний на различных расстояниях от разрабатываемого горизонта определяется индивидуальными особенностями

подрабатываемой толщи. Однако, в условиях Яковлевского месторождения имеет место еще один техногенный фактор: применение на руднике водопонижающих технологий. Помимо расположенных в подработанном массиве напорных водоносных горизонтов обводненность присутствует и в разрабатываемой руднокристаллической толще, обеспечивающая постоянный водоприток в горные выработки. Величины водопритока находятся в сравнительно безопасных пределах, но наличие постоянного поступления воды в выработки создает проблемы для ведения работ и ухудшает качество добываемой руды. Для снижения водопритока на территории рудника пробурена сеть вертикальных водопонижающих скважин. Откачка воды производится из руднокристаллической толще в течение всего периода ведения подземных работ на Яковлевском месторождении. Результатом процесса водопонижения являются так же и оседания массива, напрямую не связанные с горными работами.

Исходя из зависимости (2), величина наклона на различном удалении от разрабатываемого горизонта обратно пропорциональна расстоянию от горной выработки. С учетом того, что отношения расстояний от горизонта  $-370$  до точек закрепления реперов и до земной поверхности равно  $0,015$ , можно сделать вывод, что величина максимальных наклонов земной поверхности составит лишь  $1,5\%$  значений наклонов на глубине. Наибольшее значение наклона при анализе представленного разрез для глубинных реперов наблюдается  $0,0076$ . Аналогичная величина на поверхности равняется  $0,00011$ . Отношение данных значений

равно 0,014, что практически совпадает со значением отношения расстояний от горизонта -370 до точек закрепления реперов и до земной поверхности и подтверждает выполнение закона (2).

Оценку распределения кривизны подработанного массива по натурным данным произвести крайне сложно, так как квадрат отношения расстояний от кровли горизонта -370 до уровня закрепления реперов и до земной поверхности в силу большой разницы данных значений равен 0,000225. При обработке данных о кривизне применялся «метод трех скважин», где скважины и реперы заменены на точки мульды сдвижения. В районе горизонта -370 соседние наклоны равны соответственно 0,0075 и 0,0030. Среднее расстояние между точками принято равным 20 м. Кривизна на тройке точек равняется  $0,23 \cdot 10^{-3}$  1/м. По аналогии на поверхности соседние наклоны равны 0,00003 и 0,00011, при расстояниях соответственно 55 м и 62 м среднее расстояние будет равно 58,5 м. Тогда по формуле (3) кривизна поверхности составит  $0,003 \cdot 10^{-3}$  1/м. Данное значение близко к величине квадрата отношения расстояний от кровли горизонта -370 до уровня закрепления реперов и подтверждает выполнение закона (3).

Возможность применения рассматриваемых законов в условиях железорудных месторождений позволяет использовать классические формулы геомеханики при определении положения верхней границы зоны водопроницаемых трещин, что позволит повысить качество прогнозирования вредного влияния ведения подземных работ на водные объекты.

### Список литературы

1. Авершин С.Г. Горные работы под сооружениями и водоемами / С.Г. Авершин. – М.: Углетехиздат, 1954. – 324 с.2. Авершин С.Г. Расчет деформаций массива горных пород под влиянием подземных разработок / С.Г. Авершин. – Л.: ВНИМИ, 1960. – 276 с.
3. Гвирицман Б.Я. Безопасная выемка угля под водными объектами / Б.Я. Гвирицман, Н.Н. Кацнельсон, Е.В. Бошнятов и др. – М.: Недра, 1977. – 175 с.
4. Гвирицман Б.Я. Прогнозирование высоты зоны водопроницаемых трещин / Б.Я. Гвирицман, В.Н. Гусев, Л.А. Западанский // Уголь. – 1985. – № 7. – С. 56-57.
5. Гусев В.Н. Геомеханическая оценка развития зон водопроницаемых трещин в подрабатываемой толще / В.Н. Гусев, А.С. Миронов, Д.А. Илюхин, Е.В. Анопов // Маркшейдерский Вестник. – 2011. – № 5. – С. 39-44.
6. Гусев В.Н. Геомеханическая схема образования зоны водопроницаемых трещин в подработанном массиве горных пород / В.Н. Гусев, Ш.М. Каландаров // Маркшейдерское дело и геодезия: Межвуз. сб. – Л.: ЛГИ, 1989. – С. 26-30.

**Беляков Н.А., Карасев М.А.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, nikel87@gmail.com, karasevma@gmail.com

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО КРЕПЛЕНИЯ ЛБА ЗАБОЯ ТОННЕЛЯ АНКЕРАМИ НА РАЗВИТИЕ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ПОРОДНОМ МАССИВЕ

Строительство тоннелей и других подземных сооружений практически всегда сопряжено с рисками потери их устойчивости, то есть существует возможность такого изменения их формы или размеров, что последующая эксплуатация будет невозможна. Потеря устойчивости подземных сооружений может сопровождаться вывалами, разрушениями породы в приконтурной области, избыточными деформациями стенок. Одним из ярких примеров проявлений геомеханических процессов, сопровождающихся потерей устойчивости подземного сооружения, является разрушение породного массива впереди лба забоя. Особенно актуальна данная проблема при строительстве тоннелей и подземных сооружений в осадочных породах, прочность которых не всегда достаточна для удержания лба забоя в устойчивом состоянии.

Другим важным вопросом, непосредственно связанным с обеспечением устойчивости лба забоя, является контроль за деформациями породного массива впереди лба забоя. Наличие такого контроля благоприятно сказывается как на состоянии породного массива в окрестности подземного сооружения, так и на деформациях земной поверхности, что особенно актуально при строительстве тоннелей и подземных сооружений в городских условиях. Хорошо известным является тот факт, что не менее 30% процентов радиальных деформаций породного контура (величина может отличаться при значительном разупрочнении породного массива на этапе строительства тоннеля) реализуется к моменту ввода постоянной обделки в работу. В тех случаях, когда требования к радиальным деформациям породного контура достаточно строгие, как например при строительстве тоннелей в условиях плотной городской застройки, необходимо осуществлять мероприятия, которые будут препятствовать развитию деформаций впереди лба забоя.

Для повышения устойчивости лба забоя применяется ряд инженерных решений. Одним из подходов к решению данной проблемы является разработка сечения подземного сооружения по частям с постепенным креплением лба забоя расстрелами, при этом пространство между ними затягивается деревянными досками. Такой способ по настоящее время применяется при строительстве станционных тоннелей Санкт-Петербургского метрополитена. Несмотря на то, что в целом такой метод крепления забоя позволяет обеспечить безопасность в зоне ведения проходческих работ, он не является эффективным в случае, если необходимо осуществлять контроль за деформациями лба забоя. Рост деформаций сопровождается разупрочнением породного массива, что влечет за собой возможное проявление негативных геомеханических процессов.

Для снижения деформаций лба забоя тоннеля необходимо применять методы крепления, заключающиеся в изменении механических свойств пород впереди тоннеля, то есть методы, позволяющие усилить участок массива, попадающий в зону влияния строительства тоннеля. В качестве примеров здесь можно привести множество методов, начиная от цементации сыпучих

грунтов и трещиноватых горных пород и заканчивая устройством передового крепления из анкеров, устанавливаемых в предварительно организованные скважины впереди лба забоя. Такой подход позволяет в значительной степени снизить деформации лба забоя, особенно если ожидается формирование зон предельного состояния в окрестности тоннеля, которое будет сопровождаться пластическим деформированием породы.

На настоящий момент, достаточно хорошо развиты методы прогноза устойчивости лба забоя тоннелей. Получены готовые инженерные решения для прогноза устойчивости лба забоя при строительстве в сухих и водонасыщенных песках, глинистых грунтах, которые испытывают недренированный характер поведения при строительстве тоннелей, расчет устойчивости при строительстве в плотных породах. Однако, данные методы не позволяют учитывать влияние результатов применения методов повышения устойчивости породы в явном виде, а оценивают их влияние опосредованно, через величину эквивалентного давления действующего на лоб забоя. Если для оценки устойчивости лба забоя данное упрощение допустимо, то при прогнозе деформаций, это может внести серьезную погрешность в получаемый результат.

В данной работе предложена методика построения численной модели прогноза напряженно-деформированного состояния породного массива при строительстве тоннелей применительно к инженерно-геологическим условиям Санкт-Петербурга.

В инженерно-геологических условиях города Санкт-Петербург строительство тоннелей в основном выполняется в плотных протерозойских глинах, глубина залегания которых варьируется от 60 до 100 м от земной поверхности. Комплекс выработок станционного комплекса предпочтительно располагают на глубинах от 50 до 70 м, перегонные тоннели в пределах глубин 50 – 100 м.

Основная технология строительства тоннелей станционного комплекса, который включает станционные тоннели, выработки околоствольного двора, вспомогательные выработки и ряд вспомогательных выработок, заключается в поэтапной разработке грунта в сечении тоннеля на величину заходки, с постепенным креплением лба забоя тоннеля ярусами расстрелов трубчатого сечения, устанавливаемыми вплотную к породному контуру. Расстрелы вводятся в работу в момент, когда часть деформаций породного массива, связанных с ведением проходческих работ уже реализовалась. С учетом того, что обделку тоннелей, при строительстве подземных сооружений в городской черте стремятся ввести в работу как можно быстрее, величина радиальных смещений породного контура на момент установки расстрелов может превысить 50% от полной величины радиальных смещений. Возможность сопротивляться дополнительным продольным деформациям лба забоя у расстрелов весьма ограничена, что связано с их относительно невысокой жесткостью по сравнению с деформируемым породным массивом. Представленные выше ограничения расстрельной технологии крепления лба забоя тоннеля дополняются и технологическими недостатками, в частности невозможностью использования высокопроизводительного оборудования для разработки породы в забое тоннеля, что в значительной степени снижает производительность труда и скорости проходки.

Преодоление представленных выше трудностей возможно за счет своевременного опережающего крепления забоя, которое позволит исключить загромождение рабочей зоны и позволит повысить механическую способность породы впереди лба забоя сопротивляться проявлению геомеханических процессов. Последний опыт строительства тоннелей Санкт-Петербургского метрополитена с применением технологии опережающего крепления, которое включает в себя экран из труб и крепление лба забоя стеклопластиковыми (фибергласовыми) анкерами, был получен при строительстве подходной выработки от околоствольного двора до станционных тоннелей на участке сооружения станционного комплекса «Бухарестская». Глубина заложения выработок на рассматриваемом участке строительства составляет 70 м. Мощность протерозойских глин над сводом выработки составляет 10 м. Форма поперечного сечения тоннеля арочная, с наклонными боковыми стенками. Перед началом работ выполнялось устройство опережающего экрана из труб длиной 8 м, под углом наклона относительно продольной оси тоннеля  $13^{\circ}$  и установка фибергласовых анкеров в предварительно пробуренные скважины, длина которых составляла 14 м. Скважины после установки анкерных стержней заполнялись цементным раствором, что позволяло ввести анкерное крепление в работу по всей длине стержней. Перехлест анкерного крепления при выполнении проходческих работ принимался не менее 6 м. Разработка грунта выполнялось заходками по 0,8 м с установкой металлических арок с шагом 0,8 м.

Прежде чем перейти к оценке эффективности рассматриваемой схемы крепления лба забоя по деформациям породного массива, рассмотрим результаты натурных наблюдений за поведением анкерного крепления при строительстве выработки. В процессе наблюдений фиксировались два показателя – смещения лба забоя и усилия в анкерном креплении.

Методика определения смещений лба забоя заключается в определении изменения расстояния между глубинным репером, установленным в призабойной зоне массива и неподвижным репером, находящимся в пройденном участке выработки. Глубинный репер представляет собой стальной цилиндр с приваренной к одному из торцов пластиной, на которую с внутренней стороны прикреплена специальная отражательная марка. Для центрирования репера в скважине по периметру цилиндра устанавливаются стальные отгибы, которые также позволяют зафиксировать его положение.

В ходе измерений оценивалось изменение расстояния, от базового репера до глубинного репера по мере приближения забоя к глубинному реперу. Схема проведения измерений изображена на рисунке 1 а, б. Глубинные реперы были установлены на четырех захватках в трех уровнях: захватка №22 уровень 3 – заходка по 0,8 м; захватка №25 уровень 3 – заходка по 1,6 м; захватка №28 уровень 1- заходка по 1,6 м; захватка №29 уровень 2- заходка по 1,6 м.

В ходе мониторинга давалась качественная и количественная оценка разуплотнения и смещения грунтового массива в зависимости от мощности целика между глубинным репером и лбом забоя. Замеры велись в разных уровнях и на разных захватках. По результатам наблюдений построены зависимости, которые представлены на рисунке 1 в. Результаты мониторинга позволили сделать следующие выводы. Устойчивость лба забоя при заданных конструктивно-технологических параметрах крепления выработки обеспечена. Максимальные смещения грунтового репера составили 11 мм, на расстоянии 0,5 м от лба забоя смещения 8,0–8,5 мм. Начало смещения реперов начинается на расстоянии 4 м впереди забоя.

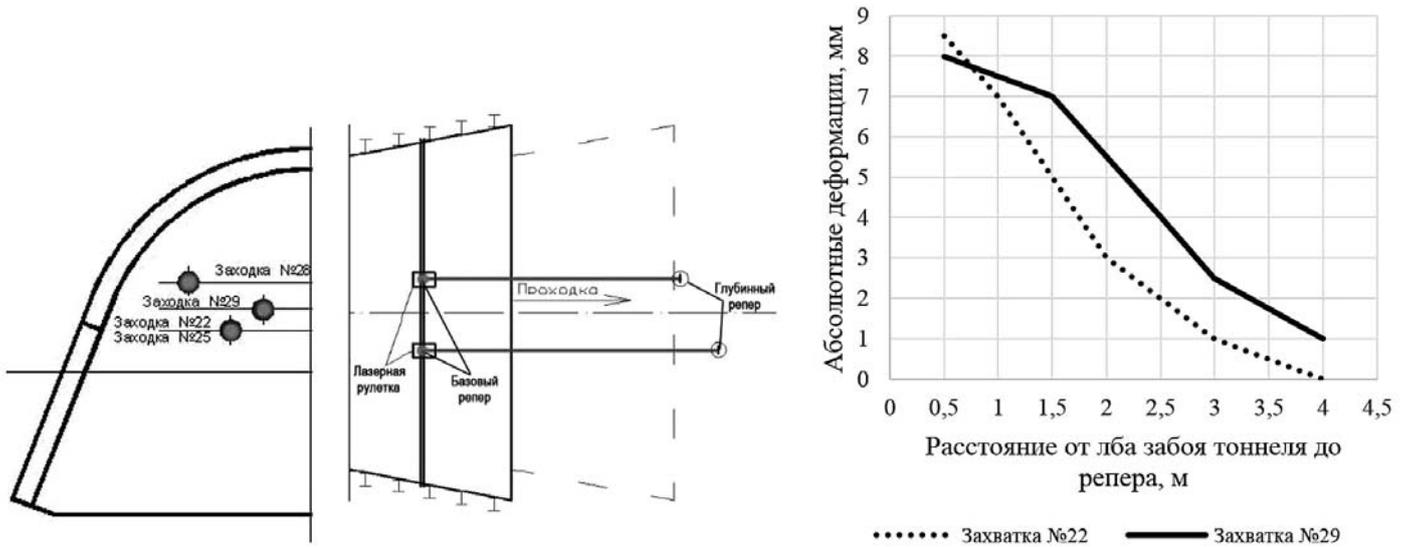


Рис. 1. Схема расположения глубинных реперов в плане (а) и в плоскости забоя (б) и результаты смещений породного массива впереди лба забоя (в)

Исследование формирования продольных усилий в анкерах опережающего крепления выполнялось при помощи струнных динамометров, размещаемых в нескольких местах по длине анкера в процессе его установки. Технически этот вопрос был решен следующим образом. Один из фиброгласовых анкеров (по оси тоннеля в нижнем ряду) был заменен на железобетонный. В арматурный стержень вваривались датчики. Полученная конструкция подавалась в скважину с последующим заполнением раствором.

После установки анкеров в проектное положение и последующей разработки забоя выполнялись измерения по датчикам. Эти измерения проводились после разработки каждой заходки. Результаты замеренных усилий в анкере приведены на рисунке 2. Получено, что датчики начинают включаться в работу при подходе забоя на 4 м. При дальнейшем приближении забоя усилия в анкере возрастают. Удлинение анкера составляет около 8 мм, усилия в анкере достигают 56 кН.

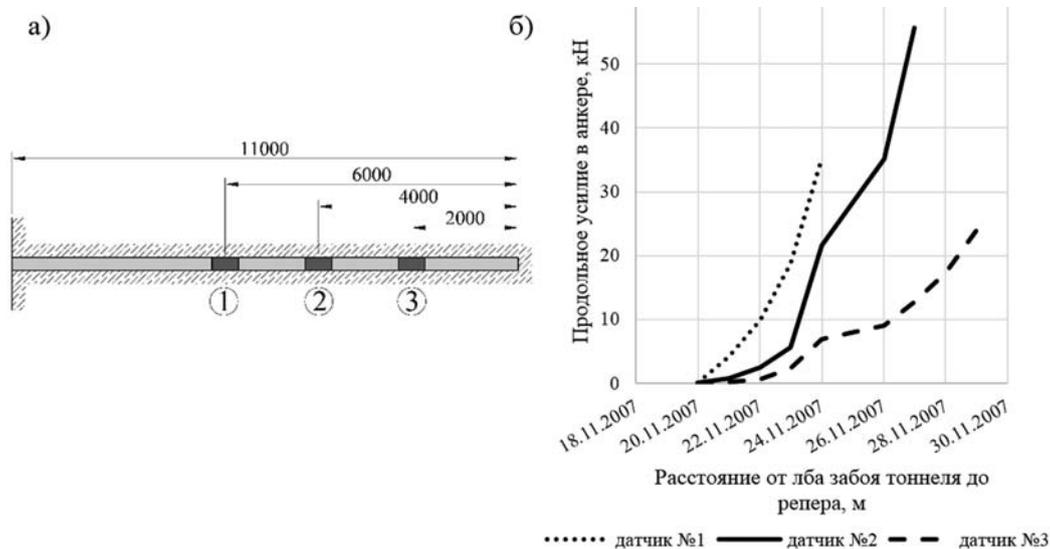


Рис. 2. Конструкция анкера с датчиками измерения усилий (а) и кривые развития усилий в анкере по данным соответствующих датчиков (б): 1, 2, 3 – номера датчиков

Прежде чем перейти к оценке влияния различных схем крепления лба забоя на развитие деформаций породного массива, необходимо более детально изучить аспекты совместной работы опережающего анкерного крепления и породного массива. С учетом ограниченного набора результатов натурных наблюдений за поведением опережающего анкерного крепления, для получения более полной информации в работе использовался метод математического моделирования. В данной работе рассмотрено совместное взаимодействие анкерной крепи и породного массива на основании конечно-элементного моделирования.

Особенность работы опережающей анкерной крепи, установленной впереди лба забоя, заключается в обеспечении связи между телом анкера и породным массивом по всей длине его контакта с породным массивом. Взаимодействие между анкером и породным массивом осуществляется через цементно-песчаный слой, который имеет непосредственный контакт с породой.

При выполнении численного моделирования, взаимосвязь между анкером и породным контуром скважины реализовывалась через специальные контактные элементы, называемые когезионными. Они позволяют при выполнении численного моделирования учесть потерю несущей способности по боковой поверхности анкера. Особенностью этих элементов является возможность получения достоверного напряженно-деформированное состояния в точках интегрирования при значительной разнице в его поперечном и продольном размерах, а также при значительном искажении его формы, что позволяет их эффективно использовать для описания контактного взаимодействия между двумя средами.

Когезионный элемент представляет из себя восьмиузловой конечный элемент, поведение которого задается в локальной системе координат  $n, s, t$ . Локальная ось  $n$  совпадает с направлением нормальных напряжений  $\sigma_n$ , действующих перпендикулярно поверхности когезионного материала, локальные оси  $s$  и  $t$  совпадают с осями касательных напряжений  $\tau_s$  и  $\tau_t$ . Графически когезионный элемент можно представить как восьмиузловой направленный элемент, формулировка которого выполняется по срединной поверхности, а направление нормальной оси должно быть перпендикулярно связываемым поверхностям сплошных элементов.

Толщина когезионного элемента может быть принята конечной, однако удобней рассматривать когезионный элемент бесконечно малой толщины, где фиктивная толщина задается через переменный параметр. Такой подход позволяет упростить создание конечно-элементной модели, включающей когезионные элементы. Нижняя и верхняя поверхности когезионного элемента используются для определения нормальных и касательных напряжений в точках интегрирования.

Взаимосвязь между когезионным элементом и сплошными элементами осуществляется через смежные узлы, что позволяет обеспечить условие неразрывности перемещений. Относительное взаимное перемещение элементов, связанных с когезионным элементом реализуется за счет изменения формы когезионного элемента, вызванного ростом упругих и пластических деформаций.

Формулировка когезионного элемента не накладывает ограничений на принимаемый критерий прочности и метод его реализации. В работе принят подход для описания необратимого процесса деформирования основанный на теории пластического течения, а в качестве условия прочности принят критерий Кулона-Мора.

Для апробации предложенного подхода рассмотрена задача определения несущей способности анкера, закрепленного в породный массив. Согласно методике, представленной в ВСН 506-88 [1], несущая способность грунтового анкера определяется как

$$F_a = \pi d_k l_k (1 - \sin \varphi) (\sigma_0 \operatorname{tg} \varphi_a + c_a) K_p \gamma_c \quad (1)$$

где  $d_k$  – диаметр корня анкера;  $l_k$  – длина корня анкера;  $\varphi_a$  – угол внутреннего трения на контакте порода анкера;  $c_a$  – сцепление анкера с породным контуром;  $K_p$  – коэффициент учитывающий геометрические параметры анкера и механические свойства породы;  $\gamma_c$  – коэффициент запаса, для сравнимости с результатами численного моделирования принят равным 1;  $\sigma_0$  – параметр, характеризующий напряженное состояние породного массива.

Для условий строительства Санкт-Петербургского метрополитена приняты следующие параметры анкера и условий на контакте анкера с породным контуром (таблица 1).

Таблица 1

Параметры анкера и условия на контакте анкера с породным контуром

Вариант	$d_k$ , м	$l_k$ , м	$\varphi$	$c$ , кПа	$K_p$
I	0.1	10.0	23	150	0.999
II	0.1	10.0	0	150	1

Численная модель представляет собой цилиндр, диаметр которого больше диаметра скважины в 15 раз. Внутри цилиндра выполнена полость, диаметр которой равен диаметру скважины, внутрь которой установлен стеклопластиковый стержень меньшего диаметра, а оставшееся пространство заполнено цементным раствором. Такой элемент в дальнейшем будем называть анкер. Взаимодействие между внешней границей анкера и породным контуром скважины моделируется с помощью когезионных элементов. По внешней границе цилиндра запрещены смещения в направлении  $X$  и  $Y$ . Смещения по границам цилиндра перпендикулярным оси анкера запрещены в направлении  $Z$ . К поверхности анкера приложено вынужденное смещение, величина которого линейно возрастает от нулевого значения до максимальной величины. Максимальная величина смещений подбирается таким образом, чтобы обеспечить возможность моделирования потери несущей способности анкера.

Сравнение результатов расчета несущей способности анкера по нормативной методике и по методике, реализованной в численной модели, сведены в таблицу 2. Как видно, численная реализация взаимодействия анкера с породным массивом дает очень малую погрешность и может использоваться для прогноза геомеханических процессов породного массива впереди лба забоя.

Таблица 2

Результаты апробации предложенной методики моделирования взаимодействия между породным массивом и поверхностью анкера

Метод расчета	Результаты расчета несущей способности анкера (кН) для условий	
	Вариант I	Вариант II
Нормативная методика	1938.0	471.3
Численное моделирование	1945.9	473.9
Погрешность, %	0.4	0.5

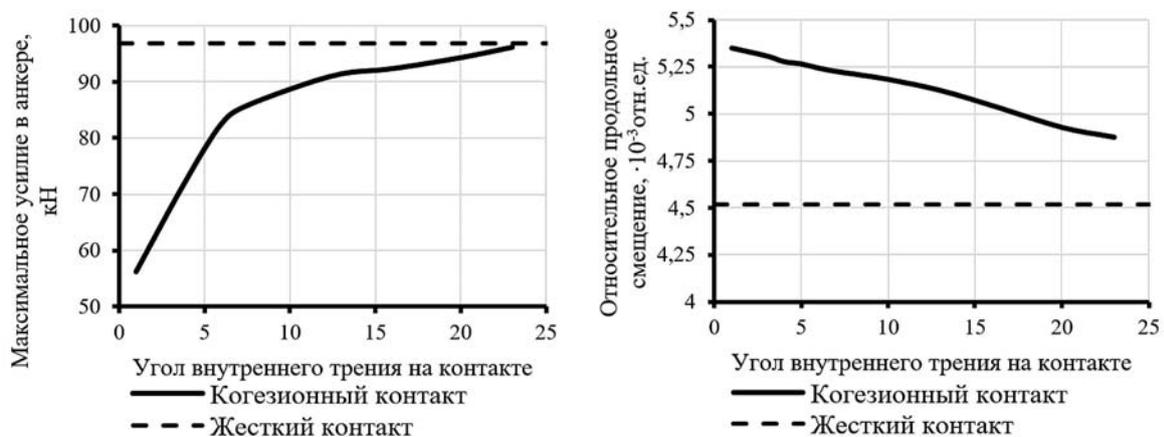
Работа опережающего анкерного крепления рассмотрена на примере проведения тоннеля кругового очертания, закрепленного сборной обделкой. Инженерно-геологические условия соответствуют усредненным типовым условиям строительства метрополитена в г. Санкт-Петербурге.

Принципиальная схема призабойной зоны тоннеля с расположением анкеров опережающего крепления лба забоя приведена на рисунке 4, а. Заметим, что контакт между стержнями анкеров и массивом реализовывался за счёт наличия между конечными элементами фиброгласовых стержней и породным массивом слоя когезионных элементов. Фиброгласовые стержни на моделях имели диаметр 32 мм и длину 14,5 м, а скважины под установку анкеров имели диаметр 100 мм.

Контактные условия (сцепление  $c$  и угол внутреннего трения  $\varphi$  на контакте), использованные в качестве исходных, приведены в таблице 1 для варианта 1. После расчета этого базового варианта контактные условия постепенно изменялись путем последовательного снижения угла внутреннего трения  $\varphi$  вплоть до 1 градуса при неизменном сцеплении  $c$ . Таким образом снижалось влияние трения на прочность на контакте.

Оценить влияние контактных условий представляется важным на два основных параметра – на осевые растягивающие усилия, возникающие в фиброгласовых стержнях анкеров, по которым выполняется оценка несущей способности анкера по условию его прочности, и на величину продольных смещений лба забоя тоннеля, по которой выполняется оценка устойчивости породных обнажений лба забоя тоннеля.

На рисунке 3, а представлена зависимость величины максимального осевого растягивающего усилия, возникающего в наиболее нагруженном анкере, от величины трения на контакте анкера (бетонный заполнитель) с породным массивом. На этом рисунке пунктиром отведен уровень осевого усилия, соответствующий жесткой связи анкерных стержней с породным массивом.



**Рис.3. Зависимость величины максимального осевого усилия в анкере от условий контакта анкера (бетонного заполнителя) с породным массивом (а) и величины наибольшего относительного продольного смещения лба забоя тоннеля от условий контакта анкера с породным массивом (б)**

Как можно заметить, при прочих равных условиях, с увеличением прочности контактного материала, который моделирует поведение цементно-песчаного раствора, заполняющего скважину с установленным анкерным стержнем, растет и максимальное растягивающее усилие, возникающее в анкерном стержне. При этом величина осевого усилия изменяется в достаточно широком диапазоне в зависимости от условий контакта и для крайних рассмотренных случаев отличается практически в два раза.

Следует также отметить выявленную характерную особенность в распределении растягивающих осевых усилий по длине анкерного стержня. Растягивающие осевые усилия в стержне анкера распределяются неравномерно и в целом по полученным результатам точка действия максимального усилия как правило оказывалась на удалении 2-4 м от лба забоя тоннеля. При этом, чем менее прочным был контакт между стержнем и породным массивом, тем более удаленной от лба забоя тоннеля была точка действия наибольших растягивающих осевых усилий.

Базируясь на полученных результатах развития осевых усилий от контактных условий анкера с породным массивом, можно отметить важность учета условий контакта анкеров с породным массивом, поскольку это в значительной степени определяет величину осевых усилий. Использование в качестве основного расчетного варианта модели жесткого контакта анкерных стержней с породным массивом ведет к искажению реальной геомеханической картины процессов деформирования породного массива в призабойной зоне и, как следствие, к получению необоснованного значительного запаса по прочности анкерных стержней.

Прогноз устойчивости породных обнажений лба забоя тоннеля и конечная проверка параметров опережающей крепи выполняются на основании наибольшей величины продольных смещений лба забоя. Сущность такого подхода состоит в том, что правильно подобранная опережающая крепь должна практически полностью исключать из продольных смещений лба забоя тоннеля их пластическую составляющую, возникающую вследствие неупругого деформирования породного массива в призабойной зоне. В связи с этим, фактически выполняют решение трех задач – задачи о деформировании незакрепленных породных обнажений лба забоя тоннеля при использовании упругопластической модели массива; этой же задачи, но с исполь-

зованием упругой модели массива, и задачи о деформировании закрепленных опережающей крепью породных обнажений лба забоя тоннеля. Если параметры крепи подобраны верно, то продольные смещения лба забоя тоннеля во втором и третьем случаях должны быть близки.

В связи с изложенным выше, очевидным становится, что величина продольных смещений лба забоя тоннеля является важным расчетным параметром, а потому необходимо оценить, каким образом влияют на него контактные условия между стержнем анкера и породным массивом.

На рисунке 3 б представлена зависимость величины наибольших относительных продольных смещений лба забоя тоннеля от величины угла внутреннего трения на контакте стержня анкера с породным массивом. Необходимо заметить, что относительные продольные смещения лба забоя тоннеля получены путем отношения фактических абсолютных продольных смещений к диаметру тоннеля.

Как можно заметить, при прочих равных условиях с увеличением прочности контактного материала величина продольных смещений уменьшается, при этом зависимость между двумя параметрами носит близкий к линейному характер.

Использование любого из рассмотренных контактных условий взаимодействия анкерного стержня с породным массивом вместо жесткого контакта приводит к увеличению прогнозной величины продольных смещений лба забоя тоннеля. Вместе с тем, нужно отметить, что если в случае с осевыми усилиями в стержнях анкеров, рассмотренном выше, введение контактного условия приводило к значительному (до двух раз) его изменению, то по отношению к продольным смещениям лба забоя такого сказать нельзя. В данном случае изменения за счёт введения контактного условия не настолько значительны и в рамках рассматриваемого случая не превышали 18%.

В связи с этим, можно рекомендовать следующее. Для выполнения ориентировочных расчетов для проверки подобранной конструкции опережающей крепи с точки зрения обеспечения устойчивости породных обнажений лба забоя тоннеля допустимо использовать для описания взаимодействия анкерных стержней с породным массивом жесткий контакт, с учетом обеспечения 18-20% запаса по необходимому количеству анкеров. Конечный же проверочный расчет для прогноза устойчивости закрепленных породных обнажений следует обязательно выполнять с использованием контактных условий взаимодействия анкерных стержней с породным массивом, соответствующих их реальным условиям эксплуатации.

Для оценки эффективности различных вариантов крепления лба забоя, выполнен прогноз деформаций породного контура в уровне лба забоя для следующих вариантов его крепления:

- устройство расстрельной системы (рисунок 4, а);
- опережающее крепление лба забоя анкерами (рисунок 4, б).

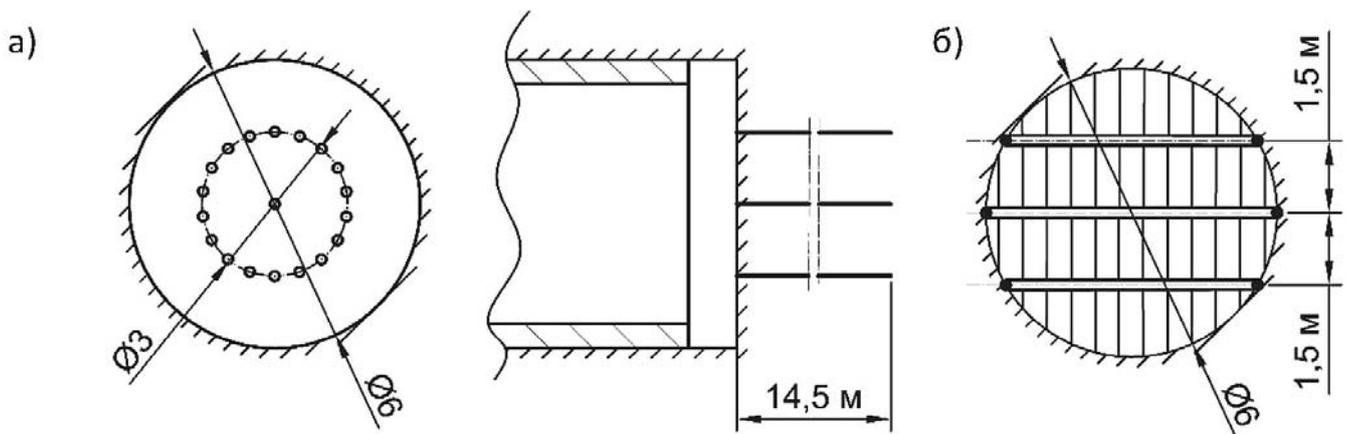


Рис. 4. Способы крепления лба забоя тоннеля: опережающая крепь из анкеров (а); крепление лба забоя расстрелами (б)

Численное моделирование строительства тоннелей диаметром 6 м с учетом трех рассматриваемых схем крепления укрупненно выполнялось в следующей последовательности:

- формирование начального поля напряженного состояния. При рассмотрении всех трех случаев принята глубина заложения тоннеля 60 м, коэффициент бокового давления 0,8;
- моделирование разработки породы в сечении тоннеля, с учетом принятой схемы крепления лба забоя. Величина заходки для всех рассматриваемых расчетных вариантов принята равной 0,8 м, что позволяет обеспечить сравнимость результатов.

При креплении лба забоя по расстрельной схеме (рисунок 4, б), в численную модель вносились следующие особенности. Сечение тоннеля разбивалось на четыре яруса, разработка грунта в которых выполнялась последовательно. После завершения разработки породы в одном из ярусов, выполнялось его крепление расстрелом, далее процесс повторялся на следующем ярусе. В численной модели расстрел заменялся равномерно распределенной нагрузкой, величина которой определялась исходя из изгибной жесткости расстрела. В такой последовательности выполнялось моделирование строительства тоннеля на участке равном 20 м, что составляет 25 проходческих заходок. На таком расстоянии граничные условия оказывают минимальное воздействие на результаты численного моделирования.

Схема крепления лба забоя тоннеля анкерной крепью (рисунок 4, а), предполагает наличие 19 фиброгласовых анкеров круглого сечения с диаметром стержней 32 мм и длиной 14,5 м. В условиях поставленной задачи контакт анкерных стержней с массивом горных пород осуществляется через специальные контактные условия, а сами стержни моделировались балочными элементами определённой жесткости, зависящей от их геометрии и материала, жестко закрепленными по всей длине внутри массива горных пород.

Для наглядности сопоставления было рассмотрено два варианта такой крепи – типовой и расчетный. Типовая крепь из расстрелов – это крепь, которую чаще всего применяют на сегодняшний при строительстве перегонных и станционных тоннелей в условиях г. Санкт-Петербурга. Основной несущей конструкцией такой крепи являются балки, выполненные из труб с диаметром 273 мм и толщиной стенки 7 мм. Расстрелы размещаются горизонтально с шагом 1,5 м по высоте забоя тоннеля, затяжка межрасстрельного пространства выполняется из дерева. С учетом расстояния между расстрелами и диаметра тоннеля для крепления лба забоя понадобится 4 расстрела. В этом случае масса несущей конструкции крепи составит порядка 900 кг, что примерно на 30% больше, чем масса описанной выше опережающей анкерной крепи. Однако, как будет показано ниже, при этом такая типовая крепь лба забоя из расстрелов обеспечивает гораздо меньшее удерживающее действие на породные обнажения по отношению к анкерной крепи.

Второй вариант крепи лба забоя из расстрелов (расчетный) имеет конструкцию, аналогичную типовой, за исключением геометрических параметров несущих балок, которые определялись исходя из того, чтобы удерживающее действие крепи на забой было таким же, как и у описанной выше анкерной крепи.

Для этого при моделировании опережающей крепи было определено максимальное растягивающее усилие, которое может возникнуть в анкерном стержне. Для рассматриваемых условий оно составило порядка 170 кН. Предполагая, что расстрелы по забою тоннеля будут размещаться с шагом 1,5 м (как в типовом варианте), несложно определить, что с учетом грузовой площади, приходящейся на каждый расстрел, площади забоя тоннеля и количества анкеров в конструкции опережающей крепи, пригруз забоя, эквивалентный по удерживающему действию такой крепи составит 116 кПа. Для того, чтобы воспринять такую равномерно распределенную изгибающую нагрузку, наиболее длинный расстрел, выполненный из стали, должен обладать моментом сопротивления сечения не менее 2150 см<sup>3</sup>. Наиболее близкими характеристиками из сортамента труб обладает труба с диаметром 630 мм и толщиной стенки 8 мм. Масса несущей конструкции такой крепи составит порядка 2,4 т. Такие показатели массы основной несущей конструкции превышают необходимую массу несущей конструкции крепи из фиброгласовых анкеров в тех же условиях более чем в 4 раза при практически эквивалентном удерживающем воздействии.

На рисунке 5 приведены графики распределения относительных продольных смещений лба забоя тоннеля для различных вариантов крепления. Необходимо заметить, что относительные продольные смещения лба забоя тоннеля получены путем отношения фактических абсолютных продольных смещений к диаметру тоннеля.

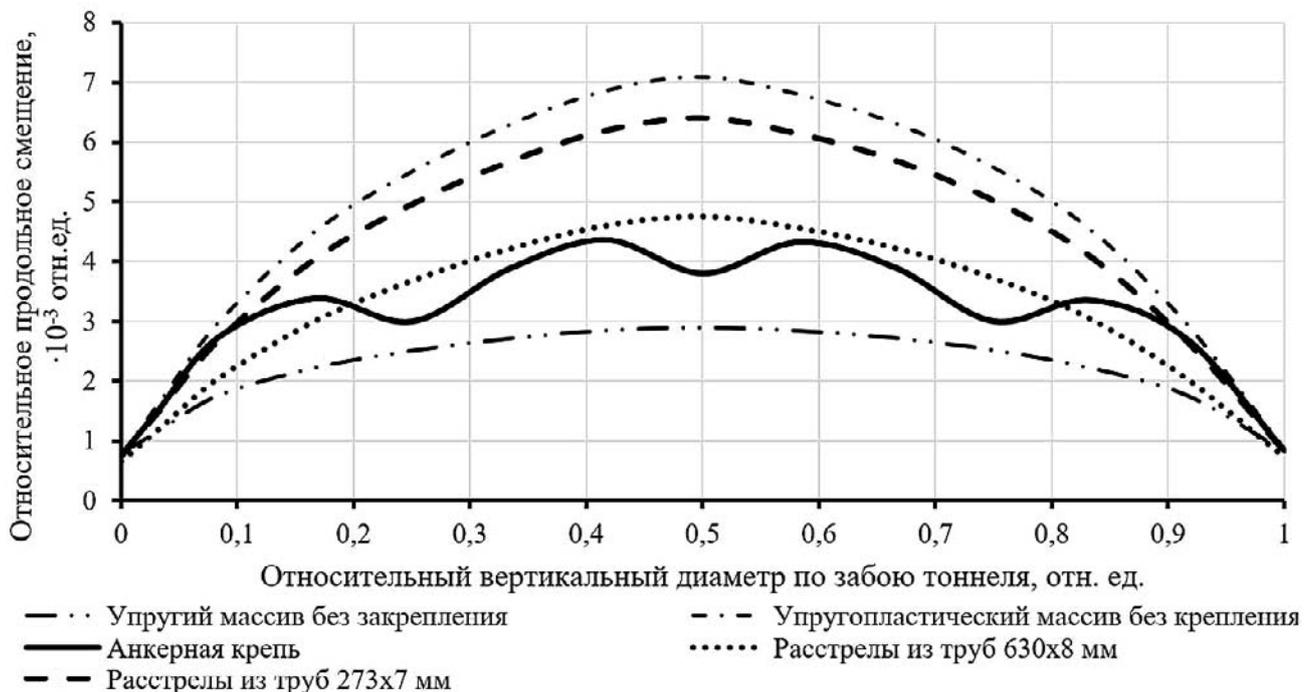


Рис. 5. График распределения относительных продольных смещений забоя по вертикальному диаметру тоннеля

При оценке эффективности применяемой конструкции крепи обычно выполняют сопоставление полученных продольных смещений лба забоя. Если параметры крепи лба забоя подобраны верно, то продольные смещения в двух этих случаях должны быть близки, поскольку крепь будет компенсировать практически все пластические деформации, возникающие в массиве горных пород вблизи лба забоя тоннеля. В связи с этим для наглядности сопоставления на рисунке 5 приведены дополнительно результаты расчетов для двух вариантов деформирования породных обнажений незакрепленного лба забоя, отражающих по-

ведение массива горных пород в призабойной зоне при использовании упругой (наиболее благоприятный случай) и упруго-пластической с условием Кулона-Мора (наиболее неблагоприятный случай) геомеханических моделей.

Как можно заметить, с точки зрения продольных смещений лба забоя, по которым выполняется оценка их устойчивости, два варианта крепления (анкерная крепь и крепь из расстрелов с расчетными параметрами) показывают близкие результаты, а один вариант (типовая крепь из расстрелов) выделяется в сторону меньшего удерживающего эффекта. Особенно это касается наибольших величин продольных смещений, разница между которыми является крайне незначительной, а для типовой крепи из расстрелов в сравнении с ними составляет порядка 20-25%. Это позволяет утверждать, что удерживающее воздействие типовой крепи из расстрелов недостаточно для того, чтобы предотвратить развитие в породном массиве впереди забоя значительных пластических деформаций. С увеличением диаметра тоннеля эффективность расстрельного крепления лба забоя будет значительно снижаться и по опыту авторов, при диаметре тоннеля более 9 м, рационально подобранные расстрелы по фактору обеспечения устойчивости лба забоя, практически не вносят никакого вклада в снижение деформаций породного контура.

На основании выполненных в настоящей статье исследований можно заключить следующее. Корректный прогноз напряженного состояния анкерного крепления необходимо выполнять с учетом контактного взаимодействия анкеров с породным массивом. Отсутствие учета особенностей такого взаимодействия приводит к переоценке механических напряжений, которые формируются в сечении стержня анкера с одной стороны и к недооценке величин продольных деформаций лба забоя тоннеля с другой стороны.

Устойчивость лба забоя может быть обеспечена различными способами (опережающее анкерное крепление, схема крепления с применением расстрелов, комбинация опережающего экрана из труб и анкерного крепления и т.д.); при этом выбор способа в каждом конкретном случае в большей степени зависит от принятой технологии строительства, формы поперечного сечения выработки и имеющегося в наличии оборудования.

Мониторинг геомеханических процессов, протекающих в породном массиве впереди лба забоя, при строительстве подземных горных выработок в условиях плотной городской застройки следует выполнять при реализации любой из схем крепления, поскольку такой мониторинг позволяет оценить эффективность применяемого крепления и таким образом предупредить развитие значительных деформаций неупругого характера в породах впереди забоя.

#### Список литературы

1. ВСН 506-88 «Проектирование и устройство грунтовых анкеров». М.: Минмонтажспецстрой СССР, 1989. 39 с.

## СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ОБЪЕКТОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ»

Оспенников Е.Н., Хилимонюк В.З., Булдович С.Н.  
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, vanda@geol.msu.ru

### ТИПИЗАЦИЯ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ОБСТАНОВОК ШЕЛЬФА И БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ

Как известно, влияние геокриологических условий на инженерные сооружения, специфика возникающих в них деформаций определяются с одной стороны видами самих инженерных сооружений, а с другой – типами инженерно-геологической (для Крайнего Севера – инженерно-геокриологической) обстановки.

Многолетний опыт хозяйственного освоения криолитозоны показывает, что конкретные инженерные сооружения, в силу особенностей конструкции и технологии строительства, обладают определённым комплексом техногенных воздействий на природную среду, отличным от таковых для других сооружений. Такие воздействия на природную среду могут вызвать возникновение неблагоприятных процессов и явлений. Инженерные сооружения и комплекс природной обстановки, в которых они работают, в совокупности составляют понятие природно-технической системы. Природно-технические системы, кроме прочего, отличаются тем, что для каждой из них характерен определённый комплекс развивающихся после строительства экзогенных геологических процессов и явлений (по большей части геокриологических). В силу этого, при выработке рекомендаций по изучению геокриологических процессов, возникающих при хозяйственном освоении территории, наиболее целесообразно анализировать существующие геокриологические материалы для типичных природно-технических систем Арктического шельфа и побережья. Помимо этого, типизация природно-технических систем позволит, во-первых, сгруппировать всю имеющуюся информацию по определённым критериям, а, во-вторых, достаточно просто сравнивать соответствующие геокриологические характеристики для отдельных регионов (секторов) Арктики.

В перспективе анализ природно-технических систем также даст возможность разработать типовые приёмы управления геокриологической обстановкой для обеспечения надёжности инженерных сооружений, или разработать системы противодеформационных мероприятий.

Дубровин В.А., Крицук Л.Н.

ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии (ФГУП «ВСЕГИНГЕО»), п. Зеленый, МО, lnkritisuk@mail.ru

### ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ШЕЛЬФА КАРСКОГО МОРЯ В РАЙОНЕ ПОЛЯРНОЙ СТАНЦИИ МАРРЕ-САЛЕ

Одной из острейших проблем изучения криолитозоны Приамальского шельфа является полное отсутствие данных о температурном режиме донных отложений в интервалах глубин инженерной деятельности, необходимых в связи с предстоящим освоением здесь месторождений углеводородного сырья. Поэтому в мае 2014 г. в рамках выполнения технического задания по Государственному контракту ФА «Роснедра» на геокриологическом стационаре «ВСЕГИНГЕО» Марре-Сале были пробурены и впервые в отечественной практике оборудованы воздушно-сухой наблюдательной обсадной колонной две буровые скважины, глубиной по 20 м от морского дна, предназначенные для мониторинга температурного режима донных отложений.

Бурение скважин на шельфе Карского моря проводилось со льда, мощностью от 1,8 м до 2,3 м, буровыми станками «Стерх» и «УБШМ-20». Скважины расположены на расстоянии ~ 500 м и 860 м от берега на глубине акватории 4,5 м и 5,0 м соответственно. После завершения проходки, скважины были обсажены наблюдательными металлическими трубами диаметром 57 мм и оборудованы автоматическими автономными измерительными комплексами Логгер LPC. Датчики в термококсах расположены через 1 м для детального изучения динамики температурного режима подстилающих горных пород. Период опроса составлял 2 раза в сутки. Привязка местоположения пробуренных скважин была выполнена различными способами, включая GPS-навигатор, теодолит, береговые створы различных конструкций.

После краткой выстойки скважин была осуществлена проверка работы приборов и были сняты первые данные по распределению температуры в разрезе скважин. В течение нескольких суток снимались температурные замеры в разрезе, свидетельствующие о полной выстойке скважин и стабилизации теплового режима грунтов, нарушенного в ходе буровых работ. Уже первые значения температурных замеров в скважинах, пробуренных на шельфе, дали представление о некоторых особенностях

температурного режима донных отложений в районе геокриологического стационара Марре-Сале. Анализ кривых показывает, что температура 20-метровой толщи донных отложений в конце зимы изменялась в интервале от  $-0,1 \div -0,3^{\circ}\text{C}$  до  $-1,8 \div -2,0^{\circ}\text{C}$ .

После схода ледового покрова в августе 2014 г. были сняты данные мониторинговых наблюдений за период май-август. В сентябре текущего (2015) года в процессе выполнения полевых работ были получены новые данные по динамике температуры донных отложений за 18 месяцев непрерывных наблюдений. Эти результаты свидетельствуют, во-первых, о надежной работе аппаратуры в течении периода наблюдений, а во-вторых дают исчерпывающее представление о формировании и динамике теплового состояния донных отложений и придонного слоя воды в годовом цикле.

Детальное опробование геологического разреза, пробуренных в 2014 г. скважин, позволило получить новые данные о его возрасте. Установлено, что, диатомовые комплексы из всех образцов глинистых отложений шельфа представлены морскими вымершими видами, характерными для диатомовой зоны нижнего эоцена и типичными для верхней подсвиты люлинворской свиты Западной Сибири. В песках верхней части разреза прибрежной скважины установлен комплекс современных морских сублиторальных диатомей.

Осадчая Г.Г.<sup>1</sup>, Лаптева Е.М.<sup>2</sup>, Дегтева С.В.<sup>2</sup>, Зенгина Т.Ю.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, galgriosa@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт биологии КНЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, elena.lapteva.60@mail.ru, degteva@ib.komisc.ru

<sup>3</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, tzengina@mail.ru

## ВОЗМОЖНОСТЬ РАСШИРЕНИЕ СЕТИ ФОНОВОГО ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ ЗА СЧЕТ УЧАСТКОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА

В последние десятилетия все острее встает проблема учета динамики мерзлотной компоненты геоосистем в условиях меняющегося климата, выявления «веса» зональных и региональных факторов, влияющих на геокриологические характеристики. При проведении инженерно-геологических изысканий на Севере неотъемлемой частью являются температурные геокриологические наблюдения, которые в дальнейшем в процессе ведения импактных мониторинговых наблюдений (мониторинг региональных и локальных антропогенных воздействий в особо опасных точках) объектов должны быть расширены. Результаты фонового геокриологического температурного мониторинга используются для правильной интерпретации, в частности, результатов импактных мониторинговых наблюдений. Рассмотрим представительность существующей в Большеземельской тундре (БЗТ) сети фонового геокриологического мониторинга и возможности ее совершенствования.

В природном отношении БЗТ представлена подзонами тундры, преимущественно южной кустарниковой, в меньшей степени – типичной, южной и северной лесотундрой и северной частью подзоны крайнесеверной тайги.

*Зона тундры (I)* занимает чуть более 40% описываемого региона. Подзоны *типичной* и *южной кустарниковой (гипоарктической)* тундр развиты неодинаково: южная кустарниковая тундра составляет более 75, типичная – менее 25% площади всей тундровой зоны. На севере тундра представлена *азональным приморским ландшафтом (A)*.

*Лесотундра* условно делится на подзоны *северной (II)* и *южной (III)* лесотундры. По площади они соизмеримы и занимают соответственно около 15 и 17% БЗТ.

Южный участок БЗТ приурочен к северной части подзоны *крайнесеверной тайги (IV)*. Он занимает около 26% всей территории. По долинам рек и ручьев повсеместно развит *интразональный ландшафт (И)*.

Территория БЗТ относится к области разной степени распространения многолетнемерзлых пород (ММП). В зональном аспекте выделяют северную криолитозону с преимущественным развитием ММП и южную – с преимущественно тальми породами. Условно можно считать, что геокриологическая зональность в пределах БЗТ соответствует зональным ландшафтам: зона/подзоны тундр и северной лесотундры совпадают с северной криолитозонной, отличающейся распространением соответственно сплошной (I) и прерывистой (II) мерзлоты. Подзоны южной лесотундры и северной части крайнесеверной тайги практически совпадают с южной криолитозонной, характеризующейся развитием соответственно массивно-островной (III) и островной (IV) мерзлоты [2, 3]. ММП отличаются относительно высокотемпературным режимом, неодинаковой и разнонаправленной реакцией на современный тренд потепления климата.

Существующая сеть геокриологических стационаров (9) в регионе недостаточна [6, 4], лишь немногие из них располагаются в ландшафтах зонального типа. Так, 4 стационара функционируют в подзоне I, два – в подзоне II (оба в Воркутинском районе, в условиях нарушенного экологического баланса и нетипичных природных показателей), один – в подзоне IV, по одному – в ландшафтах A и И.

Участки геокриологических стационаров не имеют официального статуса охраны, который необходим для их устойчивой работы. Работа по приданию охранного статуса подобным объектам трудоемка и в рамках законодательства, существующего в субъектах Российской Федерации, и не всегда возможна. Учитывая недостаточность сети геокриологических стационаров и их относительную представительность, одним из выходов может стать ее расширение за счет использования

для целей мониторинга участков с уже существующим статусом защиты, очаговое и линейное природопользование на которых законодательно ограничено. Это, прежде всего, территории *экологического каркаса*, под которым в большинстве случаев понимается система функционально и территориально связанных друг с другом особо охраняемых природных (ООПТ) и иных территорий, имеющих законодательно оформленные ограничения в землепользовании с целью сохранения биологического разнообразия [5].

Система ООПТ БЗТ, особенно имеющих региональный статус, формируется и действует под юрисдикцией двух субъектов федерации – Республики Коми (РК) и Ненецкого автономного округа (НАО) Архангельской области и регулируется соответствующим федеральным и региональным законодательством.

ООПТ, функционирующие в настоящее время в БЗТ, малочисленны. Из 36 резерватов 5 находятся на территории НАО и 31 – в границах северной части РК. Если не учитывать памятники природы, сеть ООПТ севера РК включает национальный парк «Югыд ва» (частично приурочен к криолитозоне), 18 природных заказников регионального подчинения (в том числе 3 комплексных, 9 болотных, 1 ихтиологический, 1 луговой, 2 ботанических, 1 лесной, 1 биологический). На территории НАО сеть ООПТ, приуроченных к региону БЗТ, включает 5 объектов (без памятников природы – 4), в том числе государственный природный заповедник «Ненецкий» (частично), 2 региональных природных комплексных заказника – «Нижнепечорский» и «Море-Ю», а также Историко-культурный и ландшафтный музей-заповедник «Пустозерск».

Большая часть ООПТ (17), находящихся под юрисдикцией РК, расположена в подзоне крайнесеверной тайги (распространение ММП островное – IV). Здесь ММП присутствуют только на участках выпуклых торфяников. Они встречаются в пределах трех заказников – ландшафтного «Усинский комплексный», болотных «Небеса-Нюр» и «Океан». Два заказника (лесной и луговой) приурочены к ландшафту И.

В подзоне южной лесотундры (распространение ММП массивно-островное – III) функционирует единственная ООПТ регионального (республиканского) подчинения – болотный заказник «Уса-Юньягинское». В северной лесотундре (распространение ММП прерывистое – II) ООПТ отсутствуют.

В зоне тундры (сплошное распространение ММП – I) представлен только один заказник – «Путаные озера». Он также приурочен к ландшафтам, облик которых определяют интразональные болотные геосистемы. Данный резерват находится в Воркутинском районе, для которого характерны несколько иные природно-климатические условия, чем для лесотундры региона в целом: большие континентальность и количество осадков, близость к Уральским горам, маломощный осадочный чехол и т.п. В настоящее время в Воркутинском районе допустимая антропогенная нагрузка в экотонной полосе «тундра–лесотундра» превышена, экосистемный баланс нарушен (локально), динамические изменения в природно-территориальных комплексах (ПТК), в том числе на мерзлых грунтах, нельзя считать только природно-обусловленными.

В НАО, с позиции мерзлотно-ландшафтной приуроченности, наиболее крупная ООПТ (заповедник) относится к азональному приморскому (сплошное развитие ММП) и интразональному (долина р. Печора – порядка 50% территории с ММП) ландшафтам, которые по определению не относятся к зональным типам, особенно с точки зрения мерзлотных характеристик.

В пределах зонального тундрового ландшафта (I) располагается только один заказник – «Море-Ю». Он приурочен к участку преимущественного распространения с поверхности песчаных грунтов, в то время как для территории в целом более характерны суглинки. Заказник «Нижнепечорский» расположен главным образом в долине р. Печора и лишь частично – на водораздельных участках с зональными ПТК. Территория музея-заповедника «Пустозерск» приурочена к северной лесотундре с прерывистым распространением ММП (II). Она занимает не совсем типичный участок с преобладанием болотных геосистем (в том числе с ММП). Однако здесь представлены и ПТК зонального типа.

В целом по региону зональная представленность ООПТ крайне неравнозначна (таблица 1). ПТК зонального типа охраняются только в одном комплексном заказнике (I).

Ниже приводится анализ возможности организации геокриологических стационаров с учетом мерзлотно-географических особенности на существующих и планируемых к созданию ООПТ.

*Приморский азональный ландшафт А.* Существует геокриологический стационар в буферной зоне Ненецкого природного заповедника. Целесообразно организовать мерзлотные стационарные исследования на ООПТ, планируемой к созданию в Хайпудырской губе (НАО) [1].

*Подзона I (тундра).* Возможна организация геокриологического стационара в пределах существующего комплексного заказника «Море-Ю» (НАО). С учетом того, что почвы и растительность резервата отличаются от зональных, целесообразно рассмотреть вариант организации геокриологического мониторинга на планируемой к созданию ООПТ в восточной части БЗТ (НАО) [1].

*Подзона II (северная лесотундра).* Необходимо проведение исследований на предмет целесообразности организации геокриологического стационара на территории историко-культурного и ландшафтного музея-заповедника «Пустозерск» (НАО). Следует также рассмотреть возможность организации заказника в Усинском или Интинском районах РК.

*Подзона III (южная лесотундра).* Следует рассмотреть вариант организации геокриологического мониторинга на участках развития как торфяников, так и тундровых ПТК (при наличии последних) в пределах болотного заказника «Уса-Юньягинский» (Интинский район РК).

*Подзона IV (крайнесеверная тайга).* В РК функционируют несколько региональных заказников, где сохраняются выпуклые торфяники. В качестве оптимального варианта может рассматриваться организация стационара в заказнике «Усинский комплексный».

*Интразональный ландшафт.* Возможна организация мониторинговых геокриологических исследований в рамках существующих в пределах НАО резерватов.

Зональная приуроченность ООПТ Большеземельской тундры  
(без учета памятников природы)

Тип ООПТ	Ландшафты незонального типа *	Природная зона, подзона			
		Тундра	Лесотундра		Тайга крайне-северная
			северная	южная	
		I**	II**	III**	IV**
Государственный природный заповедник	1 (А, И)				
Национальный парк					1
Государственный природный заказник:					
- комплексный	1 (И)	1		1	2
- болотный		1		1	7
- биологический					1
- ихтиологический					1
- лесной	1 (И)				
- ботанический					2
- луговой					1
Историко-культурный и ландшафтный музей-заповедник			1		
В том числе:					
- с участками развития ММП	2 (А, И)	2	1	1	3
- с зональными геосистемами на ММП	-	1	-	-	-

Примечание. \* ландшафты: А – азональные; И – интразональные;

\*\* зональное распространение ММП: I – сплошное; II – прерывистое; III – массивно-островное; IV – островное.

Таким образом, существующая в БЗТ сеть площадок фонового геоэкологического мониторинга не в полной мере обеспечивает информационную поддержку инженерно-геологических изысканий: системные наблюдения не ведутся в подзоне массивно островного распространения ММП, в подзоне прерывистого распространения они имеются для нетипичных условий. Кроме того, участки стационаров не обладают защитным статусом и могут быть переданы под строительство. Предлагается расширить сеть фонового геоэкологического мониторинга, используя участки экологического каркаса региона, преимущественно заказников регионального значения, в меньшей степени других резерватов. Уже существующая их система может служить базой для долговременных наблюдений: в программу научных исследований таких ООПТ следует включить изучение температурного режима ММП.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта ПРООН/ГЭФ/ЕС 00059042 «Укрепление системы особо охраняемых природных территорий Республики Коми в целях сохранения биоразнообразия первичных лесов в районе верховьев реки Печора» и проекта Президиума РАН (15.Арктика) №15-15-4-46 «Взаимосвязь биоразнообразия и биопродукционного потенциала наземных экосистем Европейской Арктики с особенностями формирования мерзлотных почв и динамическими аспектами их трансформации в современных условиях климата».*

### Список литературы

1. Медведева Г.Б. Ненецкий автономный округ – Арктика, доступная каждому! // Аналитический вестник, 2015. – № 13(566). – С.29-33.
2. Осадчая Г.Г. Сохранение территориального ресурса как одно из условий устойчивого развития криолитозоны (на примере Большеземельской тундры) / Криосфера Земли. – Том XIII. – № 4. – 2009. – С. 24-31.
3. Осадчая Г.Г., Тумель Н.В. Локальные ландшафты как индикаторы геоэкологической зональности (на примере Европейского Северо-Востока) / Криосфера Земли. – Том XVI. – № 3. – 2012. – С. 62-71.
4. Осадчая Г.Г., Тумель Н.В., Зенгина Т.Ю., Лантеева Е.М. Обзорная геоэкологическая карта Большеземельской тундры (Республика Коми и Ненецкий автономный округ) М 1:1000000 / Отчёт проекта ПРООН/ГЭФ/ЕС «Укрепление системы особо охраняемых природных территорий Республики Коми в целях сохранения биоразнообразия первичных лесов в районе верховьев р. Печора». – Сыктывкар, 2015. – 112 с. [<http://www.undp-komi.org/index.php>].
5. Соболев Н.А. Предложения к концепции охраны и использования природных территорий // Охрана дикой природы. – 1999. – № 3. – С. 20-24.
6. Oberman N. Contemporary Permafrost Degradation of Northern European Russia // Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost. University of Alaska Fairbanks June 29-July 3, 2008. Volume 2. – P.1305-1310.

Тумель Н.В., Зотова Л.И., Королева Н.А.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, ntumel@mail.ru, zotlar@mail.ru; nkor@mail.ru

## ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ТЕХНОГЕНЕЗА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В КРИОЛИТОЗОНЕ РОССИИ

Строительство в криолитозоне сопровождается активизацией опасных криогенных процессов, которые приводят к авариям инженерных сооружений. Сочетания основных опасных криогенных процессов объединены в 11 групп в соответствии с зональным и региональным разнообразием мерзлотных, инженерно-геологических, ландшафтных и климатических условий. Эти группы характеризуются разными сочетаниями восьми наиболее технологически опасными и типичными процессами: термокарста, термоэрозии, термоабразии, пучения, морозобойного растрескивания, солифлюкции, наледообразования, курумообразования. На равнинах и в долинах гор универсальными процессами являются термокарст и пучение. Геолого-геоморфологические условия, гидрогеология и климат горного востока криолитозоны предопределяют широкое развитие наледей. Жесткий континентальный климат является причиной активного морозобойного растрескивания в Восточной Сибири. На юге равнин запада криолитозоны резко сокращается разнообразие процессов, но не их угроза. В циркумполярном пространстве Арктики и Субарктики разнообразие, напряженность и техногенная опасность меняется с запада на восток в соответствии с зональными и секторными особенностями природного фона.

Распространение различных сочетаний криогенных процессов показано на карте (рис.1).

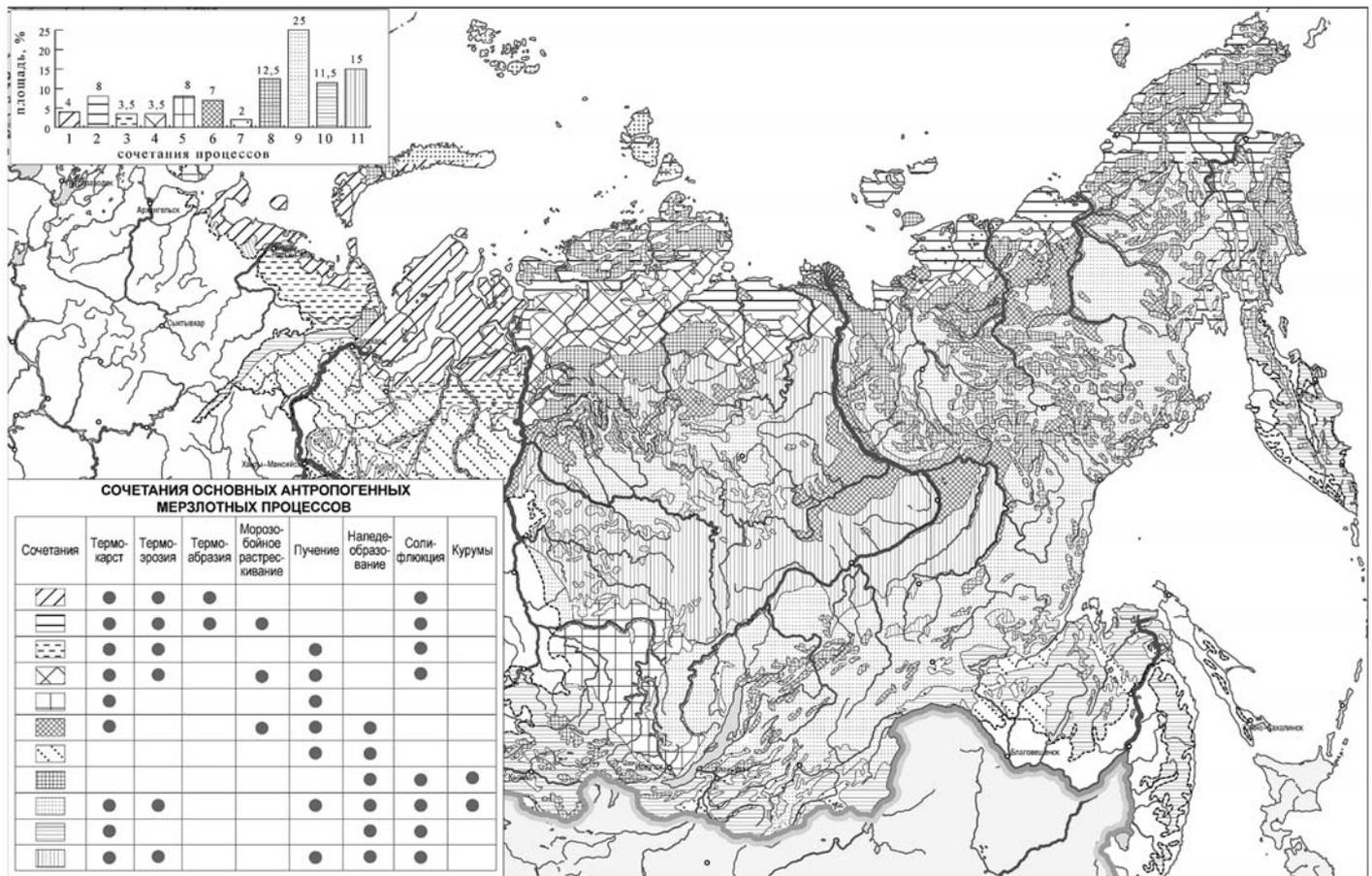


Рис.1. Сочетания основных антропогенных криогенных процессов

Первые шесть сочетаний объединяют процессы равнин, остальные – сочетания процессов гор, плоскогорий, предгорий, горных долин. Рассчитаны площади каждого из 11 сочетаний процессов. Они изменяются в больших пределах – от 25% до 4% от площади криолитозоны России. Это важный практический показатель, позволяющий оценить опасность строительства из-за активизации процессов. Весь спектр площадей можно разделить на три группы, включающие площади: более 25%, в пределах 10-15% и менее 10%.

Эти группы хорошо согласуются с опасностью последствий строительства и самими возможностями техногенного освоения. В каждую из групп входит существенно разное сочетание процессов.

На диаграмме (рис. 2) показано процентное соотношение трех групп сочетаний криогенных процессов. Наибольшее распространение (четверть криолитозоны) имеет сочетание горно-долинных процессов – термокарста, термоэрозии, пучения, наледообразования, солифлюкции, курумообразования, распространенных в горно-плоскогорном поясе Средней Сибири, даль-

невосточных, прибайкальских и забайкальских хребтов. Это соответствует тому, что горные страны занимают большую часть криолитозоны. Освоение этих территорий весьма локализовано, хотя проблем со строительством много, но встречаемость их относительно невелика.

Во вторую группу входят три группы процессов, которые занимают наибольшую часть криолитозоны – 39%. Это тоже горные страны, но разные по морфологии. Высокогорья и гольцы северных низкогорий, где склоновые процессы сочетаются с наледями долин. Освоение здесь незначительно, проблемы строительства единичны. Урал, горы юга и востока с более мягким климатом характеризуются долинным термокарстом, а в пределах склонов солифлюкцией и курумами. Эти районы исторически давнего освоения и, следовательно, связаны с проблемами строительства. Последний регион в этой группе это плоскогорная Средняя Сибирь с набором «плакорных» процессов – термокарста, пучения, наледообразования, а также солифлюкции. Более активное освоение региона актуализирует проблемы строительства. В целом, эта группа характеризуется разнообразием оценок строительной практики от отдельных редких проблем до весьма распространенных сложных условий освоения.

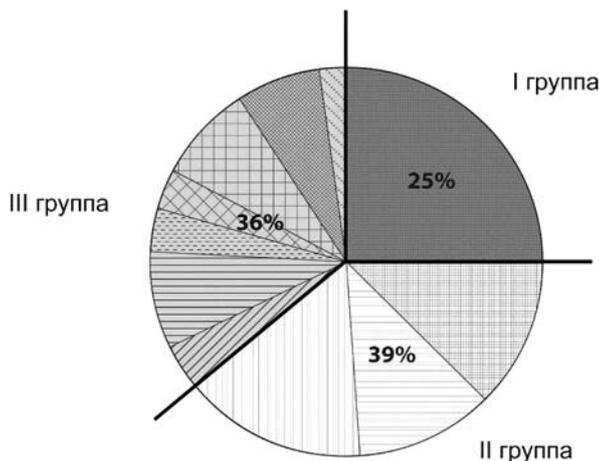


Рис. 2. Группы сочетаний криогенных процессов по степени опасности строительного освоения в криолитозоне РФ

В третью группу входят те комплексы, каждый из которых занимает менее 10%, но суммарная их площадь составляет 36% от территории российской криолитозоны. Она самая многочисленная по количеству входящих в нее сочетаний (номера с 1 по 7). Геоморфологически это равнины и горные впадины. Именно здесь идет активное освоение территории благодаря не только богатствам недр, но и относительно удобным условиям для освоения. Соответственно, и активизация криогенных процессов проявляется со всей полнотой. Они занимают наибольшие площади, их скорости велики, сочетания различны, разнообразны и угрозы инженерным сооружениям. В Западной Сибири и на Европейском Севере наиболее опасны термокарст, термоэрозия, термоабразия морского побережья. За Енисеем

и вплоть до Чукотки и Анадырской низменности к этим процессам присоединяется морозобойное растрескивание. К югу термоабразия «замещается» пучением. Эти аккумулятивные равнины с наиболее льдистым грунтовым основанием являются, как известно, самым сложным объектом для строительства. Высокие цокольные равнины, предгорья, межгорные впадины характеризуются различными сочетаниями термокарста, пучения, морозобойного растрескивания, наледообразования. В целом, это группа наиболее многообразных сочетаний и вторая по суммарной площади, занимающая лидирующее место по напряженности строительных проблем, хотя внутри нее тоже наблюдается известное разнообразие.

**Список литературы**

1. Геоэкология криолитозоны /Тумель Н.В., Зотова Л.И. Учебное пособие. – М.: Издательский дом Россельхозакадемии, 2014. – 244 с.
2. Тумель Н.В, Зотова Л.И. Отклик геосистем криолитозоны на антропогенез //Арктика, Субарктика: мозаичность, контрастность, вариативность криосферы: Труды международной конференции /Под ред. В.П. Мельникова и Д.С. Дроздова. – Тюмень: Изд-во Эпоха, 2015. С.379-382.
3. Тумель Н.В., Зотова Л.И., Гребенец В.И. Концепция устойчивости криогенных ландшафтов. Из: *Географические научные школы Московского университета*. Под ред. акад. Н.С. Касимова и др. М.: Издательский дом «Городец», 2008. С.139-144.
4. Экологический атлас России. 2002. Карта активизации мерзлотных процессов при механических воздействиях / Тумель Н.В., Востокова А.В., Королева Н.А. – СПб: Изд-во ЗАО «Карта», 2002. С. 50-54.

**Куваев В.А.**

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Levchik\_47@mail.ru

## ОПОЛЗНЕОБРАЗОВАНИЯ В КАРЬЕРАХ В МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ (НА ПРИМЕРЕ НАКЫНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АЛМАЗОВ)

Процессы оползнеобразования на открытых горных выработках в области развития многолетнемерзлых пород очень активны и опасны. Полученные на стадии проектирования расчетные данные по устойчивости склонов часто не подтверждаются натурными данными в ходе реализации проекта. Современных методик по данной тематике крайне мало. Эти процессы представляют огромную угрозу и их изучение необходимо для обеспечения безопасности проведения горных работ.

Условиями, благоприятными для развития деформаций, стали низкие прочности деформируемых пород, наличие в них линз льдов, относительно высокие температуры области деформации (до -5°С) и, как следствие, пластично-мерзлое состояние пород.

Развитие оползневых процессов в районах распространения многолетнемерзлых пород не типичное явление, однако, они могут развиваться в условиях определенного геологического строения и в виду хозяйственного освоения территории человеком, а именно выемке огромных котлованов, отсыпка прилегающей территории вскрышными породами, удаление почвено-растительного и снежного покровов.

В 1994-96 гг. были открыты алмазонасные трубки Ботуобинская и Нюрбинская Накынского кимберлитового поля. Необходимо отметить, что месторождения Накынского кимберлитового поля расположены в несколько иных геолого-тектонических условиях, чем месторождения Мало-Ботуобинского (трубки Мир, Юбилейная) и Далдыно-Алакитского (трубки Удачная, Зарница, Айхал) алмазных районов. Они в тектоническом плане, в основном, располагаются на более приподнятой части Сибирской платформы, представляющей область денудации, в отличие от месторождения Накынского кимберлитового поля, которое расположено на северо-западном склоне Вилюйской синеклизы, где наряду с денудацией увеличивается роль аккумуляции. Там, где преобладает аккумуляция, обычно развивается более мощная толща рыхлых четвертичных отложений и, как следствие, увеличивается мощность ледового комплекса и более активно развиваются криогенные процессы.

Кимберлитовые трубки и россыпь относятся к числу глубоко погребенных залежей, требуют капитальных затрат на вскрытие месторождения. Мощность перекрывающих отложений для трубки «Нюрбинская» составляет 57-61 м, «Ботуобинская» – 78-110 м, «Майская» – 68-85 м (рис.1) [1].

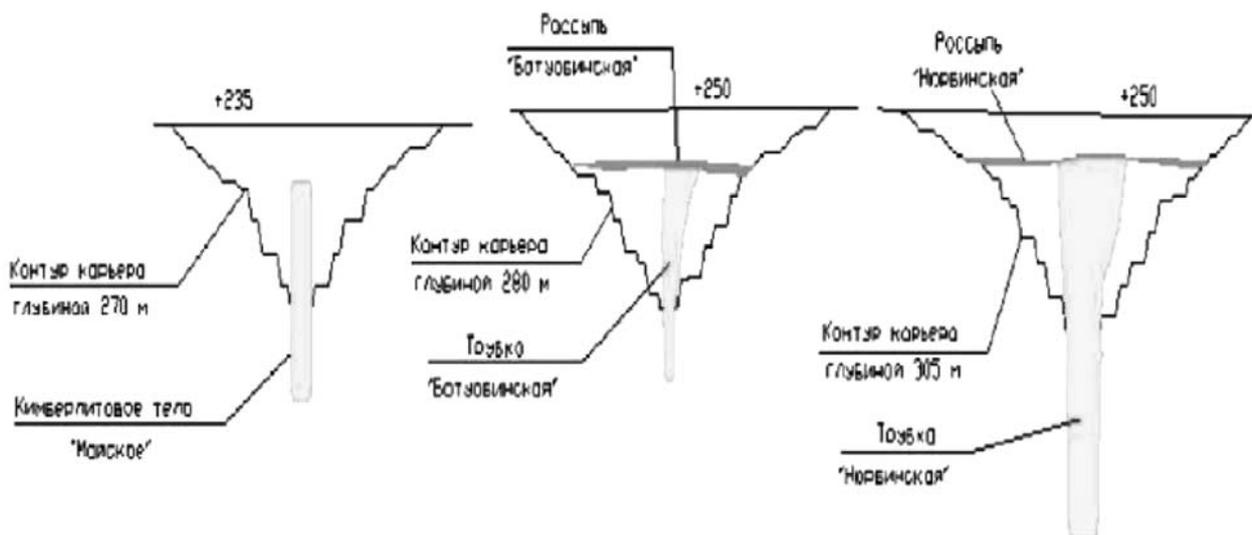


Рис.1. Схема перспективной отработки месторождения «Накынского» рудно-расыпного поля

Целью работы является: выявления возможных неоднородностей массива (увлажнение, обводненность, техногенные талики, внутренние деформации и т.д.).

Работа необходима для уточнения деформационного состояния прибортового массива карьера «Нюрбинский» в связи с высокими скоростями его смещений.

Наблюдения за устойчивостью бортов карьера начались с момента его заложения. Инструментальные маркшейдерские наблюдения за деформированием бортов карьера «Нюрбинский» проводились с декабря 2006 г. и ведутся по настоящее время.

На карьере в течение последних 7 лет наблюдаются смещения реперов по наблюдательным станциям, заложенным на поверхности в прибортовой зоне восточного, северного, западного и южного бортов карьера. За последние 2 года смещения на юго-восточном и северо-восточном бортах карьера приобрели угрожающее развитие.

Анализ результатов инструментальных наблюдений позволил выявить следующие основные закономерности.

1. Юго-восточный борт карьера деформируется со скоростями, заметно превышающими скорости деформирования других бортов карьера.

2. Деформации распространяются на значительное расстояние (200 м и более) от верхней бровки карьера. При этом дальние репера так же имеют значительные величины скоростей смещения (до 0,3 мм/сут).

3. После периода относительной стабилизации (2009 – 2010 гг.) в 2011 – 2014 гг. произошла активизация деформаций, и скорости смещения реперов на наблюдательной линии юго-восток увеличились до 0,3 – 0,5 мм/сут.

Пробурено 10 скважины глубиной 100 м (3 – для постановки радиоволнового просвечивания (вдоль линии заложения реперов), 7 – для определения физико-механических и химических свойств) и 10 – мерзлотных наблюдательных скважин по 12 м.

Зоны с крутопадающими трещинами мощностью до 0,5 см и более, развитые в юрских породах, представляют наибольшую опасность обрушения при оттайке и вскрытии бортами карьера. Присутствие таких зон установлено в месте, где зафиксирована максимальная скорость движения горных масс.

Льдистость пород (ледяные включения составляют 20 % объема породы) отмечается в верхней юрской части разреза, с увеличением глубины скважин уменьшается до 2% и практически минимальна.

По обследованному объекту построены графики изменения температур по глубине на все сроки наблюдений 2013-2014 гг., включая 2011 г.

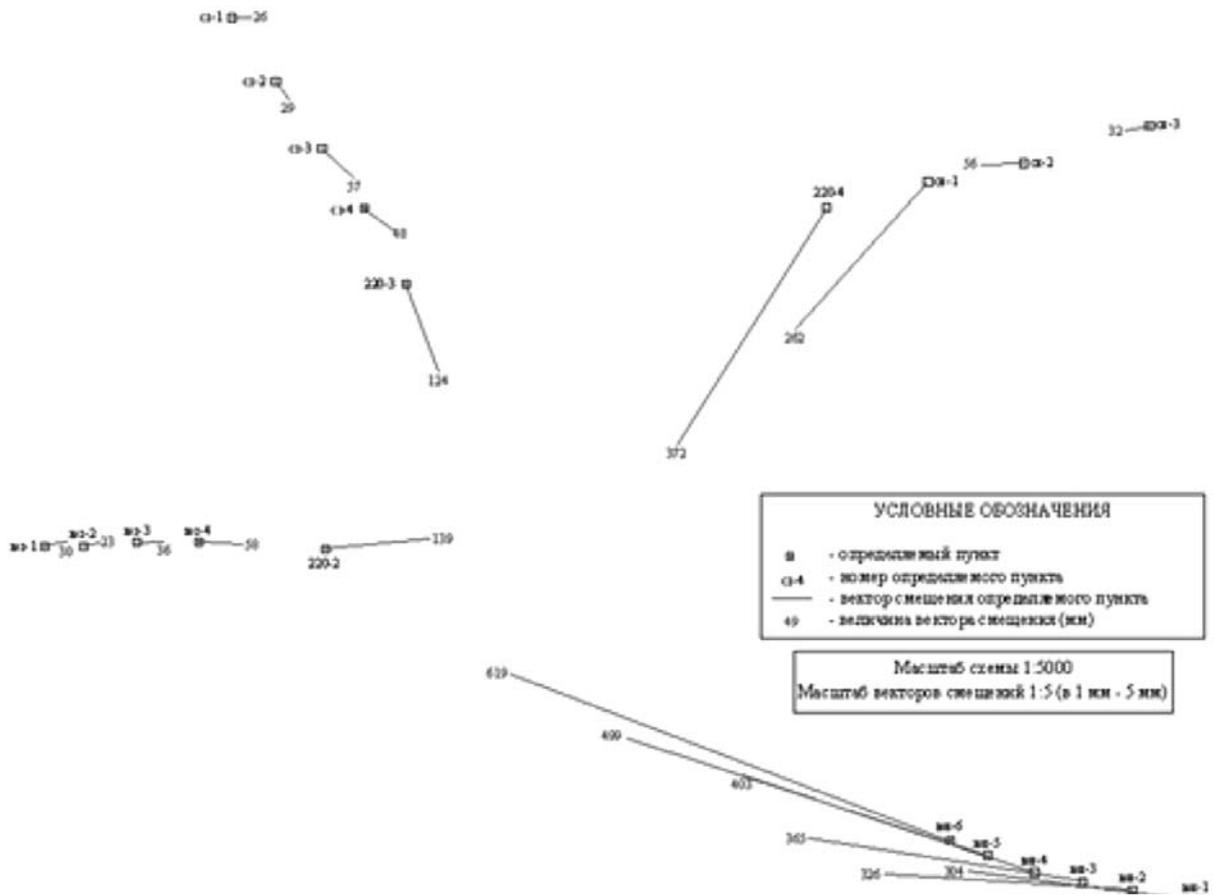


Рис.2. Схема векторов плановых смещений определяемых пунктов 1.03-1.06.2012 г.

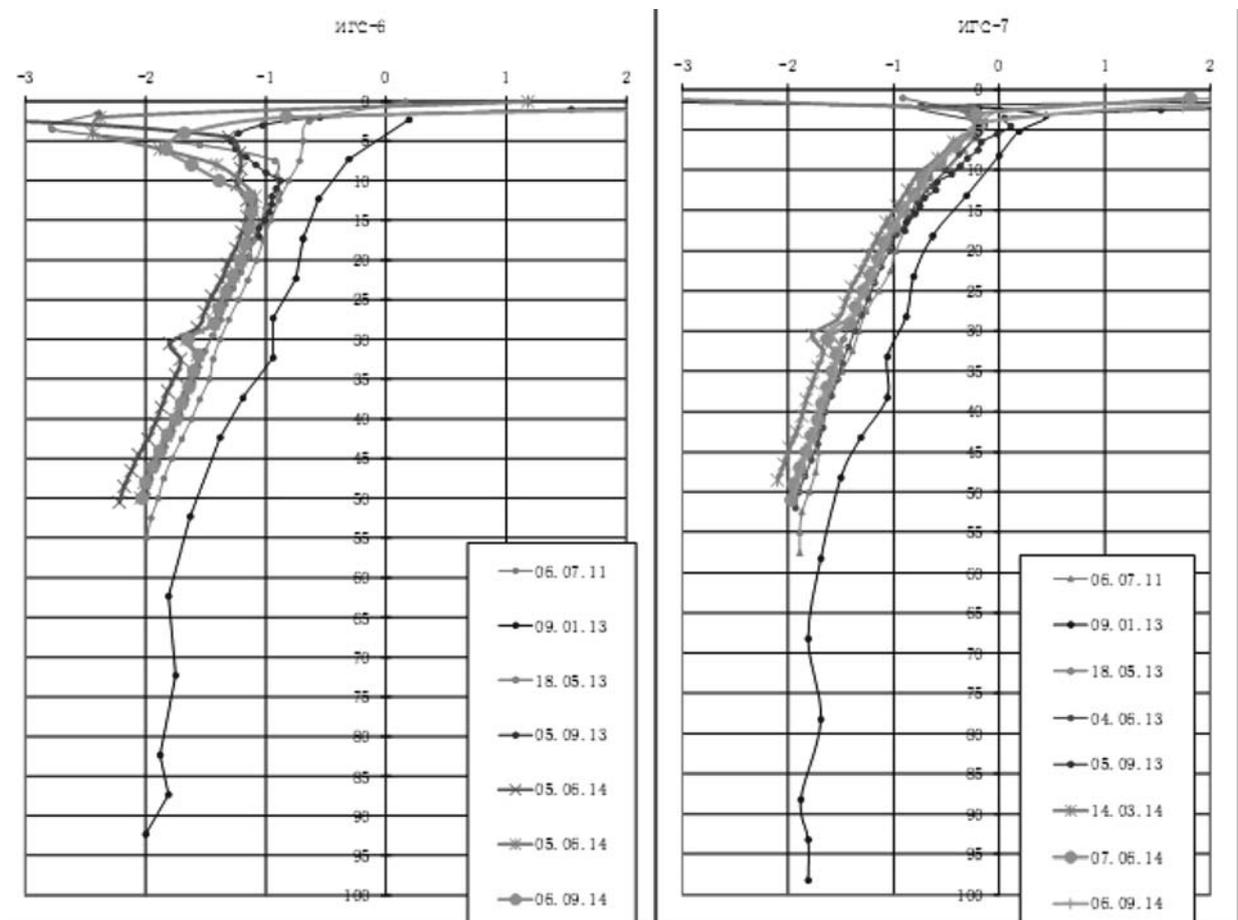


Рис.3. Графики изменения температуры грунтов по глубине

Основные физические характеристики грунтов

	Влажность, %	Плотность грунта $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность сухого грунта $\rho_d$ , г/см <sup>3</sup>	Плотность минеральных частиц $\rho_s$ , г/см <sup>3</sup>	Пористость, %
2007					
Min	1,9		1,86	1,74	6,4
Max	13,6		2,55	2,89	33,74
Среднее	5,85		2,01	2,73	26,7
2010 (ИГС 3)					
Min	2,67		1,9	2,71	27,4
Max	9,45		2,1	2,79	37
Среднее	6,62		1,97	2,76	33
2010 (ИГС 4)					
Min	2,59		1,78	2,7	27,4
Max	10,94		2,08	2,8	41,3
Среднее	5,27		1,95	2,74	32,8
2013					
Min	1,7	1,42	0,8	1,54	4,15
Max	77	2,58	2,54	2,65	61,54
Среднее	29,6	1,8	1,4	2,4	39,2

Исходя из данных, приведенных в таблице 1 и сравнивая показатели физических свойств их с полученными ранее показателями, можно сделать вывод, что идет процесс разуплотнения грунта и насыщения влагой: влажность грунтов относительно 2007 г. и 2010 г. повысилась в 5 раз, плотность сухого грунта понизилась с 2,0 до 1,4 г/см<sup>3</sup>, плотность минеральных частиц понизилась с 2,7 до 2,4, пористость повысилась до 39,2 %.

В северном участке исследуемой территории были вскрыты обводненные грунты, часто с включениями льда, кроме этого, на описываемом участке встречаются суффозионные воронки диаметром до 3 м, глубиной до 1 м.

В 10-20 м от уступа карьера находится водоотводная канава и небольшой водоем техногенных вод с явно соленым вкусом, с ярко выраженным зеленоватым оттенком, вокруг прослеживаются эрозионные борозды временных потоков воды, направленные в сторону водоема.

В непосредственной близости от линий юго-восточных и северо-восточных реперов смещения наблюдаются участки с активным проявлением заболачивания, при этом процесс заболачивания происходит не только за счет вод атмосферных осадков и временных потоков, но и технических минерализованных вод. Вследствие накопления этих вод в грунтах идут процессы перераспределения солей, изменение и без того нарушенного температурного режима. Эти факторы могут привести к увеличению границы протаивания, образованию надмерзлотного несквозного талика или криопэга, понижению температуры начала замерзания пород, интенсификации процесса деформаций.

## Выводы и заключение

Следует отметить, что для имеющихся условий карьеров алмазных месторождений в криолитозоне не существует разработанных и утвержденных типовых методик и регламентов опережающего прогноза и контроля устойчивости вмещающих пород под влиянием растущих отвалов и природно-техногенных воздействий на борта карьеров и вмещающих их пород.

Мерзлотная обстановка на участке исследований, по результатам скважинного термоконтроля, оценивается как удовлетворительная. Мощность ММП на основании слоя нулевых годовых амплитуд температуры для нарушенных ландшафтов доходит до глубины 20 м.

Рыхлые отложения в юго-восточном борту карьера являются более разрушенными, трещиноватыми, чем в других местах.

Вместе с тем, до настоящего времени нет аргументированных ответов на вопросы распределения деформаций по глубине, не локализована зона самого активного проявления деформаций.

Многokrратно повторяющиеся процессы замерзания-оттаивания приводят к изменению физико-механических свойств пород, что приводит к снижению прочностных характеристик, увеличивается пористость и проницаемость, а также уменьшается сцепление и угол внутреннего трения, по сравнению с этими характеристиками пород в мерзлом состоянии.

Таким образом, техногенное освоение, удаление растительного или напочвенного покровов, последствия взрывов в карьере трубки «Нюрбинская», распространение мелкодисперсных частиц с отвалов, насыпей, а также прокладки трубопроводов, дорог, промышленное и гражданское строительство, вызывают значительное загрязнение почвенного покрова и активизируют криогенные процессы [2].

Анализ материалов предыдущих исследований по данной проблематике показал, что основной причиной деформации, по мнению специалистов, является сам карьер. Эта крупная горная выработка, с высотой стенок около 100 м, обусловила резкое снижение горного давления в области прибортовых частей и, тем самым, привела к компенсационным движениям по тангенциальной составляющей массы мерзлых пород прибортовой зоны, перекрывающих рудное тело. Признано влияние отвалов

горных пород, создающих дополнительные нагрузки. Дополнительными, но пока не изученными факторами, которые могут оказать влияние на состояние устойчивости бортов карьера, являются изменение гидрогеологических условий и физико-механических свойств грунтов в пределах перекрывающей толщи пород за счет растепляющих факторов поверхностных водоемов, формирующихся в основании отвалов за счет инфильтрации атмосферных осадков, а также изменения температурного режима пород в районе хвостохранилища, расположенного в юго-восточном борту карьера.

Поиск ответов на эти вопросы, в особенности, связанные с локализацией пространственного (в плане и разрезе) положения деформационных зон, периодичности их проявления, связи их со строением верхней части криолитозоны, литологическим и солевым составом техногенно деформируемых грунтов и ледяных включений, температурами верхней части криолитозоны и наличием воды в жидкой фазе, представляет собой круг задач ближайшего времени. Требуется система наблюдений, которые должны проводиться в постоянном мониторинговом режиме.

#### Список литературы

1. Таланкин А.Г. Специфика геомеханических процессов при отработке карьера «Нюрбинский» АК «Алроса». //Маркшейдерский вестник. – 2008г. – №5. С. 25-28.
2. Дзягилева А.Г., Легостаева Я.Б. Влияние техногенеза на экологическое состояние мерзлых почв (на примере Нюрбинского горно-обогатительного комбината) // ВЕСТНИК СВФУ, 2013, том 10, № 2 с. 79-84.

Баду Ю.Б.<sup>1</sup>, Подборный Е.Е.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, yubadu@mail.ru

<sup>2</sup>ООО «Центр гидроэкологических исследований», Санкт-Петербург, epodbornyy@yandex.ru

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЬДИСТОСТИ ПОРОД КРИОГЕННОЙ ТОЛЩИ ЯМАЛА ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты инженерно-геокриологических исследований показывают, что криогенная толща газоносных структур (ГС) Ямала осложнена широким распространением льдистых засоленных мерзлых грунтов, нередко содержащих линзы криопэггов.

Льдистость – основная криолитологическая характеристика мерзлой породы, и процесс ее формирования в синкриогенной толще отложений северного Ямала тесно связан с особенностями литолого-фациальных условий осадконакопления в морской среде. Эта связь прослеживается в изменчивости минерализации поровой влаги, насыщавшей тонкодисперсный грунт перед промерзанием.

Несмотря на то, что при промерзании поровая влага перераспределяется на шлиры сегрегационного льда и лед-цемент минеральных прослоев и происходят криогенные изменения ее концентрации и химического состава, в монолите опробованного образца грунта суммарная величина минерализации поровой влаги будет соответствовать солености морской воды, в которой накапливался этот грунт.

Общий характер изменения минерализации поровой влаги показывает, что мерзлая толща северного Ямала формировалась в литолого-фациальных обстановках открытого морского бассейна (Харасавэйский район), залива-лагуны (Бованенковский район) и эстуария Обской губы (Южно-Тамбейский район).

Синкриогенная пачка мерзлой толщи сложена глинистыми и пылеватыми отложениями позднего плейстоцена, которые при промерзании насыщались морской водой, соленость которой существенно менялась по мере обмеления акватории Карского моря.

Эпикриогенная пачка мерзлой толщи сложена тонкодисперсными отложениями раннего и среднего плейстоцена, которые до промерзания были пропитаны морской водой с соленостью, соизмеримой с соленостью воды современного Карского моря.

Присутствие солей в поровой влаге грунтов существенно влияет на температуру замерзания и фазовый состав влаги и, как следствие, на механические свойства мерзлых пород. Это положение привело к усовершенствованию отдельных методов обработки лабораторных и камеральных исследований.

Температура начала замерзания грунта  $T_{bf}$  характеризует начало кристаллизации поровой влаги при переходе грунта из талого в мерзлое состояние. Она зависит от ряда физических характеристик грунта, среди которых основными являются его гранулометрический состав, влажность и содержание в поровой влаге растворённых солей.

Строительные правила СП 25.13330.2012 температуру начала замерзания незасоленных, засоленных и заторфованных грунтов требуют определять опытным путем, а для расчета оснований сооружений II и III уровней ответственности, возводимых с сохранением мерзлого состояния грунтов, а также для выполнения предварительных расчетов оснований и привязки типовых проектов к местным условиям, расчетные значения температуры начала замерзания незасоленных и засоленных грунтов допускается принимать в зависимости от вида грунта и концентрации порового раствора  $C_{ps}$  по формуле квадратного уравнения, полученной путем обработки опубликованных экспериментальных данных [5]:

$$T_{bf} = A - B(53C_{ps} + 40C_{ps}^2), (1)$$

где  $A$  – коэффициент, характеризующий температуру начала замерзания незасоленного грунта (табл. 1 ):

Таблица 1

Грунты	A, °C
Пески разных фракций	-0,10
Супеси и пылеватые пески	-0,15
Суглинок	-0,20
Глины	-0,25

V – коэффициент, зависящий от типа засоления грунта; V = 0 для незасоленных грунтов; V = 1 для грунтов морского типа засоления; V = 0,85 для грунтов с континентальным типом засоления;

$C_{ps}$  – концентрация ионного состава порового раствора.

Ранее по СНиП 2.02.04-88 для предварительных расчетов мерзлых оснований значение  $T_{bf}$  допускалось принимать по табл. 2 в зависимости от вида грунта и концентрации порового раствора.

Таблица 2

**Температура начала замерзания грунтов по СНиП 2.02.04-88**

Грунты	Температура начала замерзания грунта $T_{bf}$ , °C, при концентрации порового раствора $C_{ps}$ , д.е.					
	0,00	0,005	0,01	0,02	0,03	0,04
Песчаные	0,0	-0,60	-0,80	-1,60	-2,20	-2,80
Супеси	-0,10	-0,60	-0,90	-1,70	-2,30	-2,90
Суглинки и глины	-0,20	-0,60	-1,10	-1,80	-2,50	-3,20

Оценка расчетов температуры начала замерзания грунтов с морским типом засоления по линейной корреляции между лабораторными определениями  $T_{bf}$  и  $C_{ps}$  и расчетами по строительным нормам и правилам показывает, что наиболее приемлемым является вариант расчетов по СНиП 2.02.04-88, в котором коэффициент корреляции между расчетными значениями  $T_{bf}$  и  $C_{ps}$  равен 1. Менее приемлемым оказался расчет по СП 25.13330.2012, в котором коэффициент корреляции между расчетными значениями  $T_{bf}$  и  $C_{ps}$  равен 0,6.

Уравнение линейной корреляции между лабораторными определениями температуры начала замерзания грунтов с морским типом засоления и концентрацией порового раствора по СНиП 2.02.04-88 имеет вид:

$$T_{bf} = -75,9 C_{ps} - 0,15 \quad (2)$$

В данной формуле выделение разновидностей грунтов (песок, супесь, суглинок, глина) не приводит к повышению сходимости расчетных и лабораторных определений  $T_{bf}$ . Поэтому уравнение (2) взаимосвязи  $T_{bf}$  и  $C_{ps}$  может быть рекомендовано для предварительных инженерных расчетов оснований на многолетнемерзлых грунтах с морским типом засоления.

Наиболее сложным является выделение разновидностей грунтов по температурно-прочностным свойствам, когда температура пород криогенной толщи изменяется по разрезу в диапазоне от -2,5 до -7,0°C, а степень засоленности грунтов изменяется от 0,11 до 1,15%. При этом объемное содержание солей в 1л поровой воды изменяется от 2,5 до 159-160 г/л. Нередки случаи, когда при таких температурах грунт с высокой влажностью и минерализацией порового раствора выше, чем в морской воде, испытал начальное охлаждение и сегрегационное льдовыделение, но еще не промерз до состояния более или менее полной цементации пор грунта льдом-цементом. В такой ситуации определить температурно-прочностное состояние грунтов возможно только при определении температуры замерзания порового раствора с определенной концентрацией солей.

Считается, что при морском типе засоления грунты находятся в пластичномерзлом или даже охлажденном состоянии [1]. Пластичномерзлый грунт сцементирован льдом, но обладает сжимаемостью и вязкими свойствами, реологические процессы в которых проявляются в виде ползучести, релаксации напряжений и снижения прочности при длительном воздействии нагрузок [2].

Содержание солей в мерзлом грунте определяет их состояние по температурно-прочностным свойствам. Из практики оценки сжимаемости пластичномерзлых грунтов известно, что температурные границы, разделяющие твердомерзлое и пластичномерзлое состояния различных грунтов не соответствует аналогичному разделению по коэффициенту сжимаемости [4].

Поэтому рекомендуется расчленять разрез засоленной мерзлой толщи по температурно-прочностным свойствам путем сопоставления лабораторных исследований физических параметров пород (влажность, плотность, засоленность, температура начала замерзания поровых вод, температура ММП) с расчетами температуры замерзания растворов различного солевого состава.

В криогенном состоянии грунтового разреза перераспределение солей определяется значениями температур начала замерзания ( $T$  before freezing) поровых вод и температур окончания замерзания ( $T$  after freezing) соленых поровых вод. Температура начала замерзания  $T_{bf}$  фиксирует начало льдовыделения в засоленном грунте и перехода его из охлажденного в пластично-

мерзлое состояние при замерзании свободной и рыхлосвязанной воды в порах грунта. Температура окончания замерзания ( $T_{af}$ ) поровой влаги фиксирует максимально возможное сегрегационное и цементационное льдовыделение в грунте, т.е. фиксирует переход грунта из пластичномерзлого в твердомерзлое состояние в результате замерзания свободной и рыхлосвязанной воды. Результаты геокриологических исследований показывают, что даже при значениях температуры ММП до  $-7^{\circ}\text{C}$  на побережье Обской губы встречаются засоленные грунты в пластичномерзлом состоянии.

Кроме рассмотренных выше вопросов определения температурно-прочностного состояния по физическим характеристикам грунтов и температурам в разрезе криогенной толщи в сравнении с температурами начала и окончания замерзания засоленных грунтов, минерализация поровой влаги является показателем среды седиментации морских глинистых пород, испытавших при промерзании сегрегационное и цементационное льдовыделение.

Вопрос о прямом соответствии величин минерализации порового раствора промерзавшей породы и солёности морской воды, в которой формировалась эта порода, остается открытым. Полученные по основным геологическим комплексам отложений значения нередко существенно ниже общеизвестных величин солёности морской воды (35 г/л), но не измеренных в водах плейстоценовых трансгрессий. В то же время существуют данные о различных сезонных и региональных изменениях солёности вод Карского моря и других акваторий Северного Ледовитого океана.

Величина минерализации поровой влаги существенно изменяется в отложениях позднплейстоценовых генетических комплексов, что указывает на различия в фациальных условиях осадконакопления и в степени проявления криогенного метаморфизма морской воды при ее замерзании в породах.

Солёность морской воды, сравниваемая с минерализацией поровой влаги в отложениях открытого морского бассейна ранне- и среднплейстоценового времени, была близка к современной, особенно в период его максимального распространения, но в течение позднего плейстоцена она резко уменьшилась. Очевидно, что распреснение морской воды происходит в деятельном слое накапливавшейся синкриогенной пачки пород, в котором низкотемпературные градиенты многократного промерзания-протаивания действуют до тех пор, пока непротаявшая часть деятельного слоя не перейдет в многолетнемерзлое состояние. В протаявшем деятельном слое осадки накапливаются летом в опресненной морской воде, и поровый раствор до начала криогенных преобразований разбавляется еще атмосферными и талыми водами весьма продолжительное время, сравнимое с продолжительностью накопления отложений.

В ряде работ [6-13] было показано, что комплекс лагунно-морских отложений, залегающий на морских среднплейстоценовых отложениях, накапливался в эстуарии пресноводной Обской губы. Мерзлая толща здесь накапливалась в условиях обычного аллювиального синкриолитогеоза, характерного для крупных речных долин севера Западной Сибири. Но существующие данные о проникновении криогенного галоклина (из отрицательно-температурной морской воды повышенной солёности) в устьевую часть эстуария современной Оби показывают, что современные осадки этой части акватории накапливаются в водах этого криогалоклина. При высокой минерализации поровых вод широко распространенные переохлажденные отрицательно-температурные породы промерзают при более низких температурах, оказываясь на мелководьях. Предполагается, что это происходило в голоцене и в течение всего позднего плейстоцена.

Так при интерпретации материалов геокриологических исследований было установлено, что мощность криогенной толщи в западной и восточной частях северного Ямала непосредственно связана с морским или лагунно-морским (эстуарным) характером осадконакопления и, соответственно, с региональной изменчивостью засоления пород в отдельные эпохи плейстоцена, с условиями промерзания глубоководных и прибрежных осадков регрессировавшего морского бассейна, обмелевавшего залива-лагуны и эстуария, в которых формировалась син- и эпикриогенная пачки мерзлого яруса криогенной толщи.

## Список литературы

1. Аксенов В.И. Засоленные мерзлые грунты Арктического побережья как основания сооружений. М.; Изд-во «Все о мире строительства», 2008. 340 с.
2. Вялов С.С. Реология мерзлых грунтов – М.: Стройиздат, 2000. 464 с.
3. Рекомендации по определению прочности мерзлых грунтов с морским типом засоления. ФГУП ПНИИИС Гостроя России, М., 2001.
4. Веретехина Э.Г. Закономерности формирования деформационных свойств пластично-мерзлых грунтов в условиях повышения температуры и увеличения солёности. Автореф. дисс. на соискание уч. степени к.г.н. М., МГУ, 2002.
5. Комаров И.А., Волков Н.Г. Методика прогноза температурного режима и водно-ионного состава засоленных пород и криогэзов/ Проблемы строительства на засоленных грунтах: Сборник научных трудов – Изд. «Эпоха», 2007. с.146-183.
6. Баду Ю.Б. Криоаномалии в мерзлых толщах газоносных структур севера Западной Сибири // Сб. науч. тр. ООО «ТюменНИИгипрогаз». Тюмень, Флат, 2011а, с. 27–30.
7. Баду Ю.Б. Геологическое строение криогенной толщи севера Западной Сибири // Инж. геология, 2011б, № 1. С. 40–56.
8. Баду Ю.Б. Криогенная толща газоносных структур севера Западной Сибири – взгляд из будущего // X Междунар. конф. по мерзлотоведению (TICOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире. Тюмень, Печатник, 2012, т. 3, с. 25–30.
9. Баду Ю.Б. Региональная корреляция четвертичных отложений // Криосфера нефтегазоконденсатных месторождений полуострова Ямал: В 3 т. Т. 2. Криосфера Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения. М., ООО «Газпром экспо», 2013, с. 122–146.
10. Баду Ю.Б. Влияние газоносных структур на мощность криогенной толщи Ямала // Криосфера Земли, 2014, т. XVIII, № 3, с. 11–22.
11. Баду Ю.Б. Льдистость пород криогенной толщи газоносных структур северного Ямала // Криосфера Земли, 2015, т. XIX, № 3, с. 10–19.
12. Баду Ю.Б., Подборный Е.Е. Засоленность грунтов // Криосфера нефтегазоконденсатных месторождений полуострова Ямал. В 3 т. Т. 2. Криосфера Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения. М., ООО «Газпром экспо», 2013, с. 326–337.
13. Баду Ю.Б., Подборный Е.Е. Особенности криосферы Бованенковского НКМ // Криосфера нефтегазоконденсатных месторождений полуострова Ямал. В 3 т. Т. 2. Криосфера Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения. М., ООО «Газпром экспо», 2013, с. 391–411.

Осокин А.Б.

ООО «Газпром добыча Надым», Надым

## ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ П-ОВА ЯМАЛ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЕ ОБЪЕКТОВ ОБУСТРОЙСТВА

Бованенковское, а вслед за ним Харасавэйское и Крузенштернское месторождения становятся в среднесрочной перспективе крупнейшим центром добычи газа и газового конденсата на полуострове Ямал.

Предотвращение воздействия на объекты обустройства месторождений опасных экзогенных мерзлотно-геологических процессов, имеющих широкое распространение на территории полуострова – одна из задач обеспечения безопасной и надежной их эксплуатации. Недоучет данного фактора при проведении инженерных изысканий и проектирования объектов обустройства Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения привел к возникновению серьезных рисков для безаварийной эксплуатации опасных производственных объектов. Благодаря наличию эффективной системы геотехнического контроля на объектах ООО «Газпром добыча Надым» в период строительства и эксплуатации объектов возникшие риски своевременно выявлены, разработаны и реализуются мероприятия по инженерной защите объектов.

Выполнены оценки масштаба пораженности территорий Бованенковского и Харасавэйского месторождений опасными экзогенными мерзлотно-геологическими процессами. Освещены вопросы использования результатов аэрофото- и космической съемки для проведения мониторинга развития опасных экзогенных процессов территории месторождений. Предложены методики оценки интенсивности опасных экзогенных процессов и оценки рисков для использования при проведении инженерных изысканий на рассматриваемой территории. Проанализированы недостатки в имеющейся нормативно-методической базе, регламентирующей проведение инженерно-геологических изысканий в части исследования динамики опасных экзогенных процессов.

Вахрин И.С.

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, Kloydspir@rambler.ru

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОТТАИВАЮЩИХ ГРУНТОВ

Рассмотрена методика деформационных характеристик оттаивающих песчаных грунтов на типовых установках компрессионного сжатия ГТ 2.0.5. В результате исследования установлены закономерности изменения коэффициента оттаивания и сжимаемости при оттаивании песчаных грунтов от показателей физических свойств. Выполнено сравнение результатов расчетных деформационных характеристик оттаивающих песчаных грунтов с экспериментальными данными по регрессионным уравнениям.

### Введение

Исследование осадок мерзлых грунтов при оттаивании начато еще в 1933 г., этот способ давал возможность определять общую осадку уплотнения оттаивающих грунтов, не разделяя ее на составляющие [5].

В 1939 г. Г.И. Лапкин предложил разделять осадку мерзлых грунтов при оттаивании на две составляющие: «условную осадку оттаивания» (которая включает в себя осадку не только оттаивания, но и постоянную при данном давлении – часть осадки обжатия) и «переменную осадку обжатия», принимаемую пропорциональной увеличению давления сверх того, при котором испытывался мерзлый грунт [3]. Аналогичный подход принят Н.А. Цытовичем [6].

При проектировании фундаментов и оснований на оттаивающих грунтах, расчеты осадок должны выполняться на основе экспериментально определенных деформационных характеристик. Приняты две основные характеристики деформационных свойств оттаивающих грунтов:

- коэффициент оттаивания  $A_{th}$  равный относительной осадке при оттаивании без внешней нагрузки.
- коэффициент сжимаемости при оттаивании  $m$ , МПа-1 равный отношению приращения относительной деформации к приращению напряжения от внешней нагрузки [4].

На результат определения характеристик грунтов влияют множество факторов. Поэтому, основной целью исследования заключается в установлении закономерности изменения деформационных характеристик оттаивающих песчаных грунтов от показателей физических свойств, а также обобщение их для конкретных региональных условий и получение прогнозных уравнений.

**Методика определений показателей деформационных характеристик оттаивающих грунтов**

Экспериментальные исследования проводились на измерительно-вычислительном комплексе «АСИС», разработанном научно-производственным предприятием «ГЕОТЕК» в г. Пенза в соответствии с требованиями нормативных документов и методами определения механических свойств мерзлых грунтов [1].

Образцы мерзлого грунта вырезались из монолита по форме рабочего кольца прибора высотой 25 мм и диаметром 87 мм при температуре минус 6<sup>0</sup>С, а затем помещались в рабочее кольцо. Далее образцы помещались в рабочую камеру холодильной установки и выдерживались в течение 12 часов при заданной температуре испытаний, после этого образцы загружались в установку компрессионного сжатия ГТ 2.0.5. Для испытаний использовались образцы мерзлого грунта ненарушенного сложения с природной влажностью.

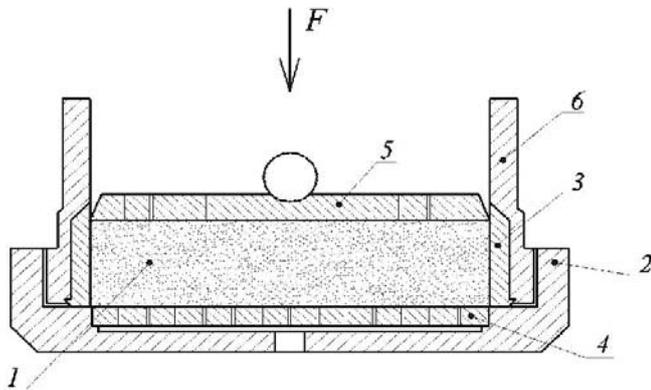
Характеристики деформируемости коэффициента оттаивания  $A_{th}$  и сжимаемости при оттаивании  $m$ ,  $МПа^{-1}$  определялись по результатам исследования образцов грунта в компрессионном приборе ГТ 2.0.5 (одометрах), исключающих возможность бокового расширения образца при его нагружении вертикальной нагрузкой в мерзлом и оттаянном состоянии.

Нагрузка при испытаниях определялась из условия, что на первой ступени нагружения давление должно быть равно напряжению от собственного веса грунта на глубине отбора образца.

В состав установки для испытаний грунта методом компрессионного сжатия входят:

- компрессионный прибор (одометр);
- механизм вертикального нагружения образца грунта;
- устройства измерения вертикальных деформаций образца грунта.

Схема прибора для испытаний на компрессию при оттаивании приведена на (рис. 1).

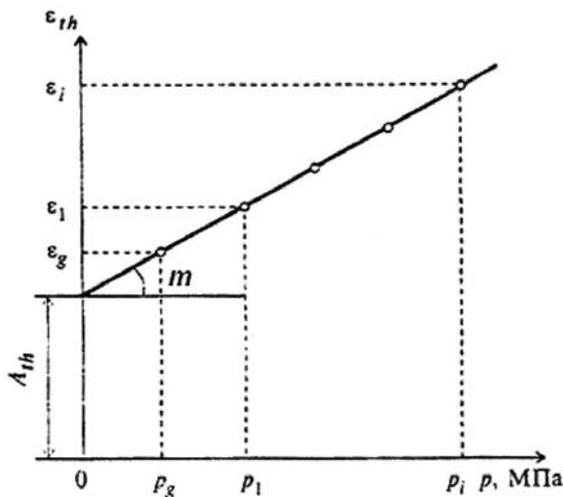


**Рис. 1.** 1 – образец грунта; 2 – поддон корпуса; 3 – рабочее кольцо; 4 – перфорированный нижний штамп; 5 – перфорированный верхний штамп; 6 – корпус; F – нагрузка

При испытаниях для определения значений коэффициента оттаивания  $A_{th}$  и сжимаемости при оттаивании  $m$ ,  $МПа^{-1}$  после условной стабилизации деформации на первой ступени нагружения мерзлого образца проводят оттаивание образца, повышая температуру воздуха в помещении для испытаний и фиксируют при этом деформации образца также до достижения условной стабилизации деформации.

Далее продолжают испытание грунта в оттаявшем состоянии. Приращение давления при этом на последующих ступенях принимают 0,05 МПа для глинистых грунтов и 0,075 МПа – для песков, при этом давление на грунт не должно превышать 0,3 МПа – для глинистых грунтов и 0,5 МПа – для песков.

Коэффициенты оттаивания  $A_{th}$  и сжимаемости при оттаивании  $m$ ,  $МПа^{-1}$  мерзлого грунта определяют по прямой наилучшего приближения к экспериментальным точкам, построенной графически или методом наименьших квадратов, как отрезок, отсекаемый этой прямой на оси  $\epsilon_{th}$  и как тангенс угла ее наклона к оси  $p$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Графическое оформление результатов испытаний

**Результаты экспериментов**

В лабораторных условиях были проведены экспериментальные исследования грунта с сингенетическим типом криогенного сложения. В таблице 1 и 2 приведён гранулометрический состав и физико-механические характеристики мерзлых песчаных грунтов.

Для определения коэффициента оттаивания  $A_{th}$  и сжимаемости при оттаивании  $m$ ,  $МПа^{-1}$  было проведено 9 испытаний песчаных грунтов. Испытания проводились при заданной отрицательной температуре от минуса 0,5 до минуса 2<sup>0</sup>С. Экспериментальные исследования проводились, согласно требованиям к лабораторным определениям характеристик прочности и деформируемости грунтов межгосударственного стандарта ГОСТ12248-2010 [1] на образцах мерзлых грунтов с массивной криогенной текстурой.

Результаты статистической обработки физико-механических характеристик мерзлых песчаных грунтов [2] представлены в таблице 3.

Зависимости деформационных характеристик оттаивающих песчаных грунтов от различной суммарной влажности и плотности мерзлого грунта представлены на рисунках 3 и 4. Как видно из таблицы 4, коэффициент корреляции составляет более 80%. В связи с этим применен линейный регрессионный анализ.

Таблица 1

**Гранулометрический состав грунтов**

№ п/п	Глубина отбора, м.	Гранулометрический состав %, размер частиц в мм.										Классификация грунта по ГОСТ 25100-2011
		10,0 – 5,0	5,0 – 2,0	2,0 – 1,0	1,0 – 0,5	0,5 – 0,25	0,25 – 0,1	0,1 – 0,05	0,05 – 0,01	0,01 – 0,005	< 0,005	
1	5,3-5,7		0,1	0,5	6,6	55,3	32,4	5,1			Песок средней крупности	
2	4,5-6,0				5,2	30,3	63,0	1,5			Песок мелкий	
3	7,3-10,5				5,8	18,8	60,6	14,8			Песок мелкий	
4	7,3-7,5			0,6	15,0	16,8	51,2	16,4			Песок мелкий	
5	5,0-5,2				1,8	28,2	63,8	6,2			Песок мелкий	
6	2,5-6,7				7,2	25,4	52,6	14,8			Песок мелкий	
7	14,5-14,7			0,6	15,2	60,5	18,6	5,1			Песок средней крупности	
8	14,0-16,2	2,9	5,3	12,5	24,4	33,6	17,4	3,9			Песок средней крупности	
9	3,8-9,2			0,5	12,1	44,7	38,4	4,3			Песок средней крупности	

Таблица 2

**Физико-механические характеристики мерзлых песчаных грунтов**

Параметры	Суммарная влажность $w_{\text{тоб}}$ , д. е.	Плотность $\rho_f$ , г/см <sup>3</sup>	Коэффициент оттаивания $A_{th}$	Коэффициент сжимаемости при оттаивания $m$ , МПа <sup>-1</sup>
Минимальное значение	0,132	1,87	0,0031	0,0540
Максимальное значение	0,282	2,16	0,0117	0,1086

Таблица 3

**Результаты статистической обработки**

Параметры	Суммарная влажность $w_{\text{тоб}}$ , д. е.	Плотность $\rho_f$ , г/см <sup>3</sup>	Коэффициент оттаивания $A_{th}$	Коэффициент сжимаемости при оттаивания $m$ , МПа <sup>-1</sup>
Среднеарифметическое значение	0,185000	2,040000	0,005900	0,066588
Среднеквадратичное отклонение	0,040800	0,077700	0,002400	0,015100
Дисперсия	0,001665	0,006040	0,000006	0,000229
Коэффициент вариации	0,221000	0,038000	0,407000	0,227000

Таблица 4

**Коэффициент корреляции**

Физические свойства грунта	Коэффициент корреляции, д.е.	
	Коэффициент оттаивания $A_{th}$	Коэффициент сжимаемости при оттаивания $m$ , МПа <sup>-1</sup>
Суммарная влажность $w_{\text{тоб}}$ , д. е.	0,940	0,920
Плотность $\rho_f$ , г/см <sup>3</sup>	0,870	0,861

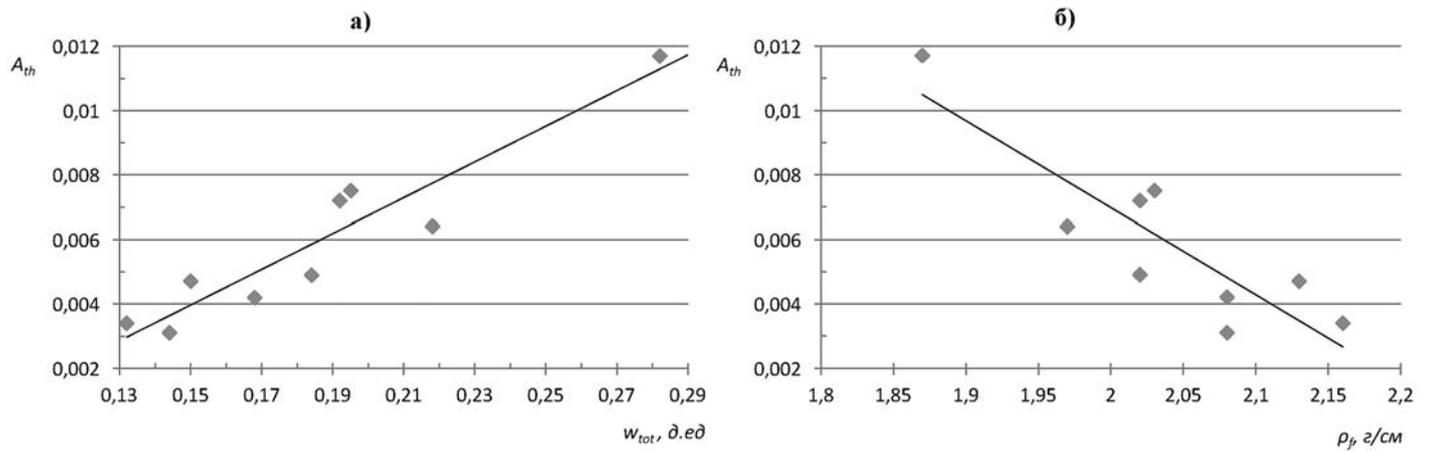


Рис.3. Зависимости коэффициента оттаивания  $A_{th}$  песка от: а) различной суммарной влажности  $w_{tot}$ ; б) плотности мерзлого грунта

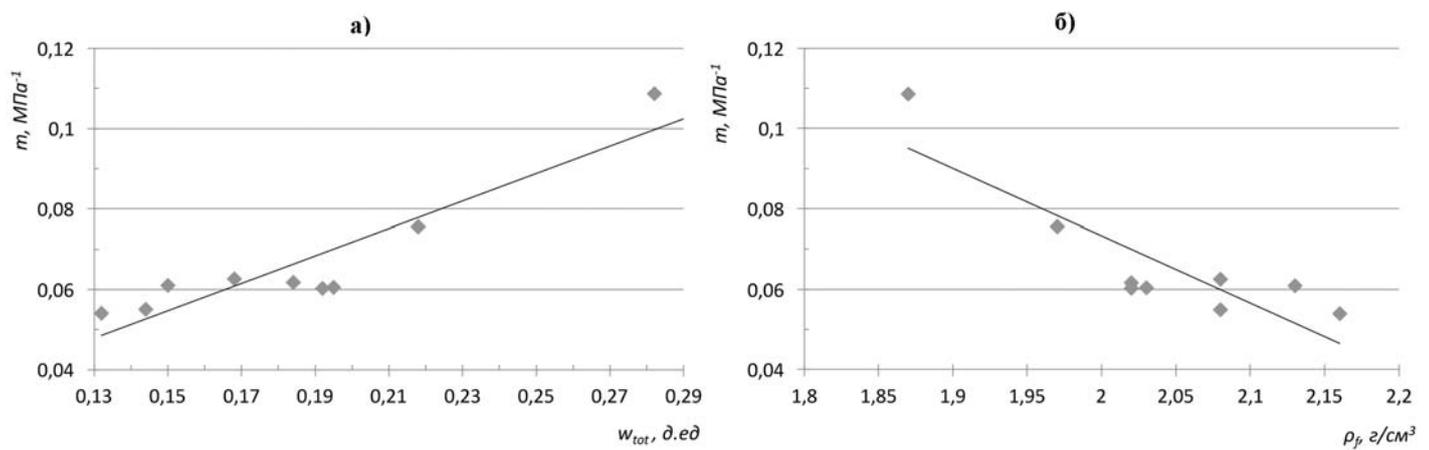


Рис.4. Зависимость коэффициента сжимаемости при оттаивании  $m, МПа^{-1}$  песка от: а) различной суммарной влажности  $w_{tot}$ ; б) плотности мерзлого грунта

Коэффициенты оттаивания  $A_{th}$  и сжимаемости при оттаивании  $m, МПа^{-1}$  в наибольшей степени зависит от суммарной влажности.

После регрессионного анализа получены следующие уравнения:

- для коэффициента оттаивания  $A_{th}$ ,  $y=0,0555x-0,0044$  (1)
- для коэффициента сжимаемости при оттаивании  $m, МПа^{-1}$ ,  $y=0,341x+0,0035$  (2)

Прогнозные уравнения проверялись путем расчета деформационных характеристик для песка с различной суммарной влажностью.

Деформационные характеристики, определенные экспериментально и рассчитанные по уравнениям 1 и 2, приведены в таблице 5, из которых видно, что расчетные характеристики отличаются от экспериментальных не более, чем на 18% для коэффициента оттаивания  $A_{th}$  и на 14% для коэффициента сжимаемости при оттаивании  $m, МПа^{-1}$ .

Таблица 5

Экспериментальные и расчётные деформационные характеристики песчаных грунтов

Параметры	Суммарная влажность $w_{tot}$ , д. е.	Плотность $\rho_f, г/см^3$	Деформационные характеристики			
			Экспериментальные значения		Расчетные значения	
			Коэффициент оттаивания $A_{th}$	Коэффициент сжимаемости при оттаивании $m, МПа^{-1}$	Коэффициент оттаивания $A_{th}$	Коэффициент сжимаемости при оттаивании $m, МПа^{-1}$
Мини-мальное значение	0,132	2,16	0,0031	0,0540	0,0036	0,0485
Макси-мальное значение	0,218	1,97	0,0117	0,1086	0,0112	0,0996

**Выводы**

Установлены закономерности изменения деформационных характеристик оттаивающих песчаных грунтов от показателей физических свойств. Экспериментальные исследования деформационных характеристик оттаивающих песчаных грунтов, основанных на использовании регрессионного анализа, показали значительную сходимость с полученными расчетными значениями. Полученные уравнения могут корректироваться в зависимости от числа образцов и использоваться при расчетах осадок оттаивающих грунтов.

**Список литературы**

1. ГОСТ 12248 – 2010. Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: МНТКС, 2011. – 156 с.
2. ГОСТ 20522-2011. Методы статистической обработки результатов испытаний, 2011. – 23 с.
3. Лапкин Г.И. Определение осадок вечномерзлых грунтов при оттаивании под сооружением / Бюл. Союзтранспроекта, 1939.
4. Роман Л.Т. Механика мерзлых грунтов. – М.: Наука/Интерпериодика, 2002. – 426 с.
5. Цытович Н.А. Основы механики грунтов. Стройизат, 1934.
6. Цытович Н.А. Расчет осадок фундаментов. М: Стройиздат, 1941. – 191 с.

**Торговкин Н.В., Макаров В.Н.**

Институт мерзлотоведения СО РАН им. П.И. Мельникова, Якутск, Республика Саха (Якутия), nicktorg@yandex.ru, makarov@mpi.ysn.ru

## **ЗАСОЛЕННОСТЬ И АГРЕССИВНОСТЬ СЕЗОННО-ТАЛЫХ И МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕЙСЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ ЯКУТСКА**

**Введение**

Город Якутск является крупнейшим городом мира по численности населения, расположенным в криолитозоне. В отличие от других городов России, построенных на вечномерзлых грунтах (Норильск, Воркута, Магадан), население в Якутске активно растет. За последние 15 лет численность населения возросла на 50 %, с 195,4 тыс. человек в 2000 г. до 294,2 тыс. человек в 2014 г. Рост населения стимулировал активное строительство, жилищный фонд города вырос в 2000–2012 гг. с 3,9 до 5,4 млн. кв. м., или на 40 %.

Якутск расположен на второй аллювиальной террасе Ленской долины, сложенной, в основном, слоистыми, весьма однородными и мелкими песками. Песок прикрыт сверху слоем пылеватых суглинков и супесей мощностью 1–2 м. Местами, главным образом при положительных формах рельефа, мощность глинистых грунтов уменьшается, и иногда песок залегает непосредственно с земной поверхности. Вторая терраса прорезана многочисленными староречьями, продолговатыми озерами, большей частью заболоченными. В пределах застройки грунтовый разрез перекрыт так называемым «культурным слоем», состоящим из перегноя, строительного мусора и отходов, накопившихся в течение трехсотлетнего существования города и перемешавшимся с естественным пылевато-суглинистым покровом. Мощность «культурного слоя» определяется возрастом отдельных участков города. Наибольшей величины (от 1,50–1,75 м до 7–8 м) она достигает в районе расположения древнего «острога», т.е. укрепленной части города, заселенной уже с конца XVII в.

Мощность криолитозоны в районе г. Якутска в среднем составляет 250–350 м. Вне городской застройки среднегодовая температура грунтов изменяется от  $-0,5^{\circ}$  до  $-2,7^{\circ}\text{C}$  для супесей и от  $-1^{\circ}$  до  $-4^{\circ}\text{C}$  для суглинков. Мощность слоя годовых теплооборотов достигает 15–17 м. На участках, примыкающих к современным водоемам или древним русловым и озерным понижениям, температура грунтов составляет  $0^{\circ}\dots-1^{\circ}\text{C}$ . Низкая температура грунтов характерна для возвышенных древних останцовых поверхностей ( $-3^{\circ}\dots-4^{\circ}\text{C}$ ), для береговых валов и гряд ( $-1,5^{\circ}\dots-2,0^{\circ}\text{C}$ ). В естественных условиях глубина сезонноталого слоя (СТС) составляет в среднем 1,5–1,7 м для суглинков, 1,6–2,0 м для супесей и 2,0–2,5 м для песков. Многолетняя изменчивость глубины СТС, обусловленная климатическими колебаниями, оценивается в 0,4–0,5 м. Повторно-жильные льды редки и маломощны. Сильнольдистые грунты залегают в понижениях рельефа и представлены суглинками и супесями со слоистой криогенной текстурой. В малольдистых песчаных отложениях, приуроченных к возвышенным грядам, криогенная текстура массивная. Сильнольдистые горизонты чаще встречаются на глубине 3–4 м на нижней границе экстремального СТС и приурочены к контактам дисперсных грунтов с песками, таликовым зонам и погребенным почвенным горизонтам [1].

**Изученность проблемы**

В центральной, более древней части города Якутска, за более чем 380-летнюю деятельность человека накопился культурный слой мощностью более 90–120 см. Засоленность грунтов, залегающих под этим слоем, во много раз превышает естественную. Анализ материалов инженерных изысканий, проведенный А.А. Карпуниной еще в 1968–1969 гг., показал, что большое количество строительных площадок в центре города в основании имеют засоленные грунты [3]. Среди солей большая часть приходится на легкомигрирующие – хлориды натрия и магния (рис.1).

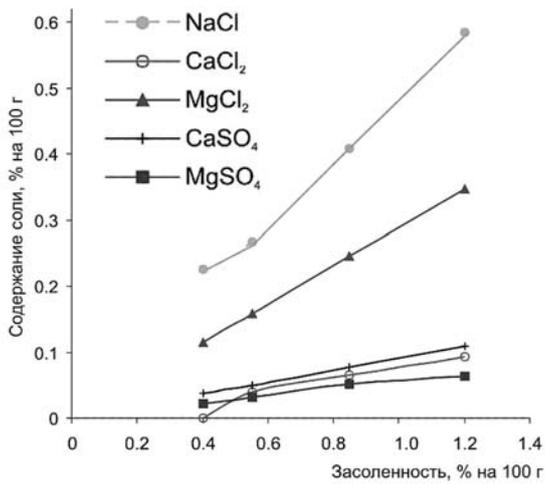


Рис. 1. Зависимость солевого состава водной вытяжки различно засоленных пород в Якутске (построено по данным А.А. Карпуниной, 1972 г.)

Характерным для г. Якутска является высокая интенсификация фильтрационно-миграционных процессов, вследствие которых происходит глубинное засоление многолетнемерзлых грунтов и их переход в пластично-мерзлое и талое состояния. На отдельных участках города минерализация надмерзлотных и межмерзлотных вод возросла до 50–100 г/л. Температура замерзания грунтов, содержащих воды с такой минерализацией, достигает  $-3^{\circ}\dots-5^{\circ}\text{C}$ , что приводит к сохранению грунтов в талом состоянии при отрицательных температурах (водно-химических таликов с криопэгмами). На таких участках невозможно строительство по первому принципу. Коварным свойством криопэггов является способность “разъедать” материал несущих

конструкций фундаментов зданий и сооружений. В г. Якутске глубина водно-химических таликов, образовавшихся под некоторыми зданиями, достигает 12–16 м. Растет количество участков, где происходят активные процессы засоления грунтов [1].

Режимные исследования химического состава аллювиальных многолетнемерзлых песков второй надпойменной террасы р. Лены, проведенные Н.П. Анисимовой, показали, что в естественных условиях колебания засоленности грунтов на протяжении годового цикла в основном наблюдаются лишь до глубины 3,5–4,0 м, то есть в сезоннопротаивающем слое почвогрунтов мощностью 1,5–2,0 м и в самых верхних слоях мерзлых пород. Глубже, в мерзлых льдистых песках, солевой состав остается на протяжении года стабильным. Загрязнение сезоннопротаивающих слоев при хозяйственном освоении территории обуславливает наиболее быстрые изменения засоленности пород до глубины 4–6 м, а многолетние воздействия приводят к миграции легкоподвижных элементов и глубже [2].

#### Методика

Для определения засоленности, степени агрессивности и солевого состава сезонноталых и многолетнемерзлых грунтов в г. Якутске, было проведено их площадное литохимическое опробование с поверхности, а также отобраны пробы грунта по разрезу при бурении скважин глубиной 10 – 25 м в жилых и промышленных зонах города. Химические анализы водной вытяжки грунтов выполнены в лаборатории геохимии криолитозоны ИМЗ СО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU 0001.518584), аналитиками Л.Ю. Бойцовой,

Р.М. Петуховой и О.В. Шепелевой. Было рассмотрено влияние различных видов агрессивности грунтов на различные марки бетона согласно СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии».

#### Результаты и их обсуждение

Засоление почв в городе имеет дискретный характер. Степень засоленности почво-грунтов (глубина 0,1–0,2 м) колеблется в широком диапазоне: от незасоленных (0,021%/100г) до сильно засоленных (0,98%/100г). Наиболее засолены почвогрунты преимущественно в старой части города, где сформировались крупные литохимические аномалии с содержанием солей выше 1%/100г. Химический состав водной вытяжки почв отличается разнообразием, засоление может быть хлоридным, сульфатным и карбонатным.

Для грунтов деятельного слоя (глубина 2–3 м), характерно преимущественно хлоридно-сульфатное засоление, с соотношением анионов  $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ . Степень засоленности также изменяется в широком диапазоне: от незасоленных (0,017%/100г) до сильнозасоленных (0,96%/100г).

В многолетнемерзлой толще (глубина 5–6 м) засоленность грунтов уменьшается. В составе солей преобладают гидрокарбонаты и сульфаты, но в местах старой городской застройки фиксируются аномалии сильнозасоленных грунтов с концентрацией до 1%/100 г.

Наиболее обширное поле средnezасоленных грунтов сформировалось на площади около 2,5 км<sup>2</sup> в центре города, в восточной части Октябрьского, Центрального и Губинского округов (кварталы А, Б, В, 1, 25, 36, 54–61, 70, 128). Три небольших аномалии повышенной засоленности располагаются в различных частях города. Одна из них находится на территории квартала 97 и Института мерзлотоведения СО РАН, вторая – в пределах кварталов 35, 48 и 50 и третья расположена к западу от квартала 2. Аномалии средне- и высокозасоленных грунтов объединяются в единое поле контуром слабой засоленности. Контур засоленных грунтов охватывает восточную часть Октябрьского, Центрального и Строительного округов и практически весь Губинский округ общей площадью около 5,5 км<sup>2</sup>.

При площадном анализе распределения солей авторами была выявлена зависимость засоления грунтов г. Якутска в слое сезонного оттаивания и на верхней границе многолетнемерзлой толщи от продолжительности техногенеза: чем дольше продолжительность техногенеза, тем, как правило, выше и уровень засоления грунта (рис.2). Наиболее высокими концентрациями солей в среднем являются глубины 2 и 5 м. Подобную зависимость удалось установить по концентрациям всех определяемых макрокомпонентов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ). Участки и интервалы с повышенными содержаниями хорошо растворимых элементов, и, соответственно, обладающие высоким уровнем засоления, могут рассматриваться как потенциально опасные в отношении формирования криопэггов.

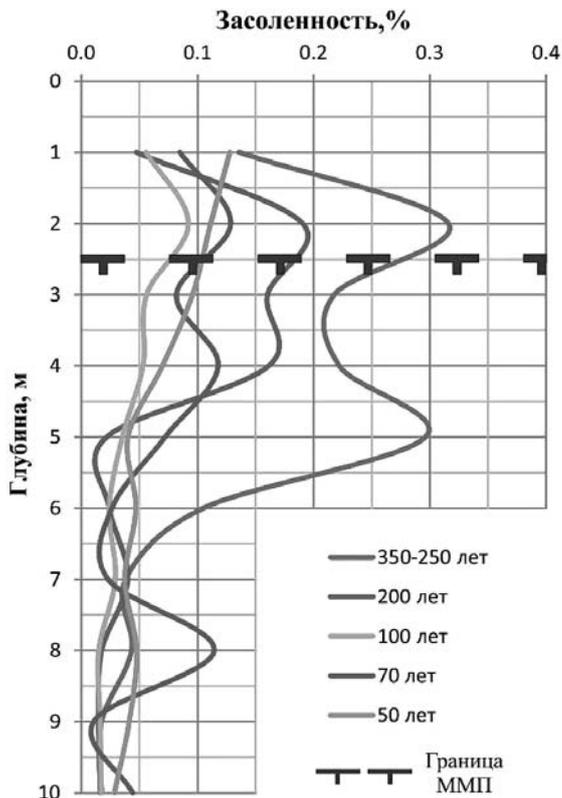


Рис. 2. Зависимость засоления от продолжительности техногенеза

При изучении агрессивных свойств грунтов по отношению к бетону отмечено следующее. Многолетнемерзлые и сезонноталые грунты, распространенные на территории г. Якутска не обладают выщелачивающей агрессивностью. На отдельных участках города, где значения pH поровых растворов снижается до 6,2-6,4, грунты обладают общекислотной агрессивностью для обычных и сульфатостойких пуццолановых и шлаковых портланд-цементов с толщиной конструкции менее 0,5 м. При поперечных размерах конструкции выше 0,5 м поровые растворы не агрессивны. Грунты, распространенные в пределах города, агрессивны в отношении гидрокарбонатной щелочности. Неагрессивная среда наблюдается в подошве СТС на глубине около 2 м, где показатели гидрокарбонатной щелочности превышают нормы выщелачивающей агрессивности воды.

Сезонноталые и мерзлые грунты, обладающие сильной и средней сульфатной агрессивностью на портландцемент, встречаются с поверхности и распространяются до глубины 8 м. Для сульфатостойкого цемента среда в большинстве случаев не агрессивна, иногда слабоагрессивна. Как талые, так и мерзлые грунты по отношению к хлоридной агрессивности характеризуется как слабо- и среднеагрессивные и распространены на старой территории города и на участках подозерных таликов в среднем до глубины 6-7 м, а иногда до 9 м. Магнезиальная и кислотная агрессивность грунтов слабо проявляется для бетона марки W4, и неагрессивна для бетонов марок W6 и W8.

Средне- и сильноагрессивные грунты распространены в старой части города, где продолжительность антропогенного воздействия составляет от 150-200 до 300 лет. Неагрессивные и слабоагрессивные грунты наблюдаются в новых районах города с длительностью техногенеза менее 80 лет. Как правило, агрессивные сезонноталые и мерзлые грунты обладают повышенной засоленностью – около 1%/100г. В районах города с широким распространением агрессивных сред рекомендуется предпочтительно использовать сульфатостойкий цемент (по ГОСТ 22266-76) и бетоны марок W6 и W8.

### Выводы

В современной инженерной геологии и геокриологии существует ряд проблем, связанных с особыми грунтами, слабо изученными ранее из-за ограниченного распространения. Среди таких грунтов выделяются засоленные дисперсные породы, которые имеют особые инженерно-геологические свойства, отличающиеся низкой несущей способностью и неустойчивостью к техногенным воздействиям. Засоленные мерзлые породы представляют собой объект исследования, занимающий по многим параметрам положение между мерзлыми и немерзлыми породами.

Засоленные сезонноталые и многолетнемерзлые грунты, не являются редким явлением для г. Якутска, как по площади так и по глубине и потенциально могут негативно влиять на инженерные объекты, угрожают устойчивости сооружений, вызывать аварии и разрушения жилых зданий, промышленных площадок и транспортных магистралей, могут стать причиной чрезвычайных ситуаций.

В районах города с широким распространением агрессивных сред рекомендуется использовать сульфатостойкий цемент (по ГОСТ 22266-76) и бетоны марок W6 и W8.

Для оптимального функционирования города и упреждения негативных факторов, влияющих на инженерные сооружения, необходима единая система геокриологического, геохимического и гидрогеологического мониторинга, одной из основных задач которого является своевременное обнаружение засоленных грунтов и криопэггов.

*Работа выполнена в рамках Муниципального контракта № 04-2010 по проекту «Организация и проведение геокриологического мониторинга на территории г. Якутска» (2010-2012 гг.) и при поддержке Гранта РФФИ № 15-45-05050 «Экспериментальные исследования формирования и эволюции техногенных криопэггов на урбанизированной территории криолитозоны в Центральной Якутии» (2015 г.).*

### Список литературы

1. Алексеева О.И., Балобаев В.Т., Григорьев М.Н., Макаров В.Н., Чжан Р.В., Шац М.М., Шенелев В.В. О проблемах градостроительства в криолитозоне (на примере Якутска)// Криосфера Земли, 2007 г., т. XI, №2., С. 76-83.
2. Анисимова Н.П., Павлова Н.А. Гидрогеохимические исследования криолитозоны Центральной Якутии//Академическое издательство «ГЕО», г. Новосибирск, 2014 г. – 191 с.
3. Карпунина А.А. Прочностные характеристики засоленных мерзлых грунтов г.Якутска // Проблемы строительства в Якутской АССР. Вып.1. Якутск, 1972 г. – С. 85-90.
4. СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии.

Кондратьев В.Г., Кондратьев С.В.

ЗабГУ, Чита; НПП «ТрансИГЭМ», Москва, v\_kondratiev@mail.ru

## К ВОПРОСУ О ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОМ ОБОСНОВАНИИ ИЗЫСКАНИЙ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА «СИЛА СИБИРИ»

Одной из главных особенностей, определяющих инженерно-геологические условия территории прохождения трассы магистрального газопровода «Сила Сибири» (МГ «Сила Сибири») на участке Ковыктинское месторождение – Благовещенск, является распространение многолетней мерзлоты и глубокого сезонного промерзания грунтов. При этом необходимо особо учесть, что трасса газопровода проходит вблизи южной границы криолитозоны, где мерзлотные условия весьма чувствительны как к естественным изменениям природных факторов и в первую очередь климата, так и в особенности к техногенным воздействиям. Причем мерзлота на трассе может, как деградировать, так и аградировать, вызывая опасные криогенные процессы и явления.

Поэтому необходимо, учитывая опыт магистрального нефтепровода ВСТО, параллельно которому в основном пройдет трасса МГ «Сила Сибири», а также АЯМ, БАМ, Транссиба, федеральной автомобильной дороги «Амур» Чита – Хабаровск, своевременное проведение мерзлотных исследований для выявления закономерностей формирования и развития сезонно- и многолетнемерзлых горных пород и связанных с ними криогенных процессов и явлений на трассе, прогнозирования их поведения в связи со строительством и эксплуатацией газопровода, управления этим поведением для обеспечения эксплуатационной надежности и экологической безопасности сооружения наиболее оптимальным способом.

Геокриологические исследования целесообразно выполнить в 9 этапов, причем этапы 1-3 в основном выполняются для обоснования изысканий и проектирования газопровода, а этапы 4-9 – преследуют цель организации и функционирования системы инженерно-геокриологического мониторинга газопровода во время его строительства и эксплуатации.

На **1 этапе** исследований в начале необходимо собрать, проанализировать и обобщить имеющиеся опубликованные и фондовые материалы о геокриологических условиях трассы и факторах их определяющих. На основе этих материалов, а также специального дешифрирования космо- и аэрофотоснимков, а также анализа топографических карт (планов) должны быть составлены предварительные рабочие карты ландшафтного районирования и мерзлотных условий трассы.

Эти карты позволят целенаправленно и системно приступить к выполнению основной задачи этапа – проведению мерзлотной съемки – комплекса полевых, лабораторных и камеральных исследований для выявления общих и частных закономерностей формирования и развития мерзлых горных пород и связанных с ними процессов и явлений. В результате должны быть составлены мерзлотные карты и пояснительная записка к ним. При этом необходимо изучение зимних и летних условий. Этап может быть разбит на подэтапы с учетом графика выполнения изыскательских и проектных работ на отдельных участках трассы газопровода.

Выявленные закономерности позволят приступить к мерзлотному прогнозированию – **2 этап**, и разработке мероприятий по управлению мерзлотными условиями на трассе магистрали – **3 этап**. Эти этапы также могут быть разбиты на подэтапы с учетом графика выполнения изыскательских и проектных работ на отдельных участках трассы газопровода.

Параллельно работам по геокриологическому обоснованию изысканий и проектирования газопровода могут выполняться работы по созданию системы инженерно-геокриологического мониторинга газопровода для постоянного контроля мерзлотной обстановки, предвидения неблагоприятных ситуаций и своевременного применения мер защиты от воздействия неблагоприятных инженерно-геокриологических процессов и явлений.

В начале (**этап 4**) следует разработать концепцию системы инженерно-геокриологического мониторинга газопровода. Затем после ее обсуждения и принятия необходимо разработать целевую комплексную программу организации системы инженерно-геокриологического мониторинга газопровода (**5 этап**). Это позволит затем разработать специальный проект создания системы инженерно-геокриологического мониторинга газопровода и начать поэтапную реализацию целевой комплексной программы организации системы инженерно-геокриологического мониторинга газопровода. При этом следует предусмотреть научно-методическое сопровождение проектирования системы инженерно-геокриологического мониторинга газопровода (**этап 6**) и поэтапной реализации целевой комплексной программы организации системы инженерно-геокриологического мониторинга газопровода (**этапы 7, 8 и 9**).

Для установления естественного фона изменчивости мерзлотных условий на трассе целесообразно мониторинговые работы проводить на протяжении всего периода инженерно-геологических изысканий и проектирования. Затем их следует продолжить во время строительства и эксплуатации газопровода.

Итак, при геокриологическом обосновании изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации магистрального газопровода «Сила Сибири» необходимо:

- Выполнить сбор, анализ и обобщение материалов по геокриологическим условиям трассы газопровода.
- Установить закономерности формирования сезонно- и многолетнемерзлых грунтов и связанных с ними процессов и явлений на трассе газопровода.

- Разработать прогноз изменения мерзлотных условий на трассе в связи с естественной эволюцией природы и техногенным воздействием при строительстве и эксплуатации газопровода.
- Разработать рекомендации по управлению мерзлотными условиями на трассе газопровода для обеспечения его стабильности и в экологических целях.
- Разработать концепцию системы инженерно-геокриологического мониторинга газопровода, предусматривающей систематический контроль, оценку и прогноз развития неблагоприятных инженерно-геокриологических процессов и явлений, осуществление профилактических и защитных мероприятий для обеспечения стабильности газопровода и в экологических целях.
- Разработать целевую комплексную программу организации системы инженерно-геокриологического мониторинга газопровода.
- Осуществить научно-методическое руководство проектированием, организацией и функционированием системы инженерно-геокриологического мониторинга газопровода.

Эти работы необходимо закончить не позднее декабря 2017 г. с таким расчетом, чтобы к моменту завершения строительства МГ «Сила Сибири» был обеспечен и системой защиты его от опасных инженерно-геокриологических процессов и явлений.

**Клюев А.А., Титков С.Н., Цветкова М.Г.**

Институт геотехники и инженерных изысканий в строительстве (ООО «ИГИИС»), Москва, mail@igiis.ru

## **МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ (НА ПРИМЕРЕ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА «СИЛА СИБИРИ»)**

Стратегия развития топливно-энергетического комплекса РФ, а также политика диверсификации рынков сбыта углеводородного сырья, обозначенная Президентом РФ В.В. Путиным, предполагает необходимость строительства в ближайшем будущем большого количества объектов нефте- и газотранспортной инфраструктуры, обустройства месторождений и создания новых перерабатывающих мощностей в условиях криолитозоны.

Ярким примером создания новой газотранспортной инфраструктуры, ориентированной на Восточноазиатский и Тихоокеанский рынок сбыта и, одновременно, крупнейшим проектом ПАО «Газпром» с момента строительства газопровода «Северный поток», является магистральный газопровод «Сила Сибири» (МГ «Сила Сибири»).

В условиях ухудшившейся экономической конъюнктуры и общего экономического спада 2014-15 гг., особую значимость приобретает оптимизация затрат на этапах проектирования и строительства объектов газотранспортной инфраструктуры.

Поскольку информация, получаемая в ходе проведения инженерных изысканий, оказывает ключевое влияние на принятие тех или иных проектных решений и, как следствие, на стоимость строительства и безопасность последующей эксплуатации инженерных сооружений, задача обеспечения комплексности, достаточности и достоверности инженерных изысканий приобретает всё большее значение.

Выполнение инженерных изысканий для информационного обеспечения будущего строительства в высокой степени зависит от географических условий региона проведения работ. Значимым примером тому служит проведение инженерных изысканий в условиях многолетней и сезонной мерзлоты, их сплошного и островного распространения.

ООО «ИГИИС» в 2014-2015 годах на основании договора с ПАО «Газпром» выполняло комплексный контроль качества инженерных изысканий. Целью контроля качества инженерных изысканий при изучении природных условий территории предполагаемого строительства является обеспечение достоверности данных о топографо-геодезических, инженерно-геологических, гидрологических и экологических условиях территории, необходимых для обоснования проектных решений.

Задачей контроля качества инженерных изысканий является выявление и предотвращение, путем принятия своевременных мер, случаев некачественного выполнения полевых, лабораторных и камеральных работ, их несоответствия заданию, Программе инженерных изысканий и требованиям нормативных документов.

В состав работ по контролю качества инженерных изысканий входят:

- проверка заданий на выполнение инженерных изысканий и программ работ на соответствие требованиям нормативных документов;
- проверка организационно-технической готовности изыскательских организаций;
- оперативный контроль соблюдения исполнителями инженерных изысканий требований Задания, Программы работ и нормативных документов в части состава, объемов, методов и технологии их выполнения;
- контроль выполнения лабораторных исследований;
- экспертиза результатов инженерных изысканий на их соответствие требованиям нормативных документов, Задания и Программы работ.

На этапе подготовительных работ, наряду с экспертизой Задания и Программы работ, производится:

- составление программы по контролю качества инженерных изысканий;
- изучение планов-графиков выполнения работ, включая информацию о планируемых объемах и видах работ, порядке и последовательности их выполнения, сроках сдачи отчетных материалов;

- разработка совместно с Исполнителями изысканий схем взаимодействия, порядка обмена информацией, документооборота, графиков присутствия специалистов контроля в полевых бригадах, лабораториях и камеральных группах, порядка передвижения специалистов контроля к местам выполнения работ и т.д.;
- согласование с Заказчиком форм документации по контролю качества инженерных изысканий (акты готовности организаций, акты технического контроля, предписания на устранение недостатков, уведомления об устранении недостатков, акты сдачи-приемки выполненных работ и т.д.).

Проверка организационно-технической готовности изыскательских организаций включает в себя:

- проверку наличия лицензий и допусков (в том числе, соответствующих разделов) на осуществление инженерных изысканий, картографической и геодезической деятельности, работ, связанных с использованием сведений, содержащих государственную тайну;
- проверку наличия регистрации (разрешений) в территориальных органах;
- проверку оснащенности техникой, снаряжением, геодезическими приборами, буровыми установками, лабораториями, программным обеспечением;
- проверку наличия документов, удостоверяющих качество используемых приборов и оборудования;
- проверку квалификационного и профессионального уровня персонала.

Контроль полевых изысканий включает следующие виды работ.

Контроль выполнения рекогносцировочного обследования местности и маршрутных наблюдений в комплексе с полевым дешифрированием космо- и аэрофотоснимков. По результатам рекогносцировочного обследования и маршрутных наблюдений, выполняемых исполнителями изысканий, инспекторы контролируют:

- фиксацию всех пересечений рек, дорог, оврагов, балок, каналов болот участков многолетнемерзлых грунтов (ММГ) и других препятствий;
- описание рельефа местности и геоморфологических условий участка изысканий;
- документацию имеющихся обнажений, в том числе в карьерах, строительных выработках с указанием категорий разрабатываемости пород, составление абрисов и фотодокументации;
- фиксацию водопроявлений;
- описание геоботанических индикаторов геологических и гидрогеологических условий на участках проявления геологических инженерно-геологических (в том числе криогенных) процессов должно быть выполнено описание проявлений с оценкой площади поражения и активности;

2. 100%-ный контроль соблюдения технологии бурения при проходке горных выработок в ММГ во избежание растепления мерзлого керна (пониженная скорость вращения бурового инструмента, бурение укороченными рейсами), недопущение нарушений требований Программы работ в части выбора способа бурения.

3. Контроль методики отбора проб грунта, упаковки и сроков отправки их в лабораторию для лабораторных определений физических и физико-механических свойств. Мерзлые грунты для определения физико-механических характеристик (согласно ГОСТ 12248-2010) должны отбираться и, при необходимости, транспортироваться в изотермических контейнерах, конструкция которых обеспечивает сохранение грунтов в мерзлом состоянии.

4. Контроль технологии опробования грунтов в процессе изысканий. Образцов грунта должно быть не менее 6 для определения показателей механических свойств грунтов или не менее 10 – для определения показателей физических свойств по каждому основному литологическому слою (ИГЭ).

5. Контроль ликвидации выработок по окончании работы (шурфы – обратной засыпкой грунтов с трамбовкой, скважины – тампонажем глиной или выбуренным керном);

6. Оперативный контроль изучения опасных природных процессов, в том числе:

правильности установления наличия и границ распространения геологических, инженерно-геологических и инженерно-гидрометеорологических процессов (сезонное и многолетнее пучение, термокарст, солифлюкция, наледообразование, переработка берегов, подтопления и др.), развитых в районе прохождения трассы трубопровода;

полноты и достаточности изученности каждого процесса для разработки рекомендаций по использованию территории, мероприятиям и сооружениям инженерной защиты.

В случае выявления грубых нарушений при выполнении изыскательских работ или фальсификации результатов полевых инженерных изысканий, Заказчику незамедлительно направляется соответствующее сообщение с документальным подтверждением выявленных нарушений и ходатайством о приостановке работ до устранения нарушений. Если Исполнитель инженерных изысканий не согласен с результатами технического контроля, составляется лист разногласий или организуется техническая комиссия с обязательным включением в комиссию представителя Заказчика. Протокол работы комиссии направляется Заказчику.

Контроль качества лабораторных исследований включает:

- соответствие оснащенности стационарных лабораторий составу выполняемых исследований;
- оценку наличия метрологического обеспечения применяемого оборудования и квалификации исполнителей;
- проверку сроков поступления образцов грунтов и проб воды в лабораторию, условий хранения, качества консервации и упаковки образцов и проб;
- оценку сроков выполнения всех видов лабораторных работ;
- проверку количества отобранных в процессе испытаний образцов для определения показателей физико-механических свойств, в том числе многолетнемерзлых грунтов, по каждому основному инженерно-геологическому элементу

- контроль соблюдения методик выполнения лабораторных исследований, их соответствия государственным стандартам, техническому заданию;
- наличие стандартов на выполнение лабораторных исследований проверку оперативности передачи полученных результатов в камеральную группу.

Практически вся трасса МГ «Сила Сибири», за исключением небольшого участка на юге Амурской области проходит в условиях распространения многолетнемерзлых грунтов (ММГ). Геокриологические условия на участках прохождения трассы МГ «Сила Сибири» являются весьма неоднородными, трансформируются под воздействием факторов широтной зональности, меридиональной секторности, локальных экзогенных и эндогенных факторов, в меньшей степени – высотной геокриологической поясности.

На разных участках прохождения трассы МГ «Сила Сибири» для ММГ отмечаются существенные различия среднегодовых температур грунтов, амплитуд температурных колебаний и мощностей сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев.

Важнейшим фактором формирования геокриологических условий территории является распределение гидрографической сети в границах данной территории. Для долин крупных рек, характеризующихся большим значением теплового стока, наблюдается значительное смещение геокриологических условий в меридиональном направлении по сравнению с водораздельными пространствами.

Развитие мерзлотных процессов оказывает разностороннее влияние на проведение отдельных видов полевых работ в составе инженерных изысканий: оборудование временных опорных пунктов геодезической сети, проведение буровых работ, электроразведочных работ, отбор проб почвенного покрова в ходе инженерно-экологических изысканий.

В ходе осуществления контроля качества полевых инженерных изысканий сотрудниками ООО «ИГИИС» при проведении работ в условиях распространения ММГ неоднократно отмечались факты неполного соответствия методики выполнения полевых работ требованиям нормативной документации: нарушения технологии бурения, отбора, упаковки, хранения и транспортировки проб в лабораторию, методики термометрических наблюдений в скважинах, ведение полевой документации.

В ходе осуществления функций контроля качества полевых инженерных изысканий, сотрудниками ООО «ИГИИС» неоднократно фиксировались случаи недостаточного заглубления конструкций временных опорных геодезических пунктов, а также свай временных водомерных постов вследствие проведения работ в условиях распространения мерзлых грунтов.

По итогам выполнения работ по контролю качества различных видов инженерных изысканий, сотрудниками ООО «ИГИИС» неоднократно отмечались случаи недостаточной и неполной визуальной фиксации в ходе рекогносцировочных работ элементов ландшафта, имеющих криогенный генезис.

Основные результаты работы контроля инженерных изысканий сводятся к следующему:

- допуск инспекторами контроля к проведению инженерных изысканий квалифицированного персонала;
- использование исправного и соответствующего каждому виду изысканий оборудования и инструментов;
- наличие у исполнителя на местах производства работ необходимой нормативно-технической документации;
- производство инженерных изысканий по технологиям, предусмотренным программой инженерных изысканий и нормативными документами;
- надлежащее ведение исполнителем полевой документации;
- своевременное выявление нарушений требований программы работ и нормативной документации;
- достижение объективной достоверности результатов проведенных инженерных изысканий.

Осуществление контроля качества полевых инженерных изысканий по объекту МГ «Сила Сибири» позволило в ряде случаев предотвратить нарушения нормативно закреплённой технологии проведения инженерных изысканий, связанных с негативным влиянием мерзлотных процессов.

В целях упорядочения взаимоотношений в вопросах контроля качества между заказчиком, подрядчиком и организацией-контролёром представляется целесообразным включать в договора подряда на проведение инженерных изысканий положений, предусматривающих наличие контроля качества и порядок взаимодействия.

В целях исключения фальсификаций результатов инженерных изысканий и получения полных и достоверных данных необходимо проведение 100%-го контроля качества.

С точки зрения ООО «ИГИИС», для предотвращения в будущем нарушений технологии инженерных изысканий в условиях криолитозоны необходимо разработать нормативную базу, регламентирующую проведение контроля инженерных изысканий для объектов ПАО «Газпром».

## СЕКЦИЯ «ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ»

Бричёва С.С.<sup>1</sup>, Станиловская Ю.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, svebrich@gmail.com

<sup>2</sup>Институт геоэкологии РАН, Москва, stanik85@mail.ru

### МЕТОД ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ПОЛИГОНАЛЬНО-ЖИЛЬНЫХ ЛЬДОВ, НЕ ВЫРАЖЕННЫХ В РЕЛЬЕФЕ

Значительная часть России расположена в зоне распространения многолетнемёрзлых пород. Возросшие масштабы жилищного строительства, развитие сети железных и автомобильных дорог, освоение природных богатств этой зоны требуют глубокого понимания мерзлотных геологических процессов. Мерзлота по своим характеристикам является специфической геологической средой, в которой происходит периодическое промерзание и оттаивание пород. Термокарст, солифлюкция, пучение грунтов, будучи неучтёнными, могут привести к непредвиденным последствиям в результате долгосрочного взаимодействия инфраструктуры и мерзлоты [1]. Прогноз динамики развития подобных явлений и оценка криогенных рисков является одной из важнейших мировых задач.

В районе реки Чара (Забайкальский край, Россия) в течение нескольких лет сотрудниками института геоэкологии РАН им. Сергеева производятся геокриологические исследования полигонально–жильных льдов (ПЖЛ) [2, 3]. Современные и реликтовые ПЖЛ отмечены здесь почти на всех элементах рельефа, хотя наиболее интенсивно их рост происходит на речных террасах и поймах, где они приурочены преимущественно к старицам и ложбинам стока. С вытаяванием ПЖЛ связано развитие термокарста.

В настоящее время всё чаще исследования многочисленных криогенных объектов производятся при помощи дистанционного зондирования. Путём дешифрирования космических снимков выделяются участки, на которых видны полигональные решётки, свидетельствующие о морозобойном растрескивании и формировании ПЖЛ. Оценка стадии развития жил с разной степенью наличия подземного льда по космоснимкам может быть только ориентировочной. Однако наличие льда в жиле, вытаявание которого приводит к термокарсту, может быть определено другим дистанционным методом – геофизическим профилированием методом георадиолокации. Кроме того, нередко в зоне тайги встречаются ПЖЛ без видимой полигональной решётки на космоснимках. Они покрыты гарями, в рельефе выражены слабо, либо не выражены вовсе. При этом на участках с невидимой полигональной решёткой встречается подземный лёд, обнажённый в речных излучинах. Картирование таких «скрытых» ПЖЛ, особенно вблизи существующих или предполагаемых линейных объектов, является задачей особенной важности. Значительные различия в диэлектрической проницаемости воды, воздуха и льда обуславливают высокую контрастность пород с различным процентным содержанием этих веществ в электромагнитном поле [4]. Мёрзлые и талые супеси, торф и лёд должны формировать на радарограммах различимые границы. Это позволяет применить для решения данной задачи метод георадиолокации.



**Рис. 1. Обнажение ПЖЛ в излучине реки Чара. На фото видна параллельная берегу жила льда**

Авторами представлены результаты опытно–методических работ, проведённых в экспедиции в Чарской котловине в августе 2015 года. Был исследован участок в пределах первой террасы р. Чара с крупными ПЖЛ. Была поставлена задача выявления ледяных жил и оценка глубины их залегания, размеров и формы на участке, где на космических снимках полигональная решётка не наблюдается. Согласно наблюдениям авторов, в естественном обнажении террасы р. Чара верхняя часть представлена торфами и супесями, нижняя – песками [2]. Глубина сезонного талого слоя (СТС) на момент исследований составляла 0.3–0.6 м. В работе использовался георадар «Зонд–12» (НПО «Радарные системы, г. Рига, Латвия) с экранированным антенным блоком с цент-

ральной частотой 300 МГц. В условиях мёрзлого разреза при длине записи 200 нс и средней скорости электромагнитной волны  $V = 10$  см/нс (диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 9$ ) глубинность исследований составляла 10 метров, что удовлетворяло требованиям задачи. На исследуемом участке была заложена сеть продольных и поперечных профилей. В качестве опорных

данных использовалась схема и описание обнажения, а также измерения мощности сезонно–талого слоя. Были отобраны образцы мёрзлого и талого торфа для определения влажности.

Высокий контраст диэлектрических проницаемостей льда и воды обуславливает возможность выделения границ талых и мёрзлых пород, а также локальных ледяных тел, к примеру, жил. Исследуемая среда может быть представлена в виде слоистой модели с постоянными значениями свойств в пределах слоёв, а жилы – локальные объекты внутри слоёв, отличающиеся по свойствам от вмещающей среды. Признаки, по которым выделяется на радарограмме жильный лёд, в различных разрезах различны. Во льду скорость электромагнитной волны значительно увеличивается по сравнению с включающими лёд породами – в чистом льду скорость волны возрастает до 17 см/нс. Лёд является слабопоглощающей средой. Этот факт, а также локальное увеличение скорости волны в жиле вызывает появление на радарограммах полос низкочастотного «звона» – ревербераций волны за счёт высокого коэффициента отражения на границе лёд-вмещающая порода (см. Рис.2). Ещё одним признаком, позволяющим выделять жилы на радарограммах, является изменение влажности вдоль профиля, пересекающего жилы. Тепловой поток с поверхности вызывает таяние мерзлоты, вследствие чего увеличивается влажность грунта на подошве СТС. Такие переувлажнённые области на радарограммах характеризуются исчезновением осей синфазности и изгибанием отражающих границ, так как скорость волн во влажной среде уменьшается. Это явление можно наблюдать на Рис. 2 в районе 10 метра профиля.

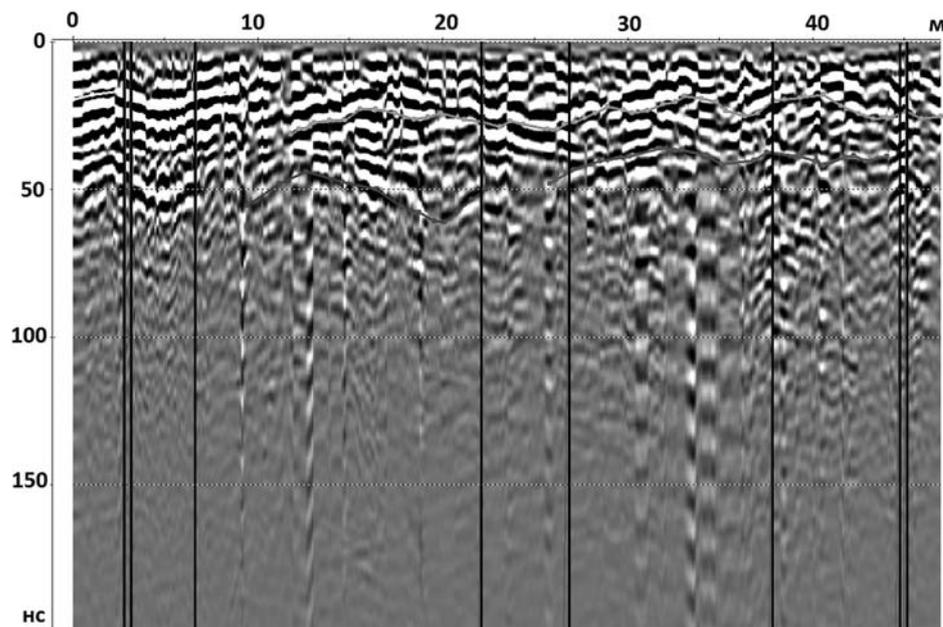


Рис. 2. Радарограмма, полученная над обнажением (Рис.1), с ярко выраженными ПЖЛ. Двойными метками обозначены видимые в обнажении жилы, перпендикулярные берегу. Одинарными метками обозначены границы продольных жил. Жёлтая и зелёная линии соответствуют границе слоя сезонного протаивания грунтов. Красная и розовая линии – оси синфазности, которые маркируют кровлю жил, параллельных берегу

Авторы рассматривают примеры полевых материалов, этапы обработки данных и обсуждаются способы оценки форм и размеров жил при интерпретации радарограмм. Исследование проведено из средств РФФИ «Мой первый грант» №14–05–31510.

## Список литературы

1. Хименков А.Н., Перльштейн Г.З., Сергеев Д.О., Власов А.Н., Мерзляков В.П., Халилова Ю.В. Геоэкологические аспекты оценки риска опасных процессов в криолитозоне // Экстремальные природные явления и катастрофы, 2011, Том 2: Геология урана, геоэкология, гляциология / Отв. Ред. В.М. Котляков, ИГ РАН. М.: ИФЗ РАН, с.205-212.
2. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Станюковская Ю.В. Летние и зимние температуры воздуха в Северном Забайкалье в период формирования голоценовых повторно-жильных льдов // Криосфера Земли, 2010, т.XIV, № 2, с.7-22.
3. Khalilova J.V. (Stanilovskaya). Assessment of Geocryological Hazards at Local Scale // Abstracts of International Polar Year Oslo Science Conference, 2010, Oslo, Norway.
4. Фролов А.Д. Электрические и упругие свойства мёрзлых пород и льдов. 1998, Пущино, с.514.

Федотов С.А., Федотов А.С.  
ООО «ГЕОСИГНАЛ», МОСКВА

## ТЕХНОЛОГИЯ ВСП ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МАЛОГЛУБИННЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Инженерно-геофизические работы органично входят в состав инженерно-геологических изысканий при проектировании зданий, искусственных сооружений, трубопроводов и др. При этом важную роль занимает комплекс скважинных исследований, в который входят гамма каротаж, каротаж сопротивлений, видео каротаж и др.

В последние годы в повышение качества инженерных изысканий связано с определением прочностных параметров грунтов не только по результатам исследований керна, но и в условиях естественного залегания. Указанные параметры связаны со скоростями сейсмических волн  $V_p$ ,  $V_s$  в горных породах.

Используемые определения параметров  $V_p$ ,  $V_s$  сейсмическим методом с земной поверхности таких, как метод преломленных волн ММП и метод поверхностных волн дают результаты для поверхностных слоев при возбуждении сейсмического поля ударом кувалды весом 3-8 кг по специализированным подставкам при возбуждении продольных и поперечных волн. Однако, наиболее точное измерение скоростей продольных и поперечных волн возможно при использовании вертикального сейсмического профилирования (ВСП). В этом случае скважинный прибор принудительно прижимается к стенке исследуемой скважины, а возбуждение сейсмических волн происходит с земной поверхности.

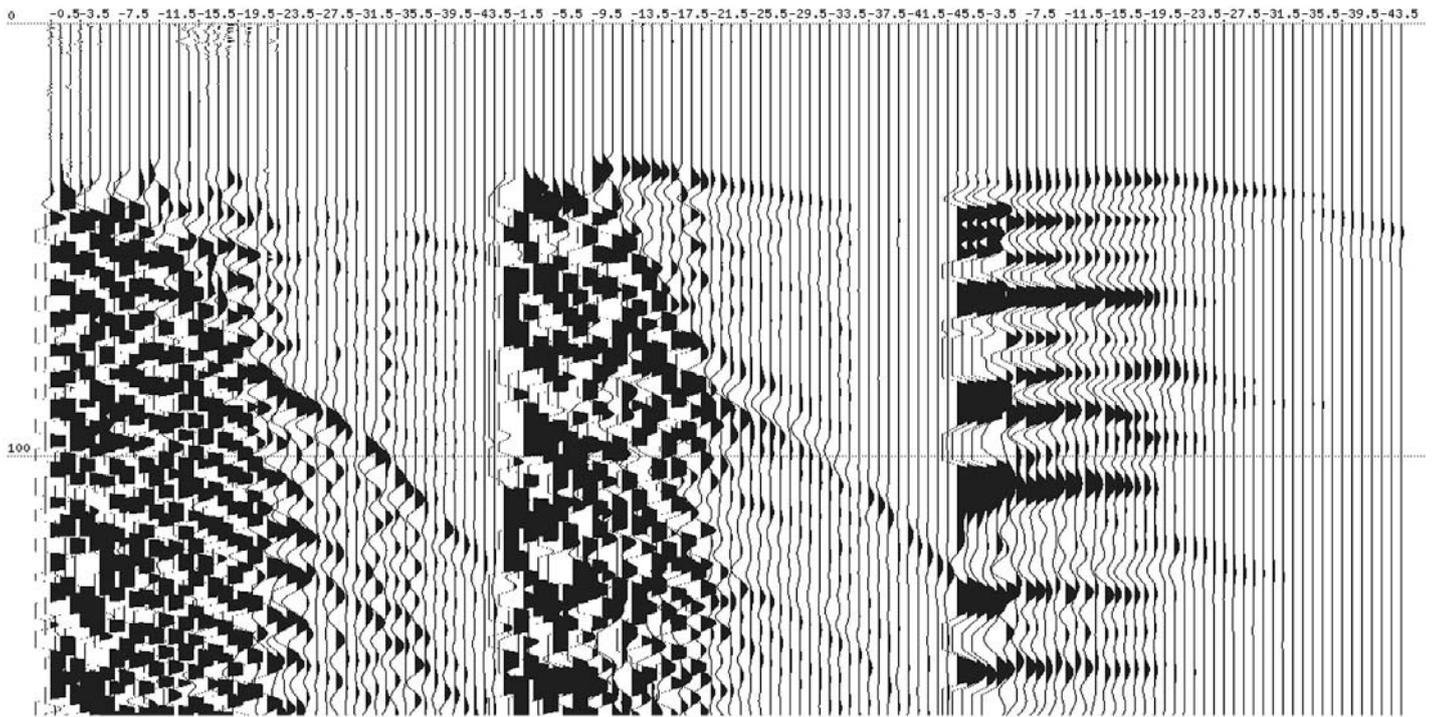


Рис. 1. Пример азимутграммы на скважине № 1 (x, y, z-компоненты)

Для проведения скважинных измерений методом ВСП в ООО «ГЕОСИГНАЛ» разработан и активно внедряется в производство комплекс ТЕЛСС-ВСП. Отличительной особенностью комплекса является его компактность, малый вес и возможность проведения ВСП в скважинах до глубин 100-150 м без использования специальных подъемников.

Основные параметры комплекса:

- вес скважинного прибора, – 8 кг;
- диаметр прибора, – 62 мм;
- количество регистрируемых компонент – 3;
- мгновенный динамический диапазон – 130 дБ;
- разрядность АЦП – 32 бит;
- передача данных – от скважинного прибора в цифровой форме;
- усилие прижима к стенке скважины ~ 80 кг;
- вес используемого телеметрического кабеля при длине ~ 100м – 12 кг;
- питание – аккумуляторная батарея 10÷45, А\*ч, 12 В.

Скважинный прибор перемещается в скважине с использованием троса диаметром 4÷5мм, телеметрический кабель размечен по всей длине и по нему определяется глубина погружения скважинного прибора.

С середины 2012 года в производство внедрены 10 скважинных приборов. Их эксплуатация показывает высокую эффективность проводимых работ ВСП.

Компанией «ГЕОСИГНАЛ» проведены работы ВСП в 38 скважинах, наибольший объем работ ВСП проведен в ОАО «Гидропроект».

#### Основные задачи проведения ВСП для инженерных исследований:

- определение скоростей распространения продольных и поперечных волн в исследуемых грунтах
- корреляционная увязка данных ВСП по площади исследований с геологической информацией при наличии нескольких скважин на площади исследований.

Приведем пример использования ВСП на одном из объектов строительства. На рис.1 приведен пример азимутграммы по одной из скважин при возбуждении на поверхности Р-волн, регистрация проводится по трем компонентам X,Y,Z. Как видно хорошо фиксируется первое вступление на Y и Z компонентах. Глубина скважины 46 м, измерения проводились с интервалом 1м.

Результаты обработки представляются в виде графиков интервальных скоростей и первых вступлений приведены на рис.2.

Результаты расчета скоростей по скважине №1

Наименование по данным бурения	H м	Vp м/с	Vs м/с	Vp/Vs	Vs/Vp	μ
<i>Песок серый, в подошве слоя желтый, мелкий, влажный, полимиктовый</i>	7.5	773	432	1.79	0.56	0.27
	8.5	808	469	1.72	0.58	0.25
	9.5	884	262	3.38	0.30	0.45
	10.5	970	275	3.53	0.28	0.46
	11.5	1181	207	5.70	0.18	0.48
	12.5	1332	182	7.32	0.14	0.49
	13.5	1792	195	9.18	0.11	0.49
	14.5	1725	247	7.00	0.14	0.49
	15.5	1595	195	8.18	0.12	0.49
	16.5	1438	195	7.37	0.14	0.49
	17.5	1523	237	6.42	0.16	0.49
<i>Мел белый, пастообразный, с прослоями мела твердого, хрупкого, сильно влажного</i>	18.5	2032	471	4.31	0.23	0.47
	19.5	1704	549	3.11	0.32	0.44
	20.5	1788	502	3.57	0.28	0.46
	21.5	1871	515	3.64	0.28	0.46
<i>Мел белый, липкий, неоднородный, переслаивание около 10 см пастообразного и твердого мела, в прослоях твердого мела следы ожелезнения</i>	22.5	1528	702	2.18	0.46	0.37
	23.5	1564	618	2.53	0.39	0.41
	24.5	2087	632	3.31	0.30	0.45
	25.5	2163	644	3.36	0.30	0.45
	26.5	2236	780	2.87	0.35	0.43
<i>Песок крупный, плотный, кварцевый, влажный, с включениями дресвы мела до 1.0 см</i>	27.5	2306	796	2.90	0.35	0.43
<i>Мел белый, пастообразный, неоднородный, переслаивание пастообразного и твердого хрупкого по 10 см</i>	28.5	1366	582	2.35	0.43	0.39
	29.5	1753	588	2.98	0.34	0.44
<i>Песок светло-серо-зеленый, средней крупности, влажный</i>	30.5	2470	594	4.16	0.24	0.47
	31.5	2531	701	3.61	0.28	0.46
	32.5	2590	708	3.66	0.27	0.46
	33.5	2647	420	6.30	0.16	0.49
<i>Песок от темно-серого до светло-серого, средней крупности, кварцевый</i>	34.5	1869	321	5.81	0.17	0.48
	35.5	1884	383	4.93	0.20	0.48
	36.5	1899	383	4.95	0.20	0.48
	37.5	1448	351	4.13	0.24	0.47
	38.5	1452	426	3.41	0.29	0.45
	39.5	1456	477	3.05	0.33	0.44
	40.5	1460	427	3.41	0.29	0.45
	41.5	1462	428	3.41	0.29	0.45
	42.5	1465	545	2.69	0.37	0.42
	43.5	1468	481	3.05	0.33	0.44
	44.5	1471	355	4.15	0.24	0.47
	45.5	1474	355	4.15	0.24	0.47

При наличии нескольких скважин строятся графики распределения кинематических атрибутов по группе скважин на площади исследований.

В таблице 1 приведены результаты расчета скоростных параметров, а также вычисленные значения отношения скоростей и коэффициента Пуассона.

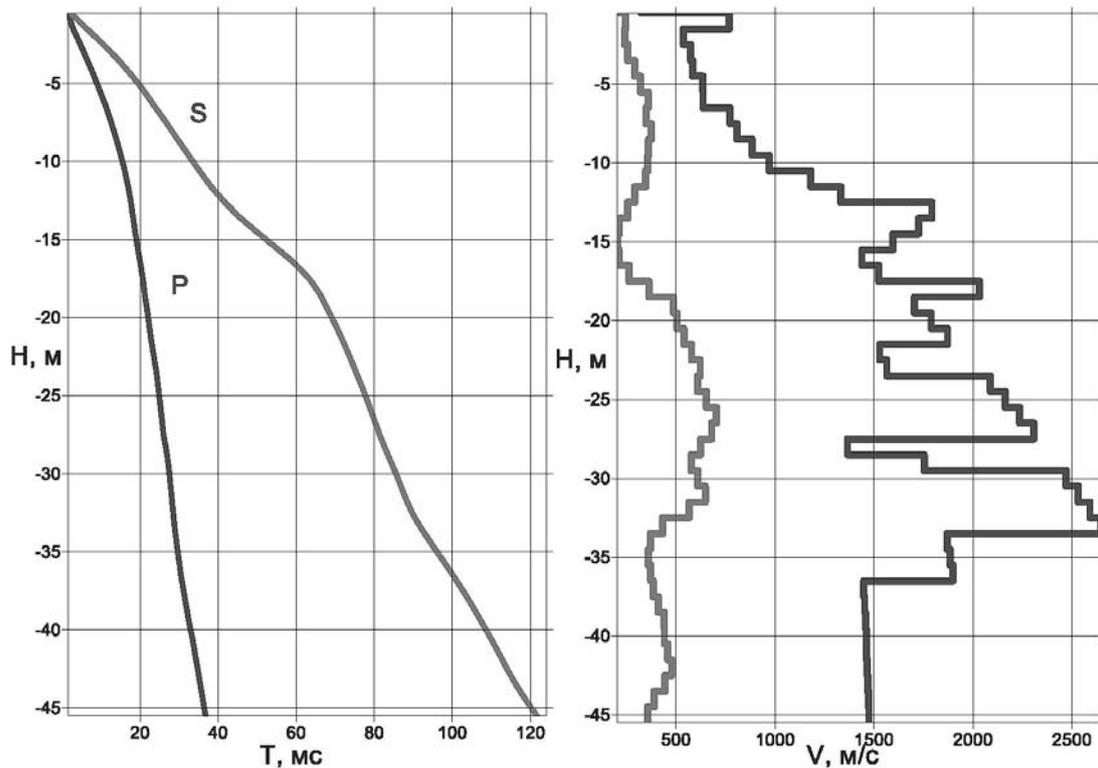


Рис. 2. Графики интервальных скоростей и приведённые годографы первых вступлений, скважина № 1

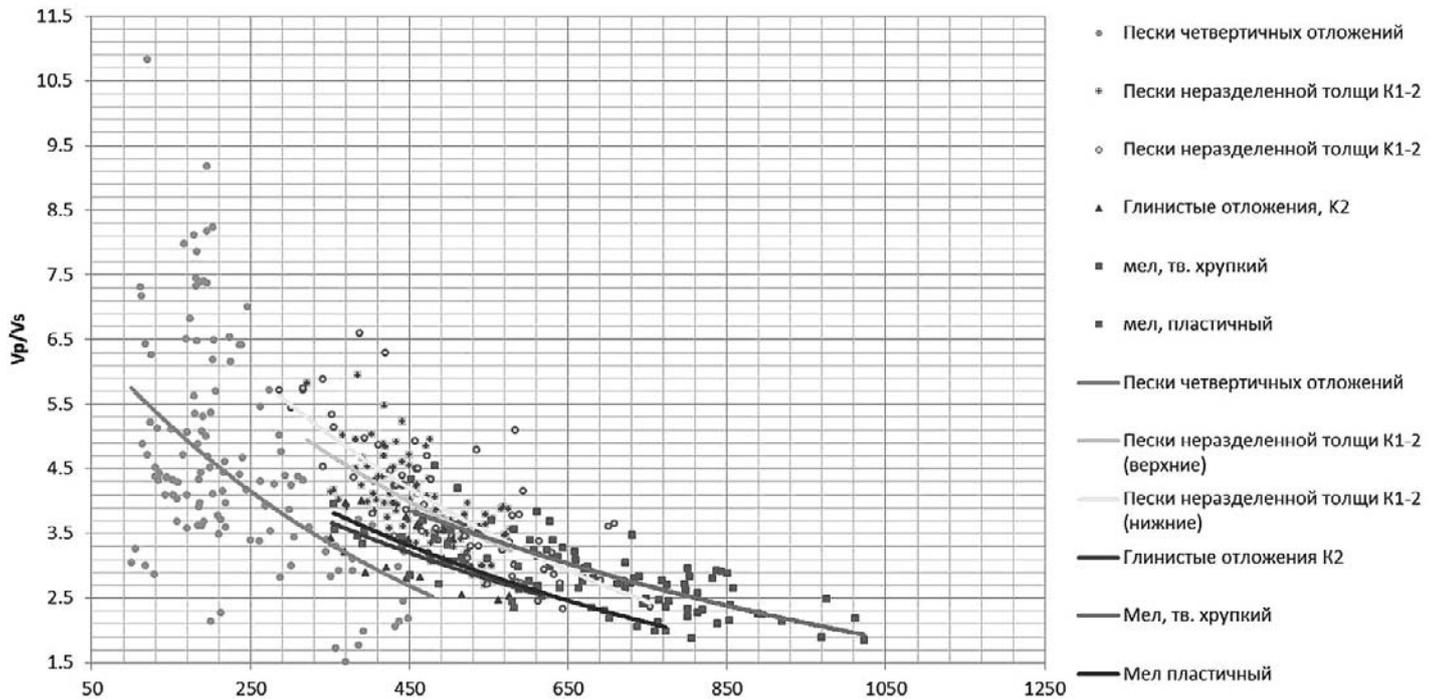


Рис. 3. Кросс-плот  $V_p/V_s$  от  $V_s$  по восьми скважинам

**Заключение**

Комплекс ТЕЛСС-ВСП с телеметрической передачей данных от скважинного прибора обеспечивает высокое качество регистрируемой информации и позволяет получить значения интервальных скоростей по исследуемой скважине.

При проведении ВСП по нескольким скважинам появляется возможность прослеживания особенностей геологического строения среды по отдельным горизонтам на площади исследований.

**Список литературы**

1. С.А. Федотов, А.С. Федотов. «Технологическое обеспечение качества результатов малоглубинных сейсмических исследований». Тезисы конференции «Инженерная геофизика- 2014».

Данильев С.М., Данильева Н.А., Поспехов Г.Б.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, daniliev@mail.ru, natopel@mail.ru, pospehov@spmi.ru

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ГЕОЛОГО-ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ПОДХОДА

В современных условиях активно развивающейся инфраструктуры большое внимание уделяется вопросу оперативного контроля технического состояния дорожно-хозяйственных объектов на стадии строительства и реконструкции. Основные требования, предъявляемые к методам изучения технического состояния дорожной одежды, подразумевают обеспечение высокой детальности, пространственной разрешающей способности и получение «экспресс» информации о строении объекта и возможных его дефектах. Для более полной характеристики эксплуатационной надежности дорог необходимо также решать следующие задачи: оценка неоднородности грунтов основания и насыпи; определение степени обводнения грунтовых оснований и изменения влажности; выявление областей формирования дефектов и пустот в основании земляного полотна дороги (рис. 1).

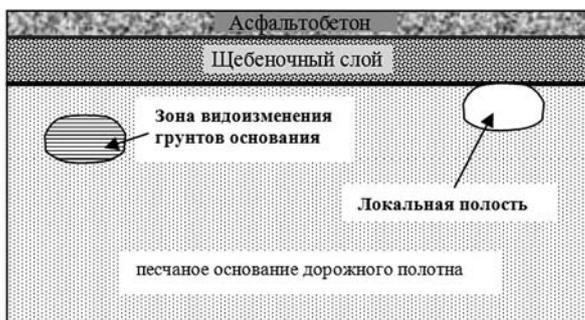


Рис.1. Обобщенная модель строения дорожной одежды с указанием скрытых гипотетических дефектов

Формирование различных дефектов в основании дорожной одежды преимущественно является следствием применения строительных материалов не соответствующих требованиям по качеству, предъявляемым для данного рода объектов, или по причине игнорирования особенностей инженерно-геологических условий конкретной местности. К сожалению, на этапе доставки строительных материалов к месту проведения работ, зачастую не представляется возможным контроли-

ровать каждую партию доставляемого сырья, что приводит к нарушениям технологии строительства и отступлениям от проектных решений. На стадии реконструкции дорожного полотна, по причине, например, наличия слабых грунтов в основании дороги может возникнуть задача о замещении грунтов основания, качество замещения и используемый для этого грунт также очень трудно своевременно контролировать.

Считается [3], что наиболее достоверными способами определения состояния, состава и свойств дорожной одежды являются бурение с отбором образцов и испытания методами динамического и статического зондирования. При этом указанные методы также не лишены недостатков, поскольку оценивают систему в точке и не позволяют получать непрерывную по площади информацию о мощности, составе, свойствах и состоянии конструктивных слоев дорожной одежды и грунтов земляного полотна, что не соответствует требованиям детальности исследований [1, 2]. Помимо этого, бурение не всегда обеспечивает получение качественных образцов для последующих лабораторных исследований. Поэтому необходимо применять дополнительные методы изучения земляного полотна, прежде всего геофизические исследования.

Метод георадиолокации на протяжении многих лет широко используется для изучения однородностей конструктивных слоев дорожной одежды, включающей слой асфальтобетона, щебеночный слой и песчаное основание полотна дороги. Однако на современном этапе развития метода георадиолокации не представляется возможным определить прочностные характеристики слоев дорожной одежды, определить тип грунта основания дорожного полотна, также в георадиолокационные разрезы необходимо вносить поправки за диэлектрическую проницаемость каждого конструктивного слоя для получения корректного глубинного разреза.

Таким образом, для наиболее оптимального решения задач изучения технического состояния дорожной одежды необходимо использовать комплексный подход, включающий инженерно-геологические методы изучения грунтов и геофизические исследования, а именно метод георадиолокации.

При этом необходимо для линейных объектов использовать георадиолокационные исследования еще на этапе производства инженерно-геологических изысканий. Например, за последние годы в Ленинградской области резко возросло количество обращений для оценки состояния дорожной одежды после строительства или реконструкции с целью оценки качества производства работ. В частности, возникает задача установить, была ли проведена выторфовка или замена слабых грунтов на конкретных участках, которые нередко находились между скважинами, и соответствуют ли объемы по выторфовыванию заявленным объемам в исполнительной документации.

В таких случаях чаще всего нет возможности подтвердить или опровергнуть заявления о производстве работ в связи с отсутствием информации об исходном строении рассматриваемых участков, что открывает пути для завышений объемов выполненных работ. При этом даже если на месте, указанном на схеме исполнительной съемки участка выторфовывания или замены слабого грунта, по результатам вскрытия скважинами торфа или слабого грунта не окажется или они будут присутствовать в меньшем объеме, чем указано, то это не доказывает их извлечения (полностью или частично) поскольку сравнить разрез по скважинам можно только при наличии колонок скважин, пробуренных до работ по реконструкции Объекта и после. То есть неизвестно

сколько торфа или слабого грунта было всего до начала работ. Поэтому выполнение непрерывного георадиолокационного исследования в процессе изысканий позволяет более обоснованно размещать места бурения скважин и дает возможность последующего сравнения данных при выполнении работ по контролю качества строительства или реконструкции дороги.

Результатом георадиолокационных исследований разрезов дорожной одежды служит временной разрез отражающий структуру и однородность изучаемого объекта -радарограмма (рис.2). Наиболее корректный способ определения скоростей распространения волновых электромагнитных (ЭМ) полей радарограмм основан на данных бурения. Этот способ называют иногда калибровкой радарограмм, а скважины, используемые для расчета скоростей, называют калибровочными или параметрическими.

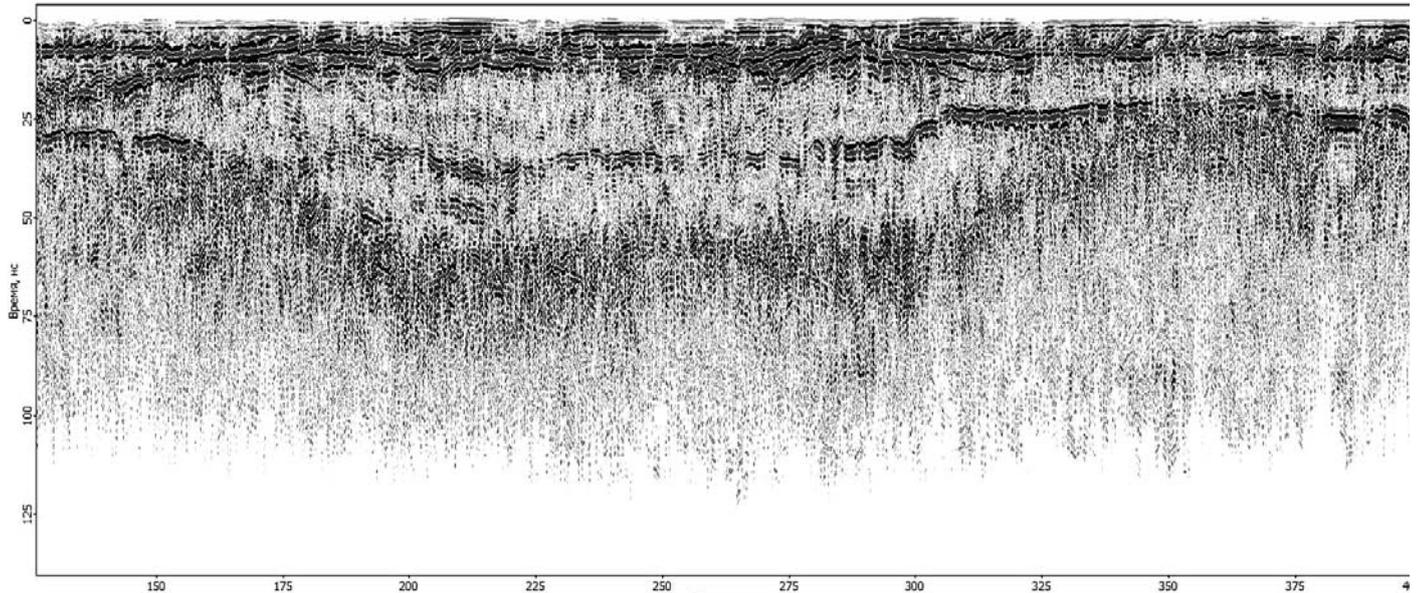


Рис.2. Пример полевой радарограммы, отражающей особенности строения разреза дорожной одежды

Для определения скоростей используют временной разрез, полученный после введения кинематической поправки. По временному разрезу определяют время пробега электромагнитной волны в среде. Это время вычисляется как половина разности времен, соответствующих осям синфазности отраженных волн от рефлекторов среды в области расположения скважины. Скорость определяется как отношение глубины залегания рефлектора к времени пробега ЭМ волны до него.

Информацию об изменениях состава и состояния разреза дорожной одежды по георадиолокационным данным, можно получить на основе анализа динамических характеристик и нерегулярных возмущений сигналов георадара.

В состав современных обрабатывающих компьютерных систем входят процедуры определения ряда энергетических и частотных характеристик георадарограмм. Для этого используется преобразование Гильберта, позволяющее получать новые образы временных разрезов, путем использования функций мгновенных амплитуды, фазы и частоты аналитического сигнала. При выполнении преобразования Гильберта строится аналитическая функция (комплексный сигнал), действительная часть которого есть сама трасса, а мнимая – её Гильберт-трансформанта. Значения мгновенной частоты и фазы позволяют выявлять участки записи с различным частотным составом и фазовыми сдвигами. Это могут быть участки записи, соответствующие отражениям от областей разреза с другой структурой или влажностью материала (рис.3).

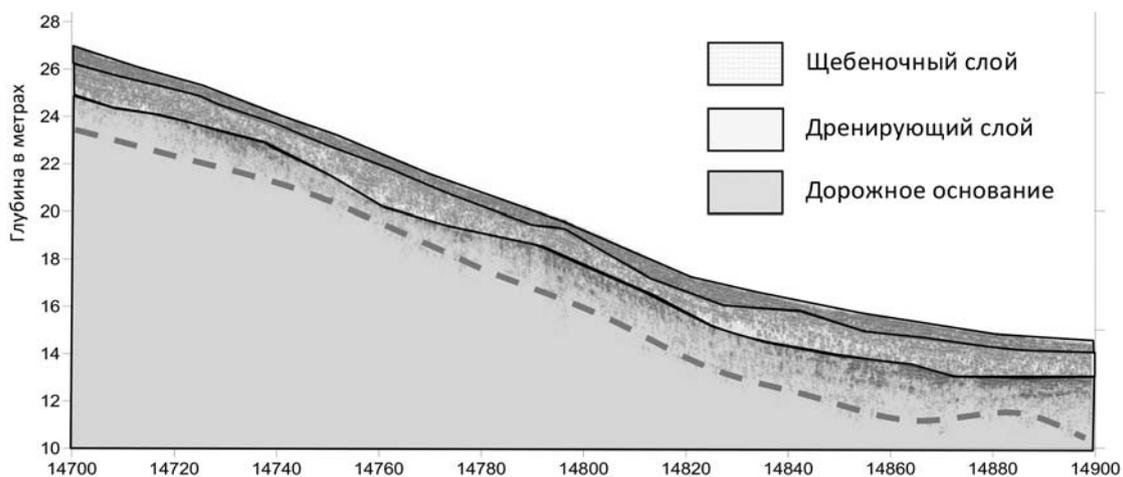


Рис.3. Пример обработанной радарограммы с введенными поправками за скорость ЭМ волн и рельеф

Модуль амплитуды Гильберт преобразования характеризует мгновенную амплитуду исходного сигнала и является его огибающей. Это преобразование помогает выделить на георадарограмме участки с различным характером электромагнитного волнового поля. Участки отличаются более высокой или более низкой энергией сигнала и не имеют четких границ. Такие интервалы георадарограммы связаны, как правило, с областями разреза, характеризующимися неоднородным составом или повышенной влажностью грунтов. Изменение энергии волнового поля связано также с изменением глинистости грунтов. Интервалам разреза, где преобладают песчаные разности грунтов, свойственны повышенные значения энергии нерегулярных полезных волн. При повышении глинистости грунтов энергия этих волн убывает. Поэтому георадарограммы преобразованные в карты мгновенных амплитуд, которые можно назвать энергограммами, имеют большие преимущества, так как дают интерпретатору богатую информацию о структуре волнового электромагнитного поля (рис.4).

Выявление дефектов дорожной одежды возможно на основании энергограмм нерегулярных возмущений волновых полей. Сопоставления данных нагрузочных испытаний земляного полотна и георадиолокационного зондирования позволяет не только обнаруживать участки с повышенной деформативностью, но и выявлять неоднородности, обуславливающие её возникновение. Результаты комплексных исследований, включающие Гильберт-преобразование георадарограмм, позволяют обосновать конкретные меры по своевременному устранению дефектов дорожной одежды и поддержанию безаварийной работы автомобильных дорог.

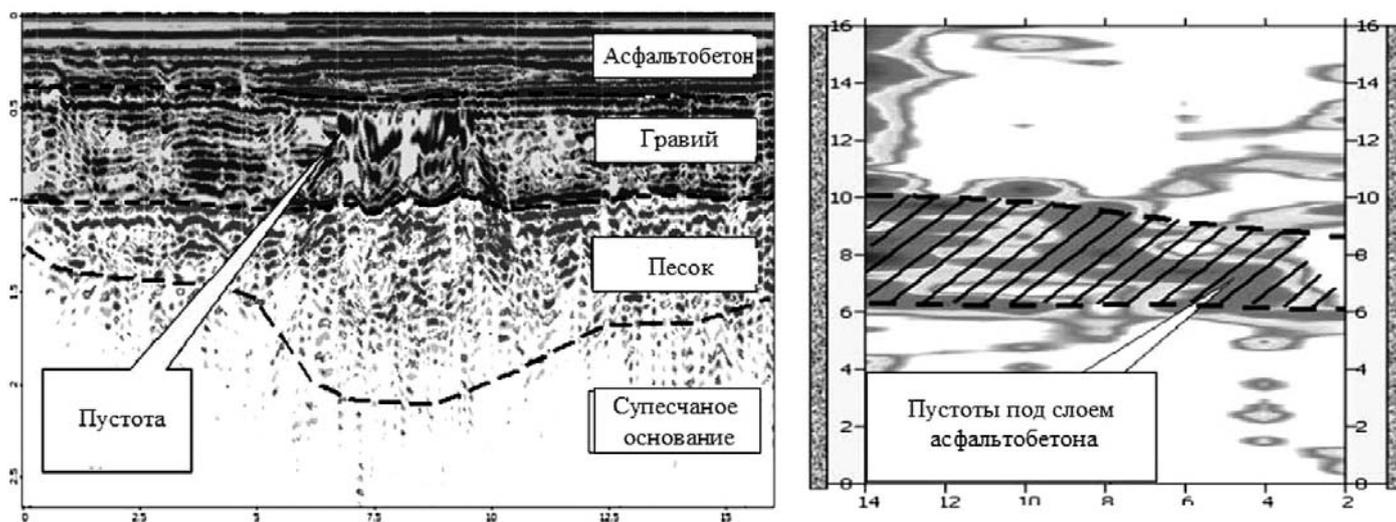


Рис.4. Пример радарограммы, трансформированной с учетом скоростей электромагнитных волн в слоях автодороги и карта распределения мгновенных амплитуд в интервале 0,5-1 м, характеризующая размещение пустот под слоем асфальтобетона

Применение Гильберт преобразований георадарограмм обеспечивает повышение эффективности интерпретации данных метода георадиолокации за счет получения дополнительной информации о состоянии материала конструктивных слоев дорог.

#### Список литературы

1. Кулижников А.М. Применение георадарных технологий в дорожном хозяйстве // Разведка и охрана недр. – 2001. – N 3. – С.32-34.
2. Методические рекомендации по применению георадаров при обследовании дорожных конструкций. – М.: Росавтодор, 2004. – 37с.
3. Правила диагностики и оценки состояния автомобильных дорог, ОДН 218.0.006-2002. – М.: Росавтодор, 2004. – 37с.

Данильева Н.А., Данильев С.М.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, natopel@mail.ru, daniliev@mail.ru

## ИЗУЧЕНИЕ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ РАЗРЕЗА НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОЙ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ НЕГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Исследование верхней части разреза (ВЧР) является важным этапом для проектирования будущих сооружений неглубокого заложения, к которым относятся асфальтированные дороги, трубопроводы, железнодорожные дороги. Основными параметрами, которые необходимо определять – это глубина и мощность каждого слоя, сопротивление горных пород, локальные неоднородности и многое другое, которые могут негативно влиять на эксплуатационную надежность сооружений.

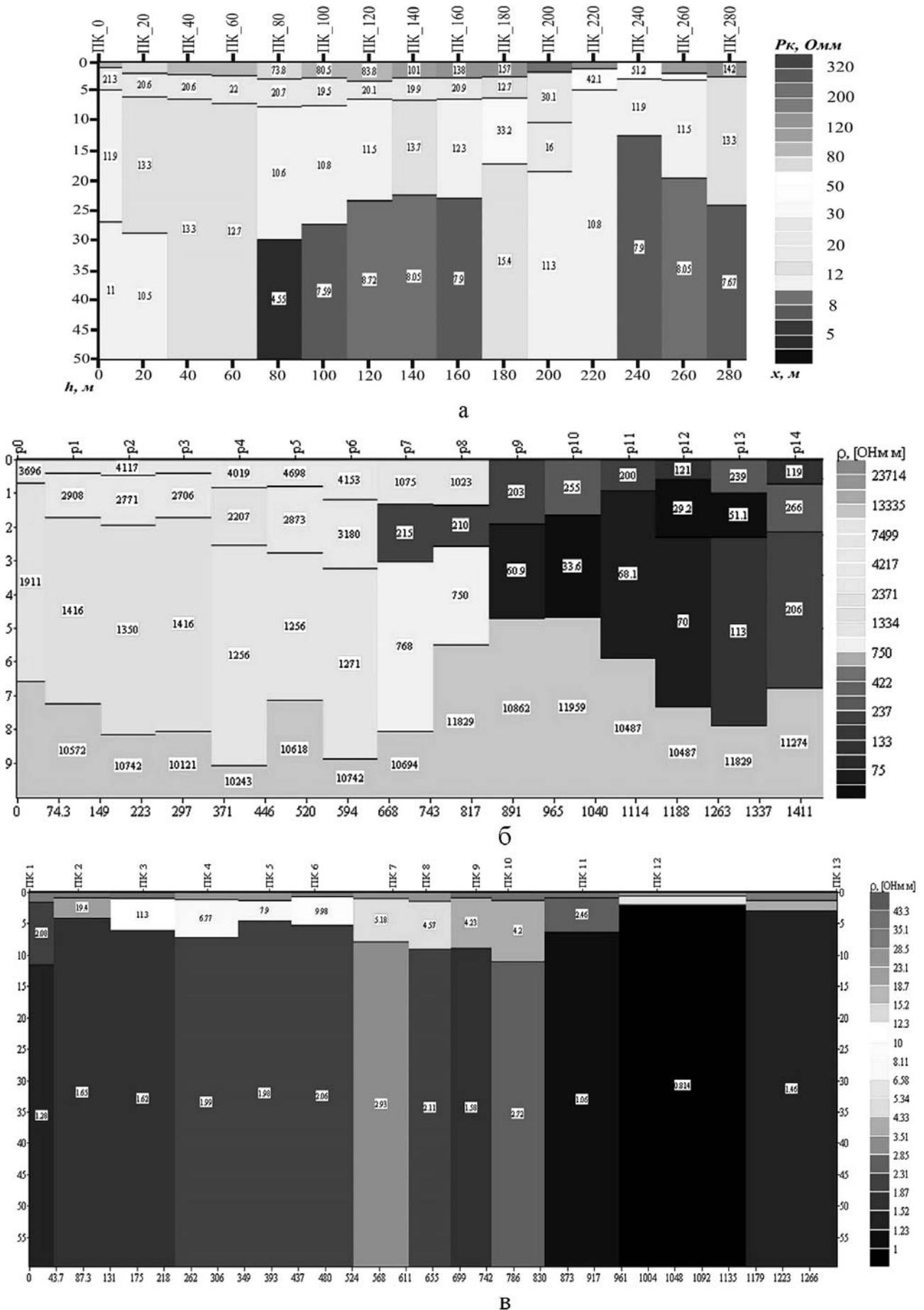


Рис. 1. Геоэлектрические разрезы, полученные по результатам ВЭЗ для различных объектов: а – насыпная территория, б – скальные породы, в – песчано-глинистые у берега моря

Комплексирование геофизических методов, включающих электрические и электромагнитные методы, позволяет определить детальное строение ВЧР, определить наличие и геометрические размеры локальных неоднородностей, глубину залегания рыхлых пород, уровень грунтовых вод, глубину залегания фундамента, предполагаемые разрывные нарушения и геодинамически активные зоны.

В комплекс методов, выполняемый под строительство линейных сооружений, вошли следующие геофизические методы: электроразведка методом вертикального электрического зондирования, электропрофилирование, сейсморазведка методом преломленных волн в томографическом варианте, георадиолокационные зондирования с применением антенн различной частоты с целью обеспечения достаточной глубинности исследований. Для выполнения электроразведочных работ была использована аппаратура «ЭРА-МАХ», для георадиолокационных – георадар «ОКО-2».

Предлагаемый комплекс геофизических исследований был опробован на объектах, имеющих различное геологическое строение: озерно-ледниковые отложения, скальные породы, песчано-глинистые отложения, насыпные искусственные сооружения. По каждому из объектов были созданы физико-геологические модели, отражающие основные особенности геологического строения и распределения физических свойств по латерали и глубине. Однако, стоит отметить, что на объектах, располагающихся у уреза морского побережья возникают осложнения в определении сопротивления грунтов ввиду сильного обводнения соленой водой близлежащих пород [3].

На рисунке 1 представлены геоэлектрические разрезы, построенные для насыпной территории (а), скального массива (б) и песчано-глинистых отложений на берегу моря (в).

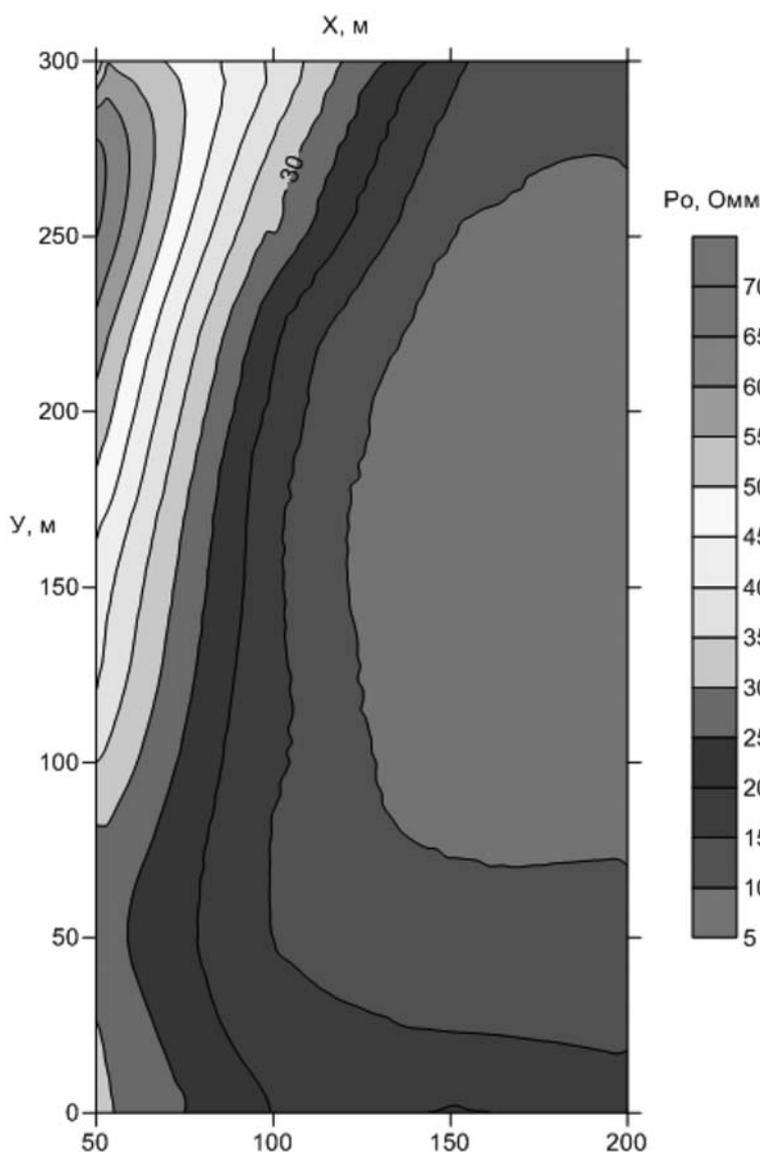


Рис. 2. Карта кажущегося сопротивления по площади изучения прибрежной морской зоны на глубину 10 м

В результате интерпретации представленных разрезов было определено геологическое строение ВЧР, а именно, количество слоев с различными электрическими свойствами, наличие разрывных нарушений (рис. 3-а. между ПК 200 и 220) и зон обводненности (рис. 3-а. ПК 80-160, рис. 3-в. весь разрез с глубины установления уровня воды 6-10 м).

Метод электропрофилирования выполнялся с целью изучения площадного распределения значений кажущегося сопротивления горных пород для определенной глубины исследования. В результате были построены карты распределения кажущегося сопротивления по системе профилей на заданную глубину (рис. 2).

Следующим этапом по изучению ВЧР стало применение георадиолокации для выявления локальных неоднородностей и определения их геометрических разрезов. Метод георадиолокации на основе опыта предшествующих работ по выявлению областей разуплотненных грунтов и локальных неоднородностей зарекомендовал себя достаточно хорошо [2].

Для насыпной территории была использована антенна с частотой зондирующих импульсов 150 МГц, дающая информацию о разрезе на глубину до 8 м в условиях песчаных пород (рис. 3-а). Для изучения скального массива была применена антенна с частотой зондирующих импульсов 400 МГц, позволившая исследовать массив на глубину около 14 м (рис.3-б). В условиях прибрежной морской зоны попытка проведения метода георадиолокации с антенным блоком 400 МГц не увенчалась успехом ввиду наличия глинистых

пород на сравнительно небольшой глубине, что не позволило определить строение ВЧР глубже почвенно-растительного слоя и слоя суглинков, где сигнал от антенны затухал на глубине около 1 м (рис. 3-в) [1].

В результате комплексной интерпретации данных электроразведочных данных были привлечены архивные данные, которые позволили сформировать представление о геологии исследуемого объекта, и данные по неглубоким скважинам или шурфам, которые были выполнены для уменьшения эквивалентности вариантов решения обратной задачи электроразведки и наибольшему приближению построенной физико-геологической модели к реальной (рис. 4).

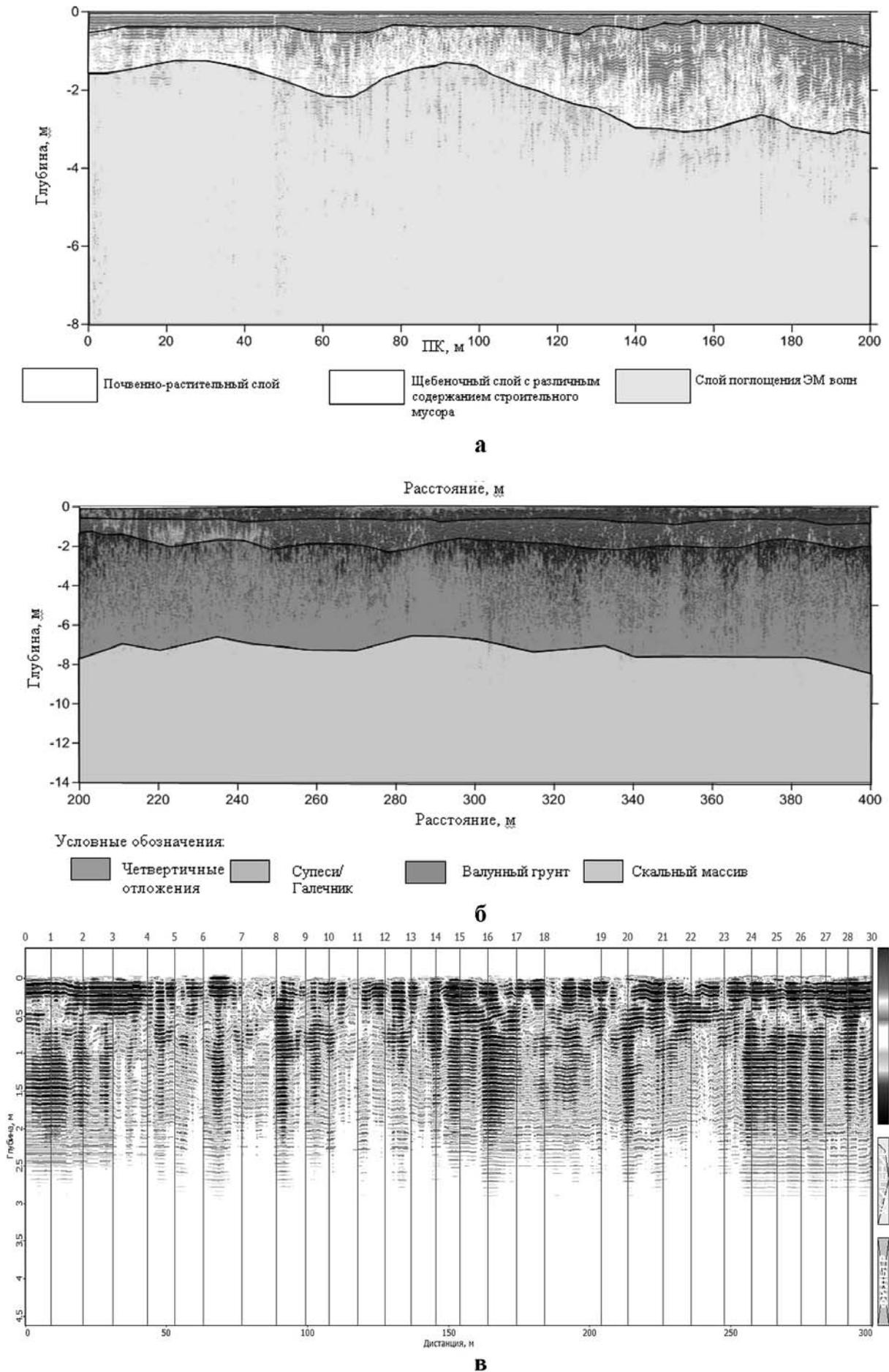


Рис. 3. Георадарограммы с нанесенными границами слоев (для а и б). а – насыпная территория, б – скальные массивы, в – прибрежная зона

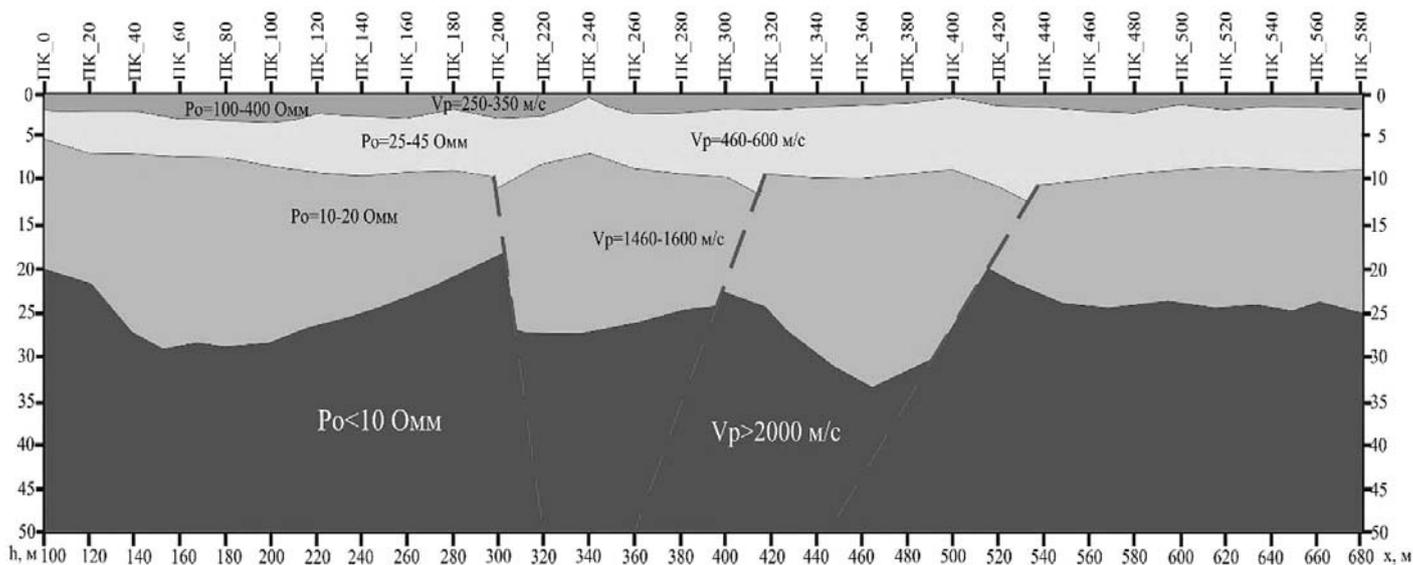


Рис. 4. Физико-геологическая модель насыпной территории, построенная по результатам комплексных электроразведочных работ

### Список литературы

1. Владов М.Л., Золотарев В.П., Старовойтов А.В. Методическое руководство по проведению георадиолокационных исследований.
2. Данильев С.М., Данильева Н.А. Прогнозирование зон разрывных нарушений на основе геофизической информации на участке Морской набережной г. Санкт-Петербурга. Материалы IV-ой Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П.Карпинского, ВСЕГЕИ, СПб, 2015 г.
3. Франтов Г.С. Инструкция по электроразведке. Л.: Недра, 1984 г.

Архипов А.Г.

ООО «Геодиагностика», Санкт-Петербург, arhipov8@mail.ru

## СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ МАССИВОВ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ИСКУССТВЕННЫХ ГРУНТОВ

Сейсмоакустическая диагностика состояния массивов естественных и искусственных грунтов – новое научное направление, рассматривающее грунты и искусственные объекты, устроенные в подземном пространстве (ограждения, сваи) в качестве объекта диагностирования, а упругие волны, прошедшие сквозь объект или отраженные от объекта, как носители диагностической информации.

Техническая диагностика – отрасль знаний, исследующая технические состояния объектов диагностирования и проявления технических состояний, разрабатывающая методы их определения, а также принципы построения и организацию использования систем диагностирования [1]. Рассматривая массивы естественных и искусственных грунтов в качестве объекта диагностирования, можно применить отработанные для машин и механизмов аппарат и методы оценки состояния.

Объект исследований – массивы естественных грунтов, массивы искусственных грунтов (грунты, закрепленные способами замораживания, струйной цементации, химического закрепления и др.), ограждений, свай и других объектов, устроенных в подземном пространстве. При этом ограждения и сваи можно также рассматривать как локальные массивы искусственных грунтов.

Актуальность проблемы сейсмоакустической диагностики состояния массивов естественных и искусственных грунтов заключается в необходимости контроля их состояния, размеров, сплошности и прочности материала в естественном залегании.

Предметом изучения сейсмоакустической диагностики состояния массивов естественных и искусственных грунтов (в дальнейшем сейсмоакустической диагностики СМГ) являются закономерности изменения параметров, проходящих и отраженных упругих волн от состояния исследуемого массива.

Назначением сейсмоакустической диагностики СМГ является оценка степени отклонения состояния массива грунтов от нормы по изменению измеряемых параметров. Грунтоцементный массив можно рассмотреть, как некий преобразователь  $P$  параметров его состояния  $s_i$  в параметры распространяющихся упругих волн  $u_i$ :

$$\{U\} = P \{R\} \quad , \quad (1)$$

где  $\{U\} = \{u_1^{(t)}, u_2^{(t)}, \dots, u_n^{(t)}\}$  – вектор признаков состояния грунтового массива в  $n$ -мерном признаковом пространстве;  $\{R\} = \{s_1^{(t)}, s_2^{(t)}, \dots, s_n^{(t)}\}$  –  $m$ -мерный вектор диагностируемых параметров состояния.

Задачей сейсмоакустической диагностики СМГ можно считать получение обратной к (1) зависимости:

$$\{R\} = P^{-1}\{U\}, \quad (2)$$

когда на основе установленных диагностических признаков необходимо сделать вывод о параметрах состояния грунтового массива.

Методы диагностирования – геофизические методы: межскважинное прозвучивание, сейсмоакустическое зондирование и др.

Физической основой использования акустических методов является зависимость акустических свойств от упругих, деформационных, прочностных свойств и трещиноватости естественных и искусственных грунтов (бетона, грунтоцемента, ледогрунта и др.) [2-4]. Параметры проходящей упругой волны изменяются в зависимости от свойств среды распространения. При закреплении грунтов и создании сплошного однородного искусственного массива грунтов скорость распространения упругих волн увеличивается. При появлении в теле объекта дефектов, часть энергии упругой волны, распространяющейся в прямом направлении, будет отражаться от дефекта и регистрироваться в виде эхо-сигналов. Появление эхо-сигналов, отраженных от дефектов, и зависимость скорости упругой волны от прочности материала является физической основой для контроля состояния свай и панелей стен в грунте методом сейсмоакустического зондирования.

Системы наблюдений разрабатываются на основе цели и задач исследований и характеристик объекта исследований. Типовые схемы при межскважинном прозвучивании: синхронное прозвучивание с одновременным параллельным перемещением скважинных приборов и веерные схемы с направлением лучей прозвучивания под углом к поверхности объекта (рис.1). Межскважинная сейсмотомография предназначена для детального исследования структуры массива горных пород в межскважинном пространстве, выявления малоконтрастных зон неоднородности (несплошности) в ледогрунтовой (грунтоцементной, бетонной) ограждении и рудных тел в массиве горных пород. Схемы сейсмоакустического зондирования и прозвучивания бетонных и грунтоцементных свай и ограждений показаны на рис.2

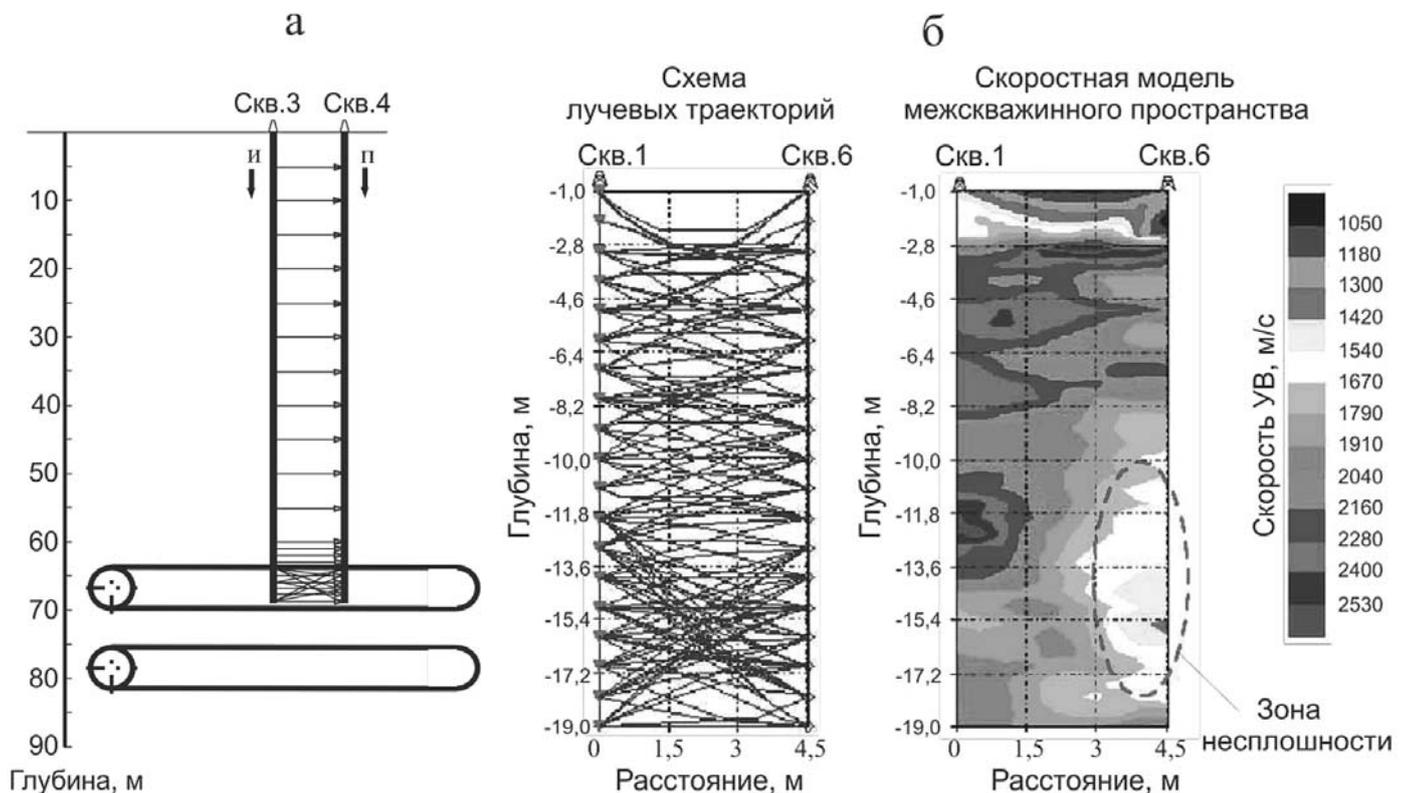


Рис. 1. Схемы межскважинного прозвучивания при исследовании грунтов и контроле сплошности грунтоцементных, ледогрунтовых и бетонных ограждений: а – синхронное прозвучивание (погребенный тоннель в районе площади Мужества, 2013г.), б – веерные схемы с построением томографического изображения межскважинного пространства (грунтоцементное ограждение ствола 4 в районе площади Мужества, 2003г.)

Диагностическими параметрами о свойствах и состоянии естественных и укрепленных грунтов в методе межскважинного прозвучивания являются скорость распространения (время прихода), амплитуда звукового давления и спектр импульса упругих волн (рис 3). Основным диагностический параметр – скорость продольной упругой волны  $v_p$ . Основным диагностическим параметром состояния объекта в методе сейсмоакустического зондирования является время прихода эхо-сигнала от границ объекта или дефекта.

ООО «Геодиагностика» ([www.geodiagnosics.ru](http://www.geodiagnosics.ru)) разрабатывает диагностические методы межскважинного акустического просвечивания (МАП) и сейсмоакустического зондирования (САЗ) для исследования внутренней структуры объекта в естественном залегании на основе параметров импульса упругой волны, прошедшего сквозь объект или отраженного в виде эхо-сигнала от внутреннего дефекта объекта.

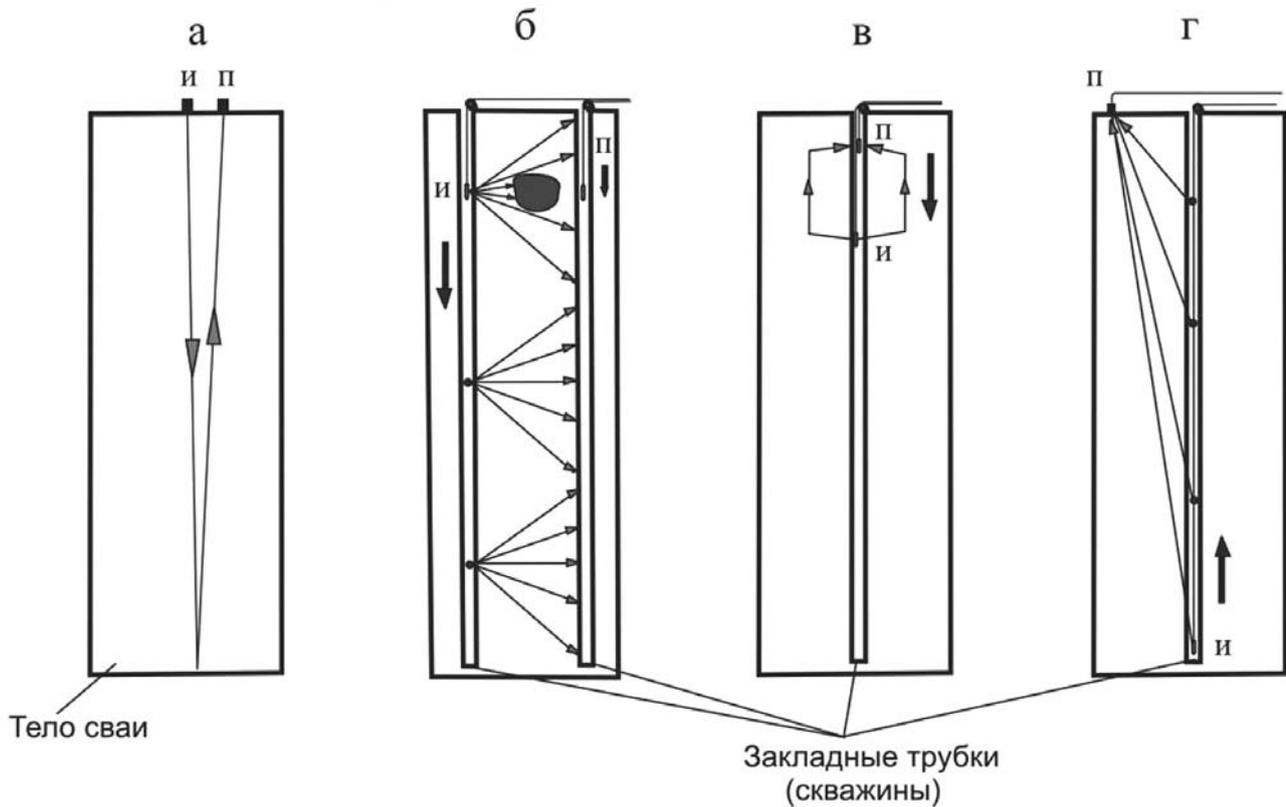


Рис. 2. Схемы сейсмоакустического зондирования и прозвучивания бетонных и грунтоцементных свай и ограждений а – сейсмоакустическое зондирование, б, г – прозвучивание, в – каротаж

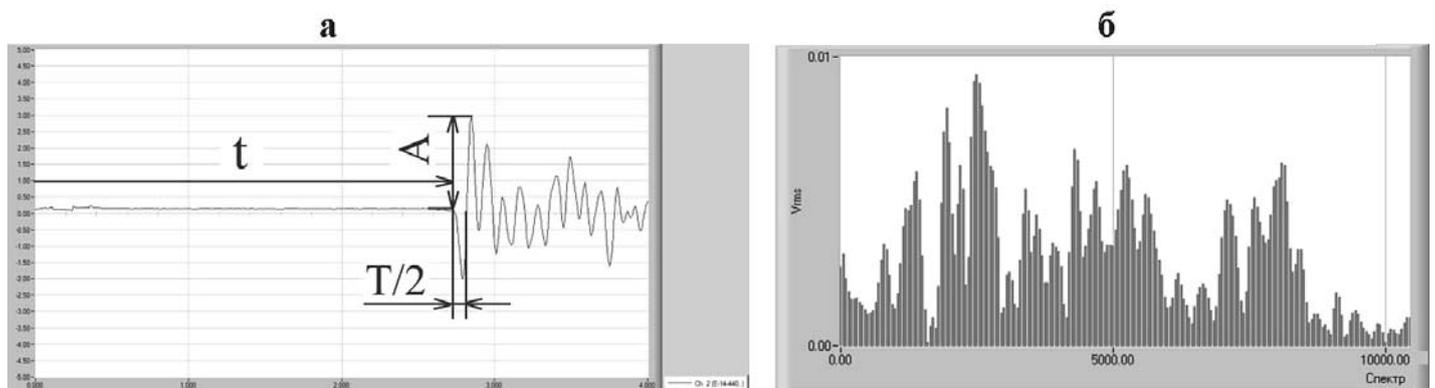
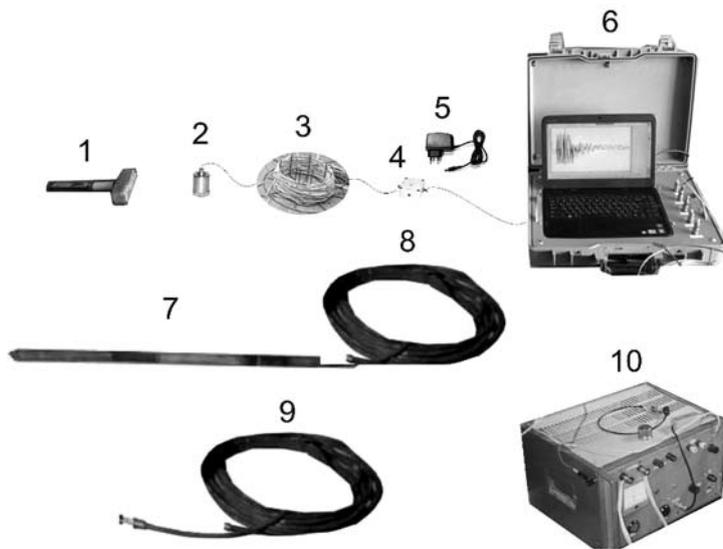


Рис. 3. Диагностические параметры метода межскважинного акустического просвечивания (прозвучивания): а – параметры первого вступления импульса продольной упругой волны, б – спектр импульса упругой волны

Первые технические средства и технологии импульсного межскважинного акустического просвечивания и зондирования массивов горных пород были разработаны Всероссийским НИИ методики и техники разведки (ВИТР, Ленинград, СССР) в конце 60-х годов 20 века. Серийно выпускались аппаратуры МАП-1 (1974г.) и АПИ-1 (1981г.). После реорганизации ВИТР работы по созданию технических средств и методов акустического просвечивания и зондирования перешли в ООО «Геодиагностика». В настоящее время ООО «Геодиагностика» разработан компьютеризированный аппаратный комплекс импульсного акустического просвечивания и зондирования АПЗ-1 (для малых глубин до 150 м и поверхностных работ). Аппаратурный комплекс АПЗ-1 (рис.4) предназначен для измерения времени распространения, амплитуды и частоты импульса упругих волн в горных породах между излучателем и приемником с целью определения упругих характеристик среды. В состав аппаратного комплекса АПЗ-1 входят: излучающая установка (генератор импульсов тока, высоковольтный кабель и электроискровой излучатель) и измерительная система (скважинный приемник или вибропреобразователь, усилитель и комплекс программно-аппаратных средств на базе персонального компьютера). Скважинные приборы эксплуатируются в гидронаполненных скважинах или шпурах диаметром не менее 46 мм.

*Метрологическое обеспечение.* Аппаратурный комплекс АПЗ-1 калибруется Всероссийским НИИ метрологии им. Д.И. Менделеева и имеет сертификат калибровки средства измерения. Основная относительная погрешность измерения АПЗ-1: времени +3 %; виброускорения +10 %; частоты колебаний +2 %.

Дальность акустического просвечивания (прозвучивания) по рыхлым грунтам (пескам, супесям) составляет не менее 20 м, по скальным грунтам (гранитам) – достигает 150 м. Глубина зондирования по скальным грунтам и бетонам – до 40 м. Разрешающая способность при межскважинном акустическом просвечивании грунтов + 0,5 м.



**Рис. 4. Аппаратурный комплекс АПЗ-1:** 1 – ударный молоток, 2 – вибропреобразователь, 3 – кабель на катушке, 4 – переходная коробка, 5 – источник питания, 6 – комплекс программно-аппаратных средств, 7 – скважинный приемник, 8 – кабель скважинного приемника, 9 – кабель с электроискровым излучателем, 10 – генератор импульсов тока

Вместе с аппаратным комплексом АПЗ-1 разработан и апробирован комплекс диагностических технологий для решения практических задач при геологоразведочных, инженерно-геологических и строительных работах.

Для основных типов ограждений и свай составлены таблицы диагностических признаков состояний, позволяющих на основе сочетания диагностических параметров (скорости упругой волны, акустического спектра, коэффициента затухания и др.) определять состояние объекта

(сплошность, неоднородность, наличие дефектов). Основной диагностический параметр – скорость продольной упругой волны. Контроль прочности материала ограждений и свай (бетона, грунтоцемента, ледогрунта) производится на основе градуировочных зависимостей «скорость упругой волны – прочность на одноосное сжатие». Применение технологий регламентируется действующими нормативно-техническими документами (СП, ВСН, МУ) на контрольные работы сейсмоакустическим методом и МВИ 2520 – 018 – 2008 «Методика выполнения измерений ударного ускорения при контроле сплошности бетонных, грунтобетонных и ледогрунтовых свай и массивов методами импульсного акустического зондирования и прозвучивания».

*Технология поиска рудных тел в межскважинном пространстве методом акустического просвечивания* апробирована в период 1970 – 1990 гг. на десятках месторождений СССР: Кочбулак (Узбекистан), Узудмурт (Казахстан), Карамкен (Россия) и др. Использование метода МАП позволяет повысить качество и точность подсчета запасов месторождений полезных ископаемых, снизить затраты на разведку за счет сокращения числа разведочных скважин и горных выработок.

*Технология контроля сплошности, размеров прочности грунтоцементных (цементогрунтовых, грунтобетонных) ограждений, противофильтрационных завес и свай методом акустического просвечивания.* В 2001-2014г.г. в Санкт-Петербурге произведен контроль сплошности десятков ограждений, устроенных способом струйной цементации: тоннеля в створе Токсовской ул. (пос. Мурино), противофильтрационной завесы лотковой части Т4-С комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга от наводнений; грунтоцементных свай на участках ЛОТ1 и ЛОТ6 кольцевой автодороги грунтоцементной, плиты и стены ограждения котлована на площадке строительства 2-й сцены Мариинского театра и др. Определение прочности грунтоцемента методом МАП в естественном залегании позволяет отказаться от отбора керна.

*Технология контроля сплошности ледогрунтовых ограждений, сооружаемых способом искусственного рассольного или жидкоазотного замораживания грунтов.* Первые работы по контролю сплошности ледогрунтовых ограждений методом МАП проведены в 1974г. на участке «Размыв» Кировско-Выборгской линии Ленинградского метрополитена. В 2001-2014 гг. в Санкт-Петербурге произведен контроль сплошности 37 ледогрунтовых ограждений: наклонных ходов станций Волковская, Международная, Бухарестская, проспект Славы 1 и 2, шахтных стволов объекта «Продолжение главного коллектора северной части Санкт-Петербурга» и др.

*Технологии исследования буронабивных и забивных свай и бетонных опор мостов методами акустического зондирования с поверхности головы свай или прозвучивания из закладных трубок* предназначены для контроля характеристик свай: сплошности, длины, формы, класса прочности бетона. Суть метода сейсмоакустического зондирования заключается в механическом возбуждении головы свай и оценке состояния свай по результатам сравнения параметров эхо-сигнала с диагностическими признаками различных состояний свай. С 2002 г. выполнен контроль сплошности тысяч буронабивных свай при строительстве КАД и ЗСД в Санкт-Петербурге, опорах мостов через реку Нева (мосты Новолазаревский и Большой Петровский) реку Волковка (Ново-Кирпичный мост), Обводный канал (Американские мосты), реки Волхов, Мста, Шуя, Луга, озеро Валдай, аэропорт Пулково, Дублер Курортного проспекта г.Сочи и др.

*Технология исследований состояния обделки горных выработок методом акустического зондирования* предназначена для контроля состояния обделки и поиска пустот за бетонными плитами. Технология применена в 2003г. при обследовании обделки тоннелей 1 и 2 (участок «Размыв») между станциями Лесная – пл. Мужества Санкт-Петербургского метрополитена с целью определения толщины слоя защитного уплотнительного раствора и наличия пустот в затюбинговом пространстве.

*Технология контроля сплошности стен в грунте* из бетонных элементов или буросекущихся свай, методом акустического просвечивания из закладных трубок. Исследовано сотни панелей и стыков стен в грунте на Западном скоростном диаметре. Заказчику предоставляется информация о состоянии бетона и стыков для оценки сплошности ограждения и разработки, при

необходимости, мер по ликвидации потенциально опасных мест прорыва грунтовых вод внутрь выработки до начала проходческих работ.

Большая дальность, высокая разрешающая способность, возможность определять сплошность и прочность материала в естественном залегании без отбора керна, действующая нормативная база делает методы прозвучивания и зондирования частью технологий строительства подземных сооружений, что предопределяет дальнейшее развитие направления сейсмоакустической диагностики состояния массивов естественных и искусственных грунтов.

#### Список литературы

1. Генкин М.Д., Соколова А.Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. М., Машиностроение, 1987.
2. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. М., Изд-во Иностранной литературы, 1957.
3. Комаров В.А., Попов А.А., Шатров Б.Б. и др. Скважинная рудная геофизика. Л., Недра, 1971.
4. Савич А.И., Коптев В.И., Никитин В.Н., Яценко З.Г. Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород. М., Недра, 1969.

Архипов А.Г., Матинян А.А.

ООО «Геодиагностика», Санкт-Петербург, arhipov8@mail.ru, arturalpik-morpheh@live.ru

## МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ПАНЕЛЕЙ И СТЫКОВ СТЕНЫ В ГРУНТЕ МЕТОДАМИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО И АКУСТИЧЕСКОГО ПРОЗВУЧИВАНИЯ ИЗ ЗАКЛАДНЫХ ТРУБОК

Бетонные ограждения (противофильтрационные завесы) в виде траншей, заполненных бетоном или рядов буросекущихся свай, в настоящее время являются распространенным способом защиты выработок при проходке шахтных стволов, котлованов подземных паркингов и зданий. Несмотря на практическую гидронепроницаемость бетона вероятность появления зоны несплошности в бетонном ограждении в текучих и водонасыщенных грунтах очень высока в силу многочисленных геологических, технических и технологических причин. Наиболее опасным местом образования зоны несплошности в ограждении является поверхность смыкания (стык) соседних панелей или свай (рис.1). Появление зоны несплошности в ограждении при проходке в водонасыщенных текучих грунтах сопровождается авариями с поступлением водо-грунтовых масс внутрь выработки, осадкам земной поверхности с повреждением зданий и необходимостью компенсации ущерба собственникам зданий. Ликвидация аварий сопровождается значительными дополнительными затратами.



Рис. 1. Аварийный стык между панелями стены в грунте после частичной откопки котлована

По мнению авторов, наличие дефектов в ограждении необходимо определять до начала проходческих работ неразрушающими методами контроля для выработки и реализации проектных решений по безаварийной проходке. Для контроля состояния бетонных стен в грунте наиболее перспективны геофизические методы исследований. Из многочисленных геофизических методов исследований для бетонных ограждений наиболее информативны акустические (сейсмоакустические, ультразвуковые) методы. Физической основой применения акустических методов исследования является установленные зависимости между параметрами упругих волн (скорость распространения, амплитуда и спектр), прочностными и упругими свойствами материалов [1, 2, 3]. Преимущество контроля состояния бетонных ограждений прозвучиванием между закладными трубками заключается в возможности максимально приблизиться к объекту исследований и исключить потерю информации в верхних слоях грунта и бетона.

Другие методы исследований, например, электромагнитные с помощью георадара, по мнению авторов, в настоящее время практически не применимы из-за физических особенностей и большого числа мешающих факторов. Для георадара основными мешающими факторами являются низкая радиопрозрачность железобетона из-за затухания электромагнитных колебаний на стальном армокаркасе и неконтролируемая погрешность измерений расстояний на относительно малых базах (0,5-30 м) за счет очень высокой скорости распространения электромагнитной волны (300 000 000 м/с).

ООО «Геодиагностика» ([www.geodiagnosics.ru](http://www.geodiagnosics.ru)) продолжает развивать направление контроля сплошности состояния естественных и искусственных грунтов методом межскважинного акустического просвечивания (прозвучивания), основы которого для ледогрунтовых ограждений были заложены в начале 60-х годов 20 века во Всесоюзном научно-исследовательском институте методики и техники разведки (ВИТР).

Цель исследований заключалась в определении рационального комплекса методов прозвучивания из закладных трубок и формировании акустических диагностических признаков состояния бетонных стен в грунте в естественном залегании для разработки методики контроля сплошности методом межскважинного прозвучивания.

Объекты исследований массив бетона и стыки стен в грунте, в которых по проекту в армокаркасы были заложены закладные наблюдательные трубки. Исследовано 12 траншейных стен в грунте и одно ограждение из буресекущихся свай.

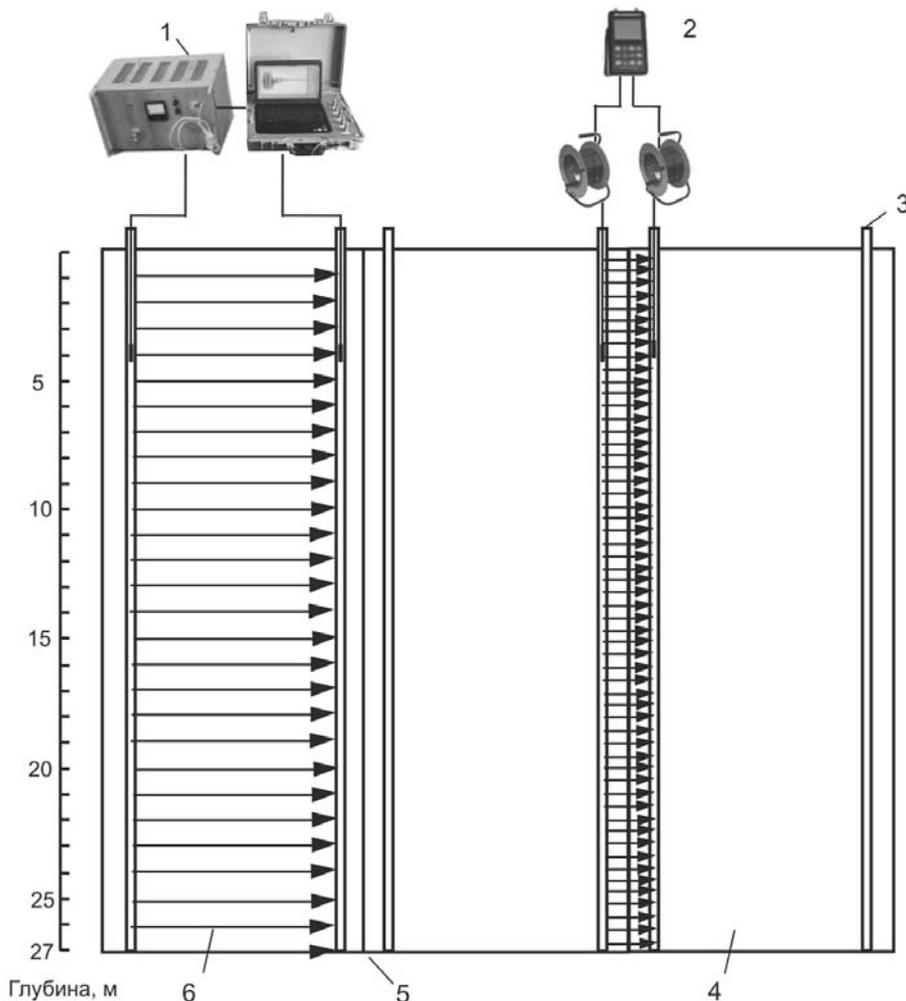
Траншейные стены в грунте устраивались на строительной площадке с помощью грейферного экскаватора путем с выборки грунта грейфером под защитой глинистого раствора захватками длиной 2,2, 2,8 и 6 м, установки армокаркаса с закладными трубками, порционным заполнением выработки цементным раствором, выдерживанием для образования бетона. Размеры стен: ширина 0,8 и 1,2 м, высота – 27 – 33 м, длины 100-500 м. Ограждение из буресекущихся свай в форме полого цилиндра, устраивалось на строительной площадке с помощью буровой установки путем бурения обсадной трубой с выборкой грунта шнеком, установкой армокаркаса (через одну сваю) с закладными трубками, и последующим бетонированием методом ВПТ.

Методика исследования заключалась в прозвучивании массива бетона и стыков между панелями (сваями) стен в грунте до откопки котлована, нахождении зависимости между измеряемыми параметрами и состоянием бетона и стыков после откопки котлована, формировании диагностических признаков состояния стены в грунте.

Измеряемые (диагностические) параметры: скорость распространения (время прихода), амплитуда звукового давления и спектр импульса упругих волн. Основной диагностический параметр – скорость продольной упругой волны  $v_p$ . Расстояния  $L$  между закладными трубками приняты постоянными и равными расстоянию, измеренному между оголовками трубок по поверхности грунта. Расчет (косвенное измерение) скорости упругой волны  $v_p$  (м/с) производилось по формуле:

$$v_p = L/t,$$

Для исследования панелей и стыков стены в грунте методом прозвучивания из закладных трубок мы использовали аппаратный комплекс импульсного акустического просвечивания и зондирования АПЗ-1 (разработчик ООО «Геодиагностика», Санкт-Петербург, Россия) и ультразвуковой прибор Пульсар 2.2 ДБС (разработчик ОАО «Интерприбор», Челябинск, Россия).



**Рис. 2. Схемы прозвучивания массива бетона тела панелей и швов (стыков) между панелями стены в грунте по глубине: 1 – аппаратный комплекс импульсного акустического прозвучивания АПЗ-1, 2- ультразвуковой прибор Пульсар 2.2 ДБС, 3 – наблюдательная трубка, 4 – панель, 5 – стык (шов) между панелями, 6 – направления лучей прозвучивания**

Аппаратный комплекс АПЗ-1 реализовал метод акустического прозвучивания (crosshole sounding) с электроискровым способом возбуждения упругой волны, с частотой следования импульсов в пределах 0,1-0,3 Гц, частотой заполнения импульсов 1-20000 Гц и выше, большим звуковым давлением на фронте импульса упругой волны до мегапаскалей у излучателя и 15 кПа на расстоянии 5 м. По опыту работ ООО «Геодиагностика» рациональные базы измерений аппаратным комплексом АПЗ-1 составляют 0,7-10 м, минимальный размер выделяемых дефектов – 0,5 м.

Ультразвуковой прибор Пульсар 2.2 ДБС (рис.2) реализовал метод ультразвукового прозвучивания (crosshole ultrasonic sounding) с возбуждением упру-

гой волны пьезокерамическим преобразователем с частотой следования импульсов – 1-5 Гц, частота заполнения импульсов 35 кГц, с относительно небольшим звуковым давлением на фронте импульса упругой волны (единицы паскаль).

Акустическое и ультразвуковое прозвучивание использовалось по отдельности или в комплексе (рис. 2 и 3). Установлено, что ультразвуковой метод имеет высокую разрешающую способность, но в бетоне стен в грунте характеризуется относительно небольшой дальностью – до 2-3 м и имеет ограничение по применению в высоко поглощающих средах. Опытным путем установлено, что рациональным комплексом методов прозвучивания из закладных трубок для диагностирования

состояния бетонной стены в грунте является межскважинное акустическое просвечивание (МАП) бетона на базах свыше 2 м и стыков между панелями с повышенной неоднородностью и ультразвуковое прозвучивание (УП) для стыков между панелей и бетона на базах до 3 м.



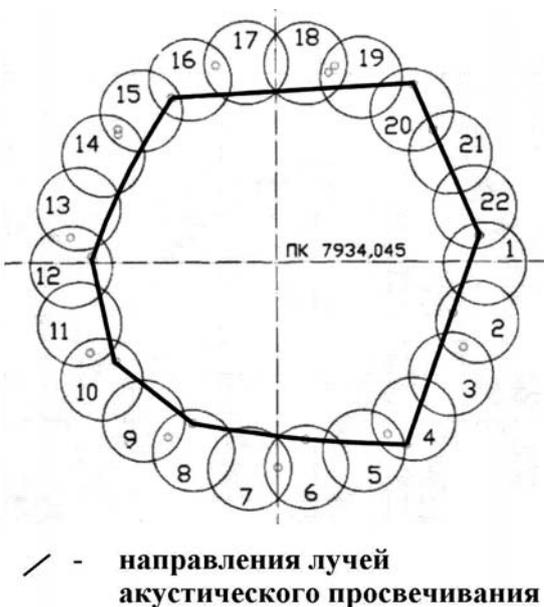
**Рис. 3. Ультразвуковое прозвучивание стыков между панелями на траншейной стене в грунте**

Скорость упругой волны является основным диагностическим признаком нормального состояния панелей и стыков. При наличии в стене в грунте зоны несплошности на пути распространения упругой волны возникает явление «акустической тени», выражающееся в резком уменьшении скорости, амплитуды и частоты импульса упругой волны. Физика явления «акустической тени» базируется на процессах отражения упругой волны на границе раздела дефект – массив бетона и огибании (дифракции) упругой волны препятствия с увеличением пути распространения.

В качестве примера контроля состояния стены в грунте прозвучиванием из закладных трубок рассмотрим результаты акустического просвечивания (прозвучивания) ограждения из буросекущихся свай ствола

шахты дымоудаления (в дальнейшем шахты ДУ). Акустическое просвечивание произведено между закладными трубками №№ 1 и 4, 4 и 8, 8 и 10, 10 и 12, 12 и 16, 16 и 20, 20 и 22 (рис.4). Интервал исследований по глубине 0 – 30 м. Шаг перемещения скважинных приборов по глубине – 1 м.

Наземные приборы аппаратного комплекса АПЗ-1 на время проведения измерений располагались в салоне автомашины Нива-Шевролет. Возраст бетона на момент исследований – не менее 25 суток. Графики изменения скорости упругой волны по глубине ограждения показаны на рис 4.



**Рис. 4. Схема акустического просвечивания ограждения из буросекущихся свай шахты ДУ в плане направления лучей акустического просвечивания**

Обработка результатов прозвучивания выявила вертикальную зональность в строении бетонного ограждения шахты ДУ (Рис. 5). Закономерное понижение скорости упругой волны с глубины 14-16 м практически по всем парам наблюдательных трубок, указывало на изменение условий распространения упругой волны, обусловленное, по-видимому, уменьшением площади контакта между наиболее сильно отклонившимися сваями и состоянием стыков свай за счет физических особенностей процессов схватывания и адгезии цементного раствора с бетоном в условиях неоднородных и водонасыщенных грунтов. Локальные неоднородности были выделены по уменьшению скорости упругой волны между наблюдательными колонками 22-4 и 4-8 в интервале насыпного грунта 18-21 м и наблюдательными колонками 12-16 в интервале глубин 26-27 м, где находилась граница раздела слоев водонасыщенного песка и глины.

Заказчику работ было указано на состояние нижней части ограждения и опасные интервалы проходки. Хотя был сделан вывод, что до 16 м проходка не должна была сопровождаться дополнительными рисками, а опасным интервалом проходки ствола являлся интервал от 16 м до конечной глубины проходки (20 м), где наблюдалось резкое понижение скорости упругой волны.

Действительность на шахте ДУ превзошла самые мрачные ожидания, но разрешилась вполне удачно. Заказчик работ начал проходку и тут же остановил из-за поступления грунтовых вод в внутрь выработки. Хотя пройти до 16м метров было вполне возможным, но стало понятно, что ниже проходка без дополнительных мер гидроизоляции ограждения была маловероятной. С точки зрения авторов статьи, главным фактором успешной проходки ствола шахты ДУ стало решение проектной организации по использованию метода искусственного рассольного замораживания грунтов с размещением питающих трубок системы замораживания в закладных трубках для межскважинного прозвучивания. А вот если бы закладных трубок не было, устройство дополнительной гидроизоляции пришлось бы выполнить с внешней стороны ограждения с совершенно неясным результатом из-за высокой водонасыщенности грунтов.

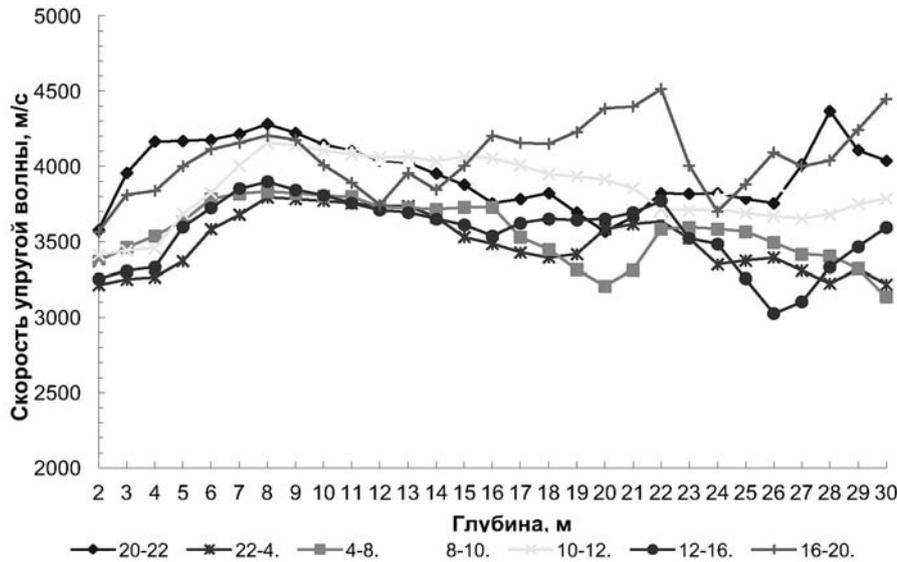


Рис. 5. Графики изменения скорости упругой волны в контуре бетонного ограждения из буросекущихся свай шахты ДУ между закладными трубками №№ 1 и 4, 4 и 8, 8 и 10, 10 и 12, 12 и 16, 16 и 20, 20 и 22

**Выводы по результатам исследований**

В результате исследований бетонных траншейных стен в грунте и ограждений из буросекущихся свай методами акустического и ультразвукового прозвучивания из закладных трубок сделаны следующие выводы:

1. Установка закладных трубок в армокаркасы бетонных стен в грунте поз-

воляет получать информацию о состоянии бетона и стыков между панелями методом межскважинного прозвучивания и проводить мониторинг состояния стен в грунте при строительстве и при эксплуатации по изменению скорости упругой волны.

2. Рациональным комплексом методов прозвучивания из закладных трубок для диагностирования состояния бетонной стены в грунте является межскважинное акустическое просвечивание (прозвучивание) бетона на базах свыше 2 м и стыков между панелями с повышенной неоднородностью и ультразвуковое прозвучивание для стыков между панелей и бетона на базах до 3 м.

**Список литературы**

1. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. М., Изд-во Иностранной литературы, 1957.
2. Комаров В.А., Попов А.А., Шатров Б.Б. и др. Скважинная рудная геофизика. Л., Недра, 1971.
3. Савич А.И., Коптев В.И., Никитин В.Н., Яценко З.Г. Сейсмоакустические методы изучения массивов скальных пород. М., Недра, 1969.

Аносов Г.И., Дементьев Ю.В.

ООО ЦИИЗ «ИМПУЛЬС – М», г. Калининград, anosovgi38@mail.ru

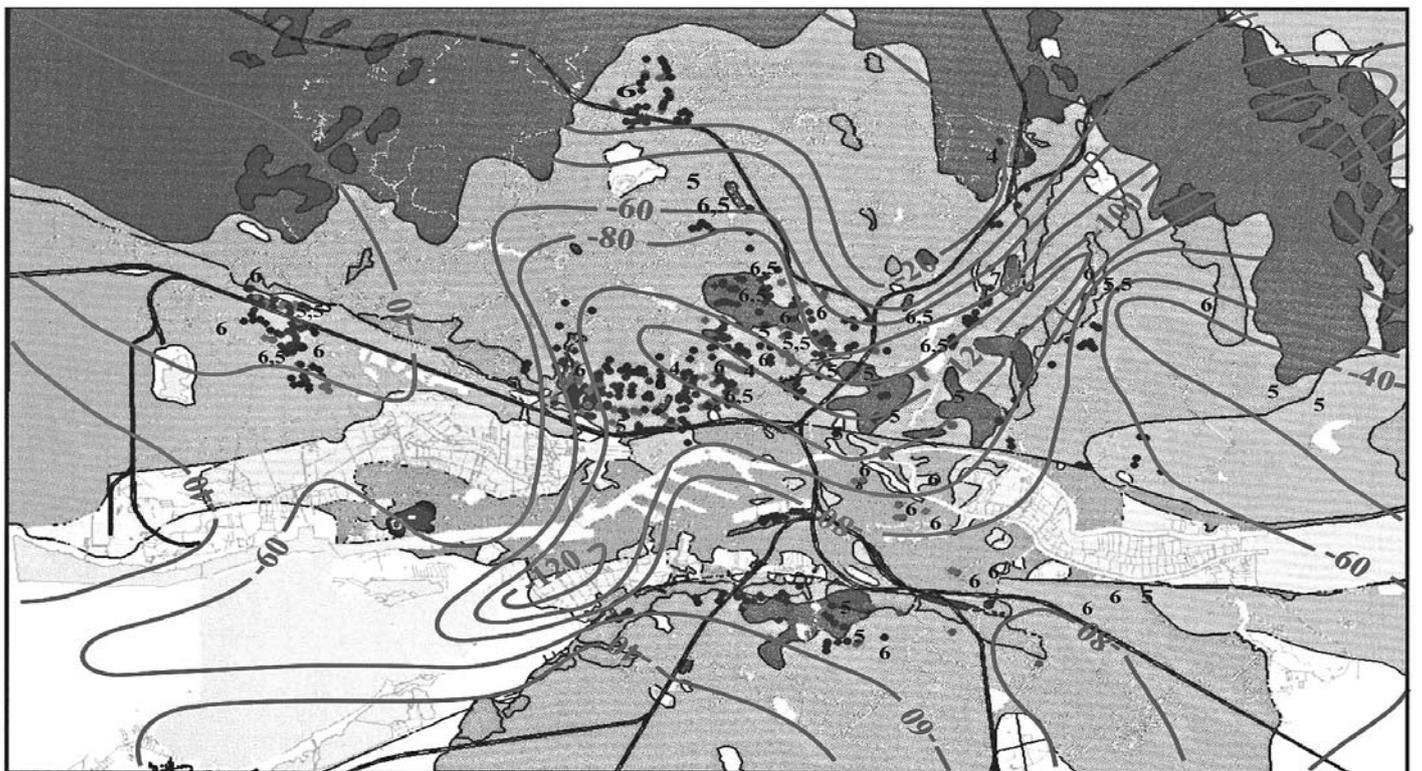
## КОМПОНЕНТЫ ГОРОДСКОЙ СЕЙСМОЛОГИИ В ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА КАЛИНИНГРАД (РОССИЯ)

Концепция развития современных основ городской сейсмологии оформилась по итогам анализа последствий землетрясения 14 сентября 1995 года в г. Мехико группой сейсмологов, в составе которого значительное место было уделено взаимодействиям «грунт-здание», «здание-грунт – здание», и «здание-грунт-окружающая обстановка» и т.д. Было показано, что понятие «свободное поле» (free – field) в условиях городской плотной застройки не может восприниматься однозначно [1-3]. При этом, значительная часть предлагаемых решений относятся к изучению воздействий на городские объекты от местных техногенных источников, основными из которых принимаются вибрационные сотрясения, обусловленные существующим в городе авто-трафиком и воздействиями от внутригородских железнодорожных артерий [4 – 6], а также с обязательной паспортизацией динамических параметров зданий и сооружений, которая и в РФ предусмотрена с 01 июля 2015 года в соответствие с требованиями [7].

Подробное рассмотрение основ городской сейсмологии и сравнение их с таковыми хорошо развитой «инженерной сейсмологии» показывает, что существуют тематические области, которые являются общими как по темам, так и по объектам исследований. Вместе с тем, устанавливается огромная разница в масштабах изысканий, которые определяются размерами и целями решаемых задач в составе. «инженерной сейсмологии» по сравнению с таковыми «городской сейсмологии» [8]. Кроме того, имеются многочисленные публикации [9], в которых обращается внимание на необходимость более строгих требований к качеству изысканий для целей строительства в городских условиях. Так же рекомендуется наряду с развитием наблюдательных сетей сейсмологических станций на территории крупных агломераций для контроля не только (и не столько) возможной активности природных землетрясений, как для целей мониторинга микросейсмического и вибрационного фона урбанизированной территории, обусловленного не только природными, но и техногенными источниками [10 -11]. Особенно отчетливо такое влияние последних проявляются в регионах, где природная сейсмичность носит характер «случайных ?!», слабо прогнозируемых, как это отмечается для региона Калининградской области, событий. Вместе с тем, показано, что влияние геологических условий

на развитие вибрационных процессов в грунте основания зданий и сооружений, очень часто, более значительно, чем это определяется требованиями существующих нормативных документов [7, 9].

В свете оценки такого влияния, территория центральной части города Калининграда представляется одной из наиболее интересной в связи с тем, что по материалам инженерно – геологического бурения, глубинность которого редко превышала 10 – 15 метров, геология грунтов оснований представлялась осадками, преимущественно, моренного происхождения с достаточно высокими геотехническими параметрами [13]. Однако, эти материалы полностью игнорировали имеющиеся данные как по более «старым», еще довоенным изысканиям [14], так и по результатам Государственных геологических съемок (бурение скважин до глубин 150 – 220 м) более позднего времени, в том числе, по площади города [15]. Более того, при проведении работ по сейсмическому микрорайонированию в г. Калининграде после землетрясений 21 сентября 2004 года эти материалы так же были проигнорированы [16]. Наличие своеобразного «грунтового бутерброда», сформированного переслоениями моренных отложений с ледниково – озерными и болотными слоями, которые создают дополнительные условия для усиления микросейсмических колебаний и развития процессов тиксотропного и реологического разжижения [17,18], резко изменяет требования к инженерно-геологическим и геотехническим изысканиям, проводимым для обеспечения безопасного строительства [7,19]. Эти представления для условий г. Калининграда были подчеркнуты при уточнении сейсмического микрорайонирования при дальнейших работах по подготовке строительных площадок на предпроектной стадии [20] и демонстрируются на (рис. 1).



- пойма р. Преголя      6-интенсивность по MSK-64      1 0 1 2 3 4 5 6 км  
 - морена      -40      - глубины полеоврезов по В.А.Загородных [16]  
 — железная дорога

Карта инженерно-геологических и макросейсмических данных для территории г. Калининграда [20] с учетом материалов [14,16,17].

Рис. 1. Обобщенная инженерно – геологическая карта г. Калининграда

Кроме того, следует подчеркнуть, что в период работ по сейсмическому микрорайонированию города Калининград исполнителем (ИФЗ РАН) были выполнены полноценные исследования в рамках детального сейсмического районирования (ДСР) западной части Калининградской области и определены базовые зоны ВОЗ (Возможные очаговые зоны, рис. 2), относительно которых современными методиками определены и «максимально возможные сотрясения грунтов на изученной территории», которые обуславливаются наличием достаточно «мобильных» разломных структур глубокого заложения [16] (рис.2). Так же, как дополнение к имеющимся материалам ОСР- 97, были построены прогнозные Карты сотрясаемости на город Калининград в рамках карт А, В,С .

Анализируя эти материалы, можно признать, что вопросы инженерно – геологических изысканий для строительства по городу Калининград отвечают современным требованиям (по – крайней мере, для совместных работ по сейсмометрии и инженерно-геологическим изысканиям ЗАО «ЛенГИСИЗ-Калининград») [20-24] и решаются на базе имеющихся нормативных документов. В то

же время, уровень проведения инженерных изысканий в рамках требований паспортизации зданий и сооружений [7, 25-26], скорее всего, ещё не вышли, в настоящее время, из стадии внедрения необходимых методик и технических средств [26, 27].

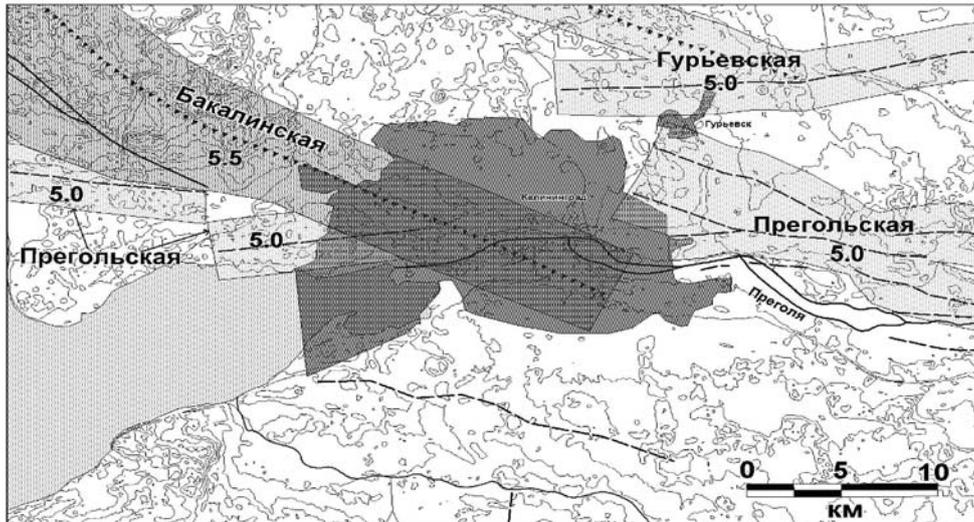


Рис. 2. Обзорная схема размещения зон ВОЗ в западной части Калининградской области в районе г. Калининграда по [17] с максимально возможной магнитудой прогнозируемых землетрясений

Тем не менее, учитывая имеющийся опыт сейсмометрических измерений в действующих и реконструируемых строениях различного назначения [28-30], можно показать, что в условиях урбанизированных территорий с сильно развитым транспортным трафиком, одной из наиболее важных и сложных задач

является необходимость «чистого выделения» динамических параметров (фундаментальные и модальные значения частот, и связанных с ними магнитуды затухания) зданий и сооружений на экспериментальных записях микросейсмических полей города, сильно осложненных интерференцией и взаимодействием вибраций различной природы (рис. 3). При этом, существующие генерализованные функциональные зависимости этих параметров от геометрии и «вещественного наполнения» изучаемых объектов [31-33], часто подвергаемые принципиальной и не совсем таковой [34] критике, позволяют отслеживать, во многих случаях, начало и развитие процессов разрушения конструкции сооружений [32, 41]. В развитие применяемых технологий, описываемых в процитированных выше работах, следует подчеркнуть важность учета «взаимодействия здание – грунт-здание», на которое обращается внимание в аксиомах «городской сейсмологии» [35, 36] в связи с тем, что строение грунтов оснований зданий либо подчеркивает взаимовлияние близлежащих строений и окружающего микросейсмического фона (рис. 4), ибо обеспечивает монохромность регистрируемых колебаний [5, 37-38].

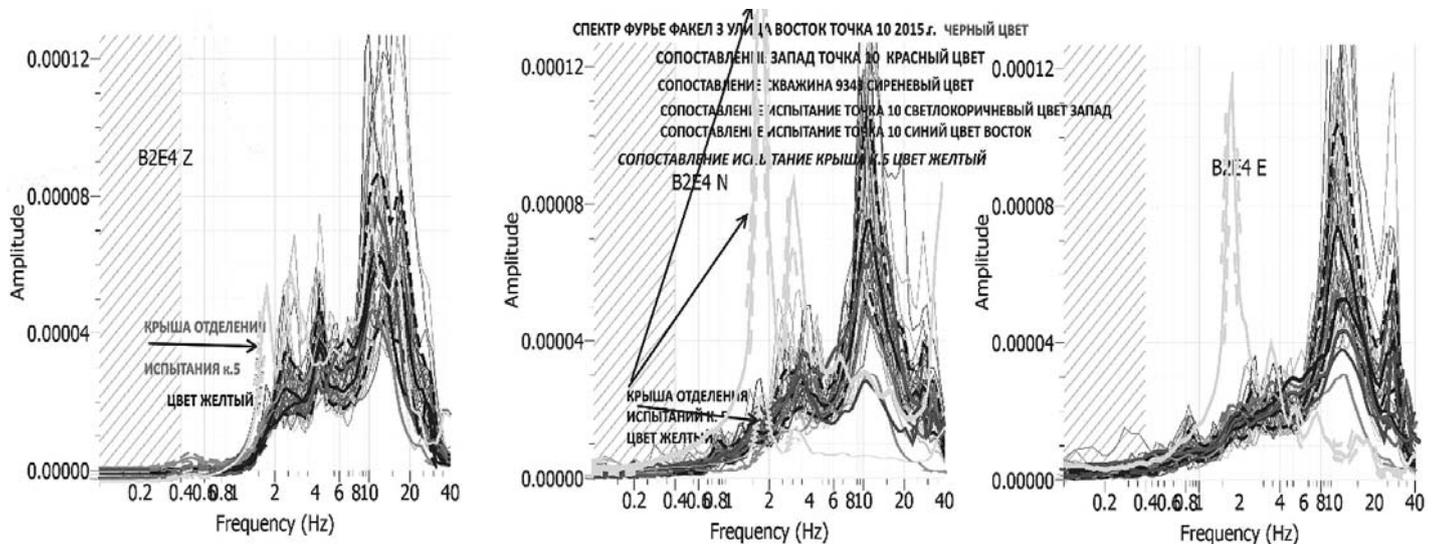


Рис. 3. Пример сложной записи микросейсм в черте города Калининграда на обследуемом сооружении: на фоне максимальных амплитуд, вызванных вибрацией от техногенных источников (автотранспорт на Московском проспекте), на верхних этажах подчеркиваются (желтый цвет) колебания на фундаментальной частоте сооружения. Усиление на каналах приведены к одному уровню

В свете изложенного, при проведении инженерно- сейсмометрических изысканий на строительной площадке в комплексе со стандартными геофизическим изучением геотехнических параметров грунтов основания проектируемых сооружений целесообразно совмещать с картированием фундаментальных частот, обусловленных тонкой структурой геологического разреза. Более того, представляется целесообразным повторять такие измерения на стадии ввода сооружения в эксплуатацию для оценки резонансных частот и грунтов, испытывающих дополнительные нагрузки из-за веса построенного сооружения, и из-за возможных, связанных с такими нагрузками, процессов динамического преобразования грунтов. Особенно важно проведение таких работ при наличии в разрезе слоев с пониженными геотехническими параметрами.



Рис. 4. Сводка динамических характеристик промышленного здания в г. Калининграде, исследованного по правилам ГОСТ Р 54859-2011 [8]: одноэтажное большепролетное здание расположено по линии север-юг (компонента N), длиной 156 м, ширина (компонента E) 30 м, высота (компонента Z) – 18 м; в 70 метрах от южного окончания стенки по линии запад-восток городской проспект с интенсивным автомобильным транспортным потоком в течение всего времени суток. Цветные линии – измерения на восточной стороне; черная линия – на западной стороне. Красная вертикальная линия – конструктивный шов – терморегулятор

Приводимый рисунок (рис. 4) позволяет из сложного интерференционного колебания выделить частоты, связанные преимущественно с конструкцией, по – крайней мере, ступенчатых опорных колонн несущего каркаса: здесь это номера 5-7 или по расстояниям от фахверка северной торцевой стены 24-36 метров. Первичные (проектные) значения частот неизвестны и оценка уровня «падения» их величин, практически, невозможна. Сейсмометрические исследования зданий и сооружений в связи с проведением работ по их реконструкции показывают, как правило, заметные изменения в динамических параметрах [31 – 33,41]. При этом, очевидно, что замечания Тонких Г.И. [34] о трудностях создания универсальных зависимостей динамических параметров конструкций зданий и сооружений только на основе анализа их геометрии, может встречать определенные трудности и не всегда быть адекватными в реальной обстановке. Так, при работах на объектах, которые имеют отношение длины к ширине более 5, и при высотах одноэтажного пролета более 5-ти стандартных этажей (например, монтажные и металлургические цеха), предлагаемые формулы [31 – 33] приводят к неустойчивым результатам. Как показано на (рис. 4), декларируемые в действующих ГОСТах резкое изменение динамических параметров при начале процессов заметного разрушения, во многих случаях установить не удастся, если изучаемое сооружение имеет сложную конфигурацию, конструкцию, многообразие строительных компонент и т.п. Приводимый (рис. 4) пример демонстрирует сложные взаимодействия в интерференционной картине спектров Фурье, сохраняя при этом генеральные спектральные частоты на фоне резких изменений спектральных амплитуд. На этом фоне выделение участков с резким понижением фундаментальных частот, как это следует по [31-33], в рассматриваемом случае (в виде случайных разовых измерений) не представляется возможным. Достаточно близкие результаты были получены и в других местах, например, при изысканиях в Казахстане [37]. *Представляется в связи с этим, что основным критерием выделения разрушающихся элементов на фоне генерализованных экспериментальных измерений могут быть либо экспериментальные данные, получаемые в период ввода объекта в эксплуатацию, что справедливо требуется в [7], либо теоретические расчеты на адекватных моделях [40].*

Аналогичные работы за рубежом стали, начиная с работ Nakamura Y. [28, 39], оперировать параметром «уязвимости конструкций», который рассчитывается по материалам экспериментальных измерений:

$$K_{Tj} = 10^4 (A_{sj} - A_{sj-1}) / (4\pi^2 F_s^2 \cdot h_j)$$

где  $K_{Tj}$  – индекс уязвимости на вершине колонны,  $A_{sj}$  и  $A_{sj-1}$  – амплитуды ускорений на фундаментальной частоте для вершины колонны и на ее подошве, соответственно;  $F_s$  – фундаментальная частота,  $h_j$  – высота колонны, здесь 18 м. Параметр уязвимости для доступных по безопасности к измерению колоннах составил (номера те же, что и рис.4) около 2, что не является критичным [28]. Тем не менее, по материалам визуального и инженерного осмотра конструктивных элементов этого сооружений было установлено его предаварийное состояние (Зиновьев В.Н, ЗАО «Калининградпромпроект», личное сообщение, 2015 г.). Таким образом, без знания опорных (теоретических-проектных или экспериментальных при вводе в эксплуатацию) данных проводить оценку устойчивости конструкций зданий и сооружений оригинальной или сложной структуры представляется проблематичным [34].

В заключении необходимо подчеркнуть важность мониторинга микросейсмического фона на городских территориях, особенно в условиях тесной городской застройки. Инженерные сейсмометрические измерения, проводимые в г. Калининграде в составе инженерных изысканий для строительства, убедительно свидетельствуют о серьезном влиянии сейсмической вибрации, связанной, в первую очередь, с городским трафиком в условиях плохого качества городских магистралей (рис 5 и рис. 6).

Магнитуда таких воздействий на близлежащие здания и сооружения может достигать 3-5 баллов по шкале MSK – 64 и создавать не только «дискомфорт» для окружающих, но и резко влиять на условия эксплуатации зданий и сооружений, которое часто приводит к уменьшению сроков эксплуатации. Более того, существует множество примеров «неожиданных» аварий и разрушений городских построек, являющихся следствиями техногенного вибрационного воздействия [6,12,25].

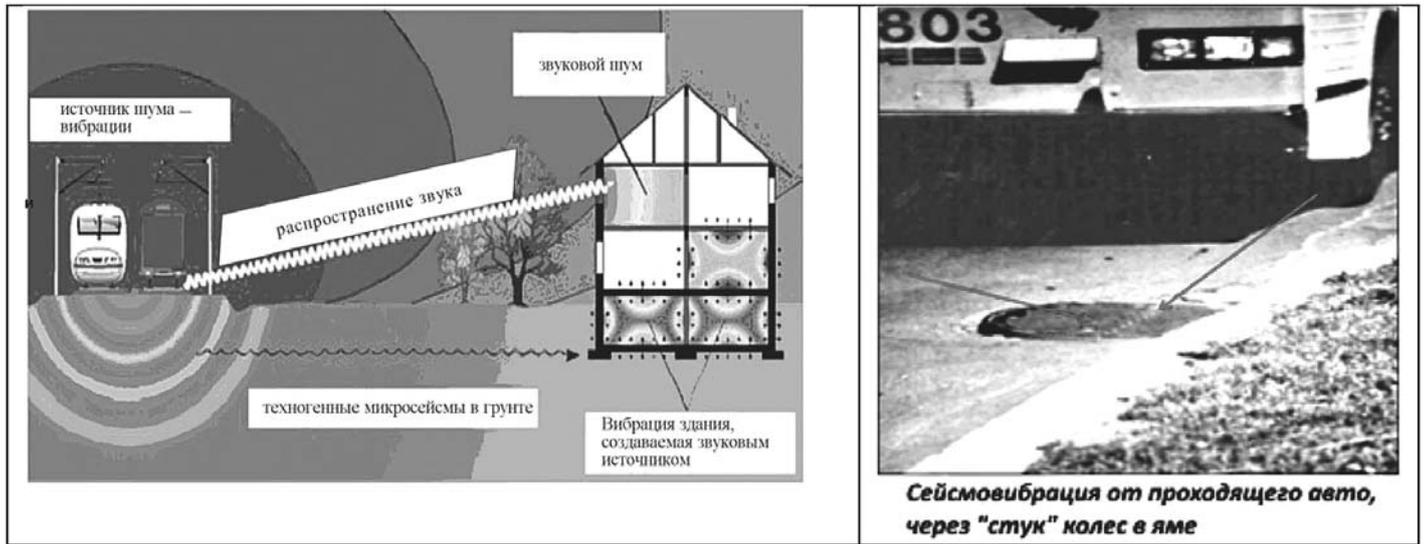


Рис. 5. Пример возбуждения сеймовибраций от проходящего транспорта в условиях города

Таким образом, представляется очевидным, что возникновение в составе инженерной сейсмологии самостоятельного направления, получившего наименование «городской сейсмологии», оправдано и необходимо для повышения качества сейсмометрических измерений для целей улучшения условий жизни и комфортной жизнедеятельности на урбанизированных территориях, особенно в условиях стремительно развивающегося технического прогресса. Более того, пример некоторых Мегалополисов Мира по развитию локальных, внутригородских сейсмологических сетей для ежедневного мониторинга микросейсмического фона мог бы стать заразительным [10-11].

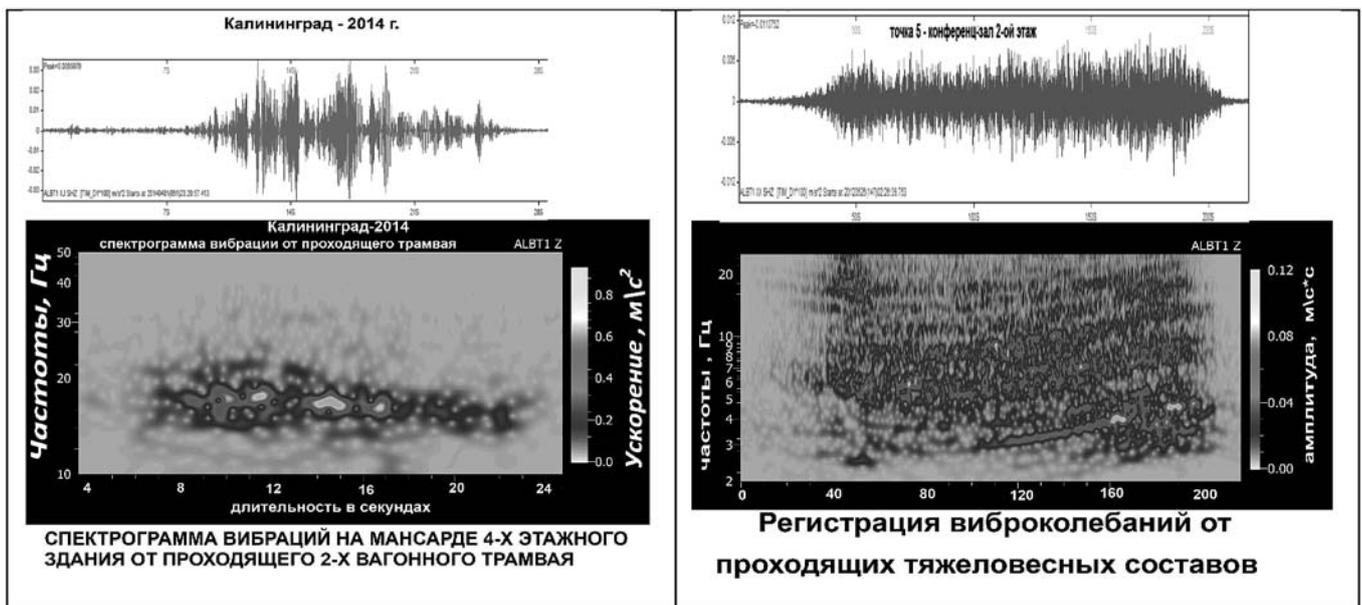


Рис. 6. Примеры регистрации сеймовибраций техногенного происхождения на уровне 3-5 баллов по шкале MSK-64 г. Калининграде

#### Список литературы

1. Guéguen P., Bard P.Y., Semblat J.F. (2000a). From soil-structure to site-city interaction, *12th World Conference on Earthquake Eng.*, Auckland.
2. Guéguen P., Bard P.Y., Oliveira C.S. (2000b). Experimental and numerical analysis of soil motions caused by free vibrations of a building model, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 90 (6).
3. Gue'guen, Ph., Bard,P.-Y., and Cha'vez-Garcie, J. Site – city seismic interaction in Mexico City-Like environments: an analytical study. //BSSA, 2002, v. 92, № 2, pp. 794 – 811.
4. International Organization for Standardization. ISO 2631-2. Mechanical vibration and Shock-Elevation of human exposure to whole – body vibration- Part 2: Continuous and Shock-induced Vibration on buildings ( 1 Hz- to 80 Hz), 2003.
5. Humaidi, O. Traffic vibrations in Buildings. // Construction technology update, IRC, 2000, № 39, pp.1- ( <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca>).
6. Борисов Е.К., Алимов С.Г., Усов А.Г., Лысак Д.Г., Крылова Т.В., Степанова Е.А. Экспериментальная динамика сооружений. Мониторинг транспортной вибрации. Петропавловск-Камчатский: КамчатТГУ, 2008, 128 с.

7. Федеральный Закон № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 2009 г., 17 с. с ППР № 1521 от 26.12.2014 г. 8 с.
8. Gue'guen, P., P.-Y. Bard, and C. S. Oliveira. Experimental and numerical analysis of soil motions caused by free vibrations of a building model. // *Bull. Seism. Soc. Am.*, v. 90, pp. 1464–1479.
9. Каушерюк А.А., Каушерюк П.И., Коршунова Н.И. Инженерные изыскания и обследование зданий. Специальное строительство. // *Вестник МГСУ*, 2013, № 2, С. 64 – 72.
10. Ritter, J.R.R., Balan, S.F., Bonjer, K.-P., Diehli, T., Forbrigger, T., Marmureanu, G., Wenzel, F., and Wirth, W. Broadband Urban seismology in the Bucharest metropolitan area. // *Seism. Res. Lett.*, 2005, v. 76, pp. 573-579.
11. Balan, S.F., Groos, J., Snolhaus, H., Wenel, F. Results from Urban seismology (URS) Project in Bucharest, Romania. // *Inter. Symp. Strong Vrancea Earthquake and Risk Mitigation*, 2007, Bucharest, Romania (268273940). Research Gate.
12. Мозилюк Ж.Г., Хлыстунов М.С. Микровибродинамические процессы формирования сверхпроектных нагрузок на строительные конструкции (монография). М.: МГСУ, 2013, 141 с.
13. Загерин И.В., Богомоллова Т.В., Котлов В.Ф., Коффе Г.Л., Мушеникова Н.А. Составление базы инженерно – геологических данных и карт на территорию Калининграда. // *Прикладная геоэкология, чрезвычайные ситуации, земельный кадастр и мониторинг. Сборник трудов (выпуск 6)*. М.: ТИССО – Полиграф, 2005. С. 75 – 92.
14. Jentzsch A. Der tiefere Untergrund Königsbergs mit Beziehung auf die Wasserversorgung der Stadt // *Jahrbuch der Königlich Preußischen geologischen Landesanstalt und Bergakademie zu Berlin für das Jahr 1899*. Berlin, 1900. В. XX. Т. II. S. 1-172.
15. Загородных В.А. Палеоврезы в дочетвертичную поверхность на юго-западе Прибалтики. // *Геоинформатика-99*, № 4, С. 33 – 37.
16. Арефьев С.С., Сидорин В.Я. и др. Сейсмическое микрорайонирование территории города Калининграда. 2-й этап: «Сейсмологические исследования для оценки сейсмической опасности территории г. Калининграда». М.: ИФЗ РАН, 2008, 130 с.
17. Константинова Т.Г., Делемень И.Ф., Аносов Г.И. Эффекты разжижения грунтов в зонах разломов и их инженерно-сейсмологическое значение // *Современная геодинамика и сейсмичность Центральной Азии*. Выпуск 3. Иркутск. Институт земной коры СО РАН. 2005. С. 331-334.
18. Аносов Г.И., Константинова Т.Г., Делемень И.Ф. Явления разжижения грунтов и оползневые процессы как фактор сейсмической опасности (на примере г. Петропавловска-Камчатского) // *Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин Севера Пацифики*. Том 1. Магадан: 2003. С. 238-241.
19. Свод правил. СП 11-105-97 (части 1–6): Свод правил по инженерным изысканиям для строительства. Инженерно-геологические изыскания для строительства. М.: Госстрой России, 1998 – 2004 гг.
20. Алешин А.С., Аносов Г.И., Бессараб Ф.С., Дробиз М.В., Дементьев Ю.В., Погребченко В.В., Рогаль Л.А., Скворцов А.Г., Царев А.М., Чугаевич В.Я. Сейсмическое микрорайонирование территории г. Калининграда. // *Инженерные изыскания*, 2014, № 9 – 10Э С. 68 – 79.
21. Аносов Г.И., Загородных В.А., Зиновьев В.Н., Пасека О.Н., Сотников Д.С., Чугаевич В.Я. Инновационные технологии сейсмического микрорайонирования строительных площадок на урбанизированных территориях. // *Материалы Всероссийского совещания: Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации (15–16 декабря 2011)*, секция: «Сейсmobезопасность Российской Федерации», С. 209 – 211.
22. Аносов Г.И., Дробиз М.В., Котельников К.А., Сотников Д.С., Чугаевич В.Я. Рекогносцировочные работы по сейсмическому микрорайонированию города Калининграда методом Накамура. // *Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво)*. Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку та будівництва України. Випуск 73: Будівництво в сейсмічних районах України, Київ, ДП НДБК, 2010, С.356 – 363.
23. Пасека О.Н., Аносов Г.И., Дементьев Ю.В., Зиновьев В.Н., Чугаевич В.Я. Особенности изучения грунтов оснований фундаментов сооружений на острове Октябрьский г. Калининграда. // *Геотектоника*, 2014, № 5-6, С. 4 – 12.
24. Аносов Г.И., Дементьев Ю.В., Рогаль Л.А., Сотников Д.С., Стрельников В.Л., Чугаевич В.Я., Фролов В.С. Методические особенности инженерно – геофизических изысканий в составе инженерно- геологического изучения грунтов основания мостов через реку Прегола в городе Калининград. // *Геотехника*, 2015, № 7, С. 5 – 14.
25. Бугаевский Г.Н., Волосович О.В., Бугаевский А.Г. Динамическая паспортизация – основа снижения рисков зданий и сооружений. (электронный ресурс: доступ- <http://managementofrisk.ru/magazine/Numbers/2009-1/Articles/PS/Bugaevsky.pdf>).
26. Пасека О.Н., Аносов Г.И., Зиновьев В.Н., Дементьев Ю.В., Чугаевич В.Я. Техническое заключение об устойчивости корпуса Литер Б Калининградской областной таможни. // *Материалы 10-ой Общероссийской конференции «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве Российской Федерации» (3-5 декабря 2014 г.)*, г. Москва: из-во «Академическая книга», 2014, С. 63 – 74.
27. Аносов Г.И., Дементьев Ю.В. О техническом оснащении инженерно-геофизических изысканий для строительства. // *Инженерные изыскания*, 2015, 8, С. 26 – 33.
28. Nakamura, Y. Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. // *12 WCEE*, 2000, paper № 2656.
29. Koller, M., Chatelain, J.-L., Guiller, B. and et al. Practical user Guidelines and software for the implementation of the H/V ratio technique: measuring conditions, processing method and results interpretation. // *13th WCEE*, Vancouver, B.C. Canada, 2004, paper № 3132.
30. Guiller, B., Atakan, K., Chatelain, J.-L., et al. The SESAME Team. Influence of instruments on the H/V spectral ratios of ambient vibrations // *Bull. Earthquake Eng.*, 2007. (DOI 10.1007/S10618-007-9039-0).
31. Казаков В.Ю. Практические условия измерений динамических характеристик зданий. // *Вестник Воронежского института ГПС МЧС России*, 2013, вып. 4 (9), С. 71-73.
32. Шахраманьян М.А., Нигметов Г.М., Гайфуллин Х.Г., Бабусенко М.С. Методика оценки и сертификации инженерной безопасности зданий и сооружений. М.: Из-во МЧС ФЦНВТ ЧС, Технологии гражданской безопасности, 2003, 11 с.
33. Котляревский В.А. Спектральный анализ при оценках ресурса сооружений по сейсмостойкости. // *НГС. Безопасность и эксплуатационная надежность*, 2014, № 2, С. 46 – 52.
34. Тонких Г.И. По вопросу использования динамических испытаний для оценки технического состояния и сейсмостойкости зданий и сооружений. // *Мониторинг. Наука и безопасность*, 2012, № 4 (8), С. 54 – 57.
35. Смирнов С.Б. Поверхностная толща грунта как усилитель разрушительного эффекта сейсмических волн и генератор сдвиговых колебаний // *Жилищное строительство*, 2009, № 12, С. 12- 23.

36. *Gueguen, Ph.* Urban seismic ground motion: a coupled effect of site and urban environment. //14WCEE, Beijing, 2008, 7p.

37. *Кумар Б.К.* Изучение динамических параметров натуральных промышленных зданий г. Алма-Аты при чрезвычайных ситуациях сейсмического характера. //Вестник АНЭС, 2010, вып. 2(9)? 14 с.

38. *Литвинова Э.В., Попов А.Г., Спряжецкий В.В.* Определение параметров динамических характеристик колебаний зданий с учетом грунтовых условий. // Строительство и техногенная безопасность, 2011, вып. 35, С. 170 – 176.

39. *Nakamura, Y., Gurler, E.D., Sarta, J., Rovelli, A., Donati, S.* Vulnerability investigation on Roman Colosseum using microtremor. //12 WCEE, 2000. Paper №2660/6/A, Auckland, NZ. Pp. 1 – 8.

40. *Исхаков Ш.Ш.* Вибрационная тестово – функциональная диагностика состояния строительных конструкций для предупреждения чрезвычайных ситуаций ( монография). СПб: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2011, 226 с.

Интернет ресурс [http://radiovesti.ru/article/show/article\\_id/173415](http://radiovesti.ru/article/show/article_id/173415): Пизанская башня в г. Калининграде

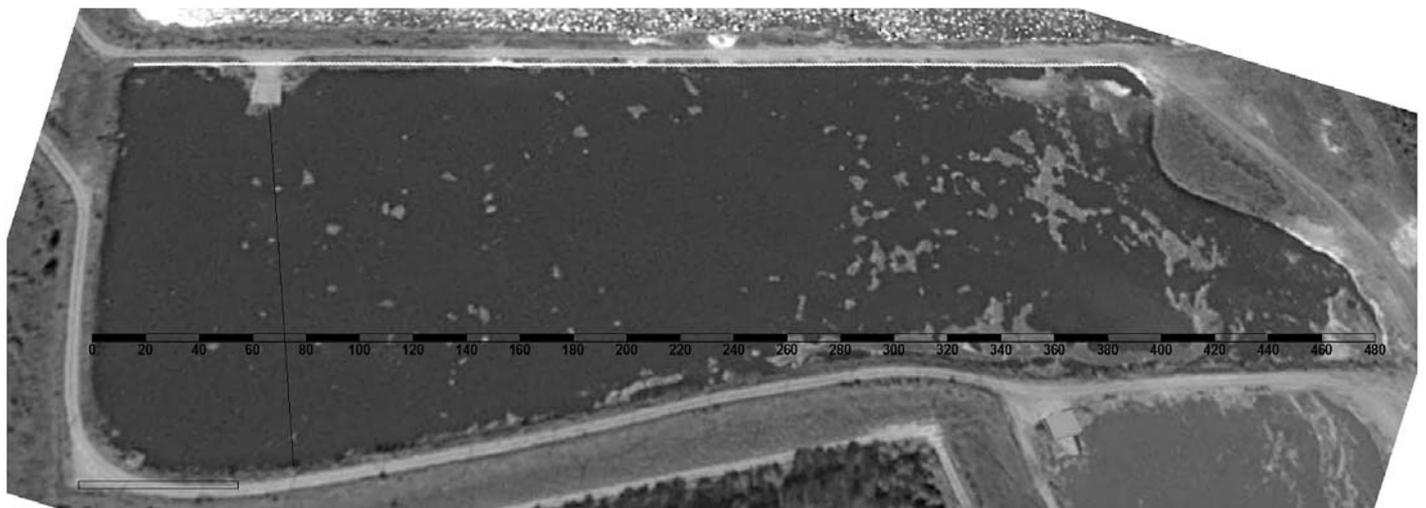
**Вольнин А.Ф.**

ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга», Санкт-Петербург, volynin\_AF@vodokanal.spb.ru

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОСАДКОВ НА ИЛОВОМ НАКОПИТЕЛЕ ПОЛИГОНА «СЕВЕРНЫЙ»**

### **Введение**

Иловые накопители полигона «Северный» для складирования канализационных осадков с Северной станции аэрации эксплуатируются более 25 лет. В настоящее время складирование осадков прекращено. Принято решение о ликвидации иловых накопителей и рекультивации территории. Для этого необходимо изъять из накопителей канализационные осадки и их утилизировать с помощью современных технологий. Эти работы проводятся поэтапно. На данном этапе принято решение о ликвидации илового накопителя № 5. В связи с этим возник вопрос об объеме канализационных осадков, которые необходимо изъять из илового накопителя и утилизировать для определения стоимости этих работ. Иловый накопитель № 5 представляет собой бассейн с максимальными размерами 150х480 м, заложенный на позднечетвертичных суглинках, ограниченный насыпными дамбами высотой около 6 м (рис 1). Ложе накопителя экранировано слоем глины толщиной 1 м.



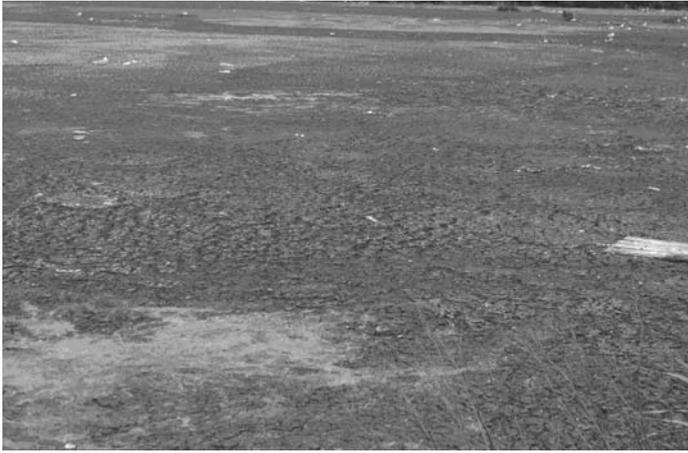
**Рис. 1. Фотоплан илового накопителя № 5**

В настоящее время накопитель заполнен канализационным осадком, уровень поверхности которого составляет 0.8 м от отметки гребня дамбы. Проектная глубина дна накопителя составляет 5.8 м. Фактическая глубина дна неизвестна.

С этой целью геофизической группе Службы технической диагностики предложено выполнить геофизические работы с целью определения мощности канализационных осадков на иловом накопителе № 5.

### **Методика и техника работ**

Проведение геофизических работ на поверхности илового накопителя связано с большими трудностями. Канализационный осадок в накопителе представляет собой жидкий субстрат с поверхности покрытый затвердевшим осадком толщиной до 30 см (рис 2.) с низким удельным электрическим сопротивлением (около 1 ом\*м).



**Рис. 2. Вид на иловый накопитель на участке геофизических работ**

В этих условиях геофизические измерения на профиле через накопитель возможно выполнять только дистанционно. Они выполнялись методом электротомографических измерений со специально изготовленными косами. Стандартные косы, применяемые нами ранее при использовании аппаратуры ERA-MULTI-MAX в этих условиях неприменимы, так как канализационный осадок является очень агрессивной средой, кроме того, они бы просто утонули. Для проведения измерений нами была изготовлена 24 электродная питающая коса с шагом 1 м между электродами и приемная коса с расстоянием 1 м между электродами.

Электроды изготовлены из отрезков стальных тросиков и весят не более 50 грамм. Длина кос с подводящими кабелями 150 м. Общий вес питающей косы не более 20 кг, приемной косы не более 5 кг. Для перемещения кос по профилю использовано деревянное коромысло с кольцами для строительных лесов, через которые пропущены поводки кос. Коромысло жестко закреплялось на противоположном берегу с помощью каната. Вид кос на профиле приведен на рис. 3.

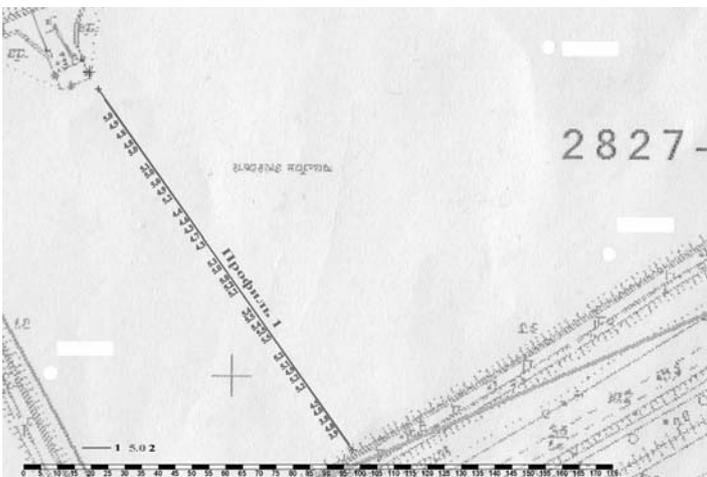


**Рис. 3. Приемная и питающая косы на профиле**

Измерения проводились электроразведочной аппаратурой «ERA-MULTIMAX» производства ООО «НПП ЭРА» 4,88 и 9,76 Гц. Обработка данных выполнялась в программах x2ipi (разработчик А.А. Бобачев) (1) и Res2Dinv (Geotomo Software Inc.) Loke, M.H (2) путем выполнения двумерной инверсии. При построении геоэлектрических разрезов использована программа Surfer (Golden Software Inc.). Эти программы позволяют получить как сплошной двумерный геоэлектрический разрез, так и геоэлектрический разрез метода ВЭЗ, что позволяет провести совместный анализ данных и более достоверно определить характеристики изученного разреза удельные электрические сопротивления и мощность канализационных осадков.

#### Результаты работ

Электротомографические измерения выполнены на одном профиле (рис. 4), пересекающем иловый накопитель от берега до берега. В результате измерений получен геоэлектрический разрез до глубины 8.5 м (рис. 5). Для более точной привязки по глубине были использованы данные вертикальных электроразведочных измерений, полученных в результате трансформации данных электротомографии с помощью программы x2ipi. В результате обработки и интерпретации получен геоэлектрический разрез до глубины 8 м (рис. 5).



**Рис. 4. Результаты электротомографических измерений по профилю 1: 1- линия профиля, 2- мощность илового осадка**

На разрезе, в верхней части, выделяется маломощный, до 40 см, слой канализационного осадка с очень низкими удельными электросопротивлениями 1.0 – 1.3 ом\*м, сложенный твердым образованием – коркой, образовавшимся в результате испарения воды с поверхности накопителя. Ниже располагается слой жидкого канализационного осадка с удельными электросопротивлениями 1.6 – 2.3 ом\*м. Этот слой залегает на экране из тонкого слоя глины с удельными электросопротивлениями 5 – 20 ом\*м, выделяющемся только на электротомографическом разрезе. Ниже отмечается маломощный слой песков с высокими удельными электросопротивлениями

до 370 ом\*м, залегающий на суглинках, которые на разрезе не отражены из-за его ограниченной глубины. На южном окончании профиля закартирован участок склона дамбы, отмечающийся высокими электросопротивлениями. Мощность канализационных осадков по профилю изменяется от 3.8 м на южном участке, у склона дамбы, до 5.5 м в центральной части профиля. Средняя мощность канализационного осадка (глубина от поверхности осадка до ложа накопителя) на профиле составляет 4.85 м.

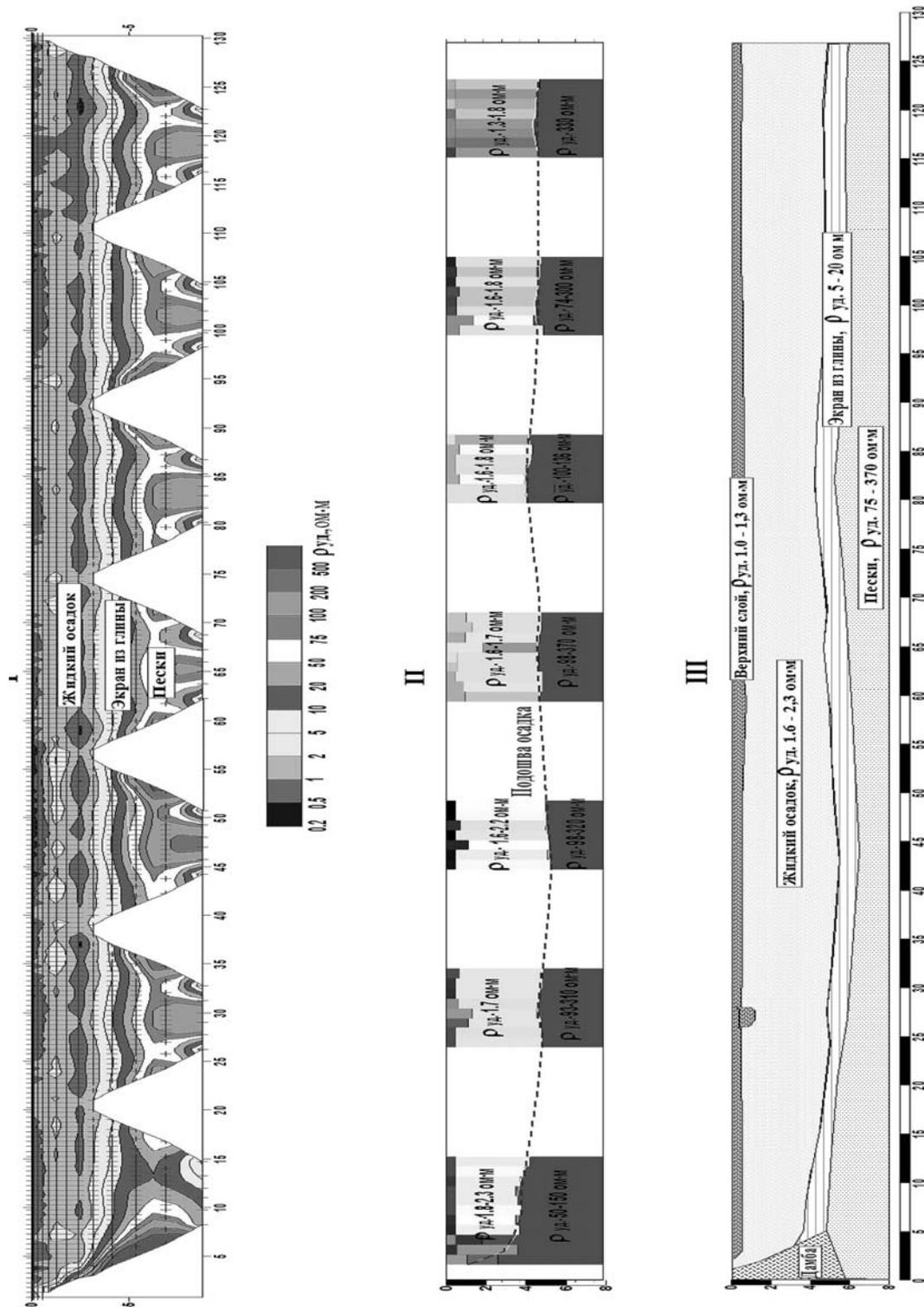


Рис. 5. Результаты электротомографических измерений по профилю 1: I – геозлектрический разрез по результатам электротомографических измерений, II – геозлектрические разрезы по данным ВЭЗ, III – геологический разрез

### Вывод

Предложенная методика и техника электротомографических измерений позволила решить задачу определения мощности жидкого канализационного осадка на иловом накопителе с помощью дистанционных измерений. В дальнейшем она может быть использована при выполнении аналогичных работ на объектах такого же типа.

### Список литературы

- 1 Бобачев А.А., Марченко М.Н., Модин И.Н., Перваго Е.В., Урусова А.В., Шевнин В.А. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред. // Физика Земли 1995 – N 12 – с.79-90.
2. Loke, M.H. and Barker, R.D. 1996a. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. Geophysical Prospecting, 44, 131-152.

**СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»****Дашко Р.Э, Карпова Я.А.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Regda2002@mail.ru

**ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ  
И РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ  
ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА (СП 11-102-97)**

На современном этапе освоения и использования подземного пространства городов при строительстве сооружений различного назначения оценка экологического состояния территории и подземной среды производится согласно СП 11-102-97 «Инженерно-экологические изыскания для строительства», основанного на комплексном анализе взаимного воздействия сооружения на природную среду и наоборот, а также условия проживания населения. Влияние строительства на комфортность населения должно рассматриваться специальными нормативными документами, поскольку среди всех типов сооружений на здоровье жителей оказывают существенное влияние объекты промышленного и транспортного комплексов за счет выбросов в атмо- и гидросферу, в то время как строительство и эксплуатация таких сооружений как гражданские, административные, в том числе архитектурно-исторические памятники исключает негативное воздействие на здоровье человека, но при этом не отрицается их влияния на подземную среду, так, например, за счет утечек из систем водоотведения. В настоящее время на долю строительства промышленных сооружений в числе общей городской застройки приходится не более 15 % от общего числа проектируемых зданий. К примеру, в Санкт-Петербурге в пределах новых застраиваемых районов только от 5 до 15 % территории предназначено под создание производственных зон, остальную часть занимают жилые и административные объекты.

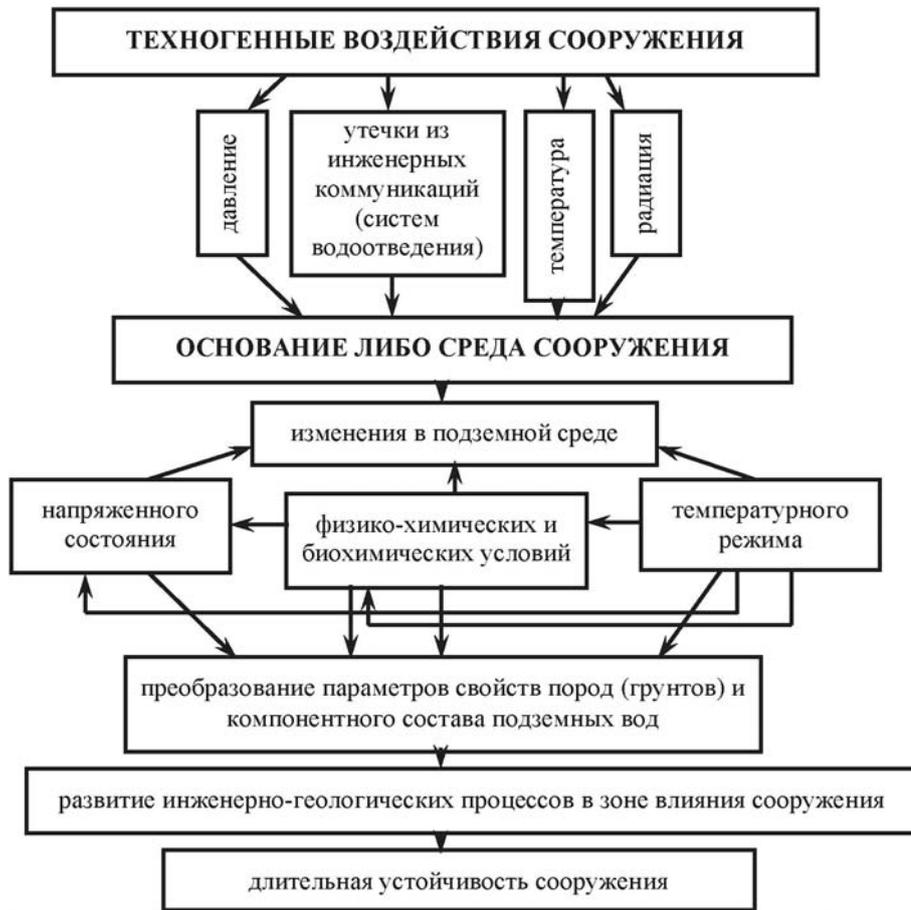
На базе инженерно-экологических изысканий следует производить конкретную оценку экологического состояния подземной среды на всю глубину воздействия проектируемого (либо реконструируемого) здания, принимая во внимание, что подземное пространство следует рассматривать как многокомпонентную систему: породы (грунты) пористые, трещиновато-пористые либо трещиноватые и подземные воды в различных состояниях (водоносные горизонты, вода водоупоров), но и подземную микробиоту в пустотном пространстве пород, газы различного генезиса (биогенного и абиогенного), а также подземные конструкции (фундаменты, оградительные сооружения, тоннели различного назначения и обделки, инженерные коммуникации). Следует отметить, что оценка экологического состояния площадки строительства определяется положением кровли первого водоупора.

Экологические исследования в процессе изысканий должны быть направлены на качественную и количественную оценку степени трансформации основных компонентов подземного пространства в пределах рассматриваемой территории и разреза. При этом, необходимо учитывать, что влияние на компоненты подземной среды оказывает хозяйственная деятельность не только за последние 40-50 лет, как отмечается в п.6.12 СП 11-102-97, а, как показывает наша практика экологических наблюдений, следует принимать во внимание исторический аспект особенностей освоения и способов инженерной подготовки территории на протяжении всего периода функционирования города, а также в предшествующую эпоху, что особенно принципиально для старинных городов.

Так, например, для Санкт-Петербурга, исторический центр которого расположен в дельтовой части Невы, в условиях относительно низких абсолютных отметок, должны быть разработаны комплекты специальных карт, которые позволяют оценивать на стадии проведения предварительных изысканий экологическое состояние подземной среды с позиции изменённости ее компонентов.

Обязательным пунктом исследования в составе инженерно-экологических изысканий должно являться изучение микробной компоненты подземной среды, а именно, видового и численного состава отдельных групп микроорганизмов, причем не патогенных (как отмечается в СП 11-102-97 п.4.22), влияющих на здоровье населения, а различных форм микроорганизмов, способствующих, прежде всего, негативному преобразованию свойств грунтов, подземных вод и конструкционных материалов на всю зону влияния сооружения. Как показали наши исследования, деятельность микробиоты предопределяет развитие ряда опасных инженерно-геологических процессов, которые впоследствии могут привести к последующей потере устойчивости сооружения в целом. В зависимости от окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий, существующих в подземной среде, наличия органических соединений природного либо техногенного генезиса проводится определение аэробных и/или анаэробных форм микроорганизмов не только в грунтах, но и в подземных водах. Необходимо также установить источники поступления микроорганизмов и факторы, которые способствуют активизации либо подавлению её деятельности в подземной среде.

Для повышения достоверности полученных показателей химического состава подземных вод, окислительно-восстановительной и кислотно-щелочной обстановок необходимо проводить полевые определения неустойчивых параметров и ионов, прежде всего, Eh, pH;  $\text{NH}_4^+$ ;  $\text{SO}_4^{2-}$ ;  $\text{H}_2\text{S}$ . Состав грунтовых вод является отражением комплекса протекающих в подземной среде физико-химических, химических и биохимических процессов при ее контаминации как многокомпонентной системы. Обычно величины pH могут различаться на 2-3 единицы при полевых и лабораторных определениях в условиях существования анаэробной обстановки.



**Рис.1. Основные техногенные воздействия на горные породы (грунты) при оценке длительной устойчивости сооружения (по Р.Э. Дашко)**

Изменение физико-химических и биохимических условий за счет поступления органики абиогенного и биогенного генезиса отражается на состоянии несущих конструкций сооружений, способствуя развитию процессов коррозии и биокоррозии конструкционных материалов. Кроме того, в практике устройства свайных фундаментов отмечается, что в кислой среде бетон не твердеет, либо имеет весьма низкую скорость твердения, вследствие чего буронабивные сваи или железобетонные ограждающие сооружения не могут выполнять своих функций несущих конструкций, что неоднократно встречается в практике производства работ нулевого цикла.

На основе выполненных инженерно-экологических изысканий должен быть дан прогноз изменения экологических и инженерно-геологических условий при эксплуатации сооружения со следующих позиций:

1) прогнозирование контаминации подземной среды в зависимости от технологии функционирования сооружения и/или предприятия (рис. 1); 2) направленность преобразования окислительно-восстановительной и кислотно-щелочной обстановок водонасыщенной толщи грунтов (основание либо среда сооружений); 3) исследование природного и возможности техногенного биохимического газообразования в подземной среде не только в пределах развития техногенных грунтов (насыпных и намывных), но и в разрезе толщи, взаимодействующей с сооружением; 4) возможность негативной трансформации физического состояния, водных и механических свойств пород при их контаминации в процессе эксплуатации сооружений в зависимости от профиля предприятия, а также активного развития деятельности микроорганизмов.

**Сердцев П.О.**

ООО «НПО «Империлъ», Ижевск

## ПРОБЛЕМЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ГОСУДАРСТВЕННЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ, ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Инженерно-экологические изыскания, выполняемые в рамках комплексных инженерных изысканий для строительства, системно сталкивают предприятия (в том числе и нашу организацию) с государственными органами. В настоящей работе описывается опыт взаимодействия с вышеуказанными организациями, в различных регионах РФ, а также основные «подводные камни», при исполнении инженерных изысканий для строительства.

Формально государственные организации возможно разделить на два типа:

- Необходимые для выполнения инженерных изысканий (ЦГМС, МинПрироды, РосНедра, МинКульт, Отдел водных ресурсов и пр.)
- Вторичные / заменяемые (Центр радиометрии, ЦГиЭ, Лаборатория электромагнетизма УФО и пр.).

Разберёмся сейчас с самым важным и монополюльно-первичным пунктом. С целью исполнения технического отчёта Исполнитель (в нашем случае – эколог), обязан обеспечить полноту справочных (фондовых) данных для пояснительной записки. Настоящие сведения обязаны запрашиваться в профильных Министерствах и Отделах. На практике вышеобозначенные материалы предоставляются очень тяжело, ввиду пробуксовок бюрократических колёс. За последние годы нам пришлось разработать последовательный план по работе с этим сегментом:

- Обязательная доставка материала по двум каналам связи (факс, электронная почта, курьером);
- Регистрация вх. № (с датой и временем вручения);
- Уточнение ответственного лица за приёмку и движение документа;
- Неустанный контроль за получением ответа.

*Добрым подспорьем, при решении данной задачи является ЭЦП (электронно-цифровая подпись), при помощи которой движение документов ускоряется в несколько раз. Также получение копии Письма-справки значительно ускоряет весь процесс подготовки материалов.*

Поговорим о финансово-затратной части, в рамках первого пункта. Все материалы и сведения предоставляются в нормативные сроки (как правило, от 14 до 30 дней) для всех резидентов РФ – бесплатно. Платными являются услуги по ускоренной обработке информации, и только у некоторых Министерств. А вот стоимость ЦГМС по предоставлению сведений о фоновых концентрациях чрезвычайно разнится и достигает разрыва более чем в 20 (!!!) раз. Тем не менее, стоимость данных сведений минимальна, в общей стоимости затрат на производство инженерно-экологических изысканий.

*Объективно данная цена зависит от региона (наблюдательных постов) и минимальна в Свердловской области, а максимальна в Ульяновской области.*

Поговорим сейчас о вторичных (заменяемых) организациях при производстве инженерно-экологических изысканий. В части производства полевых работ, помощь сторонних организаций как правило необходима при исследовании загрязнённости грунта и воды, а также в целях радиометрии (замер гамма-фона и плотности потока радона). Также периодически необходимо производить замеры постоянного/непостоянного шумового воздействия. Законодательно данными исследованиями разрешено заниматься только предприятиям, имеющим аттестованную (аккредитованную) лабораторию, и как правило, в каждом регионе ПФО и УФО по две-три подобных фирмы. Экспертиза «на местах» обычно имеет свойство доверять только СЭС (ЦГиЭ), но эта структура невероятно медлительна и жестка, что выражается в следующем:

- Невозможности предоставить адекватную цену;
- Нежелание оптимизировать и ускорить работу лабораторий;
- Отсутствие возможности внесения корректировок в общий Договор;
- Маломобильность (и перегруженность в отдельные периоды) специалистов.

На основании вышеизложенного (и опираясь на опыт работ), считаем разумным работать с частными Диагностическими центрами/Лабораториями, при следующих условиях:

- Разумность в утверждении цены и сроков реализации работ;
- Комплексный подход к изысканиям (вода, почва, шум, радиометрия и др.);
- Возможность отсрочки платежа, до реализации проекта.

Итогом наших организационных решений явился следующий вывод: Госорганам – должный контроль, альтернативным Подрядчикам – необходимый уровень гибкости и мобильности.

**Григорьева И.Л.**

Институт водных проблем РАН, Москва, Irina\_Grigorieva@list.ru

## **ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИЧЕСКОМУ ОТЧЕТУ ПО ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИМ ИЗЫСКАНИЯМ**

Инженерно-экологические изыскания являются самостоятельным видом комплексных инженерных изысканий для строительства и могут выполняться как в отдельности, так и совместно с другими видами изысканий (инженерно-геодезическими, инженерно-геологическими, инженерно-гидрометеорологическими). Выполняются для оценки современного состояния и прогноза возможных изменений окружающей природной среды в районе предполагаемого строительства под влиянием дополнительной антропогенной нагрузки.

Целью инженерно-экологических изысканий является минимизация, предотвращение или ликвидации вредных и нежелательных экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий, а также сохранение оптимальных условий жизни населения в районе строительства [1].

На основе материалов инженерно-экологических изысканий разрабатываются документы территориального планирования (всех уровней), проектная и рабочая документация строительства, проводится реконструкция объектов капитального строительства.

При выполнении инженерно-экологических изысканий для подготовки проектной документации следует обеспечить достоверность и достаточность полученных материалов для оценки воздействия проектируемого объекта на окружающую среду и для разработки решений относительно территории предполагаемого строительства, принятия проектных решений и расчетов и получение исходных данных для разделов проектной документации «Перечень мероприятий по охране окружающей среды» и «Оценка воздействия на окружающую среду» [2].

Проведение инженерных изысканий можно подразделить на три этапа.

**Камеральный**, который включает сбор, обработку и анализ опубликованных и фондовых материалов и данных о состоянии природной среды, поиск объектов-аналогов, функционирующих в сходных природных условиях; экологическое дешифриро-

вание аэрокосмических материалов; социально-экономические исследования; санитарно-эпидемиологические и медико-биологические исследования.

**Полевой этап**, в который входят: маршрутные наблюдения с покомпонентным описанием природной среды и ландшафтов в целом; описание состояния наземных и водных экосистем, источников и признаков загрязнения; проходка горных выработок для получения экологической информации; эколого-гидрогеологические исследования; почвенные исследования; экологическое опробование и оценка загрязненности атмосферного воздуха, почв, грунтов, поверхностных и подземных вод; исследование и оценка радиационной обстановки; газо-геохимические исследования; исследование и оценка физических воздействий; изучение растительности и животного мира.

**Камеральный этап**, включающий: лабораторные химико-аналитические исследования; камеральную обработку материалов и составление отчета.

Состав и содержание технического отчета по инженерно-экологическим изысканиям устанавливаются согласно СНиП 11-02-96 или его актуализированной версии – СП 47.13330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». В состав отчета должна входить пояснительная записка, текстовые и графические приложения.

В состав пояснительной записки входит **введение**, в котором указывается назначение и уровень разрабатываемых документов, сроки проведения работ, краткая техническая характеристика объекта строительства, объемы выполненных работ, пространственные границы проведения инженерно-экологических изысканий; административно-территориальное деление и инфраструктура района работ и т.д.

В отдельном разделе дается описание **изученности экологических условий района работ**, которое составляется по материалам специально уполномоченных государственных органов в области охраны окружающей среды и организаций, проводящих экологические исследования и мониторинг окружающей природной среды, а также материалов инженерно-экологических изысканий прошлых лет.

Важной составной частью пояснительной записки является раздел «**Методика работ**», в котором со ссылками на нормативно-методическую документацию приводятся методики проведения всего комплекса инженерно-экологических работ: подготовительных (предполевых), подготовительных картографических, полевых, химического анализа проб почв, донных отложений, поверхностных и грунтовых вод и камеральных работ.

В разделе «**Характеристика природных и техногенных условий**» дается описание геологического, геоморфологического, гидрогеологического строения территории, современного рельефа, а также современных экзогенных рельефообразующих процессов.

Дается краткая характеристика **климатических условий**: максимальные и минимальные значения температуры воздуха, скорость и направление ветра, влажность, длительность зимнего периода, преобладающие воздушные массы и т.д.

При наличии в районе работ **водных объектов** приводится их краткая морфометрическая и гидрографическая характеристика. Указываются, что часто не делается, основные морфометрические характеристики водотоков, в том числе длина, в соответствие с которой производится выделение водоохраных зон.

При описании **почвенного покрова** приводится почвенно-географическое районирование и условия почвообразования; дается систематический список почв и описываются основные почвенные различия и структура почвенного покрова, а также приводится агроэкологическая характеристика почв.

При описании **растительного покрова** описываются основные зональные закономерности распределения растительности, дается общая характеристика флоры, отмечаются редкие и охраняемые виды растений, оцениваются растительные ресурсы.

Характеристика **ландшафтов** включает описание их структуры, антропогенной нарушенности и устойчивости к антропогенным факторам.

В подразделе «**Современное состояние животного мира**» приводится зоогеографическая характеристика и видовой состав фауны наземных позвоночных, описание местообитаний наземных позвоночных, места сезонных концентраций и путей миграций наземных позвоночных животных, видовой состав, распространение и плотность охотничье-промысловых видов наземных животных, редкие и охраняемые виды наземных животных, распределение животных по местообитаниям.

В отдельном подразделе помещаются сведения о территориях со специальным режимом использования (ООПТ, территории проживания коренных малочисленных народов Крайнего Севера и Дальнего Востока, водоохраные зоны, зоны санитарной охраны источников водопользования и санитарно-защитные зоны (разрывы) и т.д.). Даются сведения об источниках водоснабжения и защищенности подземных вод, наличии месторождений полезных ископаемых, скотомогильников и биотермических ям, свалок и полигонов ТБО.

Отмечается наличие в пределах района размещения объектов капитального строительства и в зоне их влияния объектов, поставленных на охрану, а также выявленных **объектов культурного наследия**.

В подразделе «**Хозяйственное использование территории**» необходимо описать структуру земельного фонда, охарактеризовать традиционное природопользование, инфраструктуру, виды мелиораций, представить сведения о производственной и непромышленной сферах, основных источниках загрязнения.

В разделе «**Современное экологическое состояние района изысканий**» дается комплексная (ландшафтная) характеристика и проводится оценка состояния компонентов природной среды (атмосферного воздуха, почв, донных отложений, поверхностных и подземных вод) и наземных и водных экосистем и их устойчивости к техногенным воздействиям и возможности восстановления. Оценка состояния компонентов природной среды производится по данным полевого опробования и результатам лабораторных химико-аналитических определений. В данном разделе необходимо провести анализ загрязненности ком-

понентов, сравнивая полученные результаты с предельно допустимой концентрацией (ПДК) и ориентировочно допустимой концентрацией (ОДК) и проводя оценки по комплексу показателей: удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды (УКИЗВ) для воды, суммарному показателю химического загрязнения – для почв и донных отложений и т.д. Многие исследователи ограничиваются представлением результатов исследования в протоколах и сводных таблицах и не приводят диапазоны измеренных показателей в тексте отчета, что крайне неверно.

В разделе «**Социально-экономические условия**» представляются сведения о численности, занятости и об уровне жизни населения и демографической ситуации. Медико-биологические условия и заболеваемость представляются в разделе «**Санитарно-эпидемиологическая и медико-биологическая характеристика**».

Обязательным и очень важным разделом отчета по инженерно-экологическим изысканиям является раздел «**Неблагоприятные воздействия на окружающую среду: прогноз и рекомендации по предотвращению**». В этом разделе дается предварительный прогноз возможных неблагоприятных изменений природной и техногенной среды под влиянием будущего строительства и разрабатываются рекомендации и предложения по предотвращению и снижению неблагоприятных техногенных последствий, восстановлению и оздоровлению природной среды.

По материалам проведенных инженерно-экологических изысканий разрабатывается раздел отчета «**Предложения по организации строительного экологического контроля (мониторинга) района работ**». В данном разделе со ссылками на нормативно-методическую документацию обосновывается необходимость того или иного вида мониторинга, указывается его состав и периодичность проведения, предлагаются методики проведения наблюдений.

В разделе «**Заключение**» дается краткая физико-географическая характеристика района работ, указываются опасные геологические и гидрологические условия района изысканий и территории с особым режимом природопользования, приводятся диапазоны измеренных характеристик и указываются показатели и ингредиенты, по которым наблюдаются превышения предельно-допустимых значений. В разделе также приводятся прогнозные оценки влияния будущего строительства на окружающую среду.

В конце отчета необходимо представить список используемых источников и нормативно-методической документации, на которые имеются ссылки в тексте отчета.

В текстовых приложениях представляются копии Свидетельств о допуске к работам по выполнению инженерных изысканий; копии лицензий на осуществление работ, относящихся к картографической деятельности и составляющих государственную тайну; копии аттестатов аккредитации и области аккредитации используемых лабораторий. Здесь же помещаются справочные материалы о состоянии компонентов природной среды, полученные в организациях, осуществляющих государственный мониторинг; акты отбора проб, реестры, протоколы измерений; сводные таблицы результатов полевых и лабораторных исследований.

**Графические приложения** в зависимости от решаемых задач должны содержать:

- карту фактического материала; карту (схему) современного экологического состояния; карту прогнозируемого экологического состояния; карту экологического районирования;
- экологические карты и схемы зоны воздействия объекта и прилегающей территории с учетом возможных путей миграции, аккумуляции и выноса загрязняющих веществ; другие графические материалы в соответствии с программой работ (ландшафтные, почвенные, геоботанические, зоологические, лесо- и землеустроительные карты и др.) [2].

## Список литературы

1. СП 11-102-97 Свод правил «Инженерно-экологические изыскания для строительства».
2. СП 47.13330.2012. «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» (актуализированная версия СНиП 11-02-96).

**Идрисов И.Р.<sup>1</sup>, Нечетов И.А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Тюменский государственный университет, Тюмень, gis@utmn.ru

<sup>2</sup>ООО «Нижеобской Научно-исследовательский Проектный Институт», Тюмень, nipin@nipin.ru

## КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

При проведении инженерно-экологических изысканий значительную часть работ составляют картографические работы. Создание карт рассматривается как оптимальный способ упорядочивания и графического представления результатов полевых работ. Построение различных тематических карт (аналитических и синтетических) с привлечением данных дистанционного зондирования и результатов полевых измерений позволяет с достаточной степенью детальности проводить инвентаризацию ресурсов территорий изысканий.

В сложившейся практике инженерно-экологических изысканий создание и разработка карт проводится при помощи различных по полноте и функциональному содержанию геоинформационных систем. Активно развивающиеся геоинформационные системы предоставляют удобный инструментарий для тематического дешифрирования и картопостроения. При подобном подходе существенной проблемой является дальнейшее использование результатов инженерно-экологических изысканий при проведении ОВОС и разработке специализированных разделов проекта. Проектировщики и специалисты в области охраны

окружающей среды, в отличие от изыскателей, преимущественно используют системы автоматизированного проектирования (САПР) для разработки чертежей и различных типов карт. Для проведения различных аналитических операций и измерений по картам необходима интеграция баз данных ГИС и результатов принятия проектных решений.

Проблема интеграции данных ГИС и САПР рассматривается многими авторами [1,3], разработаны методические пособия и руководства, позволяющие оперативно и качественно создавать тематические карты средствами САПР или экспортировать карты, разработанные в ГИС [2]. Сложность внедрения подобных подходов заключается в консервативности подходов к проектированию и разработке карт при проведении инженерно-экологических изысканий.

На кафедре картографии и геоинформационных систем Тюменского государственного университета и Нижнеобским Научно-исследовательским Проектным Институтом получены результаты внедрения в деятельность проектно-изыскательской организации способов интеграции ГИС и САПР. Разработка карт проведена специалистами отдела изысканий с использованием программного комплекса Mapinfo. Разработку серии карт в САПР осуществляли при помощи ГИС приложения AutocadMAP. Для выработки оптимальных решений применялись несколько различных вариантов интеграции данных. Поэтапное представление полученных результатов приведено далее.

**Пространственная привязка данных.** Возможности совместного анализа различных данных являются серьезным преимуществом ГИС. Главным условием для корректного совмещения разнотипных данных является использование стандартных картографических проекций и координатная привязка результатов изысканий. В AutocadMAP реализована возможность применения различных проекций, в том числе создание и использование собственных систем координат по заданным параметрам. Использование наиболее распространенных в России проекций позволяет привлекать данные гео-порталов и материалы дистанционного зондирования Земли. В нашем примере была использована система координат Гаусса-Крюгера (Пулково 1942 года). Настройка используемой координатной системы проводится до начала импорта или подключения данных ГИС.

**Ввод данных в САПР.** Для использования данных ГИС в САПР реализовано два подхода – импорт данных и прямое подключение к файлам данных. Каждый способ имеет свои достоинства и недостатки.

При проведении импорта в диалоговом режиме устанавливаются системы координат исходных данных, набор графических примитивов для представления объектов и атрибутов к ним. Полученные в результате данные доступны для создания тематических карт, а результаты картопостроения могут быть открыты в стандартном AutoCAD.

В AutocadMAP реализована также возможность прямого подключения данных. В качестве источников могут использоваться базы данных и слои тематических карт, разработанные в ГИС. В нашем случае для подключения к данным исходные картографические данные были экспортированы в формат shape. При подключении атрибуты объектов и параметры координат исходных данных считываются автоматически. Подобный подход удобен в использовании, при этом полученные карты не будут доступны в стандартных приложениях САПР.

**Создание тематических карт.** Для данных, полученных в результате импорта предусмотрен механизм тематического запроса. В результате возможно построение карт методом количественного или качественного фона. Механизм тематического запроса достаточно трудоемок и требует задания «в ручную» параметров шкал и сопоставления используемых цветов и атрибутов данных. Полученный результат – полигоны с тематической заливкой.

При подключении к внешним данным создание тематических карт реализовано с использованием стилей объектов. К полученным данным применяются различные фильтры и запросы, существует возможность отображения индексов для каждого картографируемого объекта. Кроме того, сохраняются динамические связи объектов – индексы могут перемещаться по карте автоматически при просмотре данных и существует возможность изменения параметров отображения.

**Настройка печати и экспорт данных.** Для тематических карт, полученных в результате импорта данных и реализации тематического запроса используются стандартные способы настройки чертежей для печати и импорта. В случае использования подключения доступен механизм автоматического формирования легенды. Визуальное оформление и настройка легенды реализованы достаточно просто и не позволяют создавать многоуровневые системы условных обозначений на картах.

В результате пробной реализации различных методов интеграции САПР и ГИС с использованием AutocadMAP установлено, что вышеуказанные подходы могут применяться в зависимости от способов дальнейшего использования результатов изысканий. Не смотря на очевидное удобство прямого подключения данных, их дальнейшее использование не возможно без специализированного программного обеспечения. Подобный подход может использоваться в случае отсутствия дополнительных требований заказчика к получаемым картам. Менее удобный механизм импорта и тематических запросов позволяет получить данные, использование которых возможно, как в специализированных программных комплексах, так и в стандартной среде AutoCAD для совмещения с результатами проектирования, просмотра и печати. При этом атрибутивные данные могут в дальнейшем использоваться для проведения аналитических операций.

## Список литературы

1. Раклов, В.П. Картография и ГИС: учеб. пособие / В.П. Раклов. – М.: ГУЗ, 2004. – 142 с.
2. ВВЕДЕНИЕ В ГИС AUTODESK MAP: Методические указания по лабораторным занятиям для студентов направлений 120300 и 120700 «Землеустройство и кадастр» / Кашенко Н.А., Попов Е.В, Чечина А.В. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. – 55 с.
3. Дорофеев Сергей Юрьевич, Зайцева Мария Александровна ВИЗУАЛЬНО-ИНТЕРАКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ИНТЕГРАЦИИ САПР И ГИС // Известия ТПУ. 2010. №5. Научная библиотека КиберЛенинка: <http://cyberleninka.ru/article/n/vizualno-interaktivnaya-tehnologiya-integratsii-sapr-i-gis#ixzz3mddBWWMe>.

Новых Л.Л.

Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ БелГУ), Белгород, novykh@bsu.edu.ru

## АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПОЧВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СОСТАВЕ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Для осуществления проектирования, строительства и эксплуатации предприятий проводятся инженерные изыскания, важной составной частью которых являются инженерно-экологические (ИЭИ). Как отмечается в [1], промышленных объектов в России строится все больше и потребность в проведении эффективных ИЭИ стремительно возрастает. Обязательным элементом инженерно-экологических изысканий являются почвенные исследования.

Проведение инженерно-экологических изысканий является актуальной проблемой для Белгородской области, территория которой входит в регион КМА и характеризуется мощным развитием горнодобывающего комплекса (ГДК), развитие которого сопровождается увеличением площадей техногенных ландшафтов и ухудшением состояния окружающей среды.

При проведении инженерно-экологических изысканий на предприятиях ГДК часто встает проблема оценки необходимости снятия плодородного слоя почвы. Согласно ГОСТ 17.5.3.06-85 [2], среди факторов, определяющих мощность снимаемого плодородного и потенциально-плодородного слоев почв, выделяют структуру почвенного покрова.

Анализ существующих нормативно-правовых документов, регулирующих проведение почвенных исследований (общие требования к отбору проб почвы [3], номенклатура показателей пригодности нарушенного плодородного слоя почв для землевания [4], методы отбора и подготовки проб почвы для химического, бактериологического, гельминтологического анализа [5], рекультивация земель, общие требования к землеванию [6], требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ [7], требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ [2], паспорт почв [8], классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель [9]) показывает, что все они были введены около тридцати лет назад, т.е. какие-то аспекты могли устареть. В связи с этим большой интерес представляет новая (актуализированная) редакция СНиП 11-02-96 [10], которая появилась в 2012 г. Однако ее анализ показывает, что нормативные акты, рекомендуемые для организации и проведения почвенных исследований, остались неизменными.

В течение ряда лет кафедрой географии, геоэкологии и безопасности жизнедеятельности Белгородского университета проводятся почвенные исследования в рамках инженерно-экологических изысканий на территории Белгородской области и представляется ряд проблем, которые настоятельно требуют решения. Наиболее острыми из них являются проблемы классификации почв, связанные с разработкой новой классификации почв России, обновления содержания паспорта почв и изменения подходов к выделению структур почвенного покрова. Некоторые аспекты этих проблем представлены в публикациях 2013-2014 гг. [11, 12].

*Материалы и методы исследования.* Прделанная работа включала анализ существующих нормативных актов, регламентирующих почвенные исследования для инженерно-экологических изысканий, изучение субстантивно генетической классификации почв России, внедрение которой в практику почвенных исследований активно пропагандируется в настоящее время, а также непосредственное проведение полевых исследований по изучению почвенного покрова в промышленной зоне предприятий ГДК, что позволило составить почвенные картосхемы на основе двух почвенных классификаций.

*Результаты и их обсуждение.* Содержание паспорта почв [8]. Пункты 5.1 и 5.2 указанного документа требуют дать тип и подтип почвы по национальной классификации. В 1986 г. ответ был однозначным, но в настоящее время требуется уточнить: по какой классификации? До последнего времени почвенное картографирование в нашей стране, в том числе крупномасштабное, проводилось на основе классификационных систем, построенных на факторно-генетической основе, ярким примером которых является «Классификация и диагностика почв СССР» [13]. В настоящее время происходит внедрение субстантивно-генетической классификации почв [14], важнейшим достижением которой является рассмотрение и систематизация новых почвенных (антропогенно-преобразованных) и непочвенных образований. Почти 20 лет две классификации существуют одновременно. Статус новой классификации, несмотря на одобрение Всероссийским съездом почвоведов 2008 г., до сих пор не ясен. Как указывается в [15], в России нет соответствующей организации, которая могла бы принять соответствующее официальное решение и оформить классификацию как стандарт.

Результаты проведенных исследований показывают, что в условиях открытой добычи железорудного сырья более информативным является использование классификации 2004 года [14], которая в большей мере охватывает разнообразие антропогенно-измененных почв и включает систематику техногенных поверхностных образований.

Наряду с естественными почвами на исследуемых территориях широко встречаются урбо-почвы (культуроземы, экраноземы), агро-почвы, техно-почвы, почвоподобные тела (техноземы-конструктоземы) и поверхностные образования различного генезиса (натурфабрикаты-литостраты, хемоземы, резектоземы и др.). Новая классификация почв, включив разделы по систематике техногенных поверхностных образований, позволяет дать более полную характеристику исследуемых территорий, но полученный картографический результат, по нашему мнению, правильнее называть не почвенной картой, а картосхемой поверхностных отложений и почв, т.к. на ней преобладают непочвенные образования.

На рисунке 1 приведен фрагмент почвенной карты одного из участков, построенной на основе «традиционной» и новой классификаций почв России.

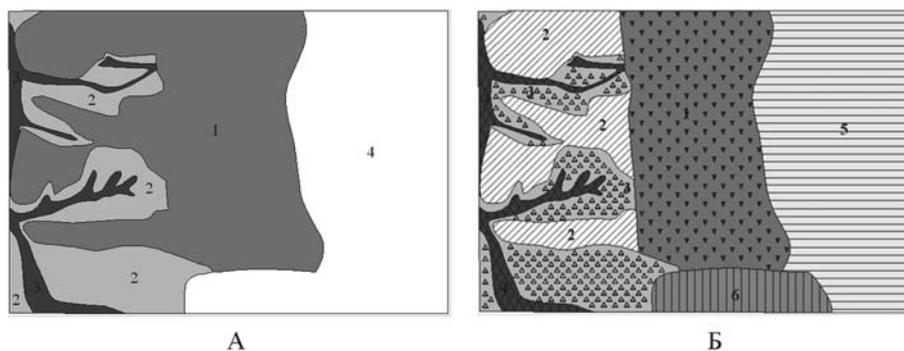


Рис. 1. Почвенные картосхемы  
 Легенда почвенных картосхем

№ ареала	Окраска	Название почвы (комбинации почв)
Картосхема А		
1		Чернозем типичный слабосмытый на лессовидном суглинке
2		Чернозем типичный среднесмытый на лессовидном суглинке
3		Дерново-намытая на делювиальном наносе
4		Выходы пород
Картосхема Б		
1		Агрочернозем переуплотненный на лессовидном суглинке
2		Комплекс техночерноземов и агрочерноземов на лессовидном суглинке
3		Чернозем миграционно-мицелярный среднемелкий на лессовидном суглинке
4		Стратозем темногумусовый водно-аккумулятивный
5		Хемозем
6		Натурфабрикат-литострат

Рис. 1. Почвенные картосхемы

Вариант А (классификация 1977 года): выявлено 4 ареала, среди которых лидируют чернозем типичный слабосмытый и выходы пород. В балочных системах на участке представлены чернозем типичный среднесмытый на склонах балок и дерново-намытые почвы на днищах.

Вариант Б (классификация 2004 года): выявлено 6 почвенных ареалов, среди которых преобладают агрочернозем переуплотненный и хемозем. Отвалы карьера представлены натурфабрикатами-литостратами. В западной части участка описаны техночерноземы и агрочерноземы. Склоны балок покрыты черноземами миграционно-мицелярными, а днища – стратоземами темногумусовыми.

Очевиден иной подход в новой классификации к названию почв – это использование латинских корней. По мнению В.Ф. Валькова и др. [16], этот опыт следует признать удачным для впервые вводимых почв, особенно для антропогенно-преобразованных и техногенных поверхностных образований. В то же время много вопросов по поводу применения новой классификации почв возникает у почвоведов, работающих

в черноземной зоне. Так вместо одного привычного типа черноземов, разделяемого на подтипы, теперь предусмотрено шесть.

Свое «почвенное» место в новой классификации получили дерново-намытые почвы, которые широко представлены в Белгородской области, но ранее относились не к почвам, а к переложенным почво-грунтам. Теперь они соответствуют стратоземам водно-аккумулятивным.

Второй важной проблемой является необходимость обновления устаревших пунктов почвенного паспорта. Так пункты 5.4 и 5.5 паспорта почв требуют дать название почвы по классификации ФАО-ЮНЕСКО, а в п. 6.2 необходимо привести обозначение почвенных горизонтов по той же системе. В то же время универсальной системой классификации почв ныне считают мировую коррелятивную базу почвенных ресурсов (WBR), которая в период 1998-2006 гг. приобрела статус официальной системы номенклатуры и классификации почв в европейских странах, придя на смену указанной выше классификации [17].

Применение разных схем классификации потребует и различных обозначений генетических горизонтов почв, поэтому п. 6.1 паспорта почв при использовании классификации 2004 г. также претерпевает существенные изменения. Например, вместо обозначений дернового и гумусового горизонтов (Ad и A1), широко представленных в классификации 1977 г., необходимо использование таких индексов, как AY (серогумусовый), AJ (светлогумусовый), AU – темногумусовый и т.д. Однако даже актуализированная редакция СНиП 11-02-96 [10] рекомендует использовать при почвенных обследованиях общесоюзную инструкцию выпуска 1973 г. [18], в которой, естественно, такие обозначения почвенных горизонтов не встречаются.

Требует решения проблема уточнения перечня почвенных характеристик, приводимых в разделе 6 паспорта почв. Например, соотношение углерода и азота (C:N), которое требуется приводить, – это важный показатель с научной точки зрения, но он в дальнейшем не используется в практических задачах оценки степени загрязнения почвы или ее пригодности для рекультивации. Или характеристика состава обменных катионов требует определения обменных форм кальция и магния, а для оценки плодородного слоя необходимо знание содержания обменного натрия.

Третьей проблемой, требующей решения, является необходимость изменения подходов к выделению структур почвенного покрова (СПП) при исследованиях территорий в промышленных зонах. Некоторые аспекты данной проблемы обсуждались в [19]. Разным типам местности Белгородской области соответствуют различные СПП, среди которых преобладают неконтрастные комбинации. На изученных участках нами были выделены фоновые почвы – черноземы, которые в течение длительного времени подвергаются распашке, поэтому мы классифицировали их как агрочерноземы. Для них характерно формирование пятнистостей, обусловленное проявлением эрозионных процессов.

Полученные результаты свидетельствуют, что на смену неконтрастным комбинациям почв в промышленной зоне предприятий ГДК приходят контрастные – комплексы и мозаики, особенно это характерно для регионов с открытой добычей железорудного сырья. Однако большинство комбинаций состоят не из элементарных почвенных ареалов (ЭПА), а из непочвенных образований.

Комбинации непочвенных образований мы назвали мозаиками, что не вполне корректно. Пестрота мозаик традиционно связывается с пестротой почвообразующих пород, но для ряда техногенных образований само понятие «почвообразующая порода» потеряло смысл, поэтому дальнейшей разработки требуют вопросы понятийного аппарата и практического применения учения о СПП для районов, существенно преобразованных горнодобывающей деятельностью.

### Заключение

Таким образом, проведение почвенных исследований на территориях, значительно преобразованных горнодобывающей деятельностью, требует существенных изменений в нормативно-правовом обеспечении. В первую очередь необходимо определение статуса классификации почв, которая должна использоваться в таких исследованиях. В существенной переработке нуждается паспорт почв. Необходима разработка перечня приводимых характеристик для непочвенных образований с указанием методик их определения, а также методических вопросов практического применения учения о структуре почвенного покрова.

*Исследования выполнены в рамках реализации государственного задания Министерства образования и науки РФ Белгородским государственным национальным исследовательским университетом на 2015 г. (Код проекта: 185).*

### Список литературы

1. Куницына И.А., Околелова А.А. Эффективность инженерно-экологических изысканий на объектах нефтедобывающей отрасли // Известия ВолгГТУ. Сер. Геология, процессы и аппараты химической технологии. – 2011. – Вып. 4. – № 1 (74). – С. 30-33.
2. Охрана природы. Почвы. Требования к определению норм снятия плодородного слоя почвы при производстве земляных работ: ГОСТ 17.5.3.06-85. Дата введения 01.07.1986 г. М., 1986.
3. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб: ГОСТ 17.4.3.01-83. Дата введения 01.07.1984 г. М., 1984.
4. Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей пригодности нарушенного плодородного слоя почв для землевания: ГОСТ 17.4.2.02-83. Дата введения 01.01.84 г. М., 1984.
5. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа: ГОСТ 17.4.4.02-84. Дата введения 01.01.86 г. М., 1986.
6. Охрана природы. Рекультивация земель. Общие требования к землеванию: ГОСТ 17.5.3.05-84. Дата введения 01.01.1985 г. М., 1985.
7. Охрана природы. Почвы. Требования к охране плодородного слоя почвы при производстве земляных работ: ГОСТ 17.4.3.02-85. Дата введения 01.01.1987 г. М., 1987.
8. Охрана природы. Почвы. Паспорт почв: ГОСТ 17.4.2.03-86. Дата введения 01.07.1987 г. М., 2004.
9. Охрана природы. Земли. Классификация вскрышных и вмещающих пород для биологической рекультивации земель: ГОСТ 17.5.1.03-86. Дата введения 01.01.88. М., 1988.
10. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения: СНиП 11-02-96 (Актуализированная редакция СП 47.13330.2012). М., 2012.
11. Новых Л.Л., Корнилов А.Г., Гаджикеримова А.Г., Мезенцева М.С. Проблемы нормативного обеспечения почвенных исследований в промышленной зоне ГДК // Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Энергосбережение. Экология. Новые технологии: материалы X Всероссийской научно-практ. конф с междунар. участием 25-27 ноября 2013 г. г. Старый Оскол. – Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2013. – С. 341-344.
12. Новых Л.Л. Современные проблемы почвенных исследований при проведении инженерно-экологических изысканий // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. – 2014. – Т. 19. – Вып. 5. – С. 1446-1449.
13. Классификация и диагностика почв СССР. М., 1977.
14. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева [и др.]. Смоленск, 2004.
15. Герасимова М.И., Хохлов С.Ф. Классификация почв России: обсуждение на сайте в Интернете // Почвоведение. 2010. № 12. С. 1449-1455.
16. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Достоинства и недостатки новой классификации почв России // Почвоведение. 2006. № 5. С. 621 – 626.
17. Таргульян В., Герасимова М. Мировая коррелятивная база почвенных ресурсов. Основа для международной классификации и корреляции почв. М., 2007.
18. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований. М., 1973.
19. Структура почвенного покрова в промышленной зоне горнодобывающих предприятий Белгородской области / Л.Л. Новых, А.Г. Корнилов, Е.А. Дроздова [и др.] // Вестн. Чуваш.ун-та. 2013. № 3. С. 126-131.

### Куликова М.А.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, mix2ra@yandex.ru

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕНТГЕНОВСКИХ МЕТОДОВ

Для сохранения качества почвенно-растительного покрова, предупреждения и снижения негативного техногенного воздействия необходимо осуществлять систематический контроль за состоянием земельных ресурсов. Мониторинг как система регулярных наблюдений за состоянием окружающей среды с целью выявления эффектов и последствий антропогенного характера и принятия соответствующих природоохранных мер отличается широким набором различных вариантов его реализации в зависимости от конкретных задач, ситуаций, сроков, масштабов, интенсивности воздействия.

Санкт-Петербург является мегаполисом с развитой инфраструктурой дорожной сети, наличием крупных промышленных предприятий и высокими скоростями строительства. Загрязнение почвенно-растительного покрова ведет к снижению плодородия земель, произрастанию нетипичных культур, а также в целом к ухудшению здоровья населения города. Несвоевременное выявление превышения содержания тяжелых металлов, формы их нахождения и подбор мероприятий для санации почв ведут к увеличению площадей территорий, опасных по загрязнению (согласно Приложению 1 к СанПиН 2.1.7.1287-03).

При поступлении тяжелых металлов в другие среды из почвы определяющее значение имеет форма нахождения элемента. Наибольшей растворимостью обладают сульфаты металлов. Поэтому окисление сульфидов металлов до сульфатов в условиях многофакторного воздействия города будет являться мощным средством вторичного загрязнения поверхностных и подземных вод, биотических компонентов природной среды. Механизм вымывания тяжелых металлов из почв в грунтовые воды в условиях города определяется в основном воздействием атмосферных осадков. При этом происходит инфильтрация ливневых вод с образованием серной кислоты и вымыванием примесных элементов (ионы либо комплексные соединения металлов).

Оценить содержание тяжелых металлов возможно с применением различных аналитических методов, но в данном случае возникает необходимость определения формы (или кристалла), в которой находится элемент. Для решения этой проблемы в лаборатории моделирования экологической обстановки Горного университета есть совмещенный рентгенофлуоресцентный спектрометр (анализ количества элемента) с рентгеновским дифрактометром (анализ структуры вещества, определение формы нахождения элемента).

Для проведения мониторинга и определения содержания и формы нахождения тяжелых металлов в почвенно-растительном покрове на территории города Санкт-Петербурга был произведен отбор проб в Румянцевском садике на Васильевском острове (рис. 1).

Территория обследования характеризуется повышенным уровнем воздействия выбросов автотранспорта, так как находится вблизи проезжей части. Отбор проб осуществляли таким образом, чтобы охватить всю территорию садика и получить данные о распределении тяжелых металлов в почвенном покрове.

Отбор проб проводился методом конверта с глубины 10-15 см. Закладывалась площадка 2х1 м, пробы отбирались в узлах квадрата и на пересечении диагоналей. Проба помещалась в полиэтиленовый пакет и герметично закрывалась, на этикетке обозначалось место отбора, номер точки, дата и время отбора, фиксировались метеорологические условия.

Анализ отобранных проб проводился в полевых условиях с применением портативного рентгенофлуоресцентного спектрометра Niton Xlt серии 500. Прибор позволяет на месте обследования произвести необходимые замеры, оценить содержание тяжелых металлов, а далее произвести отбор пробы для дальнейших лабораторных анализов. При этом исследователь, обладающий достаточной компетенцией в области современных аналитических методов, может оценить качество пробы и подобрать вид анализа для ускорения процесса получения данных и повышения достоверности результатов.

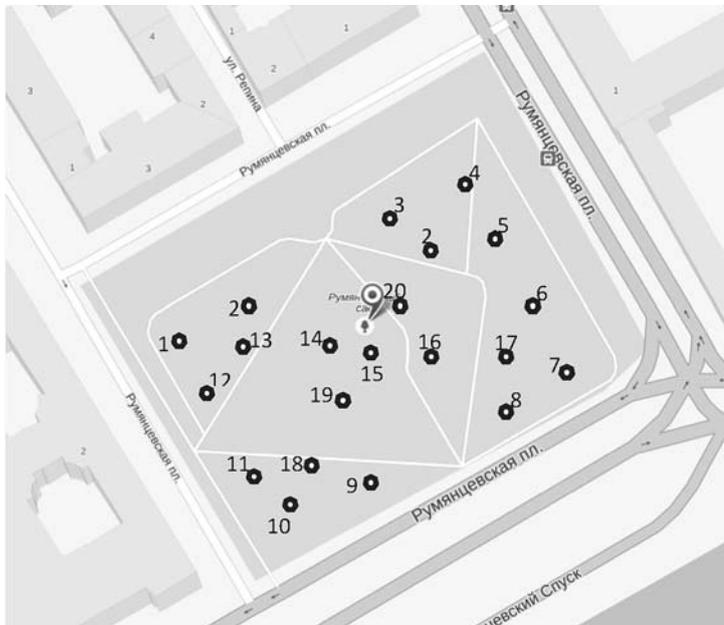


Рис. 1. Точки отбора проб для проведения экологического мониторинга

Измерение образцов проводилось с применением метода фундаментальных параметров STD Soil, встроенного в программное обеспечение прибора. Метод позволяет зафиксировать полный диапазон элементов в образцах почв, горных пород, отходов, на которые откалиброван прибор (26 элементов, включая тяжелые металлы). Метод позволяет зафиксировать элементы различных классов опасности согласно СанПиН 2.1.7.1287-03 (минимальный набор определяемых компонентов) (табл. 1).

Так как в большинстве образцов были обнаружены тяжелые металлы, пробы были отправлены в аналитическую лабораторию для более детального анализа.

Для подготовки образцов почвы к анализу проводилось измельчение до 100-150 мкм, а затем производилась закладка порошка в специальные кюветы под пленку. Пробы не прокаливались во избежание потери летучих элементов.

Рентгенофлуоресцентный анализ позволяет определять элементы в диапазоне от Be до U. Оценка влагоемкости отобранных образцов проводилась с применением весовых влагомеров МХ-50 и МОС-120.

Перед проведением исследований образцы минеральных отходов прошли следующие этапы пробоподготовки:

- измельчение на шаровой мельнице SPEX Sample prep. Перед измельчением основной пробы проводилось измельчение небольшой навески измельчаемой пробы во избежание «заражения» элементами других проб. Навеска образца массой 5 г помещалась в металлическую кювету. Время дробления и перемешивания составляло 5 минут с интенсивностью колебаний кюветы 20 раз за 1 секунду, крупность частиц порошка после дробления  $\approx$  100-150 мкм;
- утрамбовка полученного порошка в специальные кюветы под пленку (для минимизации эффекта пленки в программу анализа вводились специальные коэффициенты).

Таблица 1

Характеристика элементов по классу опасности	
Класс опасности	Химический элемент
I (высоко опасные)	Мышьяк, кадмий, ртуть, свинец, селен, цинк
II (опасные)	Кобальт, никель, молибден, медь, хром
III (малоопасные)	Вольфрам, марганец, стронций

Таблица 2

## Результаты анализа образцов почвы

элемент	Pb	Zn	Cu
ПДК	32,0	37,0	3,0
проба	Содержание, мг/кг		
1	82,4	92,2	49,0
2	222,5	196,4	86,1
3	149,2	201,2	59,2
4	209,2	89,3	60,3
5	75,8	152,4	55,4
6	154,2	174,3	84,0
7	107,6	124,2	58,2
8	193,6	262,7	87,4
9	233,2	167,6	85,6
10	106,5	158,2	201,4
11	283,5	167,7	73,3
12	191,2	310,4	135,5
13	119,5	114,3	60,4
14	92,1	143,7	53,3
15	120,2	121,7	66,8
16	138,4	164,2	59,7
17	70,6	87,8	40,3
18	161,4	183,2	119,3
19	145,5	164,0	79,9
20	185,8	244,4	73,4
21	63,7	94,7	45,4

Для проведения рентгенофлуоресцентного и рентгенофазового анализа образцов почвенно-растительного покрова использовали прибор комбинированного действия ARL 9900 Workstation лаборатории моделирования экологической обстановки Горного университета. После проведения съемки и расшифровки качественных спектров и нахождения всех присутствующих в пробе элементов был проведен количественный анализ отобранных образцов для оценки %-ного состава пробы. Количественный анализ на приборе ARL 9900 возможен с использованием метода построения градуировочного графика, либо с применением программы UniQuant. Отличие состоит в том, что при использовании программы не требуется использование стандартных образцов, а результаты характеризуются высокой достоверностью и малой погрешностью. К тому же, значительно сокращается время анализа, а прибор позволяет зафиксировать тяжелые металлы при содержании 0,0001 %.

Анализ содержания свинца, цинка и меди в отобранных образцах представлен в таблице 2:

Результаты анализа также свидетельствуют о значительных превышениях содержания тяжелых металлов по сравнению с ПДК. В таком случае встает вопрос о возможности вследствие инфильтрации ливневых вод загрязнения грунтовых вод с выносом в поверхностные воды (вторичное загрязнение бассейна реки Невы). Для решения этого вопроса необходимо проведение рентгенофазового или рентгенодифракционного анализа с целью определения формы нахождения тяжелых металлов и оценки возможности возникновения вторичного загрязнения. Результаты проведенного анализа представлены в таблице:

По итогам проведения рентгенофазового анализа можно сделать следующие выводы:

1. в исследованных образцах присутствуют основные почвенные минералы;
2. в почвах не зафиксированы минералы, содержащие в своей структуре тяжелые металлы. Это может быть связано с невысокой чувствительностью прибора, предел обнаружения кристаллической структуры составляет 1%. Возможно таких минералов содержится менее 1%;
3. требуется проведение аналитических исследований с определением подвижных форм тяжелых металлов в почве.

Таблица 3

## Основные минералы

Проба	Минерал	Проба	Минерал	Проба	Минерал
1	Кварц, гиббсит, слюда	8	Кварц, доломит, гиббсит	15	Кварц, доломит, магнетит
2	Кварц, доломит, гиббсит	9	Кварц, гиббсит, слюда	16	Кварц, доломит, гиббсит
3	Кварц, доломит, магнетит	10	Кварц, доломит, гиббсит	17	Кварц, кальцит, доломит
4	Кварц, гиббсит, магнетит	11	Кварц, доломит, магнетит	18	Кварц, доломит, магнетит
5	Кварц, слюда, доломит	12	Кварц, кальцит, доломит	19	Кварц, кальцит, слюда
6	Кварц, кальцит, доломит	13	Кварц, слюда, доломит	20	Кварц, кальцит, доломит
7	Кварц, кальцит, слюда	14	Кварц, гиббсит, слюда	21	Кварц, слюда, доломит

Таким образом, в ходе проведения мониторинговых исследований с применением рентгеновских аналитических методов был оптимизирован процесс оценки качества почвенно-растительного покрова, разработана методика анализа с определением элементного и фазового состава отобранных проб. При помощи данной методики были проанализированы отобранные в ходе обследований территории почвенные образцы с целью нахождения тяжелых металлов и определения формы их содержания.

Работа выполнена в Центре коллективного пользования научным оборудованием Горного университета при финансовой поддержке Комитета по науке и высшей школе, Министерства образования и науки Российской Федерации.

**Список литературы**

1. Дорохова Е.Н., Прохорова Г.В. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа. М.: Высш. шк. 1991. – 255с.
2. Правила охраны почв в Санкт-Петербурге (Вторая редакция) разработаны: Российским геоэкологическим центром – филиалом ФГУГП «Урангео» (Горький А.В., Потифоров А.И.); ФГУЗ «Центр эпидемиологии и гигиены в г.Санкт-Петербург» (Бек И.М., Ямсон В.А.), 2006 г.

**Веницианов Е.В.**

Институт водных проблем РАН, Москва, eugeny.venisianov@gmail.com

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОХРАНЫ ВОД В РОССИИ: ТЕХНОЛОГИИ, ПРАВО, ЭКОНОМИКА, ЭКОЛОГИЯ

Охрана водных объектов состоит из двух компонентов: это часть системы управления водохозяйственным комплексом (ВХК) и совокупность мероприятий и технологий.

Управление охраной вод включает следующие направления:

- законодательная и нормативно-правовая система;
- организационно-экономическая система;
- системы мониторинга и контроля.

Система управления ВХК является многоуровневой и состоит из нескольких «вертикалей» управления: Минприроды РФ, Минсельхоз РФ, МЧС России, Минстрой России, Росрыболовство, Ространснадзор и др.

Функциональная схема межведомственного взаимодействия по осуществлению функций госуправления ВХК России представлена в таблице.

Функция управления	Росводресурсы	Росгидромет	Роснедра	Роспотребнадзор	Росприроднадзор	Ростехнадзор	Ространснадзор
Госмониторинг водных объектов	+	+	+				
Госконтроль за использованием и охраной водных объектов					+	+	
Информационное обеспечение госуправления использованием и охраной водного фонда	+	+	+	+			
Надзор за безопасностью ГТС						+	+

Из приведенной таблицы следует, что существует раздробление функций управления водохозяйственным комплексом несколькими ведомствами. Это не беда, если существуют четкое разделение полномочий между ведомствами и внутри вертикали МПР, т.е. на федеральном, региональном и муниципальном уровнях, и процедуры согласования принимаемых решений между разными органами власти. Однако это является неразрешенной проблемой.

Перечислим современные проблемы управления ВХК, определяющие малую эффективность управления водоохраной:

- центральная проблема – разграничение полномочий в структуре управления и согласование принимаемых решений разными органами;
- пересечение бассейнового и территориального принципов управления;
- остаточный принцип финансирования водоохраных мероприятий;

- верхние звенья управления оказываются нагруженными многими мелкими вопросами принятия решений, к тому же часто не исполняемыми, а нижние звенья не располагают ни полномочиями, ни средствами для осуществления необходимых водохозяйственных мероприятий;
- для осуществления единой политики уполномоченный орган в области использования и охраны водного фонда наделен недостаточными полномочиями;
- устаревшее и противоречивое состояние нормативно-правового обеспечения;
- слабый экономический подход в управлении водным хозяйством: в отрасли до сих пор отсутствуют эффективные экономические отношения. Используются всего две категории: недифференцированный по эффективности использования воды как ресурса водный налог на хозяйствующие субъекты и плата за загрязнения, цель которой – сугубо фискальная. Отсутствует стимулирующая роль платы за пользование водными объектами и за загрязнение. Парадокс: наполняемость бюджетов за счет платного водопользования тем выше, чем больше объем загрязнений и объем водозабора. Не используются экономические механизмы сокращения водоемкости производства и снижения объема загрязнений, хотя в мировой практике известно множество механизмов стимулирования такой деятельности водопользователей.

Законодательная и нормативно-правовая система охраны вод в России примитивна и противоречива. Ее недостатками являются:

- отсутствие направленности на генеральную цель охраны: непрерывное улучшение состояния водных ресурсов России за счет охраны водных объектов;
- отсутствие обоснованных и удобных для использования критериев оценки эффективности водоохраны. Используются явно неадекватные или просто вредящие делу критерии, например, единая для всей страны система ПДК для водных объектов рыбохозяйственного использования. Существующие и затратные по вложенным средствам нормативы допустимых воздействий научно плохо обоснованы, поэтому базирующиеся на них Схемы комплексного использования и охраны водных объектов практически не используются в реальном управлении водными ресурсами и их охране;
- переход к системе НДТ, т.е. к технологическому нормированию, мог бы стать «революцией» в системе водоохраны, но движение в этом направлении происходит по обычным законам «чиновничьего» управления, т.е. формально. Ключевые элементы этой новой системы, в первую очередь разработка справочников НДТ происходит в Росстандарте, т.е. находятся на задворках системы управления. Кроме того, параллельно должна вестись работа по созданию экономического и организационного механизма новой системы, чего не делается;
- в Водном кодексе РФ предусмотрена возможность разработки и использования региональных нормативов как качества воды, так и платежей. Однако по-прежнему действуют федеральные нормативы для всех регионов, водных объектов и хозяйствующих субъектов, что делает охрану вод неэффективной и порождает коррупцию;
- очевидным недостатком системы регулирования нагрузки на водные объекты является выделение системы приоритетных компонентов, что не предусмотрено в нормативно-правовых актах;
- в печальном состоянии находится система мониторинга и контроля. Концепция этих важнейших инструментов управления охраной вод была разработана 50-40 лет назад и до сих пор не выполняет основную функцию – быть информационным инструментом водоохраны, причем, прежде всего, в оперативном режиме. Эта функция совершенно не развита. Отсюда неизбежность крупных ущербов от кратковременно развивающихся событий, таких как аварийные выбросы загрязняющих веществ, наводнения и пр.;
- отсутствует работа по ликвидации накопленного экологического ущерба на водных объектах;
- проблема охраны трансграничных водных объектов. В Водном кодексе РФ отсутствует понятие «трансграничные водные объекты», не определены полномочия органов исполнительной власти, их компетенции. Межгосударственные соглашения имеют декларативный характер, отсутствуют конкретные обязательства сторон и способы контроля, механизм разрешения споров и согласования противоречий. Правовой статус соглашений не приводит к возникновению у стран – участниц юридических обязательств прямого действия. Отсутствует механизм финансового обеспечения Соглашений.

Поразительным образом осуществляется совершенствование нормативно-правовой базы управления использованием и охраной водных ресурсов. Приведу в качестве примера проблему качества воды.

К концу 80-х годов качество природных вод в наиболее населенных и экономически развитых регионах непрерывно ухудшалось. После известных событий начала 90-х годов, когда рухнула промышленность, все ждали улучшения качества, но его не случилось. Действительно, снизилось количество сбрасываемых сточных вод, однако адекватного снижения концентраций загрязняющих вредных веществ не наблюдалось. В чем же дело? В неконтролируемом диффузном стоке с территорий городов, дорог, свалок, коттеджей по берегам водных объектов. Оказалось, что для многих водных объектов эта часть загрязнений является значимой и даже преобладающей по ряду веществ.

Казалось бы, совершенствуя нормативную базу водоохраны, следует обратить внимание на эту часть стока. Увы, при разработке норматива вредных воздействий на водные объекты, так называемого НДС, эта часть стока не учитывалась вообще. Какое же практическое значение имеют НДС, если они не учитывают эти виды загрязнения!

Другой пример. Федеральным законом от 13 июля 2015 г. N 233-ФЗ установлен принцип нормирования допустимого воздействия на ОС на основе показателей наилучших доступных технологий. Этот принцип около 20 лет используется в странах ЕС. Его идея проста: давайте будем следить не за качеством сточных вод, а за используемыми предприятиями технологиями. НДТ – это не вообще лучшие технологии, а те, которые доступны нормально работающему предприятию, в том числе и по финансовым затратам. В настоящее время в Росстандарте запущена программа по разработке более 20 Информационно-технологических справочников по отраслям. Тем не менее, тратятся огромные средства на разработку «плохих» НДС, разрабатываются новые нормативы, как поделить эти НДС между предприятиями, хотя в настоящее время существует нормативная база

по разработке НДС – нормативов допустимых сбросов, которые разрабатываются и утверждаются для каждого предприятия, т.е. это новый норматив вообще не нужен. Таким, образом, в МПР готовится план реформирования нормативной базы водоохраны, которые не нужны и с использованием плохих методик.

В перечне недостатков современной системы управления следует упомянуть устаревшую, отставшую на несколько десятилетий систему мониторинга водных объектов. Когда она создавалась почти 50 лет назад, она была одной из лучших и по густоте сети, и по числу определяемых компонентов. За этот срок в развитых странах созданы системы мониторинга, работающие практически on-line. Значительно расширен перечень определяемых компонентов, повсеместно используются автоматические посты.

У российской науки есть разработки вполне современного уровня, однако проблема их внедрения не решается.

Можно ли в этих трудных условиях поднять уровень водоохраны?

Общие принципы управления водоохраной:

- бассейновый подход в управлении наиболее эффективен и используется большинством стран;
- в большинстве стран используется централизованный принцип управления ВХК и управление осуществляется на двух, и чаще – на трёх уровнях: национальном, региональном, местном. Предусмотрено четкое разделение полномочий по уровням управления и процедуры согласования решений на разных уровнях управления;
- в некоторых странах (Бразилия, Германия) используется передача некоторых законодательных полномочий на уровень земель (штатов), при условии недопущения противоречий с положениями федеральных законов;
- переход к интегрированному управлению охраной вод, что означает комплексную охрану поверхностных, подземных и возвратных вод в пределах каждого водного бассейна, обязательную координацию всех видов водопользования и всех участвующих в управлении министерств, ведомств и водопользователей; обязательное участие представителей науки, общественности и субъектов водопользования в планировании и реализации решений; прозрачность планируемых и реализуемых мер водоохраны; экономическую устойчивость системы водоохраны;
- решение проблемы охраны вод от диффузного и неконтролируемого стока загрязнений – новая сфера водоохраны, практически не прорабатываемая в России. Механизм решения проблемы – идентификация источников диффузного и неконтролируемого стока и разработка программ ограничения за счет принципов НДТ и наилучшие практик хозяйствования.

В стране кризис. Казалось бы, нельзя говорить об увеличении финансирования мероприятий по охране вод. Решение – очевидно. «Вода должна охранять воду» – вот девиз нормальной системы водоохраны. Платежи должны не идти напрямую в бюджет и там размываться в ряду других налогов и платежей, а целенаправленно использоваться, как это делается во многих «благополучных» странах.

Проблема повышения эффективности охраны вод России должна решаться не прямыми инвестициями, а реформой системы использования и охраны вод, примерно так, как это сделано в развитых странах за последние 20-30 лет.

Предложения по совершенствованию системы управления водоохраной:

- четкое разграничение полномочий между различными уровнями и «вертикалями» системы государственного управления ВХК с исключением практики дублирования полномочий;
- создание системы эффективной координации деятельности государственных органов федерального и регионального уровней, осуществляющих государственное регулирование в области водопользования и водоохраны, предотвращения чрезвычайных ситуаций на водных объектах;
- разработка регламента взаимодействия органов управления разного уровня (бассейнового, субъектного и муниципального);
- укрепление бассейнового звена государственного управления, передача реальных полномочий в сфере водоохраны;
- разработка процедур согласования управленческих решений федерального и субъектного уровней;
- совершенствование нормативно-методического обеспечения в сфере защиты вод от загрязнения, в том числе диффузного;
- разработка регламента финансового обеспечения водохозяйственных мероприятий на субъектном и муниципальном уровне;
- представляется целесообразным включить управление питьевыми подземными водами в компетенцию ФАВР и его бассейновых структур;
- необходимо увеличение финансирования водохозяйственных и водоохраных мероприятий;
- создание системы водохозяйственного мониторинга путем расширения программ наблюдений в существующей системе и создания новых постов, особенно в зонах высокого риска.

Технологический уровень водоохраны, в основном, должен решаться в рамках принципа НДТ – наилучших доступных технологий. Однако до сих пор отсутствует системный подход к его реализации. Имеется представление, что достаточным является законодательное декларирование этого перехода и разработка некоторого числа справочников (аналогов BREF – Best available technique reference documents). Однако опыт развитых стран показывает, что эти документы – вершина айсберга нового подхода к охране вод.

Один из основных источников загрязнения – станции очистки городских сточных вод. Однако уровень технологий подавляющего числа станций находится на уровне 79-х годов прошлого века. Можно назвать 3-4 города, где осуществляется модернизация технологий очистки. Отметим, что в настоящее время изменился состав сточных вод. В них появилось большое число ранее малозначимых компонентов, прежде всего лекарств, средств гигиены, моющих средств. Все они являются ксенобиотиками, т.е. веществами, чуждыми природным объектам. Эти вещества опасны и в малых концентрациях, причем они плохо очищаются традиционными технологиями, для них нужны современные методы химического анализа, для большинства не разработаны ПДК. В мире отмечается лавинообразный рост публикаций по проблеме микрозагрязнителей. У нас 2-3 организации пытаются убедить природоохранные власти в важности проблемы. Пока безуспешно.

Ниже представлена схема совершенствования системы водоохраны:



Григорьев Г.Н.<sup>1</sup>, Шевченко В.Н.<sup>1</sup>, Кайдалова О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет (НИУ БелГУ), Белгород, grigoryev@bsu.edu.ru

<sup>2</sup> Научно-производственная фирма «Эколог-проект», Белгород, ecolog\_proect@mail.ru

## ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ В ЧЕРНОЗЕМЬЕ

Инженерно-экологические изыскания на территории Центрально-Черноземного экономического района России (ЦЧР) авторами проводятся в течение многих лет. Основной целью проведения инженерно-экологических изысканий является оценка современного состояния и прогноза возможных изменений окружающей природной среды под влиянием антропогенной нагрузки. В числе главных задач этих работ подразумевается предотвращение, минимизация или ликвидация вредных и нежелательных экологических и связанных с ними социальных, экономических и других последствий для сохранения оптимальных условий жизни населения.

Конкретными задачами при разработке каждого проекта являются: 1) оценка современного состояния окружающей среды; 2) изучение отдельных компонентов природной среды, значимых для оценки экологической безопасности намечаемой деятельности и влияющих на изменения в окружающей среде; 3) подготовка исходных данных для разработки материалов оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) и природоохранного раздела проектной документации.

Таким образом, инженерно-экологические изыскания (ИЭИ) – это комплексные исследования компонентов окружающей среды, а также техногенных и социально-экономических условий в районе расположения проектируемых объектов с целью экологического обоснования строительства и иной хозяйственной деятельности.

Материалы экологических изысканий используются для разработки разделов «Оценка воздействия на окружающую среду», «Перечень мероприятий по охране окружающей среды» (ОВОС, ПМООС) в проектной документации.

По результатам инженерно-экологических изысканий при разработке проектной документации для объектов нами составлялись технические отчеты, в которых были представлены результаты всех видов комплексных инженерно-экологических исследований. В качестве примера приведем результаты исследований на двух объектах:

- 1-й объект – разработка проекта для строительства Горно-цементного комбината АО «Стандарт Цемент» в Красногвардейском районе Белгородской области;
- 2-й объект – разработка проекта для обоснования строительства волоконно-оптической линии связи (ВОЛС) при пересечении Белгородского водохранилища с соблюдением экологических норм в интересах ОАО «Мобильные ТелеСистемы».

Следует отметить, что в окрестностях большинства планируемых для строительства объектов комплексные инженерно-экологические исследования отсутствуют. По этой причине для получения полной информации на всех объектах нами были проведены комплексные исследования в полевых условиях с выездом на местность.

На первом объекте в соответствии с программой инженерно-экологических изысканий для разработки документации, утвержденной заказчиком, на выделенной территории были запланированы размещение основного и вспомогательных производств, которые включали в себя:

- карьер площадью в условных границах – 9,0 га;
- цементный завод площадью в условных границах – 60,0 га;
- кирпичный завод площадью в условных границах – 25,4 га;
- стройбазу;
- общие объекты.

Данные о количестве, токсичности, системе сбора, складирования и утилизации отходов были определены в процессе проектирования. Все отходы должны передаваться на переработку специализированным организациям, собственные объекты захоронения отходов не предусматриваются.

Необходимость выполнения отдельных видов инженерно-экологических изысканий, их состав, объем и метод выполнения устанавливались с учетом требований технических регламентов, программой инженерных изысканий, разработанной на основе задания Заказчика.

Все виды работ в рамках инженерно-экологических изысканий производились в соответствии с требованиями действующих нормативных документов, регламентирующих проведение инженерных изысканий для строительства; требованиями природоохранного и санитарного законодательства; постановлений Правительства РФ в области охраны окружающей среды; нормативных и методических Министерства природных ресурсов и экологии, государственных стандартов и ведомственных природоохранных и санитарных норм и правил, с учетом нормативных актов субъектов Российской Федерации.

Исходя из вышеизложенного, и согласно техническому заданию на проведение инженерно-экологических изысканий, утвержденному АО «Стандарт Цемент» был определен перечень работ в составе изысканий:

1. Составление программы ИЭИ;
2. Сбор исходных данных, обработка фондовых материалов и рекогносцировочное обследование участка (в т.ч. получение данных по климатическим характеристикам района и фоновым концентрациям загрязняющих веществ в центре по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета, рыбохозяйственных характеристик водных объектов в органах Федерального Агенства по рыболовству (включая данные о плотности кормовых организмов и рыбопродуктивности), справок о категории земель, наличии на территории ООПТ (федерального, регионального и местного значения), памятников архитектуры, истории, культуры).
3. Эколого-гидрогеологические исследования;
4. Исследования почв:
  - 4.1. Микробиологические и гельминтологические исследования почв;
  - 4.2. Химические исследования почв;
5. Радиационное обследование:
  - 5.1. Исследование естественного гамма-фона (пешеходная съемка);
  - 5.2. Анализ содержания естественных радионуклидов;
  - 5.3. Измерение потока радона;
6. Анализ состояния загрязненности атмосферного воздуха. Определение фонового уровня физических воздействий;
7. Гидрохимические исследования поверхностных вод в зоне возможного воздействия проектируемого объекта;
8. Изучение растительности и животного мира (в т.ч. определение повидовой базовой численности (особей/га) и коэффициентов годового прироста популяции для представителей животного мира);
9. Социально-экономические исследования;
10. Предложения по проведению рекультивации нарушенных земель.
11. Локальный мониторинг компонентов окружающей среды.
12. Составление сводного отчета по инженерно-экологическим изысканиям, и лабораторным определениям и исследованиям, выполненными сторонними и субподрядными лабораториями.

На основании проведенных исследований на будущей территории АО «Стандарт Цемент» нами получены следующие выводы.

1. Проектируемый объект не является источником химического и физического воздействия на среду обитания и здоровье человека;

2. Свалки, полигоны отходов, хранилища иных отходов и другие значимые потенциальные источники загрязнения подземных и поверхностных вод в районе расположения проектируемого объекта отсутствуют;

3. В соответствии с СП 2.1.7.1386-03 на основании расчетного метода отходы почв и грунтов с территории площадки строительства относятся к IV классу опасности отходов;

4. В соответствии с п. 4.15 и 4.16 СанПиН 2.1.7.1322-03, отходы III-IV класса опасности могут складироваться на специальной карте с послойным уплотнением и использоваться в качестве изолирующего материала на полигонах твердых бытовых отходов (ТБО) вместе с твердыми бытовыми отходами в соотношении не более 30% от массы ТБО;

5. В соответствии с приказом Министерства природных ресурсов РФ № 511 от 15.06.2001 г. на основании расчетного метода отходы почв и грунтов относятся к V (практически неопасные) классу опасности отходов.

Результаты ИЭИ были предложены к использованию для разработки соответствующих проектных решений.

Основной целью работ на 2-м объекте являлось изучение инженерно-гидрометеорологических условий Белгородского водохранилища в районе прокладки линии связи и получение необходимой информации для обоснования строительства ВОЛС с соблюдением экологических норм в интересах ОАО «Мобильные ТелеСистемы».

В соответствии с экологическими требованиями действующих нормативных документов, на Белгородском водохранилище проведен полный объем инженерно-гидрометеорологические работ по оценке гидрологического режима всего бассейна и анализу основных климатических характеристик. Для получения необходимой информации потребовалось подробное изучение гидрологического режима с установкой промерных створов и промеров глубин. Промеры глубин осуществлялись через всю ширину общей протяженностью 500 м на месте пересечения волоконно-оптической линии связи перед мостом по течению р. Северский Донец.

Выбор расположения гидрометрического створа вблизи железобетонного моста, проложенного через искусственное русло в районе с. Соломино объясняется целью работы, сформулированной Заказчиком. Морфометрические измерения водохранилища проводились с лодки с помощью мерных тросов и эхолота «Garmin 420s». Преимущество данного прибора состоит в том, что при его включении устройство получает данные со спутника и автоматически определяет текущее местонахождение. В рабочем режиме получаем навигационные данные в изобатах и отметках глубин. Тем не менее, выборочно, на больших глубинах, а также в русле реки промеры глубин производили путем опускания до дна специального гидрометрического груза на размеченном в см тросике. Результаты параллельных измерений оказались практически одинаковыми.

Отметим, что Белгородское водохранилище относится по размерам к средним, а по генезису – к группе речных, к типу – долинных, так как оно было образовано подпором реки, затопившей часть речной долины. По форме и конфигурации оно является линейно-вытянутым. Полная емкость водохранилища достигает 76 млн. м<sup>3</sup> при нормальном подпорном уровне (НПУ) 114,5 м. Площадь зеркала – 23 км<sup>2</sup>, длина (при максимальном заполнении) – 25 км, ширина – от нескольких сотен метров до 3 км (в среднем – около 1 км). Общая протяженность береговой линии составляет 85 км, а водосборная площадь – 2520 км<sup>2</sup>.

Ширина водоема от левого до правого уреза воды в установленном створе составила 485 м. Промеры глубин производились через равные расстояния – 10 м. Площади водного сечения между промерными вертикалями при площадях меньше 10,0 м<sup>2</sup> вычислялись с округлением до 0,01 м<sup>2</sup>. Глубина русла реки составляет 2,7 м. Но в период половодий и паводков может увеличиться на 1,0-1,5 м и составить 3,7-4,2 м. Общая площадь водного сечения равна 1220 м<sup>2</sup>. Наибольшие глубины отмечаются у левого берега – от 3,7 до 4,5 м. Максимальная глубина вблизи плотины – около 14 м; средняя расчетная глубина составляет 3,3 м. Создание и эксплуатация водохранилища оказали значительное и многообразное влияние на водный режим реки Северский Донец и природную среду окружающей его территории. Проявляется это воздействие прямо и косвенно, оно может быть как положительным, так и отрицательным, постоянным или временным [1].

Для характеристики климатических условий нами использованы основные данные, предусмотренные в СНиП 11-02-96 и СП 11-103-97 [3,4]. С этой целью нами проанализированы климатические характеристики на станции Белгород, расположенной в 10 км от места исследований. Среднегодовая температура воздуха равна 6,6 °С. Ее амплитуда достигает 26,1 °С, что характерно для умеренно-континентального климата. Правда, крайние значения изменяются в значительных пределах: от -36 °С зимой до +40 °С летом. Годовая сумма осадков изменяется в пределах 550-600 мм. Максимальная глубина промерзания грунта составляет в среднем 1,2 – 1,5 м. Средняя годовая влажность воздуха равна 75%, а среднегодовая скорость ветра составляет 3,2 м/с. Нами проанализированы также скорости ветра различной вероятности. Скорости ветра около 20 м/с возможны раз в год, 22 м/с – раз в 5 лет, а 24 м/с – раз в 15-20 лет [2].

Таким образом, на основании изыскательских работ на втором объекте нами получены следующие выводы.

По всей трассе строительства ВОЛС рельеф представляет с собой хорошо выраженную овражно-балочную сеть с перепадами высот от 114 м на уровне уреза воды до 180 м на водоразделах;

Основными природными факторами формирования и развития берегов водохранилища являются гидрологический режим водоема, геоморфологическое строение и литологический состав дна и берегов, морфометрические его показатели, климатические условия, фитогенные факторы и другие;

Русло р. Северский Донец оказался почти в середине водохранилища и по нашим измерениям составляет 48 м.

4. С учетом природно-климатических условий и экологической ситуации водохранилища в соответствии с требованиями ГО-СТов линия связи должна быть уложена на глубину не менее 6 м с отступом от уреза воды на расстояние не менее 20 м на сушу.

Результаты проведенных исследований рекомендованы для использования при проектировании подземных коммуникаций, в частности, при прокладывании кабеля линии связи. Следует отметить, что на всех этапах инженерно-экологических исследований принимали участие студенты 2-4 курсов факультета горного дела и природопользования НИУ БелГУ, что способствует подготовке практико-ориентированных высококвалифицированных специалистов.

## Список литературы

1. Григорьев Г.Н., Шевченко В.Н. Применение бассейнового подхода при гидрометеорологических исследованиях рек и водоемов в связи с прокладкой линии связи. /Материалы IV всероссийской научно-практической конференции «Эколого-географические исследования в речных бассейнах». – Воронеж. 2014.– с.114-119.
2. Научно-прикладной справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – Сер. 3, вып. 28. – Ч. 1-6. – 365 с.
3. СНиП 11-02-96 Инженерные изыскания для строительства Основные положения. – М.: Минстрой России, 1997. – 43 с.
4. СП 11-103-97. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. – М.: Госстрой России, 1997. – 48 с.

Косинова И.И.<sup>1</sup>, Максимов С.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный университет, Воронеж, kosinova777@yandex.ru

<sup>1</sup>Филиал «АИИС-Воронеж», Воронеж, voronezh@oaiis.ru

<sup>2</sup>ООО «Липецкоблземсервис», Липецк

## **ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА КОМПЛЕКСНОГО ПОЛИГОНА РАЗМЕЩЕНИЯ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ В Р.П. КАНТЕМИРОВКА КАНТЕМИРОВСКОГО МУНИЦИПАЛЬНОГО РАЙОНА ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ**

Распространение и формирование подземных вод на территории района изысканий зависит от многих факторов: геологического и тектонического строения территории, литологического состава водовмещающих пород, геоморфологических особенностей, своеобразия климата.

Исследуемый участок расположен по адресу: Воронежская область, Кантемировский район, в 1,5 км западнее р.п. Кантемировка в 50 м от автодороги Воронеж – Луганск.

В настоящее время исследуемая территория представляет собой свободную от застройки территорию. Местами на площадке строительства имеются незначительные скопления твердых бытовых отходов.

Перспективы развития территории реализуются в виде строительства полигона размещения твердых бытовых отходов в р.п. Кантемировка Кантемировского муниципального района Воронежской области.

Генеральный план проектируемого объекта решен в соответствии с технологической частью данного проекта, в увязке планировки предприятия с существующей застройкой, соблюдением требований норм и правил проектирования.

Связь с участком строительства осуществляется по автодорогам с твердым покрытием.

Рельеф площадки корытообразный, по характеру – природный биотоп. На рассеивание вредных веществ в атмосфере рельеф участка строительства влияния не оказывает.

Инженерно-геологические условия на исследуемой территории условно благоприятные, средней сложности. Отрицательные физико-геологические явления отсутствуют.

Балансовые запасы общераспространенных полезных ископаемых отсутствуют. В районе размещения площадки не наблюдается застройки, оказывающей влияние на рассеивание вредных веществ.

На территории поселения р.п. Кантемировка гидрогеологический разрез характеризуется наличием трех структурно-гидрогеологических этажей – нижнего, среднего и верхнего. Верхний этаж, сложенный относительно рыхлыми отложениями, представлен водоносными горизонтами современно-четвертичного, неогенового и палеогенового возрастов, заключающими поровые и порово-пластовые преимущественно безнапорные воды. Наибольшее развитие получили аллювиальные горизонты вод долинно-речных комплексов. Средний этаж образован водоносными горизонтами и комплексами меловых, каменноугольных и девонских отложений, содержащих скопления пластово-трещинных, пластово-карстовых и пластово-поровых вод. Нижний этаж представлен напорной водоносной зоной трещиноватых кристаллических архейско-протерозойских пород.

Хорошо развит четвертичный водоносный комплекс, приуроченный к аллювиальным отложениям. Он является основным эксплуатационным горизонтом для водоснабжения населенных пунктов. Водоносный комплекс сформировался в аллювиальных отложениях реки Кантемировки. Уровень грунтовых вод в поймах рек – 0 – 6 м, на террасах глубина возрастает до 20 – 30 м, на водоразделах глубина уровня грунтовых вод увеличивается до 50 м. Мощность водоносного горизонта колеблется от 1 – 2 до 20 – 25 м. Повсеместно песчаные отложения характеризуются хорошей водопроницаемостью (0,6 – 53 м/сут) и достаточной водообильностью. По химическому составу воды современного, верхнечетвертичного и среднечетвертичного аллювиальных горизонтов преимущественно гидрокарбонатные кальциевые, гидрокарбонатно-хлоридные кальциевые, сульфатно-гидрокарбонатные натриевые и смешанные типы. Минерализация вод составляет от 0,1 до 1,0 г/дм<sup>3</sup>.

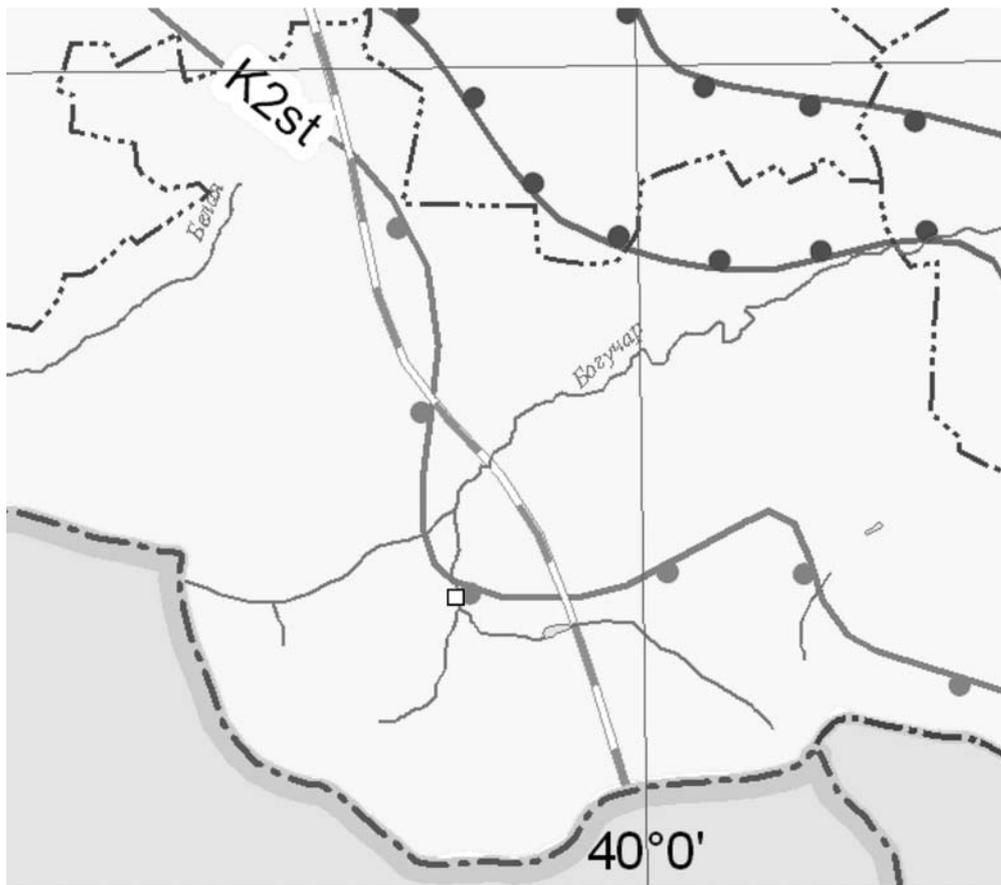
В палеогеновых отложениях выделяются харьковско-полтавский и сумско-бучакский водоносные горизонты. Воды обычно пресные с минерализацией 0,2-0,5 г/дм<sup>3</sup>, гидрокарбонатного кальциево-магниевого типа.

Воды меловых отложений в границах рассматриваемой территории широко распространены. Воды с минерализацией 0,2 – 0,8 г/дм<sup>3</sup> с преобладанием гидрокарбонатного и гидрокарбонатно-сульфатного кальциево-магниевого состава. В связи со спорадическим распространением, использование вод мело-мергельной толщи затруднено. Обычно горизонт используется как источник водоснабжения населения. Воды меловой толщи характеризуются повышенным содержанием карбоната кальция.

Воды каменноугольных отложений на рассматриваемой территории приурочены, в основном, к известнякам с прослоями глин и песков. Тип вод изменяется от гидрокарбонатного кальциевого до сульфатного. Минерализация их достигает 1 г/дм<sup>3</sup>. Абсолютные отметки пьезометрической поверхности снижаются от водоразделов к долинам рек.

Нижний структурно-гидрологический этаж представлен архейско-протерозойским водоносным комплексом. Химический состав воды изменяется от пресных гидрокарбонатных натриевых до соленоватых сульфатных натриево-кальциевых [4].

В ходе проведенных исследований грунтовые воды на глубину 5 м вскрыты не были.



□ - Участок строительства комплексного полигона для размещения твердых бытовых отходов

**Рис. 5. Фрагмент гидрогеологической карты докайнозойских отложений Масштаб 1:500 000**

Однако, по полученным данным предшествующих изысканий [3], в центральной части площадки (рис. 1) для строительства полигона для размещения твердых бытовых отходов были вскрыты подземные воды типа «верховодка» на глубине 1,5 м (абсолютная отметка установившегося уровня – 161,00 м). Водовмещающими породами являются субэдрально-делювиальные суглинки. Водоупором являются эоценовые глинистые образования киевской и обуховской свит, представленные глинами зеленовато-серыми, твердыми.

Формирование вскрытой верховодки, вероятно, связано с поступлением поверхностного стока из водопропускной трубы автодороги Воронеж-Луганск (рис. 2), проходящей в 50 м западнее участка изысканий, а также снеготаянием и интенсивными атмосферными

осадками на момент проведения изыскательских работ. Движение воды направлено в сторону понижения рельефа, дренаж, очевидно, осуществляется в субэдрально-делювиальные отложения, подстилаемые трещиноватыми меловыми породами.

На момент проведения работ верховодка обнаружена не была.

Эксплуатационным горизонтом подземных вод в районе проведения работ является водоносный верхнемеловой карбонатный комплекс ( $K_2$ ), приуроченный к мело-мергельным породам туронского, коньякского, сантонского и кампанского ярусов верхнего мела. Абсолютная отметки уровня грунтовых вод составляет 100 – 110 м.



**Рис.2. Водовыпускная труба автодороги Воронеж – Луганск**

В результате лабораторных испытаний выявлено, что качество подземных вод не соответствует нормативным показателям по мутности (превышение в 1,46 раза), хлоридам (превышение в 1,62 раза), общей минерализации (превышение в 1,57 раза).

Зону аэрации слагают следующие грунты:

1) субэдрально-делювиальные образования, представленные глинами твердыми и тугопластичными мощностью от 4,5 до 10 и более м, коэффициент фильтрации – 0,0042 м/сут.

2) эоценовые терригенные отложения киевской и обуховской свит, представленные глинами твердыми мощностью от 20 м в верхней (западной) части площадки до 0 м в нижней части площадки, коэффициент фильтрации – от 0,0005 до 0,12 м/сут.

По литологии и фильтрационным свойствам слабопроницаемых отложений выделяют три группы:

1. – супеси, легкие суглинки (коэффициент фильтрации ( $k$ ) – 0,1 – 0,01 м/сут);
2. – тяжелые суглинки и глины ( $k < 0,001$  м/сут);
3. – промежуточная между 1 и 2 – смесь пород групп 1 и 2 ( $k$  0,01 – 0,001 м/сут). В зависимости от глубины залегания грунтовых вод баллы выделяются по следующим градациям: 1- < 10 м, 2 -10 – 20м; 3 – 20 – 30м; 4 – 30 – 40м; 5- > 40м.

В таблице 1 представлена система расчета природной защищенности в зависимости от мощности  $m$  и литологии слабопроницаемых отложений.

Таблица 1

**Зависимость защищенности от мощности и литологии слабопроницаемых отложений**

Мощность $m_0$ , м	Литол. группы	Баллы	Мощность $m_0$ , м	Литол. группы	Баллы
<2	1	1	12-14	1	7
	2	1		2	10
	3	2		3	14
2-4	1	2	14-16	1	8
	2	3		2	12
	3	4		3	18
4-6	1	3	16-18	1	9
	2	4		2	13
	3	6		3	18
6-8	1	4	18-20	1	10
	2	6		2	15
	3	8		3	20
8-10	1	5	>20	1	12
	2	7		2	18
	3	10		3	25
10-12	1	6			
	2	9			
	3	12			

Согласно В.М. Гольдбергу, выделяется шесть категорий защищенности грунтовых вод. Наименьшей защищенностью характеризуются условия, соответствующие категории I и II, средний уровень защищенности определяется III и IV категориями, наибольшей – категории V и VI. Качественная оценка дает возможность сравнительного анализа разных участков исследуемой территории и обоснования размеров водоохранной зоны.

Проведенные исследования показали, что на участках бортов овражной системы имеют место мощные слои глинистых отложений. В результате сформирован высокий уровень защищенности, соответствующей 4 и 5 категориям. Тальвег оврага максимально приближен к зеркалу подземных вод. Здесь общая сумма баллов природной защищенности не превышает 6, что характеризует состояние незащищенных водоносных горизонтов. В случае фильтрации загрязненных сточных вод через днище полигона прогнозируется загрязнение турон-коньякского водоносного горизонта.

По результатам проведенных работ грунтовые воды не вскрыты. Грунты зоны аэрации сложены субаэраально-делювиальными образованиями, представленными глинами твердыми и тугопластичными и эоценовыми терригенными отложениями киевской и обуховской свит, представленные глинами твердыми. Тальвег оврага максимально приближен к зеркалу подземных вод. Здесь общая сумма баллов природной защищенности характеризует состояние незащищенных водоносных горизонтов. В случае фильтрации загрязненных сточных вод через днище полигона прогнозируется загрязнение турон-коньякского водоносного горизонта. Для предотвращения загрязнения в технологической конструкции полигона необходимо предусмотреть обустройство противофильтрационного экрана с использованием пленочных покрытий [2], а также целесообразным является проведение специальных исследований по выявлению источников загрязнения турон-коньякского водоносного горизонта с последующей их локализацией.

#### Список литературы

1. Генеральный план Кантемировского городского поселения Кантемировского муниципального района Воронежской области, Том 1. Материалы по обоснованию генерального плана. Книга 1. Природные условия и экологическая ситуация. ООО «Град-Инвест», Ростов-на-Дону, 2009.
2. Плаксицкая И.П. (Кремнева И.П.). Проведение эколого-гидрогеологического мониторинга на полигонах ТБО / И.П. Кремнева, И.И. Косинова//Молодые-научкам о Земле: материалы международной научной конференции-М., 2008.- с.225.

Зинюков Ю.М.<sup>1</sup>, Корабельников Н.А.<sup>2</sup>, Валяльщиков В.А.<sup>2</sup><sup>1</sup>Воронежский государственный университет, Воронеж<sup>2</sup>МИП ООО «Акма-Универсал», Воронеж, akma-u@mail.ru

## ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕРРИТОРИИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЛИГОНА ТБО МКП ПООО Г. ВОРОНЕЖА

В данной статье дана оценка существующего экологического состояния природной среды территории полигона твердых бытовых отходов (ТБО), завершившего этап эксплуатации.

Участок рекультивации полигона ТБО находится на участке отработанного карьера рудника «Средний» в Семилукском районе Воронежской области. Площадь участка – 38 га, мощность свалочного тела – 45 м, ширина санитарной охранной зоны – 1000 м.

Участок расположен на территории междуречья рек Дон и Девица.

Рассматриваемый полигон ТБО г. Воронежа эксплуатировался муниципальным казённым предприятием «Производственное объединение по обращению с отходами» (МКМ «ПООО») с 1993 года. Полигон расположен в пригородной зоне города на расстоянии 13 км к юго-западу, в Семилукском районе, и устроен в выработанном карьере огнеупорных глин Латненского месторождения.

Эксплуатация полигона производилась согласно разработанному проекту по эксплуатации с послойной отсыпкой ТБО (мощность слоя 2,0 м) и ежедневной промежуточной изоляцией (мощностью 0,25 м). Грунт для промежуточной изоляции брался из отвалов вскрышных пород рудника «Средний».

Полигон ТБО был введен в эксплуатацию с нарушениями, допущенными при проектировании и строительстве. На полигон ТБО поступали отходы, образующиеся в жилых и общественных зданиях, торговых, зрелищных, спортивных и других предприятиях (включая отходы от текущего ремонта квартир), отходы от отопительных устройств местного отопления, уличный мусор, опавшие листья, собираемые с дворовых территорий. Ежедневно на полигон поступало от 6000 до 7000 м<sup>3</sup> отходов.

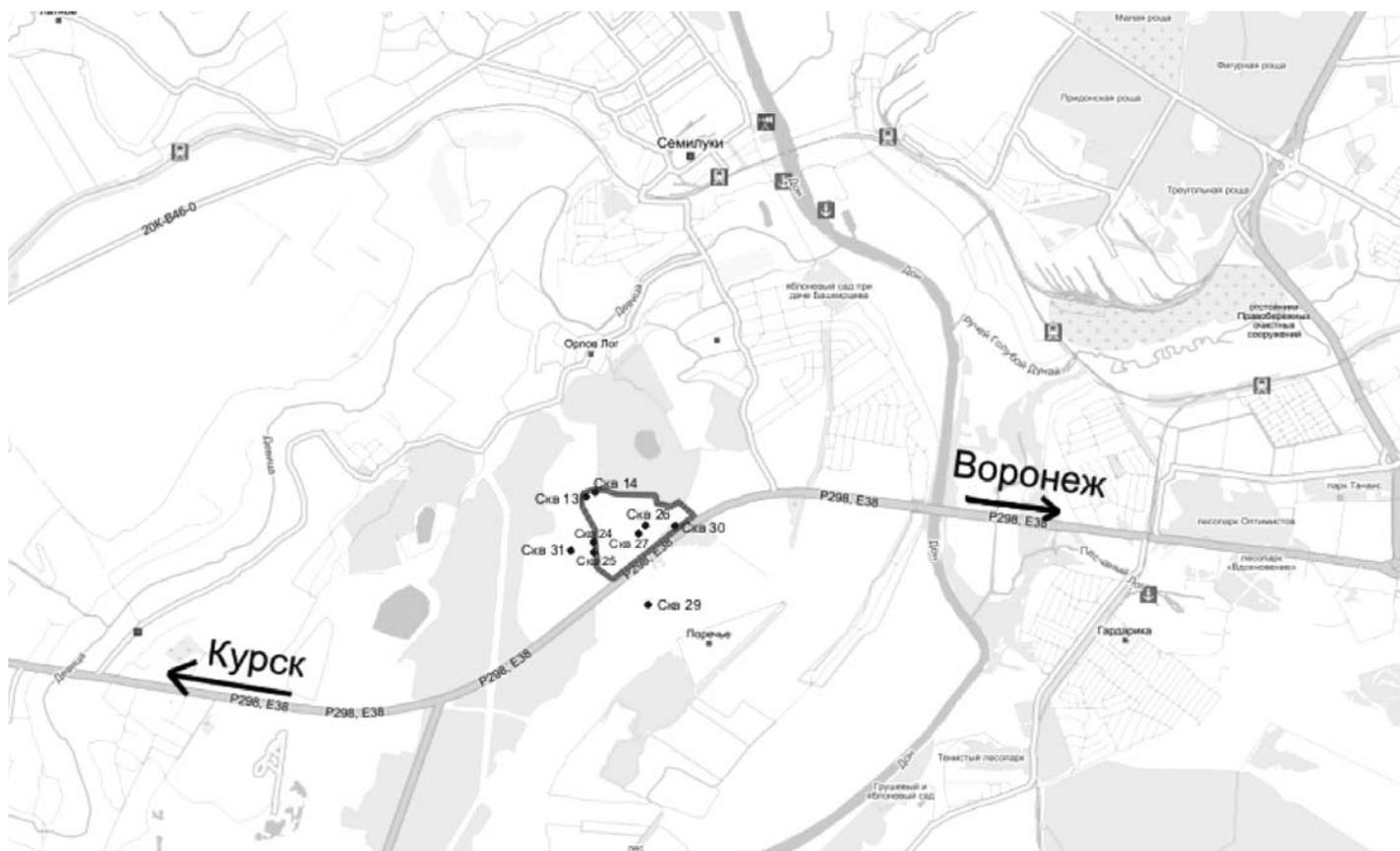


Рис. 1. Участок полигона ТБО и наблюдательные скважины

Общая отведенная площадь составляла 38 га, площадь ложа – 15 га. Проектная мощность полигона более 22 млн. м<sup>3</sup> была исчерпана к 2008 году, однако прием отходов продолжался с применением высотного складирования до 2012 года. Захоронение отходов проводилось за пределами границ изолирующей основы ложа полигона.

К моменту окончания эксплуатации полигона, участок складирования находился в состоянии переполнения, технология складирования не всегда соблюдалась, откосы не выдерживались. По этой причине из-под слоя отходов наблюдался выход вод фильтрата, самопроизвольно концентрирующихся в стоковые водоемы вблизи границ участка складирования.

В гидрогеологическом отношении развиты воды от современных до девонских отложений. На территории размещения полигона ТБО распространены следующие гидрогеологические подразделения.

*Слабоводоносный современный техногенный горизонт* ( $t Q_{IV}$ ) приурочен к накоплениям полигона ТБО и техногенным образованиям ( $t Q_H$ ). Мощность горизонта в настоящий момент составляет около 10 м. Абсолютные отметки уровня подземных вод -131,40 – -134,70 м. Водопором служит противофильтрационный экран (полиэтиленовая пленка и фрагменты аптских глин в днище карьера). Питание горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и талых вод через тело свалки. По сути это фильтрат полигона ТБО. Дренаруется горизонт в основании тела свалки в виде мочажин, вода из мочажин стекает в пруды накопители и в углубления рельефа в южной и юго-западной части тела свалки. Загрязненные воды техногенного горизонта поступают в воды нижележащего аптского горизонта.

Повсеместное распространение в районе работ имеет *водоносный аптский терригенный горизонт* ( $K_{1a}$ ). Обводнена нижняя песчано-гравийная пачка отложений. Мощность водовмещающих пород изменяется от нескольких метров в долинах до 15-20 м на водоразделах, водопором горизонта служат плотные глины аптского возраста. Однако, местами в основании горизонта глины отсутствуют и воды терригенного аптского комплекса имеют тесную гидравлическую связь с нижележащим водоносным пентинским терригенным горизонтом ( $D_{3pt}$ ). Уровень подземных вод находится на глубине от 5,0 до 60,0 м в зависимости от рельефа местности. Горизонт довольно водообильный. Коэффициент фильтрации обводненных песков в зависимости от их зернистости изменяется от 1 до 15 м/сут. Дебиты скважин достигают до 10 м<sup>3</sup>/ч, в среднем 3-6 м<sup>3</sup>/ч, а расходы родников 0,3-1,3 л/с.

Питание горизонта происходит за счет атмосферных осадков и весенних паводковых вод. По химическому составу воды аптского терригенного горизонта в основном гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные смешанные по катионам. Минерализация не превышает 0,8 г/дм<sup>3</sup>.

Водоносные горизонты девонских отложений представлены, в основном, саргаевско-семилуцким карбонатным комплексом ( $D_{3sr-sm}$ ), муллинско-тиманским терригенным комплексом ( $D_2ml-tm$ ) и воробьевско-ардатовской карбонатно-терригенной свитой ( $D_2yb-ar$ ). Вмещающими породами служат известняки, песчаники, алевролиты. Воды девонских отложений меняются от пресных до слабосоленых и по химическому составу от гидрокарбонатных магниево-кальциевых, хлоридно-гидрокарбонатно-натриевых до вод смешанного типа. Минерализация в среднем составляет 0,5-0,7 г/дм<sup>3</sup>.

#### Методика исследований

В процессе изысканий (август-сентябрь 2012 года) были выполнены полевые геофизические и буровые работы, проведено опробование грунта, поверхностных и подземных вод, натурные измерения, лабораторные и камеральные работы. Виды и объемы работ соответствовали требованиям действующих нормативных документов.

#### Результаты наблюдений

##### Оценка экологического состояния компонентов атмосферного воздуха

Для оценки состояния атмосферного воздуха определялись максимально-разовые концентрации таких загрязнителей как аммиак, метан, сероводород, бензол, оксид углерода, трихлорметан, хлорбензол, четыреххлористый углерод. Измерения производились в десяти пунктах. Замеренные показатели соответствуют требованиям [1]. Исключение отмечено в одном из пунктов, с незначительным превышением по аммиаку (близ стоковых водоемов). Результаты измерений приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты замеров концентраций компонентов атмосферного воздуха, мг/м<sup>3</sup>

№ точки	Аммиак	Метан	Сероводород	Бензол	Оксид углерода	Трихлорметан	Хлорбензол	4-хлористый углерод
ПДК	0,2	50,0	0,008	0,3	5,0	0,1	0,1	4,0
1	0,114	27,50	0,001	0,0004	1,88	0,114	0,051	0
2	0,179	19,30	0,002	0,0005	2,01	0,127	0,034	0
3	0,201*	25,10	0,001	0	1,76	0,09	0,038	0
4	0,118	27,80	0,006	0,0003	2,12	0,135	0,061	0
5	0,169	20,0	0,001	0,0002	2,32	0,04	0,045	0
6	0,106	21,20	0,005	0,0004	2,18	0,111	0,026	0
7	0,109	24,30	0,001	0,14	3,96	0,05	0,044	0
8	0,147	25,70	0,004	0,0008	2,55	0,02	0,072	0
9	0,166	28,50	0,006	0,0007	2,18	0,03	0,051	0
10	0,138	24,90	0,005	0,0001	1,76	0,127	0,063	0
9	0,116	28,30	0,006	0,0007	2,43	0,03	0,052	0
10	0,178	24,70	0,003	0,0001	1,79	0,07	0,069	0

##### Оценка радиационной обстановки

По данным полевых измерений величина мощности эквивалентной дозы (МЭД) внешнего гамма-излучения на исследуемой площади (участок проектируемого полигона) варьирует в пределах 0,12-0,14 мкЗв/час (12-14 мкР/ч), в среднем составляя – 0,13 мкЗв/час (13 мкР/час), и находится в пределах колебания естественного радиационного фона.

Территория по радиационной обстановке характеризуется как безопасная, не превышающая естественный уровень мощности эквивалентной дозы внешнего гамма-излучения на открытых территориях в средней полосе России и уровни радиологической безопасности (0,1-0,3 мкЗв/час).

#### **Оценка экологического состояния почв**

Санитарно-паразитологические показатели почвы согласно паразитологическим исследованиям участка проектируемого строительства ТБО, выполненным ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии Воронежской области», соответствуют требованиям [8].

Характерной чертой почвенного покрова площади проектируемого строительства является развитие техногенных грунтов.

Оценка степени химического загрязнения почвенного покрова выполнена в соответствии с СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы». В качестве норматива использовались предельно-допустимые концентрации по [2] и ориентировочно-допустимые концентрации по [3].

Для оценки экологического состояния почвенного покрова было определено валовое содержание тяжелых металлов (Zn, As, Cd, Hg, Pb, Cu, Mn), нефтепродуктов и бенз(а)пирена. Анализировались смешанные образцы, отобранные в соответствии с методическими указаниями по определению тяжелых металлов в почвах.

В процессе изысканий было проанализировано 22 пробы. Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии на большей части исследуемой площади участков загрязнения.

Установлены следующие диапазоны содержания тяжелых металлов в почвогрунтах:

- цинк – 8,9 – 603,6 мг/кг при фоновом 68,0 мг/кг и ОДК – 220 мг/кг,
- мышьяк – 0,93 – 7,35 мг/кг при фоновом 5,6 мг/кг и ОДК – 10 мг/кг,
- кадмий – 0,03 – 11,0 мг/кг при фоновом 0,24 мг/кг и ОДК – 2 мг/кг,
- ртуть – 0,009 – 0,43 мг/кг при фоновом 0,20 мг/кг и ПДК – 2,1 мг/кг,
- свинец – 4,4 – 78,8 мг/кг при фоновом 20 мг/кг и ОДК – 130 мг/кг,
- медь – 4,2 – 112,0 мг/кг при фоновом 25 мг/кг и ОДК – 132 мг/кг,
- марганец – 37,2 – 437,5 мг/кг при ПДК – 1500 мг/кг.

*Примечание: величины ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) приведены как наибольшие для данного элемента в связи с тем, что почвогрунты участка относятся к глинистой и суглинистой группе почв, предельно допустимые концентрации (ПДК).*

Концентрации тяжелых металлов в большинстве случаев ниже фоновых значений. Коэффициенты концентрации меньше единицы. Суммарный показатель химического загрязнения почв, соответственно, меньше допустимой величины:  $Zc < 16$  [10], что отвечает удовлетворительному экологическому состоянию почв в отношении тяжелых металлов. Исключение составляет превышение содержания кадмия (две пробы) и цинка (одна проба). В некоторых пробах отмечается повышенное содержание нефтепродуктов. Содержание бен(з)апирена не превышает нормативов.

#### **Оценка состояния поверхностных и подземных вод**

На территории исследований для оценки состояния поверхностных вод были опробованы воды реки Девица. В целом, результаты аналитического контроля свидетельствуют о соответствии качества поверхностных вод принятым нормам. Исключение составляет повышенное содержание железа – 0,53 мг/дм<sup>3</sup> и показатель химического потребления кислорода (ХПК) – 15,2 мг/дм<sup>3</sup>.

Оценка качества подземных вод выполнена для водоносных подразделений четвертичного, мелового (аптский горизонт) и девонского (петинский горизонт) возраста. Меловой и девонский горизонты являются основными эксплуатационными горизонтами.

На исследуемой площади оценка состояния подземных вод проводилась по результатам опробования девяти наблюдательных скважин, двух разведочных скважин и скважины технического водозабора полигона.

Шесть наблюдательных скважин оборудованы на нижнемеловой аптский водоносный горизонт (скважины №№ 25, 26, 29, 30, 31, 14), две скважины оборудованы на современный техногенный горизонт (скважины №№ 13, 24), одна наблюдательная скважина оборудована на верхнедевонский горизонт (скважина № 27).

Разведочные скважины пробурены на современный техногенный горизонт (фильтрат).

#### **Результаты полного химического и микроэлементного анализа позволяют сделать следующие выводы**

На исследуемой территории сформировался очаг загрязнения подземных вод аммонием. Загрязненным оказался аптский водоносный горизонт с глубиной залегания уровня подземных вод 42-46 м. Границы загрязнения вышли за пределы территории полигона и фиксируются скважинами № 25 (6,78 мг/дм<sup>3</sup>) и № 31 (8,37 мг/дм<sup>3</sup>). В центральной части полигона концентрации аммония превышают 300 мг/дм<sup>3</sup> (бывшая скважина № 16).

Помимо аммония в водах данного горизонта отмечаются превышения содержания железа, марганца, бария. При этом следует сказать, что высокие концентрации данных микроэлементов могут объясняться и их повышенным природным содержанием в горизонте (в водовмещающих отложениях).

Концентрации аммония в современном техногенном горизонте (фильтрате) составляют 129,5 мг/дм<sup>3</sup>, достигая величин – 1923 мг/дм<sup>3</sup> (бывшая скважина № 17). В данном горизонте повсеместно отмечается высокая минерализация, окисляемость, жесткость, высокие концентрации натрия, железа, хлоридов.

Оценивая результаты микроэлементного анализа проб воды, отобранных из современного техногенного горизонта (разведочные скважины № 13, 14), можно констатировать о формировании в данном горизонте высокоаномального очага загрязнения целым комплексом тяжелых металлов и рядом других микроэлементов: литием, бериллием, бором, алюминием, кремнием, ванадием, хромом, марганцем, железом, никелем, мышьяком, бромом, селеном, рубидием, кадмием, барием.

Так, например, концентрации хрома превышают ПДК в 40 раз, бора – в 40 раз, брома – в 50 раз, лития – в 25 раз, алюминия – в 10 раз, бария – в 9 раз, рубидия – в 15 раз, никеля и селена – в 5 раз, кадмия – в 4,5 раза, мышьяка – в 4 раза, бериллия – в 5 раз, железа – в 70 раз [4, 7].

Накопление аномально высоких концентраций данных элементов связывается с их интенсивным вымыванием из отходов полигона при инфильтрации атмосферных осадков на протяжении 18 лет эксплуатации объекта.

Помимо высоких концентраций микроэлементов, воды техногенной верховодки отличаются очень высокой минерализацией и относятся к соленым водам (скважина № 1 – 19826 мг/дм<sup>3</sup> (19 ПДК), скважина № 2 – 20940 мг/дм<sup>3</sup> (20 ПДК); высоким содержанием хлоридов (7575 мг/дм<sup>3</sup> (21 ПДК)), сульфатов (1702 мг/дм<sup>3</sup>) и натрия (7039 мг/дм<sup>3</sup>), очень высоким показателем окисляемости – (3840 мг/дм<sup>3</sup> (более 700 ПДК)).

При этом во всех скважинах концентрации нитратов и нитритов незначительны. Восстановительная обстановка среды не способствует их накоплению и миграции.

Таким образом, на исследуемой территории можно выделить два очага загрязнения: в современном техногенном горизонте (загрязнение комплексом тяжелых металлов и других элементов) и в нижнемеловом аптском горизонте (аммонийное загрязнение).

Предварительный прогноз распространения загрязнителей по площади и на глубину, с учетом недостаточно надежных экранирующих свойств грунтов площадки полигона, характеризует возможность дальнейшей миграции загрязняющих веществ, как в плане, так и по вертикали, в нижележащие водоносные горизонты.

При соблюдении технологических условий поверхностной изоляции полигона и проведении постоянного мониторинга [5, 6], можно надеяться, что влияние полигона ТБО на природную среду будет минимизировано, что позволит оптимизировать обеспечение экологической безопасности природной среды. В настоящий момент времени мониторинг природной среды на данном объекте не проводится.

#### Список литературы

1. ГН 2.1.6.1338-03 «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест».
2. ГН 2.1.7.0241-06 «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве».
3. ГН 2.1.7.2511-09 «Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве».
4. ГН 2.1.5.1315-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
5. *Зиников Ю.М.* Теоретико-методологические основы организации мониторинга природно-технических экосистем на основе их структурно-иерархических моделей / Ю.М. Зиников // Труды научно-исследовательского института геологии Воронежского госуниверситета. – Вып. 28. – Воронеж: Изд-во Воронеж. ун-та, 2005. – 164 с.
6. *Королев В.А.* Мониторинг геологических, литотехнических и эколого-геологических систем. – М.: Изд-во «КДУ», 2007. – 424 с.
7. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды питьевого водоснабжения. Контроль качества.
8. СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы».

Усенков С.М.

СПбГУ, Санкт-Петербург, s.usenkov@spbu.ru

## ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МОРСКОЕ ДНО И ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ ПО ДОБЫЧЕ ЖЕЛЕЗО-МАРГАНЦЕВЫХ КОНКРЕЦИЙ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

В восточной части Финского залива силами ООО «ПЕТРОТРАНС» проводилась опытная промышленная добыча железомарганцевых конкреций (ЖМК). В связи с тем, что добыча ЖМК может оказать негативное воздействие на природу. ЗАО «ЭКОПРОЕКТ» были проведены инженерно-экологические изыскания с целью комплексной оценки воздействия на окружающую среду подъема ЖМК со дна Финского залива, в том числе на морское дно и донные отложения.

Залежь находится в пределах морской нефелоидной аккумулятивной равнины. Конкреции залегают непосредственно на поверхности морского дна. По проекту была выбрана «траншейная» система разработки залежи. Проектировалось непосредственное производство очистной выемки слоя железомарганцевых конкреций на полную мощность. Добыча железомарганцевых конкреций проводилась землесосом с рефулерной установкой и осуществлялась «волочащимся способом». Всасывающий

наконечник землесоса шириной 3200 мм «волочатся» за движущимся судном. Грунт подается по трубопроводу диаметром 450 мм и длиной 32 м на борт судна. Допустимый угол наклона трубы – 60°. Наибольшая глубина траления – 27 м. В процессе добычи производится классификация пульпы при помощи вибро-сепарационной установки. Фракция 4-40 мм поступает в трюм, а оставшийся материал в виде пульпы сбрасывается за борт в море. При таком способе добычи практически на всей площади происходит прямое нарушение морского дна.

Грунты в районе месторождений относятся главным образом к водонасыщенным суглинкам (смешанные, в основном алевроглинистые образования). Грунты рыхлые (плотность менее 1,2 г·см<sup>-3</sup>), мягкие. Они характеризуются как текучепластичные и не обладают существенным внутренним трением и значительным сцеплением частиц. Материал, образующий такие грунты, при дампинге легко переходит во взвешенное состояние и переносится течениями, индуцированными волнами и под воздействием других гидродинамических факторов.

Производственные операции, выполняемые во время работ по добычи железомарганцевых конкреций, а также мероприятия по обеспечению добычи оказывают воздействие на абиотическую составляющую морской среды. Основными негативными последствиями процесса добычи ЖМК для придонного слоя следует считать:

- механическое разрушение верхнего слоя донных отложений под действием рефулера и нарушение процесса седиментации в непосредственной близости от него;
- повышение содержания взвешенной и растворенной форм микроэлементов и биогенных элементов.
- Нарушения морского дна и целостности структуры грунта будут происходить при следующих видах деятельности:
- при работе всасывающего наконечника на дне во время добычи;
- при дампинге отработанного грунта;
- при возможном взмучивании донных осадков от работы судовых винтов на мелководье.

Выемка и переотложение грунта, взмучивание донных отложений во время добычных работ и повторное осаждение их на морское дно будет приводить к их перераспределению и может вызывать изменения в гранулометрическом составе донных отложений на участках, прилегающих к району работ. Изучение технологии процесса добычи показывает, что увеличение мутности (взмучивание) может происходить при следующих технологических операциях:

- при постановке наконечника грунтозаборной трубы на дно;
- при работе рефулерного устройства в придонной области;
- при отрыве грунтозаборного устройства от дна;
- при сбросе пульпы из бункера отмывочно-обогажительной установки после сепарации полезного компонента.

Нарушения рельефа морского дна и донных отложений могут происходить также в результате размыва кильватерными струями воды от судов, задействованных для обеспечения добычных работ. Кроме того, будет отмечаться взмучивание донных осадков и их повторное осаждение на дно при постановке производственной техники на якоря. Прямое воздействие работ по проекту будет проявляться лишь на отдельных участках движения плавсредств, непосредственно прилегающих к участку добычи.

Средняя величина взмучивания при работе добычного судна составит примерно 1363 т сут<sup>-1</sup> (6,3 кг·с<sup>-1</sup>). При таком расходе наносов толщина образованного слоя осадка ориентировочно достигнет 4,5-7 мм.

Помимо прямого воздействия в процессе добычи ЖМК в районе месторождений, в результате взмучивания донных отложений будет оказываться и косвенное действие. Материал из взвеси будет осаждаться на значительных площадях за пределами зоны добычи. Вне источника возмущения взвешенные частицы распространяются под действием течений, турбулентной диффузии и седиментации. Решающее влияние на размеры ареала мутности оказывают погодные и гидрологические условия (режим течений, стратификация водной толщи, наличие гидрологических фронтов, волнение). В соответствии с результатами проведенного моделирования при разработке ЖМК протяженность области накопления тонкого осадочного материала может составить до 90 км.

В целом операции по добычи ЖМК и сброс пульпы оказывают воздействие на геолого-геоморфологическую среду: происходят некоторые изменения в рельефе морского дна и в составе донных осадков, имеет место кратковременное взмучивание тонких алевроглинистых фракций. Это приводит к увеличению содержания взвеси в морской воде, в основном, вблизи дна.

Облака взвеси (плюмы), индуцированные операциями по добыче ЖМК, с точки зрения контроля состояния окружающей среды, интересны в физическом, биологическом и общем отношении. Образование пятен взвеси может приводить как к позитивному, так и негативному воздействию на среду. То и другое может варьировать по интенсивности в зависимости от места проявления. Плюмы взвешенного осадочного материала формируются при изъятии грунта в водной толще. Их форма и размеры определяются следующими составляющими:

- техническими средствами, используемыми для драгирования, включая тип агрегата, метод изъятия грунта и технологические условия (например, скорость драгирования);
- способностью донного материала переходить во взвесь и оставаться в этом состоянии, что в значительной степени определяется характеристиками осадка (геотехническими, вязкостными и микробиологическими);
- гидрологическими и гидрохимическими особенностями акватории (глубина, скорость течений, турбулентность, соленость и т.д.).

Схема принципиального взаимодействия между драгирующим устройством, морским дном и водной толщей приведена на рисунке.

Взвешенное вещество, как компонент морской среды, важно с точки зрения транспортировки загрязняющих химических веществ. Кроме того, его высокие концентрации являются причиной нарушения норм качества воды. Перенос химических элементов во взвешенном веществе происходит, как правило, в сорбированном виде, а также в составе сложных органо-минеральных комплексов.

Согласно расчетам, средний диаметр взвеси составил 0,044 мм. Скорость осаждения взвеси в воде (гидравлическая крупность) для Финского залива составляет  $0,00034 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ . Взвешенный осадочный материал такой гидравлической крупности достигнет дна (на максимальной для месторождений глубине 27 м) приблизительно через 76 часов.

Сразу после сброса основная масса грунта в виде мутьевой струи повышенной плотности и комковатых включений выпадает на дно, где образуется конус сброса. Часть сбрасываемого материала (по некоторым оценкам 1-5%) в виде тонкой взвеси остается в толще воды и образует облако повышенной мутности с концентрациями взвешенного вещества от десятков до сотен  $\text{мг} \cdot \text{л}^{-1}$ . Под действием течений, горизонтального и вертикального турбулентного перемешивания, гравитационного осаждения концентрации взвеси в мутьевом облаке быстро уменьшаются и на поверхности достигают фоновых значений спустя первые часы после сброса.

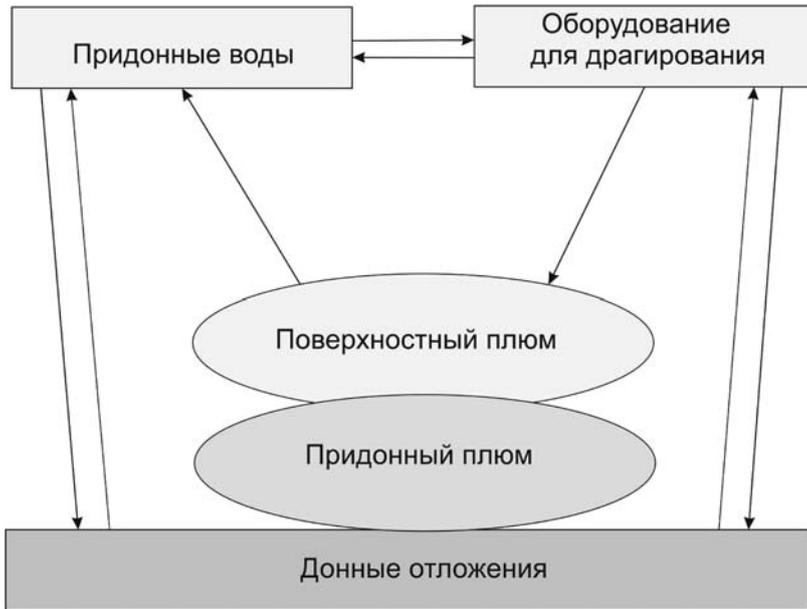


Рис 1. Взаимодействие между драгирующим устройством, морским дном и водной толщей

Содержание взвеси для акватории месторождения ЖМК в летний период составило  $3,8+2,3 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-1}$ . Прогнозная оценка показывает, что усредненные по времени значения концентрации взвешенного материала в период непосредственного проведения добычных работ не превысят фоновые более чем на  $1,2 \text{ мг} \cdot \text{л}^{-3}$ . Следовательно, значения концентрации взвеси, обусловленные техногенным воздействием, имеют один и тот же порядок величин с показателями природной фоновой мутности для данного района залива. Таким образом, увеличение содержания взвеси в воде, связанное с разработкой залежи ЖМК, не окажет существенного воздействия на окружающую среду (рис. 1).

Проведенный анализ материалов по современному состоянию донных отложений, показывает,

что загрязнение донных осадков в районе добычи ЖМК с учетом выявленных невысоких концентрациях загрязняющих веществ, незначительно. Поэтому выемка грунта, взмучивание и переотложение донных осадков не должно привести к повторному загрязнению донных отложений. В геохимическом отношении основные последствия воздействия будут связаны с локальным незначительным увеличением концентраций отдельных химических элементов в воде.

Таким образом, пространственный масштаб воздействия на морское дно и донные отложения можно охарактеризовать как локальный, а само воздействие как кратковременное и умеренное по интенсивности. В целом воздействие на рельеф дна и донные осадки можно отнести к категории «несущественное».

**Матвеева В.А.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, [poveryiya@mail.ru](mailto:poveryiya@mail.ru)

## ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВЕРМИКУЛИТА КОВДОРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПО ОТНОШЕНИЮ К КАТИОНАМ МАРГАНЦА (II)

Результаты гидрохимического мониторинга водных объектов Ковдорского района, подверженных воздействию ОАО «Ковдорский ГОК», показали, что для снижения техногенной нагрузки на поверхностные воды необходимо, в первую очередь, снизить содержание марганца (II) в сбрасываемых сточных водах хвостохранилища комбината. На сегодняшний день в стоках обогатительного комплекса зафиксировано среднее содержание марганца (II)  $1 \text{ мг} / \text{дм}^3$ , которое в 100 раз превышает предельно-допустимую концентрацию для воды водоемов, имеющих рыбохозяйственное значение.

Анализ современных методов очистки, используемых в горной промышленности, показал, что в настоящее время для очистки сточных вод широкое распространение получили сорбционные методы с использованием недорогих природных сорбентов. Изучение минерально-сырьевой базы Ковдорского района показало, что на исследуемой территории широко распространен глинистый минерал – вермикулит [1]. При наличии высоких сорбционных и ионообменных свойств, вермикулит имеет невысокую стоимость, и, в целом, может подходить для решения вопроса защиты поверхностных вод исследуемого района.

Вермикулит по своей структуре и свойствам существенно отличается от большинства минералов, дробление которых с успехом может вестись на щековых, валковых и других видах дробилок. Анализ технологических схем получения вермикулитового концентрата, в том числе и на ОАО «Ковдорсклюда», показал, что в промышленности для крупного и среднего дробления

руды используют щековые дробилки, для мелкого – молотковые [2]. Это связано с тем, что в основных областях применения вермикулита – строительство, металлургия, сельское хозяйство, химическая промышленность, используется вспученный вермикулит. Для термической обработки вермикулита оптимальным размером частиц считается размер зерен от шести до десяти миллиметров. Их поры достаточно узкие и размеры столь мелкие, что не влияют на прочность конечных изделий. Тонкие и слабо вспучивающиеся отдельные чешуйки не выполняют основных функций вспученного вермикулита. Именно поэтому для слюдяных пород и особенно вермикулита, используют молотковые дробильные установки, в которых дезинтеграция вермикулита осуществляется поперек слоев. Следовательно, при выборе дробильных установок в промышленности ориентируются на установки, действующие ударом.

Несмотря на это, физические свойства вермикулита определяют, что его измельчение может осуществляться не только ударом, но и резанием и (или) истиранием. При этом дезинтеграция вермикулита приводит к послойному разрушению.

В лабораторных условиях дробление образцов вермикулита, отобранных на вермикулитовом карьере ОАО «Ковдорслюда», осуществлялось в две стадии. Начальная стадия дробления вермикулита крупностью 150-200 мм проводилась в молотковой дробилке СМД-112. На выходе был получен материал крупностью 3-5 мм.

Дальнейшее дробление вермикулита проводилось в дробилке роторного типа ИКА MF10 Basic с режущо-перемалывающей насадкой, предназначенной для предварительного и тонкого дробления сухих средне-твердых и мягких материалов органического и неорганического происхождения.

После дробления вермикулита был проведен ситовой анализ на ситах с диаметрами ячеек 2; 1; 0,5; 0,315; 0,125 мм. Для изучения сорбционной способности вермикулита в зависимости от способа его дробления был использован вермикулитовый концентрат крупностью 1-2 мм, полученный в промышленных условиях на ОАО «Ковдорслюда», и лабораторные образцы крупностью 1-2 мм.

Анализ литературных источников показал [3], что увеличение удельной поверхности промышленного вермикулитового концентрата происходит в результате его термической обработки, после которой он способен вспучиваться. Следуя этому, часть навесок промышленного вермикулитового концентрата была выдержана в муфельной печи при температурах 300 и 600°C в течение двух часов.

Для проведения эксперимента из государственного стандартного образца (ГСО) катионов марганца (II) с концентрацией 1 г/дм<sup>3</sup> методом разбавления был приготовлен модельный раствор с концентрацией марганца (II) 1 мг/дм<sup>3</sup>. Начальная концентрация марганца (II) была выбрана, исходя из данных, проведенных мониторинговых исследований, и соответствовала концентрации, наблюдаемой в сточных водах хвостохранилища ОАО «Ковдорский ГОК».

Для определения эффективности очистки воды от катионов марганца (II) сорбционным методом и определения количественных характеристик процесса сорбции на вермикулите использовался статический метод. Для этого навески материала массой 0,5 гр. смешивались на магнитной мешалке в течение 10 минут с 350 см<sup>3</sup> модельного раствора. После этого растворы фильтровались через бумажный фильтр «красная лента».

Концентрацию катионов марганца (II) определяли до и после процесса сорбции атомно-абсорбционным методом на спектрометре АА-7000 с атомизацией в графитовой кювете и (или) в воздушно-ацетиленовом пламени в зависимости от предполагаемой концентрации исследуемого элемента в пробе в соответствии с М-03-505-119-08 «Методика количественного химического анализа. Определение металлов в питьевой, минеральной, природной, сточной воде и в атмосферных осадках атомно-абсорбционным методом».

Результаты анализов обрабатывались с вычислением среднего арифметического значения концентрации из двух параллельно выполненных экспериментов. Значения степени извлечения катионов марганца (II) из модельных растворов представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Влияние способа дробления вермикулита на его сорбционную способность по отношению к катионам марганца (II)**

Способ дробления	Молотковая дробилка	Молотковая дробилка	Молотковая дробилка	Роторная дробилка с режущо-перемалывающей насадкой
Термическая обработка	отсутствует	300°C	600°C	отсутствует
Степень извлечения марганца (II) на вермикулите, %	51	52	68	88

Как видно из таблицы 1, максимальная степень извлечения марганца (II) наблюдается у вермикулита, дробление которого осуществлялось в дробилке роторного типа с режущо-перемалывающей насадкой.

Следовательно, лабораторными исследованиями доказано, что наибольшая эффективность очистки наблюдается при измельчении вермикулита не ударным воздействием, а резанием без дополнительной обработки.

### Список литературы

1. Терновой В.И. Карбонатитовые массивы и их полезные ископаемые. –Л.: Изд. ЛГУ, 1971. – 168 с.
2. Грег С., Синг К. Адсорбция, удельная поверхность, пористость. – М.: Мир, 1984. – 306 с.
3. Аширов А. Ионообменная очистка сточных вод, растворов и газов. – Л.: Химия, 1983. – 295 с.

Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т., Деменев А.Д.

Естественнонаучного института Пермского государственного национального исследовательского университета (ЕНИ ПГНИУ), Пермь, nmax54@gmail.com, khmurchik.vadim@mail.ru, demenevartem@gmail.com

## ПРИЗНАКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПРОТЕКАНИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

На планете существуют два основных типа геохимических обстановок – окислительная и восстановительная – резко отличающиеся как по составу преобладающих газов, так и подвижностью химических элементов и, соответственно, составом преобладающих минералов. При этом для оценки степени окисленности или восстановленности среды используют величину окислительно-восстановительного потенциала Eh. В настоящее время восстановительную геохимическую обстановку принято разделять еще на две – глеевую (или восстановительную без сероводорода) и восстановительную сероводородную, так как при одной и той же величине рН и Eh геохимические условия могут быть резко различными в зависимости от содержания сероводорода [1]. Например, в условиях резковосстановительной среды железо и большинство халькофильных элементов могут быть как очень подвижными (в отсутствие сероводорода), так и практически неподвижными, если в воде есть сульфид- и гидросульфид-ионы, образующиеся при диссоциации сероводорода.

*Окислительная геохимическая обстановка* характеризуется присутствием в водах свободного кислорода или других сильных окислителей. Типоморфным элементом, т.е. элементом, миграция ионов и соединений которого определяет характерные геохимические особенности протекающих эпигенетических процессов, для окислительной геохимической обстановки является кислород. Железо, марганец, медь, ванадий, сера и ряд других элементов находятся в высоких степенях окисления ( $Fe^{3+}$ ,  $Mn^{4+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $V^{5+}$ ,  $S^{6+}$  и др.). Многие минералы трехвалентного железа (лимонит, гидрогетит, гематит и др.) имеют красную, бурю или желтоватую окраску, которую придают вмещающим их породам. Металлы с переменной валентностью в окисленном состоянии обычно обладают меньшей растворимостью, чем в восстановленном, и при окислении выпадают из растворов в осадок.

*Глеевая геохимическая обстановка* характеризуется отсутствием в водах свободного кислорода и других сильных окислителей, либо очень малым содержанием кислорода; образуется она при избытке органического вещества в отсутствие сульфатов. Типоморфным газом глеевой обстановки является углекислый газ, а иногда и метан. Соответственно, воды содержат много растворенной углекислоты, часто содержат метан и другие углеводородные газы, а сероводорода нет или его содержание очень мало. В этих условиях легко мигрируют железо и марганец, имеющие низкие степени окисления ( $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ). Трехвалентное железо может восстанавливаться до двухвалентного состояния микроорганизмами. Минералы двухвалентного железа (сидерит, вивианит и др.) имеют белую, синюю, зеленоватую окраску, которую и придают вмещающим их породам. Как правило, глеевая обстановка сочетается с анаэробным метаногенным сообществом микроорганизмов.

*Восстановительная сероводородная геохимическая обстановка* характеризуется отсутствием в водах свободного кислорода и других сильных окислителей. Ее типоморфным газом является сероводород. Соответственно, воды содержат много растворенного сероводорода, часто содержат метан и другие углеводородные газы. Образование сероводорода обусловлено в первую очередь, если не исключительно, деятельностью сульфатвосстанавливающих бактерий. Развитие этого сообщества, как правило, определяется поступлением доступного органического вещества. Железо и многие другие металлы не способны к миграции, так как образуют труднорастворимые сульфиды, которые могут цементировать породу. При этом доминирует образование гидротроилита  $FeS \cdot nH_2O$ , имеющего черный цвет. Осадочные сульфидные месторождения в большинстве случаев связаны с деятельностью сульфидогенного микробного сообщества в прошлом.

Таким образом, геологическая среда в разных геохимических обстановках характеризуется разными наборами характерных признаков, часть из которых обнаруживается не только инструментально, но и визуально (табл. 1).

Таблица 1

Признаки геохимических обстановок

Преобладающие газы	Окислительная Кислород	Восстановительная	
		глеевая Углекислый газ, метан	сероводородная Сероводород
Окислительно-восстановительный потенциал Eh, мВ	0,15 – 0,7	< 0,15	От -0,5 до -0,6
Окраска пород	Красная, бурая, желтая	Сизая, серая, зеленая	Черная
Преобладающие минералы	Лимонит ( $FeOOH \cdot (Fe_2O_3 \cdot nH_2O)$ ), гидрогетит ( $\alpha\text{-}FeOOH \cdot nH_2O$ ), гематит ( $Fe_2O_3$ )	Сидерит ( $FeCO_3$ ), вивианит ( $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ )	Гидротроилит ( $FeS \cdot nH_2O$ )
Степени окисления химических элементов	высшие	низшие	низшие

Поскольку микроорганизмы получают энергию от окислительно-восстановительных реакций, представляющих перенос электрона от донора к акцептору, возможность развития микроорганизмов зависит от Eh среды, т.е. геохимической обстановки. По отношению к кислороду микроорганизмы могут быть разделены на несколько групп. *Аэробы* нуждаются в кислороде для дыхания. Среди них *облигатные аэробы* используют в качестве акцептора электрона только кислород. *Микроаэрофилы* требуют пониженной концентрации кислорода. *Факультативные анаэробы* могут переходить от дыхания кислородом к анаэробизму. *Анаэробы* подразделяют на облигатные и аэротолерантные. Обладая метаболизмом только анаэробного типа *аэротолерантные анаэробы* могут расти в присутствии воздуха. *Облигатные анаэробы* чувствительны к токсическому действию кислорода и не только развиваются в условиях аноксии, но и требуют восстановительной обстановки [2]. Микробное сообщество представляет совокупность взаимодействующих между собой функционально различных микроорганизмов. Его устойчивость обеспечивается адаптационной динамикой с заменой одних видов другими в зависимости от внутренних или внешних причин.

Все микроорганизмы воздействуют на твердый компонент грунта, используя для своего питания содержащиеся в нем химические элементы. Микроорганизмы способны разрушать важнейшие минералы горных пород – силикаты, алюмосиликаты и карбонаты. Микроорганизмы могут также играть роль и в цементации пород. Трансформации твердого компонента грунтов и пород обычно сопряжены с потреблением или выделением газов и, таким образом, с изменением газового состава геологической среды. Потребление газов наблюдается при бактериальных процессах нитрификации, азотфиксации, окисления водорода, метана, угарного газа, сероводорода, сернистого газа, автотрофной ассимиляции углекислоты. Разложение микроорганизмами органических веществ, бикарбонатов, сульфатов в зависимости от условий, в которых оно происходит, ведет к выделению углекислого газа, азота, аммиака, сероводорода, метана, летучих органических веществ и др., тем самым микроорганизмы могут увеличивать поровое давление в грунте и придавать ему пльвинные свойства. В результате жизнедеятельности микроорганизмов изменяются состав и ионная сила растворов, их pH, окислительно-восстановительный потенциал и др. При стабильном состоянии грунтов микроорганизмы способны нивелировать колебания газового состава, состава поровых вод и твердого компонента [3].

С течением времени одна геохимическая обстановка может сменяться другой как по природным, так и техногенным причинам. Смена окислительной обстановки восстановительной может произойти в результате заводнения грунтов или затопления территорий, ухудшающих их кислородный режим, так как содержание кислорода, растворенного в воде, значительно меньше его содержания в атмосфере. Наличие при этом доступного для микроорганизмов органического вещества благоприятствует развитию анаэробной микрофлоры. В присутствии достаточного количества сульфатов получают развитие сульфатвосстанавливающие бактерии, а восстановительная обстановка из глеевой может превратиться в сероводородную. Аналогичное изменение вызывает поступление в геологическую среду органических веществ, на окисление которых расходуется содержащийся в среде кислород. Кроме того, пленки из таких веществ (например, нефтяных при нефтяных разливах) на поверхности сред препятствуют поступлению в них кислорода из атмосферы. Смена восстановительной геохимической обстановки окислительной обстановкой может наблюдаться при поступлении в геологическую среду значительного количества веществ-окислителей, особенно кислорода. Это происходит при карьерной или шахтной добыче полезных ископаемых, когда кислород атмосферы получает доступ к глубокозалегающим породам, в том числе и с водами, просачивающимися с поверхности по трещинам в породах; при закачке в горизонты загрязненных подземных вод окислителей, в том числе воздуха, с целью снижения миграции веществ-контaminантов, особенно тяжелых металлов. При этом происходит угнетение жизнедеятельности анаэробного микробного сообщества, зато могут получить развитие аэробные микроорганизмы.

Так, поступление органических загрязнений в грунтовые воды, а вместе с ними и в синие кембрийские глины, лежащие в основании транспортного тоннеля, привело к развитию в глинах гетеротрофных аэробных и факультативно-анаэробных бактерий, а также тионовых бактерий, вырабатывающих серную кислоту, что привело к деформациям и разрушению тоннельной конструкции [4]. Повышенное загрязнение грунтовых вод канализационными стоками привело к значительному развитию микроорганизмов, в результате чего песчаный грунт приобрел пльвинные свойства, а прочность глинистых грунтов снизилась на 30% и более [5]. Отмечается, что пески любого состава могут переходить в состояние истинных пльвинов при их микробиотическом загрязнении и содержании бактериальной массы более 50 мкг/г, а биохимическая генерация малорастворимых газов ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ ) усиливает способность водонасыщенных песков переходить в пльвинное состояние [6].

Аварийные разливы и сбросы нефти в карстовые полости на территории Полазнинского нефтяного месторождения, расположенного в Полазнинском карстовом районе Пермского края, привели к образованию на поверхности грунтовых вод в карстовом массиве нефтяной линзы мощностью до 2 м, которая изменила их кислородный режим, что в конечном счете привело к формированию восстановительной обстановки и развитию в грунтовых водах анаэробных сульфатвосстанавливающих бактерий, жизнедеятельность которых может привести к усилению карстового процесса [7].

Аварийные утечки нефти и технологических жидкостей в карстовые полости на территории Кокуйского нефтяного месторождения, расположенного в Иренском карстовом районе Пермского края, также привели к формированию в них восстановительной геохимической обстановки, развитию бактериального процесса восстановления сульфатов и сероводородному загрязнению грунтовых и поверхностных вод, а также атмосферы.

Поступление в водохранилище промышленных сточных вод с высоким содержанием органических веществ привело к развитию в теле грунтовой плотины очагов с глеевой геохимической обстановкой, из которых наблюдался вынос железа, и восстановительной сероводородной обстановкой, в которых наблюдалось образование сульфидных минералов. Лабораторные исследования показали, что активизация жизнедеятельности микроорганизмов грунта может привести к снижению его прочностных характеристик [8-10].

При производстве строительных работ в Курганской области строительным котлованом были вскрыты пиритсодержащие глинистые отложения чеганской свиты, что в условиях окислительной геохимической обстановки привело к развитию в них

сернокислотного процесса, опосредованного тионовыми бактериями, и повышению агрессивности грунтовых вод к строительным материалам и конструкциям [11].

Добыча угля на территории Кизеловского угольного бассейна в Пермском крае привела к контакту серосодержащих пород с кислородом воздуха и развитию в них микробиологически опосредованного сернокислотного процесса. Угледобыча сопровождалась складированием на поверхности породных отвалов и отходов переработки угля с высоким валовым содержанием серы, которая в условиях окислительной геохимической обстановки подвергалась окислению тионовыми бактериями, что также привело к развитию в отвалах сернокислотного процесса [12].

Таким образом, смена одной геохимической обстановки другой при нарушении стабильного состояния геологической среды при техногенном воздействии сопровождается соответствующим изменением признаков (табл. 1). С изменением геохимической обстановки в геологической среде происходит и смена бактериального сообщества; получают развитие другие бактериальные процессы, приводящие к иному состоянию свойств геологической среды, которое не могло быть учтено ранее, и, таким образом, эти процессы являются неблагоприятными с инженерной точки зрения. Изменение любого из свойств соответствующей геохимической обстановки при неизменности остальных может являться диагностическим признаком начальных этапов развития неблагоприятных микробиологических процессов. При наличии таких признаков необходимы специальные исследования, показывающие опасность процессов с инженерно-геологической точки зрения.

### Список литературы

1. Перельман А.И. Геохимия эпигенетических процессов. М., Недра, 1965. 272 с.
2. Заварзин Г.А., Колотилова Н.Н. Введение в природоведческую микробиологию. М., Книжный дом «Университет», 2001. 256 с.
3. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т. Влияние микроорганизмов на минеральный состав и свойства грунтов // Вестник Пермского университета, Сер. Геология, 2012, Вып. 3 (16), с. 47-54.
4. Дашко Р.Э., Панкратова К.В., Коробко А.А. Исследование инженерно-геологических факторов для оценки динамики разрушения тоннеля на участке автодороги Санкт-Петербург – Киев // Записки Горного института, 2012, Т. 195, с. 24-27.
5. Дашко Р.Э., Шидловская А.В. Биотическая и абиотическая компоненты в подземной среде: их генезис и влияние на состояние и свойства песчаных отложений // Записки Горного института, 2012, Т. 197, с. 209-214.
6. Дашко Р.Э., Котоков П.В., Шидловская А.В. Влияние гидрогеологических условий на безопасность освоения подземного пространства при строительстве транспортных тоннелей // Записки Горного института, 2012, Т. 199, с. 9-16.
7. Maksimovich N.G., Khmurchik V.T. Remediation of Oil-Polluted Groundwater Aquifers at Karst Region // In: "Engineering Geology for Society and Territory", Vol. 3 "River Basins, Reservoir Sedimentation and Water Resources" (Lollino G. et al. Eds.) – Springer, 2015 – P. 417-419.
8. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т., Деменев А.Д. Роль микроорганизмов в повышении мутности дренажных вод плотины // Гидротехническое строительство, 2015 (в печати).
9. Maksimovich N.G., Khmurchik V.T. The Influence of Microbiological Processes on Subsurface Waters and Grounds in River Dam Basement // In: "Engineering Geology for Society and Territory", Vol. 6 "Applied Geology for Major Engineering Projects" (Lollino G. et al. Eds.) – Springer, 2015 – P. 563-565.
10. Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т. Микробиологические процессы в грунтовых плотинах // Инженерные изыскания, 2013, № 9, с. 66-71.
11. Максимович Н.Г., Казакевич С.В., Денисов А.В. Историко-геологическая обусловленность геоэкологических проблем Курганского Зауралья // Мат. науч.-практ. конф. «Проблемы инженерных изысканий для строительства в Уральском регионе» (Екатеринбург, 3 июня 2003 г.) – Екатеринбург, 2003. – С. 42-45.
12. Максимович Н.Г., Черемных Н.В., Хайрулина Е.А. Экологические последствия ликвидации Кизеловского угольного бассейна // Географический вестник, 2006, № 2, с. 128-134.

Лаптева Е.М., Каверин Д.А., Пастухов А.В., Шамрикова Е.В., Холопов Ю.В.

Институт биологии КНЦ УрО РАН, г. Сыктывкар, elena.lapteva.60@mail.ru, dkav@mail.ru, alpast@mail.ru, shamrik@ib.komisc.ru, vegalyn@ib.komisc.ru

## ФОНОВОЕ СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОИДОВ В ТУНДРОВЫХ ПОЧВАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ АРКТИКИ И СУБАРКТИКИ (НА ПРИМЕРЕ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ)

При оценке воздействия промышленного объекта на состояние окружающей среды, проведении инженерно-экологических изысканий, производственного экологического мониторинга на территории добычи и транспортировки полезных ископаемых особое внимание уделяется характеристике фонового содержания приоритетных поллютантов, в том числе тяжелых металлов и металлоидов (ТМиМ), в основных компонентах природных и антропогенно нарушенных экосистем – почвах, растительности, поверхностных водах, донных отложениях и т.д. В пределах европейского Севера особый интерес представляет территория Большеземельской тундры (БЗТ), где сосредоточено значительное количество месторождений углеводородного сырья [1]. В тоже время данная территория, в силу значительной труднодоступности, отличается сравнительно слабой изученностью природных экосистем и, в первую очередь, почв и почвенного покрова [2]. Особенно это ка-

сается северной части Большеземельской тундры (БЗТ), где в настоящее время ведется активная разработка месторождений углеводородного сырья.

Цель данной работы заключалась в выявлении особенностей содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах фоновых ландшафтов Большеземельской тундры.

Исследования проводили на севере центральной части Ненецкого автономного округа, в бассейне реки Черная (бассейн Баренцева моря). Данная территория приурочена к подзоне северных тундр [4], к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород, представляет собой низменную аккумулятивную равнину с абсолютными высотами от 0 до 50 м (морские террасы) и от 50 до 180 м над уровнем моря (возвышенные холмистые ледниково-морские и ледниковые равнины). Климат района исследования суровый континентальный. По данным метеостанций Нарьян-Мар и Варандей, среднегодовая температура  $-3,3^{\circ}\dots -5,6^{\circ}\text{C}$ , средняя температура января  $-16,9^{\circ}\dots -17,8^{\circ}\text{C}$ , июля  $+12,7^{\circ}\dots +8,8^{\circ}\text{C}$ . Годовая сумма осадков 403...430 мм.

Согласно почвенно-экологическому районированию Восточно-Европейской равнины [5], данная территория относится к Полярному географическому поясу, Европейской полярной почвенно-биоклиматической области, зоне тундровых субарктических почв. Почвообразующими породами служат преимущественно четвертичные отложения. На водоразделах широко распространены пылевато-суглинистые отложения морского и ледникового генезиса, а также озерно-аллювиальные и озерно-болотные отложения [4]. На севере и северо-востоке бассейна р. Черная преобладают торфяные поверхностные отложения, на которых широко развиты плоскобугристые и полигональные болотные комплексы. Сопки и возвышенные части мусюров обычно сложены песками, в долинах рек отложения пойменных террас представлены преимущественно аллювием легкого гранулометрического состава.

Отбор проб для оценки фонового содержания тяжелых металлов (Cu, Pb, Cd, Zn, Ni, Co, V, Mn, Cr, Fe, Sr, Ba, Mo, Hg) и металлоидов (As) в почвах проводили в соответствии с генетическими горизонтами почв, формирующихся в различных ландшафтных условиях – подбурах, глееземах, торфяно-глееземах, торфяных почвах плоскобугристых болот и аллювиальных почвах долин рек. Физико-химические исследования выполняли в аккредитованной экоаналитической лаборатории Института биологии Коми НЦ УрО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.511257 от 26.02.2014 г.). Валовое содержание тяжелых металлов и мышьяка определяли атомно-эмиссионным методом с атомизацией в индуктивно-связанной аргоновой плазме [6], ртути – методом атомной абсорбции на ртутном спектрометре HF-915+ без предварительного разложения образца [7]. При характеристике регионального фона оценивали содержание тяжелых металлов и металлоидов в верхних (органогенных) горизонтах почв в соответствии с градацией, предложенной А.И. Обуховым и Л.Л. Ефремовой [8].

Известно, что содержание тяжелых металлов в природных почвах фоновых, ненарушенных ландшафтов определяется особенностями химического состава материнских почвообразующих пород, а их профильное распределение – спецификой условий почвообразования: биоклиматическими параметрами, наличием биогеохимических барьеров, окислительно-восстановительными и кислотно-основными условиями почвенной среды, особенностями состава почвенного органического вещества, определяющего возможность миграции элементов в профиле почв и в ландшафтах [9-11]. В рассмотренных нами почвах, приуроченных к различным ландшафтам северных гипоарктических тундр, максимум содержания приходится на такие элементы, как железо и марганец (табл. 1). Это характерная, наряду с дефицитом в почвах макро- и микроэлементов, черта геохимической обстановки автономных и субаквальных ландшафтов БЗТ кислого глеевого класса [13]. Однако в зависимости от типа почвы и ее приуроченности к тому или иному ландшафту ряд накопления элементов несколько меняется (табл. 2).

Как показали полученные нами данные, специфической особенностью регионального фона северных тундр БЗТ является крайне низкое содержание в почвах молибдена (табл. 1). В большинстве проанализированных образцов почв, а в подбурах и почвах пойменных ландшафтов – во всех образцах, концентрация молибдена была меньше нижней границы диапазона определяемого содержания. Второй особенностью является повышенное содержание в почвах мышьяка, кобальта и марганца. Сравнительный анализ полученных данных с регламентированными для этих элементов значениями ориентировочно допустимая концентрация (ОДК)/ предельно допустимая концентрация (ПДК) для песчаных (супесчаных) и суглинистых кислых почв [12] позволил выявить превышение в отдельных образцах почв мышьяка в 1,1-3,8, кобальта – в 1,0-5,8, марганца – в 1,1-14 раза ОДК(ПДК). В единичных образцах торфяно-глееземов и торфяных мерзлотных почв плоскобугристых болот отмечено повышенное на уровне 1,1-3,4 ОДК содержание кадмия.

К третьей особенности регионального фона северной части БЗТ по содержанию ТМиМ в почвах следует отнести более низкую, по сравнению с водоразделами, концентрацию ТМиМ в почвах пойменных ландшафтов. Следует отметить, что для аллювиальных почв обычно характерно накопление тяжелых металлов, поскольку они являются природными геохимическими барьерами на пути миграции химических элементов в ландшафтах [10]. Однако, как показали проведенные нами исследования, в условиях северных гипоарктических тундр среднее содержание большинства рассмотренных тяжелых металлов в аллювиальных почвах ниже, по сравнению с почвами водоразделов (за исключением торфяных почв болотных ландшафтов). Такая картина в распределении ТМиМ в почвах различных ландшафтов БЗТ может быть обусловлена специфическими особенностями мерзлотных условий региона. По всей видимости, наличие сплошной мерзлоты, малая мощность сезонно-талого слоя, низкая скорость химического выветривания, активное поглощение растворимых форм химических соединений тундровой растительностью, низкая минерализация почвенно-грунтовых вод обуславливают снижение объемов миграционных потоков химических элементов в ландшафтах, что, соответственно, определяет более низкое их содержание в пойменных почвах.

Специфика почвообразования в различных ландшафтах тундры нашла свое отражение и в характере аккумуляции ТМиМ в различных горизонтах профиля тундровых почв (рис. 1). Для аллювиальных почв характерно либо накопление тяжелых металлов в дерновом горизонте (Hg, Cd, Mn, Fe, Pb, Zn, Ba, Sr), либо их относительно равномерное распределение между дерновым горизонтом и нижележащей минеральной частью профиля (Cu, Ni, Co, V, Cr). Мышьяк, как правило, аккумулируется в минеральной части профиля пойменных почв.

Среднее содержание ( $\bar{X} \pm \Delta$ ) тяжелых металлов и металлоидов в почвах фоновых ландшафтов северной части Большеземельской тундры

Эле-мент	Тип почвы				
	Подбуры (n=11)	Глееземы (n=11)	Торфяно-глееземы (n=16)	Торфяные (n=32)	Аллювиальные (n=17)
Fe	15100±3760	19718±9084	18596±26145	7412±11623	8388±3766
Mn	393±421	1371±1224	1721±5185	169±298	374±196
Ba	69±10	68±27	42±32	21±22	27±11
Cr	43±6	26±9	12±11	4±4	12±5
Zn	40±15	49±24	37±17	19±14	26±16
Hg,	39±37	56±62	79±56	118±60	17±17
Sr	36±15	21±7	20±9	20±9	13±6
V	28±9	40±14	17±16	6±6	18±6
Ni	17±6	23±5	14±11	6±4	13±5
Cu	9,5±2,3	10,8±1,9	8±5	3,7±2,3	5,7±2,8
Pb	9±4	12±7	6,2±2,4	5±3	5,2±1,7
Co	6,8±1,9	12±7	8±10	2,7±2,4	6,1±1,3
As	4,6±2,6	5±3	2,0±1,7	3±7	2,9±0,9
Cd	0,3±0,1	0,28±0,19	0,22±0,11	0,3±0,4	0,15±0,07
Mo	<0,10*	0,3±1	0,20±0,28	0,4±0,7	<0,10*

Примечание.  $\bar{X}$  – среднее арифметическое значение содержания элемента;  $\pm \Delta$  – стандартное квадратичное отклонение среднего арифметического; n – объем выборки; размерность содержания Hg – мкг/кг, всех остальных элементов – мг/кг; \* - результат измерения меньше нижней границы диапазона определяемого содержания.

Подбуры отличаются накоплением Hg, Mn, Pb, Zn в маломощном органогенном горизонте и аккумуляцией Fe, As, Ni, Co, Cr и V в минеральной части профиля. Барий, стронций и медь относительно равномерно распределены в профиле этих почв.

Глееземы и торфяно-глееземы как правило близки по характеру распределения элементов в профиле к подбурам. Однако по мере нарастания гидроморфизма суглинистых почв, в их органогенных горизонтах возрастает содержание Cd, Mn и Fe.

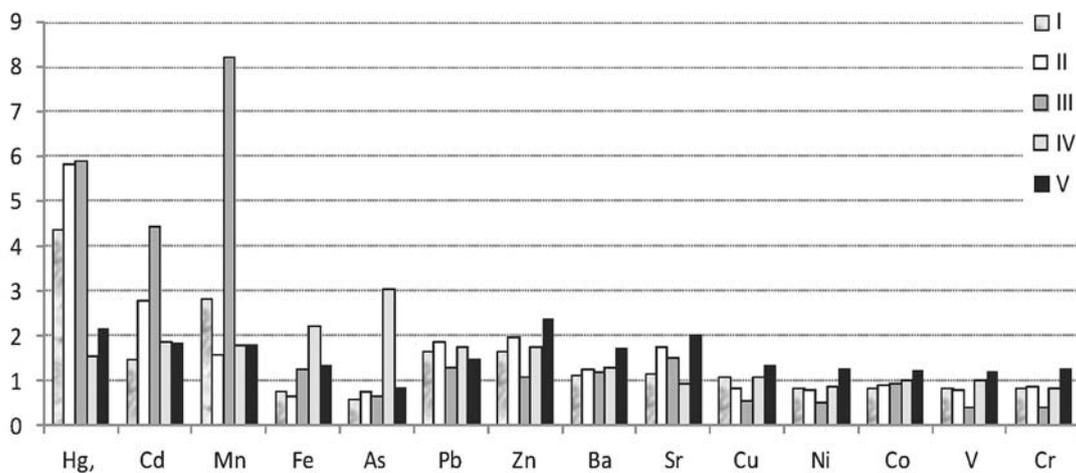
Для почв бугристых торфяников отмечено преимущественно аккумулятивное распределение ТМиМ в профиле, с надмерзлотной аккумуляцией таких элементов как хром и никель.

Таблица 2

Ряды накопления тяжелых металлов и металлоидов в почвах северной части Большеземельской тундры

Тип почвы	Ряды накопления элементов
Подбуры	Fe>Mn>Ba>Cr>Zn>Hg>Sr>V>Ni>Cu>Pb>Co>As>Cd>Mo
Глееземы	Fe>Mn>Ba>Hg>Zn>V>Cr>Ni>Sr>Co>Pb>Cu>As>Mo>Cd
Торфяно-глееземы	Fe>Mn>Hg>Ba>Zn>Sr>V>Ni>Cr>Cu>Co>Pb>As>Cd>Mo
Торфяные почвы	Fe>Mn>Hg>Ba>Sr>Zn>V>Ni>Pb>Cu>Cr>As>Co>Mo>Cd
Аллювиальные почвы	Fe>Mn>Ba>Zn>V>Hg>Sr>Ni>Cr>Co>Cu>Pb>As>Cd>Mo

При использовании для оценки регионального уровня содержания тяжелых металлов и мышьяка в почвах БЗТ классификации, разработанной А.И. Обуховым и Л.Л. Ефремовой [8], установлено следующее. Почвы северной части БЗТ характеризуются низким региональным уровнем содержания меди (3.7-10.8 мг/кг), низким и средним – свинца (5.0-11.9 мг/кг), никеля (5.7-23 мг/кг), цинка (19-49 мг/кг) и ртути (17-118 мкг/кг), средним и повышенным – кадмия (0.2-0.3 мг/кг), высоким – мышьяка (2.9-4.8 мг/кг). Полученные данные сопоставимы с фоновым содержанием этих элементов в почвах южной части БЗТ [3]. Для южных кустарниковых тундр характерен низкий региональный фон по содержанию в почвах меди (3.5-7.9 мг/кг) и никеля (5.3-18.3 мг/кг), низкий и средний – свинца (6.3-10.5 мг/кг), цинка (17.6-35.0 мг/кг) и ртути (11-168 мкг/кг), средний – кадмия (0.12-0.23 мг/кг), средний и высокий – мышьяка (1.33-5.8 мг/кг).



**Рис. 1. Распределение коэффициентов концентрации (ось Y) тяжелых металлов и мышьяка (ось X) по типам почв северной части Большеземельской тундры: I – подбуры; II – глееземы; III – торфяно-глееземы; IV – торфяные почвы болотных комплексов; V – аллювиальные почвы**

Таким образом, проведенные нами исследования показали, что валовое содержание большинства тяжелых металлов в почвах северных гипоарктических тундр европейского Северо-Востока не превышает регламентированных значений ОДК(ПДК) и соответствует низкому и среднему региональному уровню их содержания. В тоже время для кадмия и мышьяка установлен повышенный и высокий региональный фон в почвах северных тундр БЗТ. Отмеченное в ряде случаев превышение ОДК(ПДК) по содержанию в почвах As, Co, Mn и Cd обусловлено особенностями состава почвообразующих пород и спецификой условий аккумуляции и миграции элементов в ландшафтах криолитозоны. К специфической особенности северных тундр БЗТ необходимо отнести крайне низкое содержание в почвах молибдена – в большинстве исследованных почв его содержание находилось на уровне меньше нижней границы диапазона определяемого содержания. Показано, что в органогенных горизонтах всех исследованных почв преимущественно аккумулируются такие тяжелые металлы как Hg, Cd, Mn, Pb, Zn, Ba, Sr. В автоморфных и полугидроморфных почвах водораздельных плато, в отличие от депрессий, занятых полигональными и плоскобугристыми болотами, а также пойменных почв долинных ландшафтов, происходит обогащение минеральной части почвенных профилей никелем, кобальтом, ванадием, хромом, железом и мышьяком.

Полученные данные могут быть использованы при проведении экологического мониторинга в районах разработки и добычи полезных ископаемых и оценке антропогенного воздействия на компоненты природной среды арктических и субарктических регионов Европейского Северо-Востока.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта Президиума РАН №15-15-4-46 «Взаимосвязь биоразнообразия и биопродукционного потенциала наземных экосистем Европейской Арктики с особенностями формирования мерзлотных почв и динамическими аспектами их трансформации в современных условиях климата».*

### Список литературы

1. Шумилова Ю.Н. Эколого-географическое обоснование перспектив развития нефтегазовой промышленности Ненецкого автономного округа : автореф. дис. на соиск. ученой степ. канд. геогр. наук : 25.00.36. Ростов-на-Дону, 2009. 23 с.
2. Горячкин С.В. Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.
3. Дымов А.А., Латтева Е.М., Калашиников А.В., Денева С.В. Фоновое содержание тяжелых металлов, мышьяка и углеводородов в почвах Большеземельской тундры // Теоретическая и прикладная экология. 2010. №4. С. 43-48.
4. Атлас Архангельской области / Под ред. А.Ф. Федорова. М.: ГУГК, 1976. 72 с.
5. Добровольский Г.В., Урусевская И.И. География почв. М.: Изд-во МГУ, 2006. 464 с.
6. ПНДФ 16.1:2.3:3.11-98. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерений содержания металлов в твердых объектах методом спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой. М., 1998.
7. ПНДФ 16.1:2.23-2000. Методика выполнения измерений массовой концентрации общей ртути в пробах почв и грунтов на анализаторе ртути РА-915+ с приставкой РР-91С. СПб., 2000. 12 с.
8. Обухов А.И., Ефремова Л.Л. Охрана и рекультивация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. С. 23-36.
9. Дабахов М.В., Дабахова Е.В., Титова В.И. Тяжелые металлы: экотоксикология и проблемы нормирования. Н.-Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. 165 с.
10. Добровольский В.В. Роль органического вещества почв в миграции тяжелых металлов // Природа, 2004. № 7. С.35-39.
11. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Кондратенко Б.М. Оценка фоновое содержания тяжелых металлов в почвах европейского северо-востока России // Почвоведение. 2007. №9. С.1064-1070.
12. ГН 2.1.7.2041-06 ГН 2.1.7.2042-06 Предельно-допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006. 15 с.
13. Перельман А.И., Касимов И.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 768 с.

Васютнич Л.А.

Забайкальский госуниверситет, Чита, lyudmila-vasyuti@mail.ru

## ОЦЕНКА ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КРИОЛИТОЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ Г. ЧИТА)

Освоение территорий, расположенных в криолитозоне, имеет более чем 100-летнюю историю. Теоретические вопросы теплового, химического и механического взаимодействия инженерных сооружений в криолитозоне изучались М.И. Сумгиным, П.И. Мельниковым, В.А. Кудрявцевым, А.В. Павловым, Н.А. Цытовичем, Э.Д. Ершовым, В.И. Осиповым, Л.Н. Хрусталевым, В.В. Докучаевым, Б.А. Савельевым, И.А. Тютюновым, Д.М. Шестерневым, И.И. Железняком, Г.П. Пустовойтом, Л.Т. Роман, О.М. Языниным и др. Все авторы указывают на изменения температурного и влажностного режимов многолетнемерзлых грунтов под влиянием различных видов освоения территории. С переходом мерзлых пород в талое состояние изменяются их свойства, прочность и несущая способность, что приводит к недопустимым деформациям зданий и сооружений.

Изучению формирования инженерно-геологических условий для обеспечения безопасности функционирования урбанизированных территорий посвящены работы Е.М. Сергеева, В.И. Осипова, В.Т. Трофимова, П.И. Мельникова, Э.Д. Ершова, В.А. Королева, Г. К. Бондарика, Л.С. Гарагули, Г.А. Голодковской, Ф.В. Котлова и многих других исследователей. Тем не менее участвовавшие случаи деформации зданий и сооружений, снижение экологической безопасности урбанизированных территорий криолитозоны, происходящие на фоне изменения климата и увеличения техногенного прессинга на природную среду, обосновывают необходимость продолжения этих исследований. Особенно это относится к выявлению влияния урбанизации на изменения инженерно-экологических условий, от которых зависит эффективность использования элементов инфраструктуры урбанизированных территорий [3, 6].

Для комплексной оценки инженерно-экологических условий г. Читы использовался массив сведений о природных особенностях территории исследований, распределении градостроительных нагрузок, отдельных инженерно-технических сооружений. Информационная основа состояла из следующих групп параметров: первая характеристика геологической среды: геолого-литологическое строение территории (состав, возраст, мощность пород); инженерно-геологические условия; многолетнемерзлые породы (температура, мощность, площадь распространения); геоморфологические условия; гидрогеологические условия; экзогенные геологические процессы. Вторая группа параметров отражала особенности техногенной нагрузки на урбанизированной территории, интегральным выражением которых является функциональное зонирование. При взаимодействии техносферы и геологической среды происходит их преобразование. Динамика, интенсивность изменений определяются третьей группой признаков, характеризующей инженерно-геологические и геокриологические процессы. В качестве объектов-реципиентов окружающей среды можно рассматривать здоровье человека; состояние фитоценозов; здания и сооружения жилищно-гражданского и производственного назначения; наземные и подземные коммуникации [7].

Основным элементом природной системы, обуславливающим напряженность функционирования урбанизированных территорий южной криолитозоны, является та её часть, которая воспринимает нагрузки от изменений климатических условий и воздействия технической среды. Особенностью криолитозоны южной периферии является её небольшая мощность и высокие отрицательные температуры. Комплексная оценка инженерно-геологических условий г. Читы выполнена на основе карты инженерно-геологического районирования для разработки генерального плана городского округа «Город Чита» (масштаб 1:25 000). Инженерно-геологическое районирование территории г. Читы выполнялось на основе анализа литературных источников, инженерно-геологических изысканий и картографических материалов, имеющихся в фондах производственных и научно-исследовательских организаций г. Читы. Это позволило комплексно оценить особенности состава и строения четвертичных отложений, характер проявления и распространения физико-геологических явлений и процессов.

Последовательное инженерно-геологическое районирование территории осуществлялось с учетом наличия или отсутствия комплекса факторов, затрудняющих производство массовой застройки при развитии градостроительства. В качестве основных элементов инженерно-геологических условий выбраны: рельеф; геологическое строение; подземные воды; многолетнемерзлые породы; геологические, инженерно-геологические и криогенные процессы и явления. Наряду с этим учитывая существующий опыт строительства и эксплуатации зданий и сооружений на территории города [2, 4].

Для выявления направленности и степени влияния хозяйственного освоения на криолитозону выполнена типизация техногенного воздействия. Оценка геоэкологического состояния природных и природно-техногенных систем осуществлялась в пределах каждого выделенного типа территории взаимодействия многолетнемерзлых грунтов и технических систем. Оценка экологического состояния компонентов природной среды во взаимосвязи с динамикой криолитозоны позволила охарактеризовать разновидности воздействий технических систем на геологическую среду и рассмотреть её реакцию в условиях формирования природно-технических систем. Состояние природно-технической системы I уровня изучалось на основании техногенного воздействия на экологические условия урбанизированной территории с учетом ее дифференциации на природно-технические подсистемы в границах функциональных зон, инженерно-геокриологического

районирования города, изучения динамики изменения климата, условий транспортировки и аккумуляции загрязняющих веществ. Формы воздействия хозяйственной деятельности на криолитозону подразделялись на экстенсивную (изменения теплообмена на поверхности) и интенсивную (изменения криолитозоны при стоке тепла от теплоносителей) [6, 7]. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Изменения криолитозоны в зависимости от основных типов природно-технических систем (ПТС) и функциональных зон (ФЗ) г. Чита**

ФЗ	Типы ПТС	Механизмы воздействия на криолитозону	Результат воздействия на криолитозону
Селитебная	Кварталы зданий 5 - 9 эт. и выше	Площадные интенсивная и экстенсивная формы воздействия. Механическое уплотнение	Многолетняя осадка грунтов
	Кварталы 2 - 4 эт. зданий		Многолетние или сезонные пучения и осадка грунтов
	Зоны одноэтажных зданий	Точечные интенсивная и экстенсивная формы воздействия. Механическое уплотнение	Сезонные и многолетние пучения и осадка грунтов
Промышленная	Теплоэнергетический комплекс	Точечные интенсивная и экстенсивная формы воздействия. Механическое уплотнение	Многолетняя осадка грунтов
		Площадная интенсивная форма воздействия. Тепловое, механическое и геохимическое воздействия	Изменение фильтрационных свойств грунтов, загрязнение гидросферы и наледообразование
	Водохозяйственный комплекс	Интенсивная форма воздействия. Гидродинамическое воздействие	Загрязнение и изменение режима подземных вод
	Горнопромышленный комплекс	Площадная интенсивная форма механического и гидродинамического воздействия	Подтопление и заболачивание
	Комплекс транспортной инфраструктуры	Линейная экстенсивная форма воздействия. Механическое уплотнение	Формирование локальной транспортной системы загрязнения геологической среды. Осадок, пучение, наледи
	Коммунальный комплекс	Экстенсивная форма воздействия. Химическое, биологическое загрязнение	Загрязнение подземной и поверхностной гидросферы

Таким образом, изменение геотермического поля криолитозоны, обусловленное интенсивным тепловым загрязнением окружающей среды (воздуха, поверхностной и подземной гидросферы), геологической среды и изменение фоновых значений основных климатических параметров – температуры воздуха и количества атмосферных осадков явились теми причинами, которые способствовали кардинальной перестройке криолитозоны по площади и разрезу [5]. Эти изменения привели к трансформации путей переноса загрязняющих веществ и, несомненно, могли явиться источником ухудшения экологических условий урбанизированных территорий южной криолитозоны [1, 3, 8]. На территории города по динамическим особенностям выделены зоны устойчивого, реликтового и современного загрязнения, а также площади, где оно отсутствует. На урбанизированных территориях криолитозоны тепловое загрязнение воздуха, гидросферы и грунтов создает дополнительные пути транспортировки загрязнения, активизирует процессы трансформации геокриологических условий и приводит к: а) снижению качества питьевых подземных вод; б) формированию недопустимых деформаций зданий и сооружений в результате изменения строительных свойств грунтов; в) увеличению интенсивности развития опасных инженерно-геокриологических процессов.

**Список литературы**

1. Васютнич Л.А. Особенности современного техногенного воздействия на качество подземных вод читинской агломерации // Вестник ЗабГУ. Чита, 2013. № 01. С. 19–26.
2. Васютнич Л.А. Особенности трансформации геологической среды южной криолитозоны (на примере г. Чита)// Сергеевские чтения. Вып. 16: Мат. годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Москва, 21 марта 2014). М.: РУДН, 2014. С. 377–380.

3. *Верхотуров А.Г., Васютнич Л.А.* Ресурсы и экологическое состояние питьевых подземных вод Забайкалья // Недропользование– XXI в. 2008. № 3. С.79– 81.
4. *Шестернев Д.М., Васютнич Л.А.* Исследование влияния антропогенных воздействий на изменение геэкологических условий урбанизированных территорий южной криолитозоны (на примере г. Чита) // Вестник ЧитГУ (ЗабГУ). Чита, 2011. № 6. С. 117–121.
5. *Шестернев Д.М., Васютнич Л.А.* Тепловое загрязнение геологической среды криолитозоны урбанизированных территорий Забайкалья (на примере г. Чита) // Вестник ЧитГУ(ЗабГУ). Чита, 2012. № 1. С. 43–51.
6. *Шестернев Д.М., Васютнич Л.А.* Криогенная геологическая среда и ее состояние на территории г. Чита // Вестник ЗабГУ. Чита, 2013. № 7. С. 12–20.
7. *Шестернев Д.М., Васютнич Л.А.* Трансформация геолого-геокриологической среды в процессе урбанизации г. Чита // Вестник ЗабГУ. Чита, 2014. № 3. С. 57–67.
8. *Shesternev D.M., Vasyutich L.A.* Influence of urbanization on engineering properties of soils in the geocryological environment under climate change and technical loading // Journal of Engineering of Heilongjiang University Vol. 5 No. 3, 2014. P. 78–90.

Сергеев В.И.<sup>1</sup>, Степанова Н.Ю.<sup>2</sup>, Шимко Т.Г.<sup>1</sup>, Пашков Д.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, <sup>2</sup>НИМЦ «Базис» Минобрнауки РФ, <sup>3</sup>ООО «Геотехника», Москва, bazismo@mail.ru

## ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ И РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Участки размещения в геологической среде твердых, смешанных и жидких отходов промышленности, содержащих радиоактивные и другие токсичные компоненты, требуют разработки мероприятий, снижающих их негативное влияние на окружающую среду и, прежде всего, на подземные воды. Предотвращение загрязнения водоносных горизонтов может осуществляться путем сооружения «стены в грунте» или путем создания противодиффузионного противомиграционного экрана по периметру участка размещения отходов.

«Стена в грунте», учитывая технологию ее сооружения, должна перекрывать всю грунтовую толщу от поверхности до водоупора. При обоснованном выборе глинистого материала для заполнения «стены в грунте» такая конструкция, с одной стороны, определяет надежность ее работы в качестве геохимического барьера, а с другой – ее высокую стоимость. Кроме повышенной себестоимости использование «стены в грунте» в качестве мероприятия по защите водных ресурсов от загрязнения может осложняться наличием на пути ее сооружения промышленных и гражданских объектов.

Создание противодиффузионных противомиграционных экранов методом инъекции суспензионных или химических гелеобразующих растворов в грунтовую толщу практически не зависит от застроенности территории. Кроме того, возможность позонного выполнения тампонажных работ и, соответственно, инъекции растворов только в прослойки грунтовой толщи, представляющие реальные пути распространения потенциальных загрязнителей подземных вод, позволяет существенным образом сократить объемы сорбента для создания геохимического барьера.

Названные выше преимущества инъекционного способа создания защитного экрана свидетельствуют о необходимости обязательного рассмотрения возможности его использования на каждом объекте. Количество объектов размещения отходов, отрицательное влияние которых на водные ресурсы уже не вызывает сомнений и требует принятия защитных мер, стремительно возрастает и может достигнуть 20 тысяч. Разработка и реализация мероприятий по защите водных ресурсов от загрязнения требует серьезных финансовых расходов. В этой связи даже использование инъекционных способов создания защитных экранов в районах размещения токсичных и радиоактивных отходов промышленности требует поиска и разработки способов повышения эффективности их работы и снижения себестоимости.

Теоретические и экспериментальные исследования коллектива специалистов ФГБУ НИМЦ «Базис», геологического и механико-математического факультетов МГУ имени М.В. Ломоносова, а также специалистов ООО «Геотехника» позволили определить инженерно-геологические условия, при которых расходы на создание качественного геохимического барьера по периметру участка размещения отходов снижаются в 3-4 раза.

Условиями такого снижения объема затрат на создание геохимического барьера способом инъекции тампонажных сорбирующих суспензионных и химических гелеобразующих растворов является учет соотношения величин нормальных напряжений в горизонтальной плоскости грунтовой толщи зоны инъекционных работ.

В любой точке зоны тампонажных работ напряженное состояние грунтовой толщи можно характеризовать тремя показателями:  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ . Если принять для равнинной территории, что  $\sigma_z$  определяет величину нормального вертикального напряжения, а величины  $\sigma_x$  и  $\sigma_y$  – величины нормальных напряжений в горизонтальной плоскости, то их значения будут определяться следующими выражениями:

$$\sigma_z = \gamma H; \sigma_x = \sigma_y = \gamma H \mu / (1 - \mu),$$

где  $\gamma$  – объемный вес

$H$  – глубина зоны инъекционных работ

$\mu$  – коэффициент Пуассона.

Отсюда следует, что на равнинной территории значения нормальных напряжений в горизонтальной плоскости зоны тампонажных работ в зависимости от величины  $\mu$  в 2-3 раза меньше  $\sigma_z$  – величины бытового давления. В этих условиях, как известно из практики тампонажных работ, при использовании разрывного способа инъекции в дисперсной грунтовой толще формируются три вертикальные полости разрыва, ориентированные в плане под углом в  $120^\circ$ . Эти полости разрывных нарушений и являются источником распространения тампонажного раствора.

Соотношение нормальных напряжений в присклоновой части, а также вблизи овражной сети или на участках размещения дамб имеет другой характер. Вертикальная составляющая  $\sigma_z$  остается неизменной и равной  $H$ , а равенство нормальных напряжений в горизонтальной плоскости планируемой зоны тампонажных работ нарушается. Расчеты показывают, что в горизонтальной плоскости значения величины нормального напряжения, ориентированного вдоль склона, вдоль оврага или вдоль дамбы, до определенной глубины всегда больше величины нормального напряжения, перпендикулярного этому направлению.

В этой связи необходимо вспомнить предположение А. Камбефора, руководителя самой крупной французской фирмы «Со-летанж», выполнявшей инъекционные работы во многих странах мира. Тогда, еще 50 лет назад, в своей книге «Инъекция грунтов» [1] он, указывал на то, что разрыв, очевидно, будет формироваться перпендикулярно минимальному главному напряжению в зоне тампонажных работ.

Выполненный авторами комплекс теоретических и экспериментальных исследований по совершенствованию технологии инъекционных работ с учетом распределения нормальных напряжений в грунтовой толще уже на данном этапе позволяет сделать заключение о перспективности принятого направления [2]. Опытные работы в полевых условиях показали, что в присклоновой части вместо трех вертикальных полостей разрывных нарушений при использовании режима разрывной инъекции формируется единая вертикальная полость разрыва, строго ориентированная в плане перпендикулярно линии падения склона.

Расчет нормальных напряжений в зоне тампонажных работ на опытном участке показал, что разница этих величин в горизонтальной плоскости не превышает 5 % [3]. Это дает основание рассматривать оценку напряженного состояния грунтовой толщи в зоне закачки тампонажных растворов, как фактор, позволяющий повысить эффективность инъекционных работ при сооружении противодиффузионных противомиграционных экранов по периметру участка размещения отходов в пониженных участках рельефа, в овражной сети или на равнинной территории, окруженной дамбой.

Обоснованность такого вывода становится очевидной при рассмотрении только некоторых особенностей формирования защитного экрана и свойств тампонируемого массива:

Ориентация вертикальных полостей разрывных нарушений вдоль береговой линии участка размещения отходов позволяет использовать весь объем тампонажного раствора строго перпендикулярно направлению фильтрационного потока с участка размещения отходов;

При использовании суспензионных растворов, например бентонитовых, формирующаяся перпендикулярно направлению фильтрационного потока вертикальная полость разрыва заполняется слабопроницаемым ( $K_f < 10^{-6}$  м/сут) материалом с высокой сорбционной способностью в отношении выявленных потенциальных загрязнителей подземных вод в хвостохранилище;

При использовании химических гелеобразующих растворов решается проблема, связанная с разбавлением периферийной части закачиваемого раствора, увеличением времени его гелеобразования и последующим его сносом за пределы сооружаемого защитного экрана. Применение разрывной инъекции с формированием полости разрыва, ориентированной перпендикулярно направлению фильтрационного потока и заполненной устойчивым гелем исключает снос разбавленной части раствора и формирование проницаемых полостей в защитном экране.

Принципиальные основы способа повышения эффективности защитных экранов на базе учета соотношения нормальных напряжений в зоне инъекции разработаны и апробированы в полевых условиях. Полученные результаты позволяют уже сегодня утверждать о перспективности разрабатываемого способа. Вместе с тем, еще предстоит получить данные о соотношении нормальных напряжений, при которых формируется единая полость разрыва в дисперсных грунтах с различными физико-механическими свойствами. Предстоит также определить ряд условий и технологических приемов, позволяющих получить единую в плане вертикальную полость разрыва при инъекции раствора из одного ряда скважин.

## Список литературы

1. Камбефор А. Инъекция грунтов. М.: Энергия, 1971. 273 с.
2. Сергеев В.И., Шимко Т.Г., Степанова Н.Ю., Кулешиова М.Л. Развитие инъекционного закрепления как одного из основных методов технической мелиорации грунтов. Инженерная геология, 2012, № 4, с. 6-13
3. Калинин Э.В., Панасьян Л.Л., Широков В.Н., Артамонова Н.Б., Фоменко И.К. Моделирование полей напряжений в инженерно-геологических массивах. М.: Изд-во МГУ, 2003, 262 с.

Григорьева И.Ю.

МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, ikagrig@inbox.ru

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КАК БАЗОВАЯ КАТЕГОРИЯ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ

В условиях усиливающегося антропогенного влияния впервые законодательно закрепленный в нашей стране в 1996 году новый вид инженерных изысканий – инженерно-экологические изыскания – постепенно развивается и набирает силу. Не будем останавливаться на проблемах и трудностях сегодняшнего дня, вызванных текущей ситуацией, складывающейся в отношении системы инженерных изысканий в строительстве вообще и системой инженерно-экологических изысканий, в частности. Эти проблемы неоднократно обсуждались научной и профессиональной общественностью на страницах ряда изданий [8]. Обратимся к научному обоснованию системы инженерно-экологических изысканий.

В первую очередь обращает на себя внимание тот факт, что эта отрасль изыскательской деятельности объективно объединила в своей среде специалистов самых разных научных направлений. И именно в этом разделе инженерных изысканий приходится сталкиваться с различным подходом и взглядами на состав и структуру изысканий. Анализируя цели и задачи, преследуемые в процессе изысканий, целесообразно полагать, что *по своей сути инженерно-экологические изыскания должны быть направлены на оценку геоэкологических условий территории*. Однако, до сих пор, в нормативных документах отсутствует целостное представление об этой категории. По аналогии с представлением об инженерно-геологических условиях, представление о геоэкологических условиях территории должно быть положено в основу системы инженерно-экологических изысканий в строительстве. Однако, сложившаяся ситуация вокруг самого научного направления – геоэкологии, во многом отражается в том числе и на структуре нормативных документов.

Попробуем кратко проанализировать с исторических позиций закономерности появления, развития и современного состояния представления о геоэкологии как науке и геоэкологических условиях территории.

Конец XX начало XXI века стал этапом экологизации многих отраслей научных знаний, как в России, так и за рубежом. Определённый толчок этому процессу был дан рядом Международных Конференций, работой Римского клуба и первыми моделями глобального развития мира. Итогом этих Международных событий стало появление в различных странах Министерств по охране окружающей среды, появление отдельной отрасли права – экологического [3]. Развитие идей, высказанных в конце прошлого века, продолжается и в настоящее время. Ярким свидетельством этого стала формулировка на Юбилейном заседании Генеральной Ассамблеи ООН, состоявшемся в конце сентября 2015 года, 17 целей в области устойчивого развития.

В России итогом экологизации естественнонаучной области знаний стало появление междисциплинарной науки, получившей название «Геоэкология». В формулировке Высшей аттестационной комиссии *геоэкология* определяется как *междисциплинарное научное направление, объединяющее исследования состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли как среды обитания человека и других организмов*.

Несмотря на три десятилетия с момента обособления этого междисциплинарного направления научные споры вокруг объекта, предмета, задач исследований этой науки по-прежнему не угасают [10]. По этой специальности (25.00.36) готовятся студенты во многих ВУЗах страны, защищаются диссертации, но споры и разногласия относительно правомерности самого существования подобной науки справедливо звучат всё чаще и всё громче [2]. Как следствие отражения разных подходов к содержанию науки «Геоэкологии» высказываются и разные точки зрения на состав инженерно-экологических изысканий [11].

И всё же, на наш взгляд, возникновение и оформление этого научного направления, а соответственно и представления о геоэкологических условиях территории, видится во многом закономерным. Сегодня, вспоминая фразу Б.Коммонера [4] о том, что каждый из наших взглядов на природную систему есть только тонкий разрез через сложное целое, поскольку каждый специалист освещает лишь некоторые свойства целого, но общая картина получается искаженной, а ведь в реальном мире «каждая вещь связана со всеми остальными». Вспоминая, осознавая и принимая это, мы понимаем, что от бесконечной дифференциации науки, узкой специализации сегодня необходимо стремиться к интеграции научного знания, в том числе как в науках о Земле, так и в системе инженерных изысканий в строительстве. Первой попыткой интеграции и стала междисциплинарная отрасль знания – «Геоэкология», и, являющийся практическим воплощением этого подхода, новый вид инженерных изысканий – инженерно-экологических.

Геоэкология относится к поколению новых, интегративных наук, входящих сразу в несколько сфер научного познания. Хотя базовыми для геоэкологии являются науки о Земле, изучение геоэкологии носит интегративный характер и базируется не только на знании предметов естественнонаучного цикла, но и гуманитарного, а также социально-экономического и, зачастую, технического циклов.

К сожалению, на сегодняшний день чёткого и единодушного представления у исследователей о содержании и основных атрибутах этого нового научного направления так и не сформировалось, хотя рядом авторов предложены достаточно емкие и логичные определения [5, 8]. В гораздо меньшей степени проработано к настоящему моменту представление о геоэкологических условиях. А значимость этого понятия достаточно очевидна для актуализируемого ныне СП [8]. В перечне терминов, к сожалению, определение этого понятия отсутствует (раздел 3). Вместо понятия о геоэкологических условиях предлагается

«комплексное изучение природных, природно-антропогенных, антропогенных и экологических условий» (раздел 4.3). И такая подмена отнюдь не вносит ясного представления о составе информации необходимой и достаточной для характеристики геоэкологических условий территории.

Для преодоления разночтений и успешного выхода из сложившейся ситуации будет уместно, на наш взгляд, привести пример довольно схожего понятия, прочно вошедшего в теорию инженерной геологии и практику инженерно-геологических изысканий. Так, под инженерно-геологическими условиями понимается комплекс современных геологических особенностей, определяющих условия инженерных изысканий, строительства и эксплуатации инженерных сооружений (узкий подход), или условия инженерно-хозяйственной деятельности человека в целом (широкий подход) [1]. Этот комплекс включает в себя пять составляющих, которые называются компонентами, или факторами инженерно-геологических условий: 1) геологическое строение местности и характер слагающих ее пород; 2) рельеф; 3) гидрогеологические условия; 4) мерзлотные условия; 5) современные геологические процессы.

Каждый из них характеризуется большим числом параметров. Наиболее важными из них являются характер и условия залегания грунтов, их состав, состояние и свойства, морфологические и морфометрические особенности рельефа, распространение мерзлых, талых и немерзлых толщ, их температура, мощность мерзлых пород, их криогенное строение, глубина сезонного протаивания-промерзания, типы, закономерности распространения, глубины залегания, водообильность и режим подземных вод, их состав и минерализация, агрессивность по отношению к строительным материалам, а также современные геологические процессы и явления.

Аналогичные представления существуют и в смежных научных направлениях. Например, в теории физической географии [6] под *природными условиями* понимают природное окружение человека, объединяющие: климат, рельеф, геологические условия, ресурсы поверхностных и подземных вод, режим рек и озёр, почвенно-растительный покров и животный мир.

Путём объединения разных подходов, необходимо чётко сформулировать содержание понятия о геоэкологических условиях. В качестве некой отправной точки может быть предложено следующее определение: *геоэкологические условия – комплекс современных особенностей территории, определяющих условия материально-энергетического обеспечения жизни населения на рассматриваемой территории*. Компоненты геоэкологических условий должны раскрывать как природные, так и антропогенно измененные (трансформированные) особенности состава, строения, свойств, процессов, физических и геохимических полей геосфер Земли (атмосферы, гидросферы, литосферы, педосферы). Причем, при оценке геоэкологических условий особое внимание должно уделяться биологически значимым антропогенным изменениям в природной среде.

Достаточно очевидно, что формирование представления о геоэкологических условиях территории не может идти самопроизвольно или вестись только с позиций одной отрасли знаний. Например, физической географии, как это просматривается в структуре общих положений соответствующего СП. Невозможно оно и с позиций исключительно инженерной геологии. И здесь в качестве примера для подтверждения сказанного, приведём ещё одно достаточно ярко проявляющееся противоречие: в структуре СП [7] идёт постоянное употребление двух терминов: почвы и грунты. С позиций инженерной геологии это грубая ошибка, поскольку в грунтоведении почвы традиционно относятся к грунтам [1]. При проведении же инженерно-экологических изысканий почвы не должны, на наш взгляд, относиться к грунтам и между ними должно проводиться чёткое различие. Почвы выполняют важную экологическую функцию и их отнесение к категории грунтов недопустимо. Однако этот момент, к сожалению, так же не оговаривается в перечне терминов и определений рассматриваемого СП. Всё это заставляет специалистов в области инженерной геологии [11] ещё раз обращать на это пристальное внимание.

Настала пора конструктивного диалога между представителями различных научных направлений: географии, геологии, биологии, почвоведения, химии, физики, а также социальных наук. Без решения данного вопроса, как научные исследования, так и инженерные изыскания по вопросам оценки геоэкологических условий будут вестись без должной системы, вызывать очередные споры и нарекания.

## Список литературы

1. Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии: 280 основных терминов. / Под ред. В.Т.Трофимова. – М., ОАО Геомаркетинг, 2012, 320 с.
2. Богданов М.И. История становления и современное состояние геоэкологии// Инженерная геология, 2014. – № 1. – С. 14-20.
3. Григорьева И.Ю. Геоэкология: Учебное пособие. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 270 с.
4. Коммонер Барри. Замыкающийся круг. – М.: Гидрометеониздат, 1974. – 280 с.
5. Осипов В.И. Геоэкология: понятие, задачи, приоритеты// Геоэкология, 1997. – № 1. – С. 3-11.
6. Петрушина М.Н., Самойлова Г.С., Щербакова Л.Н., Хорошев А.В., Иванов А.Н. Физическая география России и сопредельных территорий: Учебное пособие к практическим и семинарским занятиям. Изд. 2-е, с доп. и изм. - М.: Географический факультет МГУ, 2013. – 152 с.
7. Свод правил. Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. Проект, 1-ая редакция. URL: <http://www.oaiis.ru/upload/iblock/10e/10e16b2322cd6173f400782b1a07f123.pdf> (дата обращения 20.10.2015).
8. Стурман В.И. Инженерно-экологические изыскания: первые впечатления от нового свода правил// Инженерные изыскания, 2014. – № 2. – С.18-22.
9. Трофимов В.Т. Основопологающие теоретические положения экологической геологии как науки и вопросы её дальнейшего развития// Материалы тринадцатой межвузовской молодежной научной конференции «Школа экологической геологии и рационального недропользования» (3-5 мая 2013) СПб.: СПбГУ, 2013. С. 17-50.
10. Трофимов В.Т. Парадоксы современной геоэкологии// Вестн. МГУ. Сер. 11. Геология, 2009. – № 4. – С. 3-13.
12. Трофимов В.Т., Харьковина М.А. Ещё раз о содержании инженерно-экологических изысканий – достижения, упущенные возможности и недостатки в СП 47.13330.2012// Инженерные изыскания, 2015. – № 7. – С.16-2.

Григорьева И.Ю., Саркисов Г.А.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, ikagrig@inbox.ru, footfint@rambler.ru

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛАЖНОСТИ НЕФТЕЗАГРЯЗНЁННЫХ ГРУНТОВ

В условиях современного мира одним из наиболее приоритетных загрязнителей окружающей среды является нефть и нефтепродукты. Если еще 10-15 лет тому назад загрязнение нефтью и нефтепродуктами считалось проблемой импактного загрязнения грунтов, то в последние годы, в связи с возрастающими масштабами добычи, переработки и транспортировки нефти и нефтепродуктов, загрязнение нефтяными углеводородами стало острой экологической проблемой не только для России, но и всех развитых стран мира. С экологической точки зрения опасность нефтяного загрязнения грунтов состоит в нарушении динамического равновесия в сложившихся экосистемах из-за изменения структуры и водоудерживающей способности грунта, его биотических и физико-химических свойств, а также так же из-за прямого токсического действия на растения и микроорганизмы. Особенно тяжелые последствия наблюдаются при полном покрытии частиц грунта нефтяной пленкой, поскольку в грунте изменяется способность впитывать и удерживать влагу.

Существующая ситуация достаточно часто ставит перед изыскателями задачу не только оценки количественного содержания загрязнителя, но и оценки влажностных показателей нефтезагрязнённых грунтов. Вместе с тем на сегодняшний день в практике инженерных изысканий единственным общепринятым методом определения влажности грунтов (независимо от характера их загрязнения) является высушивание до постоянной массы [4, 5].

Исследованиями ряда авторов [1, 8, 9, 19] установлено, что для таких грунтов характерны более низкие значения гигроскопической влажности, водопроницаемости и влагоемкости по сравнению с фоновыми аналогами. При этом влажность верхних горизонтов уменьшается, а более глубоких – увеличивается, затрудняется транспирация влаги через загрязненные нефтью горизонты грунта.

С одной стороны, вопрос нефтяного загрязнения достаточно широко затронут в современной литературе, отмечается исключительная важность знания о содержании воды в нефтезагрязнённом грунте, однако точных количественных оценок содержания той или иной категории воды в грунте крайне мало. С другой стороны, совершенно нерешенным остаётся вопрос методики определения влажности нефтезагрязнённых грунтов. Центральной проблемой здесь является поиск оптимальных методик экспериментальной оценки энергии удержания жидкофазных компонентов (нефти и воды) и гидравлической проводимости.

Традиционные методы, предполагающие использование пористых мембран для отделения жидкой фазы от твердого компонента грунта под воздействием разряжения или давления (тензиометрия, мембранные прессы), очевидно, не подходят для вязких жидкостей и дисперсных систем типа «минеральный компонент грунта – вода – нефть» [2, 17]. Используемые в грунтоведении методы выдавливания жидкостей на гидравлических прессах с получением, так называемых, компрессионных кривых проблематичны по той же причине, и больше подходят для пластичных высокодисперсных сред [3]. Также абсолютно игнорируется тот факт, что при выдавливании жидкостей на прессах считают потерю веса образца, как потерю воды, хотя, вполне очевидно, что дренироваться может также и нефть, что вносит ошибку в конечный результат. Второй немаловажный аспект, который также игнорируется современными исследователями, это завершающая стадия определения, которая заключается в высушивании образца в термостате при +105°C, так называемый метод высушивания до постоянной массы (гравиметрический метод). Здесь также очевидно, что при высушивании некоторые более легкие фракции нефти будут удаляться, а более тяжелые останутся в образце. Таким образом, при расчете влажности это будет вносить существенную ошибку.

Выполненные нами исследования на модельных образцах дисперсных грунтов в ряду «песок – супесь тяжелая – суглинок средний – глина – глина тяжёлая» (наименования грунтовых смесей даны, исходя из количественного содержания гранулометрических фракций в соответствии с классификацией В.В.Охотина) показали (рис 1, 2), что при высушивании загрязнённых образцов в термостате при +105°C не удаётся достичь полного испарения даже в случае использования в качестве загрязнителя дизельного топлива, содержащего незначительное количество тяжелых нефтяных фракций. Соответственно возникающее при сушке остаточное содержание загрязнителя более ощутимо сказывается на результатах определения истинного содержания жидкого компонента при сушке тяжелых по гранулометрическому составу дисперсных грунтов (рис. 1б). При применении метода высушивание до постоянной массы загрязнённых грунтов имеет важное значение последовательность попадания загрязнителя в грунт. Так, в случае, когда загрязнитель попадает в воздушно-сухой грунт (рис. 1), последующее его высушивание приводит к более интенсивному испарению загрязнителя. Однако следует заметить, что такой вариант попадания загрязнителя встречается в природных условиях крайне редко. Обычным является попадание загрязнителя в грунт, содержащий то или иное количество жидкого компонента (рис. 2). В таком случае испарение сложной по составу жидкой компоненты грунта существенно затрудняется.

Аналогичная ситуация наблюдается и достаточно остро стоит сейчас при решении вопросов утилизации нефтешламов [6], когда при разделении не удается достичь желаемых уровней осушки кека, представляющего собой трёхфазную систему «твердое – вода – нефть». Так, например, уровень остаточного содержания воды в таких системах составляет 50-70 %.

В связи с этим стоит обратиться к анализу методов определения остаточной воды в коллекторах нефти и газа. В научной литературе [7,18,20], а также в ОСТ 39-204-86 [11] предлагается три наиболее распространенных метода: дистилляционно-экстракционный; капиллярметрический; центрифугирования.

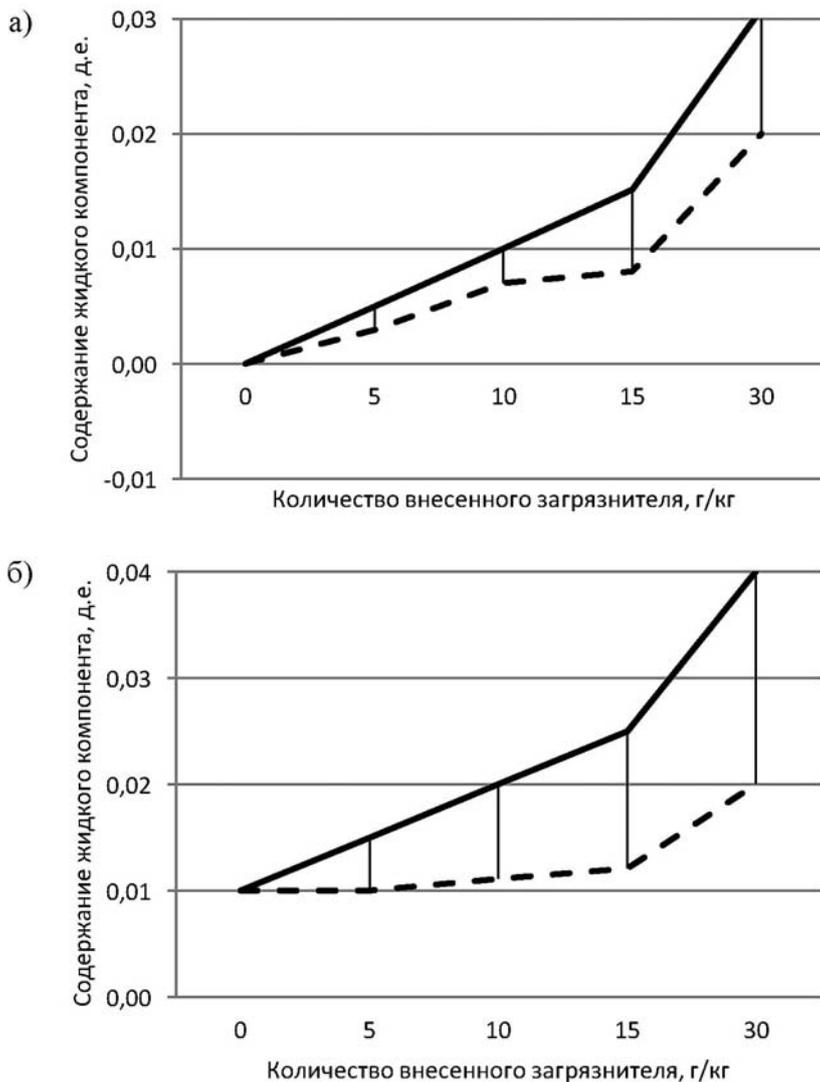


Рис. 1. Остаточное содержание загрязнителя при сушке загрязненной воздушно-сухой грунтовой смеси: а – песка; б – глины тяжёлой. Сплошные линии – общее количество внесенного загрязнителя; пунктирные линии – количество испарившегося загрязнителя

Общепринятым является прямой метод определения начальной водонасыщенности пород, который заключается в применении экстракционно-дистилляционной отгонки воды и нефти, предположительно сохраненных в образце продуктивной породы в процессе бурения, отбора, транспортировки и хранения поднятого керна. Предполагается, что измеренный в мернике экстракционно-дистилляционного прибора (аппарат Закса или Дани-Старка) объем воды идентичен объему воды в пластовых условиях.

Сущность метода капиллярных давлений заключается в том, проэкстрагированный и высушенный образец породы насыщают под вакуумом керосином или водой и помещают в цилиндр с полупроницаемой мембраной. Затем путем нагнетания в цилиндр воздуха или керосина (если образец насыщен водой) последовательно создают все более повышающееся давление. При этом каждое давление поддерживается постоянным все время, пока происходит вытеснение жидкости из тех пор, в которых капиллярное давление преодолено давлением в цилиндре. В процессе проведения опыта количество вытесненной из образца жидкости при

каждом давлении определяют взвешиванием. По полученным данным строят кривую зависимости между капиллярным давлением и остаточной водонасыщенностью. Недостатком метода капиллярных давлений является длительность проведения опыта, продолжающегося иногда несколько недель, а также неопределенность значений остаточного водонасыщения в очень тонких порах (менее 1 мкм).

В основе метода центрифугирования лежит получение значительных перепадов давления на границе двух фаз в образцах пород за счет центробежной силы при вращении образца вокруг ротора центрифуги. За счет центробежной силы, развиваемой при центрифугировании, жидкость, удерживаемая капиллярными силами (в отличие от прочносвязанной воды), дренируется (удаляется из образца). При этом методе исследуемый образец породы экстрагируют, высушивают и насыщают под вакуумом водой, которую удаляют из образца центрифугированием. Вода, удерживаемая в породе (остаточная или связанная вода), определяется по разности весов между образцом со стабильной остаточной водой после центрифугирования и сухим образцом. Так как центрифугирование продолжается несколько минут, то этот метод имеет преимущество перед описанными выше в быстроте выполнения работы.

Существует и множество других методов, описанных в литературе [7, 18, 20 и др.], но следует признать, что наибольшей популярностью обладают описанные выше методы. Таким образом, сущность всех рассмотренных методов заключается в следующем: с помощью соответствующих приборов определяют содержание воды в образце и общую потерю веса образца после экстрагирования и высушивания. Однако недостатком является то, что определяется исключительно остаточная вода, тогда как для целей инженерных изысканий важно знать количество всех категорий воды в грунте (гигроскопической, верхнего, нижнего пределов пластичности и т.д.).

Отсюда наиболее перспективным методом оценки влажности нефтезагрязнённых грунтов, на наш взгляд, следует признать центрифугирование [12, 14]. Оно использовалось в классическом грунтоведении и почвоведении для получения так называемых жидкофазных эквивалентов или категорий [10, 13], позже в отечественных и зарубежных работах по оценке водоудерживания [2, 3]. Наибольшее развитие в отечественной физике почв этот метод получил в работах авторского коллектива под руководством А.В.Смагина [12, 14-17, 21].

Нами взятый за основу метод центрифугирования был доработан с учетом особенностей нефтезагрязнённых грунтов и апробирован на соответствующих моделях грунтовых смесей.

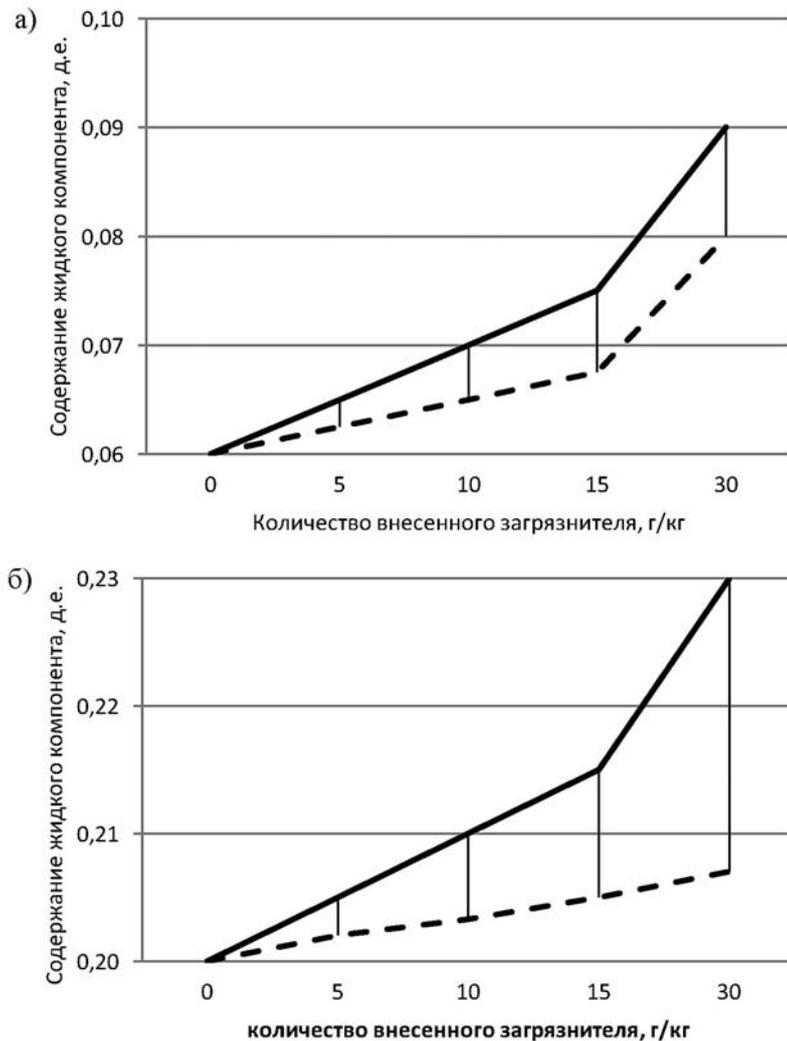


Рис. 2. Остаточное содержание загрязнителя при сушке загрязненной предварительно увлажнённой грунтовой смеси: а – песка; б – глины тяжёлой. Сплошные линии – общее количество внесенного загрязнителя; пунктирные линии – количество испарившегося загрязнителя

Физическая основа метода заключается в удалении влаги из предварительно насыщенного грунта в перфорированных центрифужных пробирках (рис. 3б) при разных скоростях вращения. Каждой скорости вращения центрифуги (рис. 3а) будет соответствовать определенное давление влаги ( $P$ ), которая удерживается в грунте различными силами: осмотическими, капиллярными, адсорбционными. Модуль этого давления или численно равное ему абсолютное значение капиллярно-сорбционного потенциала влаги ( $y_m$ ) определяются по формуле [15,17]:

$$P[\text{кПа}] = y_m [\text{Дж/кг}] = (0,0055n^2(R_2^2 - R_1^2)\cos\alpha + ghs\sin\alpha), \quad (1)$$

где  $R_{1,2}$  – расстояния от оси вращения центрифуги до начала образца и до свободной поверхности удаляемой жидкости, соответственно,  $\alpha$  – угол между горизонталью и центральной осью симметрии образца,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения. Размерности:  $[n]$  – об/мин,  $[R]$ ,  $[h]$  – м.

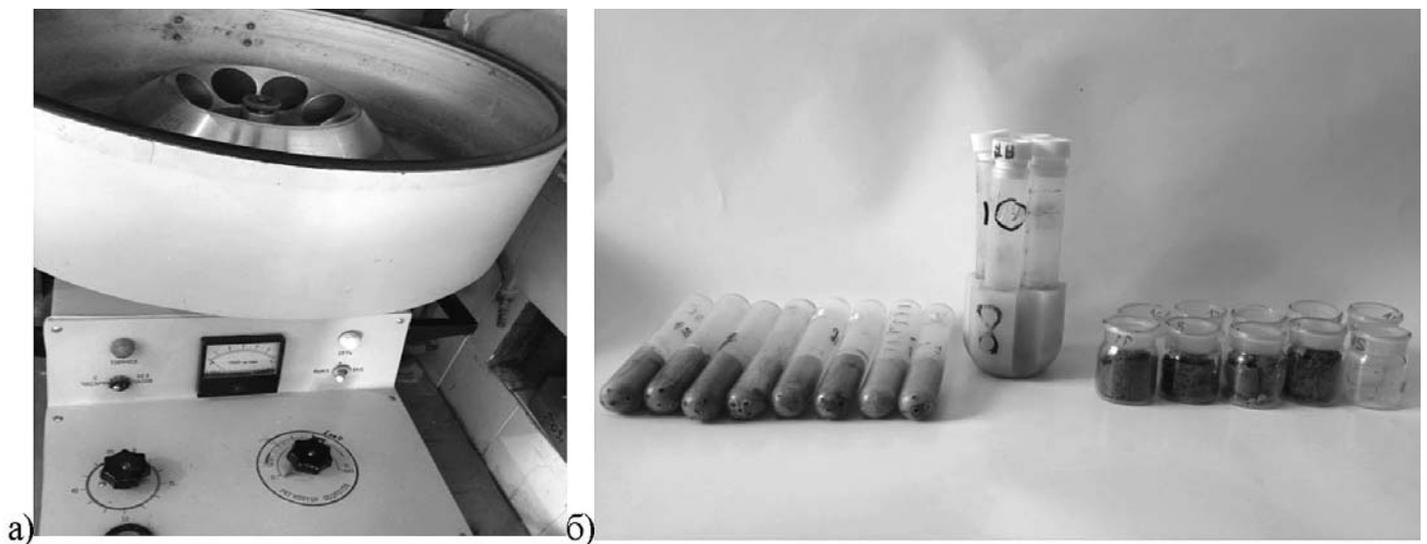


Рис. 3. Центрифуга ЦЛС-3 (а), пробирки с пробами грунта и гнездо с пробирками для заполнения центрифуги (б)

Масса образца на каждой стадии центрифугирования за вычетом постоянной массы абсолютно сухого грунта и центрифужной пробирки дает количество удерживаемой воды. Разделив его на массу абсолютно сухого грунта, получаем значение влажности ( $W\%$ ) – массовой доли влаги, выраженной в процентах от массы абсолютно сухого грунта. Для контроля количества дренированной влаги, на дно пробирки помещали инертный адсорбционный материал для сбора всей дренированной жидкости. Для точного определения воды, содержимое адсорбционного материала экстрагировали хлороформом, определяя точное количество нефтепродукта, вычитали его из общей потери жидкости, получая, таким образом, точное количество дренированной воды на каждой ступени центрифугирования.

После последней стадии центрифугирования, для точного определения количества нефтепродукта, образец взвешивали и экстрагировали хлороформом в аппарате Сокслета. Прозэкстрагированный образец высушивали в термостате при температуре +105 °С для достижения грунтом абсолютного сухого состояния. Тогда формула для определения влажности будет выглядеть следующим образом:

$$W_{гр} = (m_1 - m_2 - m_3) \cdot 100\%$$

$m_1$  – масса грунта с водой и нефтепродуктом,  $m_2$  – масса абсолютного сухого грунта,  $m_3$  – масса нефтепродукта.

По окончании эксперимента строили графики зависимости давления грунтовой влаги, выраженного в  $pF$ –единицах ( $pF=1+\lg(P)$ , [ $P$ ] – кПа), от влажности или, так называемые, основные гидрофизические характеристики (ОГХ) исследуемых грунтов. Для исследуемых грунтовых смесей нами были выбраны следующие скорости вращения центрифуги:  $n=200, 500, 1000, 2000, 4000, 6000$  об/мин, которые соответствовали абсолютным величинам давления грунтовой влаги  $P = 1,2; 5,9; 22,7; 90,1; 20,3; 359,4; 808,3$  кПа или  $pF = 1,1; 1,8; 2,4; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9$  по [13].

После получения кривой водоудерживания можно оценить содержание той или иной категории воды в грунте, например, такие показатели как нижний и верхний предел пластичности, максимальная молекулярная влагоёмкость и т.д.

Таким образом, исходя из всего вышеизложенного, можно сделать следующие выводы:

- существующие методы определения влажности, принятые в современном грунтоведении, почвоведении, а также в нормативных документах не правомерно использовать для нефтезагрязненных грунтов;
- модифицированный метод равновесного центрифугирования, адаптированный и апробированный авторами, позволяет успешно определять количественное содержание различных категорий влаги в загрязнённом дисперсном грунте.

### Список литературы

1. Амосова Я.М. Нефтезагрязнения почвы / Я. М. Амосова, С. Я. Трофимов, Н. И. Суханова // Агрехимический вестник, 1999. – № 5 – С. 37-38.
2. Глобус А.М. Экспериментальная гидрофизика почв. Л., 1969.
3. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов. М., 1973.
4. ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Госстандарт СССР, 1985 (по сост. на 2011 г.).
5. ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений М.: Госстандарт СССР, 1989 (по сост. на 2015 г.).
6. Гридина М.С. Изучение влияния компонентов нефтесодержащих отходов на качество продуктов гидроочистки углеводородных фракций. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук. Самарский государственный технический университет. Самара, 2014. – 22 с.
7. Гудок Н.С., Богданович Н.Н., Мартынов В.Г. Определение физических свойств нефтеводосодержащих пород: Учеб. Пособие для вузов. – М.: ООО «Недра – Бизнесцентр», 2007. – 592 с.
8. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Азнаурьян Д.К., Жаркова М.Г. Биодиагностика экологического состояния почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, 2007, 231 с.
9. Кураков А.В., Ильинский В.В., Котелевцев С.В., Садчиков А.П. Биоиндикация и реабилитация экосистем при нефтяных загрязнениях. – М.: Издательство «Графикон», 2006. – 336 с.
10. Лебедев А.Ф. Почвенные и грунтовые воды/ АН СССР, Почв. ин-т им. В.В. Докучаева. – Изд. 4-е, посмертное. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1936. – 315 с.
11. ОСТ 39-204-86 Нефть. Метод определения остаточной водонасыщенности коллекторов нефти и газа по зависимости насыщения от капиллярного давления. М.: Миннефтепром СССР, 1986 (по сост. на 2015 г.).
12. Оценка физических свойств почвоподобных тел, сформированных на основе осадка сточных вод / В. Зотов, А. Смагин, А. Яковлев, И. Плеханова // Электронный журнал «Доклады по экологическому почвоведению». – 2012. – Т. 17, № 2. – С. 50–65.
13. Роде А.А. Почвенная влага. – М.: Изд-во Академии наук СССР, 1952. – 459 с.
14. Смагин А.В. Теория и методы оценки физического состояния почв// Почвоведение. – 2003. – № 3. – С. 328–341.
15. Смагин А.В., Садовникова Н.Б. Влияние сильнабухающих полимерных гидрогелей на физическое состояние почв легкого гранулометрического состава. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 209 с.
16. Смагин А.В., Садовникова Н.Б. Инструментальный колоночно-центрифужный метод оценки водоудерживающей способности почв и грунтов // Экологический вестник Северного Кавказа. – 2011. – Т. 7, № 2. – С. 15–23.
17. Теории и методы физики почв. Коллективная монография под общей редакцией Шеина Е.В. и Карпачевского Л.О./ Е. Шеин, Л. Карпачевский, Т. Архангельская и др. – М.: Гриф и К, 2007. — 616 с.
18. Тиаб Дж., Дональдсон Эрл Ч. Петрофизика: теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов/ Перевод с английского. – М.: ООО «Премиум Инжиниринг», 2009. – 868 с.
19. Трофимов С.Я., Амосова Я.М., Орлов Д.С., Осипова Н.Н., Суханова Н.И. Влияние нефти на почвенный покров и проблема создания нормативной базы по влиянию нефтезагрязнения на почвы// Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2000. – №2. С. 30-33.
20. Ханин А.А. Остаточная вода в коллекторах нефти и газа. Москва. 1963.
21. Smagin A. Column-centrifugation method for determining water retention curves of soils and disperse sediments// Eurasian Soil Science. – 2012. – Vol. 45, no. 4. – P. 416–422.

Ланцова И.В.

ООО «ИГИИС», Москва, liveco@rambler.ru, livecolog@yandex.ru

## ОПЫТ ПРОВЕДЕНИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Всё чаще в профессиональном сообществе поднимается вопрос о тяжёлом состоянии изыскательской отрасли. Причём снижение уровня изыскательских работ, а, следовательно, и качества отчётных и проектных материалов, отмечается по всем видам изысканий.

В частности, в инженерно-экологических изысканиях (ИЭИ) трудности обусловлены целым рядом проблем, а именно:

- отсутствием актуализированного СП по инженерно-экологическим изысканиям, с одной стороны, и невероятным количеством ГОСТ и СанПиН, необходимых и рекомендуемых к применению при проведении ИЭИ, многие из которых явно устарели и нуждаются в переработке, актуализации или даже в полной отмене;
- нехватке (или отсутствии) квалифицированных кадров именно с подготовкой по инженерно-экологическим изысканиям;
- наличием в требованиях действующих нормативных документов заведомо невыполнимых пунктов;
- снижением престижа изыскательской деятельности и её финансирования.

Учитывая всё вышесказанное, многие компании пришли к пониманию необходимости проведения контроля качества инженерных изысканий, что позволяет избежать недобросовестного их проведения и существенно повысить качество полевых материалов, необходимых для принятия оптимальных проектных решений.

Виды контроля и формы его проведения могут быть различными. Так, контроль может быть внутренним и внешним, стопроцентным и выборочным, с проведением заверочных работ или без них и т.д.

Как показывает опыт проведения контроля качества инженерных изысканий, наиболее эффективным является стопроцентный внешний контроль, проводимый независимой сторонней организацией, т.к. при стопроцентном контроле отслеживаются все этапы проведения ИЭИ, что позволяет предупредить некачественное выполнение изысканий с момента составления Задания и разработки Программы выполнения работ до выдачи итоговых результатов изысканий.

Таким образом, стопроцентный контроль качества инженерно-экологических изысканий проводится в три этапа: предполевой (подготовительный), полевой (экспедиционный) и камеральный<sup>3</sup>.

**1-ый предполевой этап** включает:

- проверку задания на выполнение инженерных изысканий;
- оценку программы инженерных изысканий на соответствие требованиям задания и нормативных документов;
- проверку наличия необходимых исходных материалов и информации (картографических материалов и АКС<sup>4</sup>, первоначальных сведений об объекте проектирования и особенностях изыскиваемой территории и т.д.);
- оценку предполевой готовности подрядчиков к выполнению инженерных изысканий (наличие разрешительной документации, квалификационных документов исполнителей, перечень приборов и оборудования и поверочных документов к ним и т.д.).

На подготовительном этапе согласовываются порядок проведения контроля и взаимодействия с Заказчиком и Исполнителями, формы ведения промежуточных и итоговых документов контроля и т.д.

**2-ой этап** – контроль качества полевых инженерно-экологических изысканий наиболее сложный и трудоёмкий в силу разнообразия видов работ и исследований, входящих в состав ИЭИ. И с этого-то и начинаются особенности и сложности работы инспектора-эколога в период проведения контроля качества ИЭИ. Дело в том, что, как правило, на одну геологическую, геофизическую, геодезическую и гидрометеорологическую полевую бригаду обычно планируется и один специалист-инспектор.

Но как быть, если при проведении полного комплекса ИЭИ в их состав входят:

- рекогносцировочное обследование территории изысканий и прилегающей территории;
- маршрутные наблюдения с покомпонентным описанием природной среды и ландшафтов в целом, а также видимых источников загрязнения окружающей среды;
- проходка горных выработок (мелких скважин, почвенных шурфов, расчисток, закопущек) для получения экологической информации;
- эколого-гидрологические исследования;
- геоэкологическое опробование компонентов природной среды (атмосферного воздуха, почв, подземных и поверхностных вод и донных отложений);
- исследования источников загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных вод суши, донных отложений в водных объектах, подземных вод;
- изучение почвенного покрова;
- изучение растительности;
- изучение животного мира;
- исследование и оценка радиационной обстановки на территории изысканий;
- исследование и оценка вредных физических воздействий на территории изысканий и др.

<sup>3</sup> Некоторые виды камеральных работ проводятся в полевых условиях и контролируются при проведении контроля качества экспедиционных работ.

<sup>4</sup> АКС – аэрокосмические снимки

Стопроцентный контроль качества ИЭИ предполагает присутствие инспектора контроля на всех видах и этапах проведения работ от их начала до завершения.

Каждый вид работ и исследований в составе ИЭИ имеет определённый набор характеристик и данных, которые должны быть зафиксированы инспектором контроля качества ИЭИ:

1. При рекогносцировочном обследовании:

- оценивается репрезентативность выбранных площадок и профилей почвенных, геоботанических и ландшафтных исследований и пунктов геоэкологического опробования компонентов природной среды;
- определяется полнота и качество ведения полевой документации (рабочих карт-схем, описаний рекогносцировочных маршрутов, фиксирование расположения источников загрязнения компонентов природной среды, степени антропогенной нарушенности территории, особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и объектов, развитие опасных природных процессов и явлений).

2. Контроль качества полевых маршрутных наблюдений включает:

- оценку полноты и качества ведения полевой документации,
- оценку полноты и качества описания встречаемых природных, природно-антропогенных и антропогенных объектов и явлений,
- фиксацию следов жизнедеятельности животных (норы, лёжки, кормовые уголья, следы, экскременты и т.д.), пролёты птиц,
- покомпонентное описание природной среды и ландшафтов в целом, состояние наземных и водных экосистем, источников и признаков загрязнения;
- определение границ развития опасных экзогенных геологических процессов; описание выходов горных пород (береговые обрывы, карьеры и др.).

3. При проведении эколого-геологических и эколого-гидрогеологических исследований (проходка горных выработок и инженерно-геологических скважин) контролю подлежат полнота и качество ведения полевой документации, включая координатную привязку скважин, описание опробуемых горизонтов, соблюдение технологии отбора проб грунта и их количество и подземных вод для оценки степени их загрязнённости, упаковки, корректность маркировки проб (заполнения этикеток), хранения и своевременной отправки в аналитическую лабораторию.

4. Контроль качества проведения эколого-гидрологических исследований включает:

- оценку полноты и качества описания водного объекта (или его части), береговой и пляжной зоны в местах расположения эколого-гидрологических створов;
- оценку корректности определения органолептических свойств воды, морфометрических характеристик, наличие зарослей высшей водной растительности, её видовой состав, площадь зарастания,

5. Контроль качества геоэкологического опробования компонентов природной среды должен включать:

- соблюдение требований нормативных документов по отбору, упаковке, маркировке, хранению проб компонентов природной среды и срокам их доставки в лабораторию;
- фиксацию наличия, состояния и исправность полевых приборов для экспресс-определения характеристик компонентов природной среды, соблюдение методик по их эксплуатации и наличия госповерки.

6. При исследовании источников загрязнения атмосферного воздуха, поверхностных вод, донных отложений в поверхностных водных объектах, подземных вод, почв и грунтов инспекторами контроля качества проверяется полнота и правильность картирования и описания источника (тип источника негативного воздействия на компоненты природной среды, наиболее уязвимый компонент природной среды, тип, характер и мощность воздействия).

7. Контроль качества почвенных исследований включает:

- оценку репрезентативности выбора мест закладки почвенных шурфов, расчисток, закопушек,
- полноты и качества описания почвенного профиля по генетическим горизонтам,
- соблюдения технологии отбора проб почв для определения агрохимических показателей, химического состава, бактериологического и гельминтологического загрязнений, достаточность отобранной массы почвенного образца для проведения комплекса аналитических исследований, упаковки, корректность маркировки проб (заполнения этикеток), хранения и своевременной отправки в аналитическую лабораторию.
- при проведении почвенных исследований также проводится геоэкологическое опробование верхних горизонтов проб, при котором инспектором контроля качества инженерно-экологических изысканий фиксируется соблюдение/не соблюдение технологии отбора проб по методу «конверта», полнота описания образцов, их количество, достаточность отобранной массы пробы почвы для проведения комплекса аналитических исследований, соблюдение правил упаковки, корректность маркировки проб (заполнения этикеток), хранения и своевременной отправки в аналитическую лабораторию.

8. Исследование растительного покрова может проводиться путём закладки пробных или геоботанических площадей. При этом, контролю подлежат соблюдение требований методических документов к размерам, количеству и описанию пробных площадок на лесных и безлесных участках.

9. При контроле качества исследования животного мира проводится оценка полноты и качества маршрутных и локальных описаний встречаемости следов пребывания животных и птиц и проведение учёта их численности.

10. При исследовании атмосферного воздуха и оценке физических воздействий (шумового, электромагнитного, вибрационного) контролируется состояние и исправность полевой аппаратуры (газоанализаторов, шумомеров и др.), методика её использования, количество точек опробования воздуха и измерений вредных физических воздействий, правильность составления протоколов проведения полевых инструментальных исследований.

11. Контроль качества проведения исследований радиационной обстановки включает оценку методики проведения гамма-съёмки (мощность эквивалентной дозы – МЭД), определения плотности потока радона (ППР), отбора проб компонентов природной среды на определение радионуклидного состава, а именно:

- наличия, состояния и исправности оборудования для определения МЭД и ППР;
- обоснованность сетки расположения точек измерений;
- соблюдение требований нормативных документов при проведении исследований и отбора проб, условий их упаковки, хранения и доставки в лабораторию;
- полноты и качества ведения полевой документации.

12. При исследовании участков развития опасных природных и природно-техногенных процессов и явлений экологического характера контролируется полнота и качество информации о типе процесса, его интенсивности, направленности, потенциальной зоне распространения и возможном негативном воздействии на компоненты природной среды и экосистемы в целом.

13. Исследование ландшафтной структуры территории и оценка её антропогенной нарушенности инспекторами контроля качества инженерно-экологических изысканий оценивается по полноте и качеству рабочей карты районирования, полевым описаниям участков разной степени антропогенной нарушенности и фотоматериалам.

14. Для водных объектов высшей и первой рыбохозяйственной категории следует проводить контроль качества гидробиологических исследований, включающий оценку полноты и качества характеристик ихтиофауны, фито- и зоопланктона, бентоса, высшей водной растительности и соблюдение требований методических документов по проведению гидробиологических исследований, отбору проб биологического материала, их хранению, консервации, транспортировке и лабораторным исследованиям в полевой лаборатории.

В состав ИЭИ входят также специальные исследования:

- санитарно-эпидемиологические исследования;
- медико-биологические исследования;
- социально-экономические;
- археологические.

Следует иметь в виду, что здесь приведён далеко не полный перечень характеристик, показателей и данных, которые должен отслеживать и фиксировать инспектор контроля качества ИЭИ. В каждом конкретном случае перед началом работ разрабатывается Программа контроля с учётом характеристик проектируемого объекта, особенностей территории изысканий, требований нормативных документов и Программы производства работ.

Если к этому ещё добавить, что, учитывая экономическую целесообразность проведения контроля качества ИЭИ, его, как правило, заказывают для достаточно крупных (или протяжённых) объектов, а, следовательно, и масштабы и объёмы полевых изысканий также весьма значительны.

Конечно, уже не раз отмечалось, что экологи-изыскатели вынуждены быть «многостаночниками», т.е. быть специалистами по нескольким направлениям работ (ландшафтовед-геоморфолог-почвовед и т.д.), но всё-таки – не по всем же. На наш взгляд, при таком спектре работ и исследований полевая группа (отряд) экологов-изыскателей оптимально должна включать не менее трёх специалистов, не считая технического персонала. И, в таком случае, усилий одного инспектора-эколога может быть явно недостаточно, или же он должен быть профессионалом высочайшего класса, что, согласитесь, встречается не часто...

Следует отметить, что в процессе проведения контроля качества ИЭИ мы сталкивались и с другой ситуацией, при которой для проведения полного комплекса работ и исследований экспедиционная группа состояла из инженера-эколога и рабочего, а «приборы и оборудование» включаю лопату и лом... При этом хотелось уточнить, что из этих двух замечательных вещей является «прибором», а что «оборудованием»? Естественно, что при такой «оснащённости» полевого подразделения возникают серьёзные опасения в возможности проведения изысканий.

**3-ий этап** контроля качества инженерно-экологических изысканий включает контроль камеральных работы, а именно:

- контроль качества лабораторных исследований проб компонентов природной среды;
- экспертиза технического отчёта по материалам изысканий.

Контроль качества аналитических исследований компонентов природной среды (почв, поверхностных и подземных вод, донных отложений, атмосферного воздуха) включает оценку наличия/отсутствия разрешительных документов<sup>5</sup>:

- аттестата аккредитации (в акте контроля должны быть указаны: номер аттестата аккредитации, дата регистрации аттестата аккредитации и срок окончания его действия);
- обязательного приложения к аттестату аккредитации – области аккредитации; положения об аккредитованной лаборатории;
- паспорта аккредитованной лаборатории;
- руководства по качеству аккредитованной лаборатории.

Также контролю подлежат:

- документы по организационно-квалификационной структуре лаборатории, достаточности количества персонала с представлением квалификационных документов или их копий;
- актуализированные нормативные и методические документы (в том числе по процедурам отбора проб), допущенные к применению в установленном порядке и необходимые для проведения заявленных работ;

<sup>5</sup> В настоящее время идёт полемика, следует ли требовать от аналитических лабораторий обязательной аккредитации, т.к. эта процедура является добровольной. Однако наличие аттестата аккредитации повышает вероятность получения более корректных результатов лабораторных испытаний.

- наличие оборудования (средств измерения – СИ, измерительных установок, испытательного оборудования, средств отбора проб – при возложенной на лабораторию ответственности за отбор проб, вспомогательного оборудования), необходимого для проведения работ, а также оборудования, обеспечивающего контроль условий проведения работ;
- наличие стандартных образцов – СО, аттестованных смесей – АС, химических реактивов, веществ, расходных материалов и т.п., необходимых для проведения работ;
- наличие системы регистрации и прохождения проб (при выполнении лабораторией отбора проб);
- системы контроля качества результатов испытаний, выполняемых в лаборатории;
- системы отчетности о результатах испытаний;
- внутренних документов по безопасному обращению, транспортированию, хранению, использованию и плановому обслуживанию измерительного оборудования с целью обеспечения надлежащего функционирования и предупреждения загрязнения или порчи.

При проведении контроля качества выполнения лабораторных исследований необходимо оценивать соблюдение технических требований к помещениям и условиям окружающей среды (биологической стерильности, пыли, электромагнитным помехам, радиации, влажности, электроснабжению, температуре, уровню шума и вибрации применительно к соответствующей технической деятельности и т.д.), которые могут оказать влияние на результаты испытаний и калибровки, а также полноту, регулярность и качество регистрации этих показателей в соответствующих журналах (бланках).

Экспертиза технического отчета по результатам инженерно-экологических изысканий включает:

- проверку окончательных результатов обработки результатов полевых инженерно-экологических работ;
- проверку соответствия отчетных материалов требованиям нормативных документов к содержанию, составу, укомплектованности графическими и текстовыми приложениями;
- проверку соответствия отчетных материалов требованиям стандартов к их оформлению;
- проверку состава и объемов, выполненных полевых, лабораторных и камеральных работ, требованиям задания на выполнение инженерных изысканий и программы изысканий;
- оценку соответствия состава и объемов, выполненных полевых, лабораторных и камеральных работ с результатами их обработки, представленными в отчетных материалах;
- оценку качества и полноты отчетных материалов и их соответствия требованиям нормативных документов;
- составление экспертных заключений по результатам экспертизы отчетных материалов (по каждому техническому отчету и разделу по инженерно-экологическим изысканиям в сводном отчете).

## **Выводы**

1. Контроль качества инженерно-экологических изысканий становится всё более актуальной и востребованной процедурой вследствие снижения качества, а иногда и полной фальсификации материалов ИЭИ.

2. Контроль качества ИЭИ может быть выборочным и стопроцентным, который является существенно более эффективным.

3. Контроль качества проводится инспекторами контроля, имеющими значительный опыт проведения ИЭИ, обладающими принципиальностью, непредвзятостью к исполнителям ИЭИ, объективностью.

4. Проведение контроля качества ИЭИ на всех этапах позволяет значительно улучшить качество самих изысканий, а, следовательно, и итоговых материалов, что в свою очередь приводит к повышению качества проектных материалов за счёт принятия корректных, экологически обоснованных проектных решений.

## СЕКЦИЯ «ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В СОСТАВЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ»

Жданов С.В.

АО «Полиметалл Инжиниринг», Санкт-Петербург, pr@polymetal.ru

### МЕТОДЫ РАСЧЕТА ДЕПРЕССИОННОЙ КРИВОЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ВЛИЯНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ БОРТОВ КАРЬЕРА

Добыча твердых полезных ископаемых, а также организация фундаментов глубокого заложения связана с обустройством открытых горных выработок – карьеров.

Грамотный расчет углов бортов и откосов карьера, организация дренажных мероприятий, внедрение защитных геотехнических мероприятий помогает производить безопасные горные работы и повышает рентабельность горнодобывающего предприятия.

Обустройство бортов карьера с крутыми углами связано с экономией денежных средств в результате снижения объема вскрышных работ, затрат на перемещение и формирования отвалов горных пород. Кроме того, крутые углы заложения ботов позволяют увеличивать долю извлекаемой руды (рисунок 1).

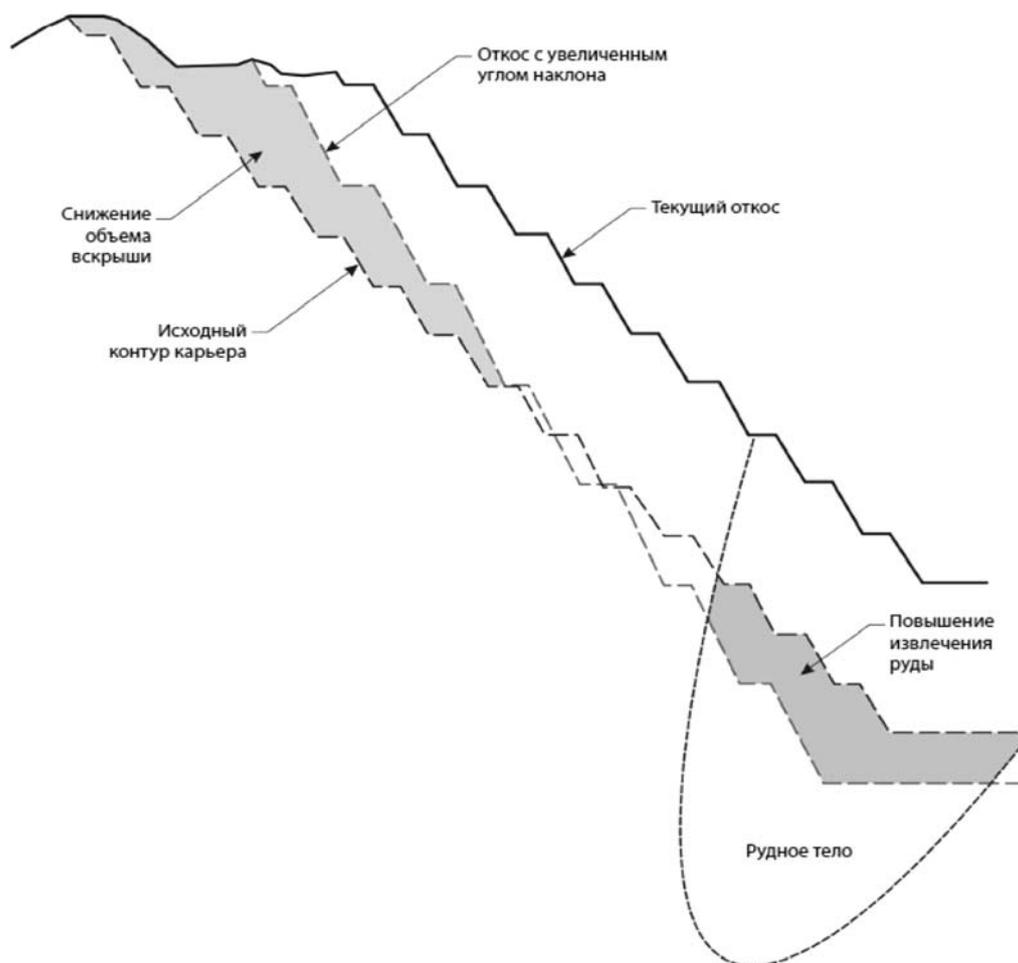


Рис. 1. Влияние увеличения угла борта карьера на уменьшение объемов вскрышных работ и увеличение доли извлекаемого полезного ископаемого

Однако, увеличение углов снижает устойчивость бортов. При потере бортом устойчивости начинают развиваться оползневые процессы (рисунок 2). Устойчивость бортов и откосов определяется расчетным коэффициентом запаса устойчивости. Коэффициент запаса устойчивости – это отношение суммы всех сил, удерживающих откос в равновесии, к сумме всех сдвигающих сил, стремящихся вывести его из равновесия; действие этих сил в инженерных методах расчета устойчивости переносится на расчетную или потенциальную (наиболее напряженную) поверхность скольжения.



**Рис. 2. Пример потери устойчивости борта и образование оползня в карьере около Сиднея, Австралия (фотография Courtesy Tim Sullivan, Pells Sullivan Meynink [5, 9])**

Наиболее напряженной является поверхность в примыкающем к борту массиве, верхней своей частью выходящая на земную поверхность (верхнюю площадку уступа или отвала), а нижней – в подошву (нижнюю бровку) борта, по которой коэффициент запаса устойчивости борта (откоса уступа или отвала), по которой коэффициент запаса устойчивости является минимальной величиной из всех вычисленных по ряду расчетных поверхностей коэффициентов запаса

устойчивости. Массив ограниченной данной поверхностью называется призмой возможного обрушения.

На устойчивость бортов оказывают влияние многочисленные факторы: геологические, гидрогеологические, горно-технические, а также климатические условия.

Устойчивость откосов уменьшается с уменьшением характеристик сопротивления сдвигу (сцепления и внутреннего трения), увеличением трещиноватости пород, количества разрывных нарушений.

Образование поверхностей скольжения и их положение в массиве в значительной степени зависит от ориентировки поверхностей ослабления, в том числе слоистости, сланцеватости, тектонической нарушенности.

Климатические условия района месторождения влияют на выветривание пород, уменьшение их прочности и устойчивости.

На устойчивость бортов карьера оказывают влияние горно-технические условия: высота бортов и уступов, углы откосов, ширина площадок, конфигурация бортов в плане и в разрезе, подземные горные выработки, способы буровзрывных работ.

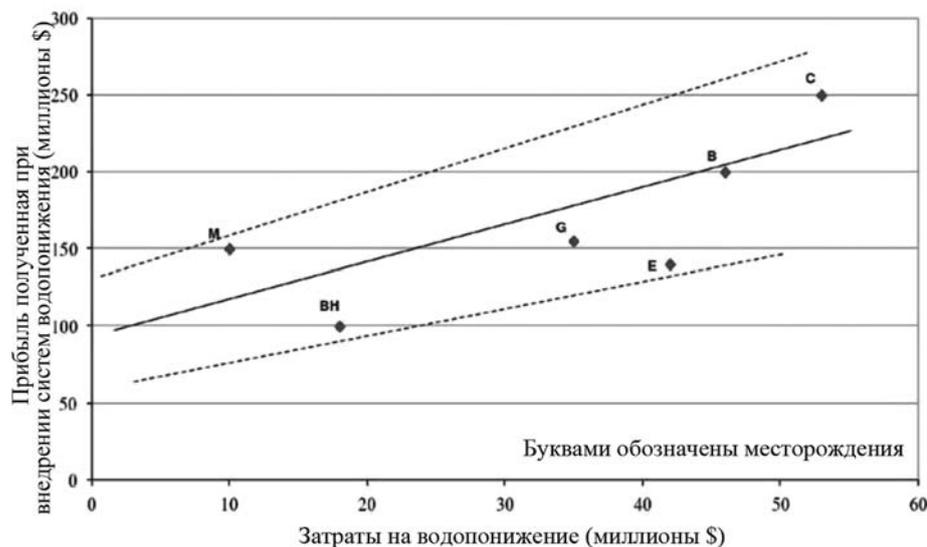
Одно из существенных влияний на устойчивость бортов карьера оказывают подземные воды. Гидростатическое давление, действующее на поверхность скольжения, уменьшает нормальную составляющую веса пород за счет гидростатического взвешивания, что приводит к уменьшению сил трения и снижению устойчивости. Действием сил гидростатического взвешивания обусловлены и оползни уступов, которые возникают на карьерах при пригрузке участков высачивания подземных вод глинистым материалом, образующимся в результате осыпания вышележащих пород. Пригрузка постепенно приводит к подпору фильтрующихся вод и к увеличению гидростатических сил.

Помимо гидростатических сил, на устойчивость бортов оказывают влияние гидродинамические силы. Гидродинамические силы проявляются при наличии высоконапорных водоносных горизонтов.

Проявлением гидростатических и гидродинамических сил является избыточное поровое давление, возникающее при дополнительном уплотнении водонасыщенных глинистых пород. Одной из причин возникновения порового давления в глинистых породах является снижение уровня подземных вод при дренировании месторождений, приводящее к уменьшению гидростатических сил и к увеличению нагрузки на пласт от вышележащих пород.

В целом гидростатическое взвешивание и гидродинамическое давление воздействуют на общую устойчивость, если значительная часть «призмы возможного оползания», ограниченная поверхностью скольжения, располагается ниже депрессионной кривой или при больших перепадах напоров вблизи откоса.

Системы водопонижения и дренажа снижают действие гидродинамических и гидростатических сил и позволяют формировать более крутой угол борта карьера, что отображается в увеличении коэффициента запаса устойчивости борта. Введение дренажных мероприятий позволяет повысить рентабельность горнодобывающего предприятий. Взаимосвязь затрат на внедрение дренажных систем и увеличение прибыльности предприятия приводится на рисунке 4.



**Рис. 3. Взаимосвязь затрат на водопонижение и получения дополнительной прибыли при увеличении углов бортов карьера, за счет устойчивости**

При расчетах оптимальных углов наклона борта, проектировании геотехнических мероприятий для увеличения устойчивости и дренажных систем необходимо учитывать гидрогеологические условия, напоры, условия формирования и разгрузки подземных вод, мощности обводненной толщи и рассчитывать депрессионные кривые подземных вод.

На рисунке 4 показано изменение коэффициента запаса устойчивости борта карьера в зависимости от положения и

конфигурации депрессионной кривой подземных вод. Расчет производился методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения. В программе Slide версия 6.0. Программа позволяет автоматически рассчитывать до 5000 поверхностей на исследуемом участке. Коэффициент запаса устойчивости определяется по самой ослабленной зоне борта.

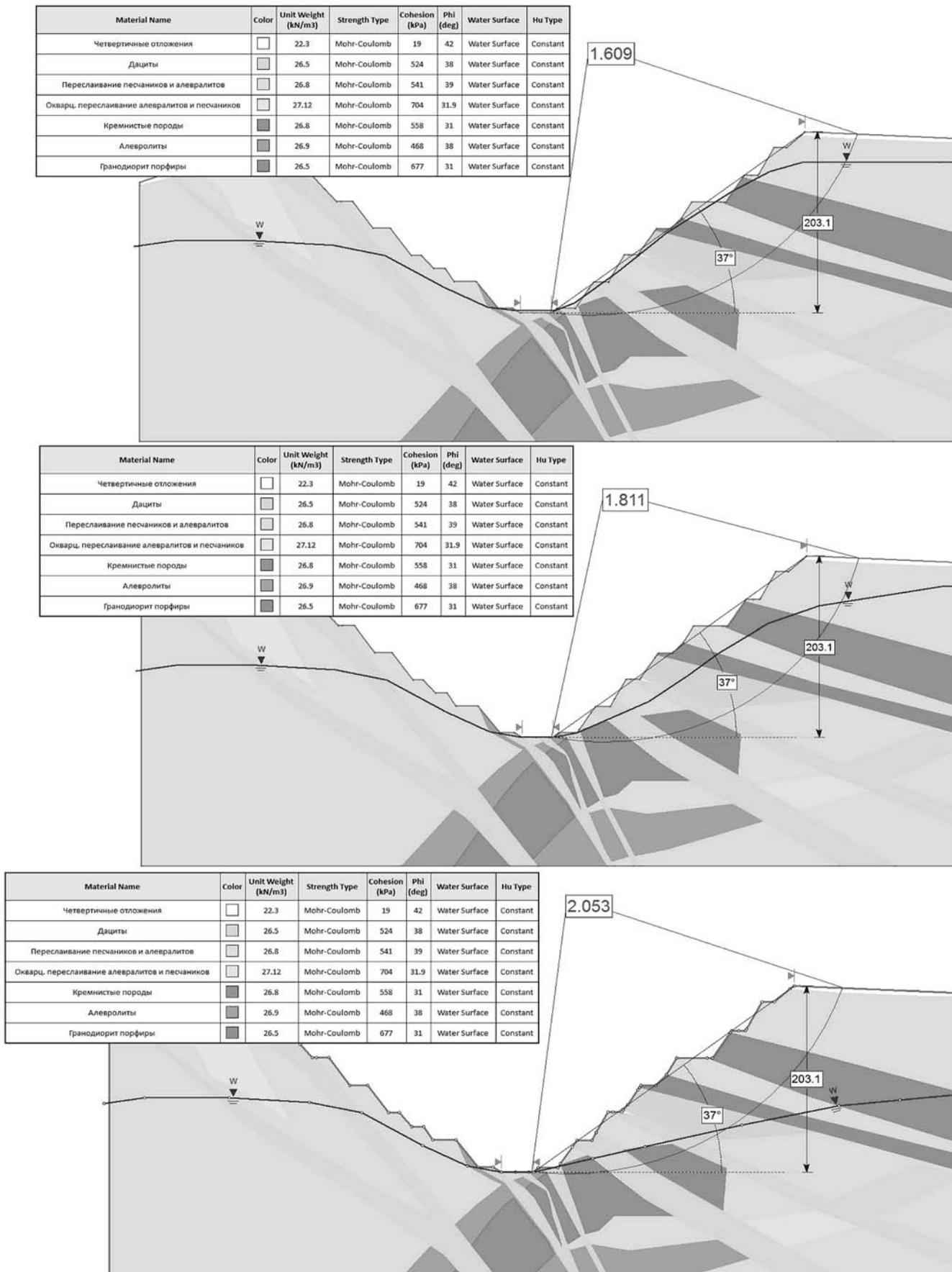


Рис. 4. Влияние конфигурации депрессионной кривой на устойчивость борта карьера

Расчет и построение депрессионной кривой основывается на аналитических методах, двухмерном профильном моделировании и трехмерном моделировании фильтрации подземных вод.

Депрессионные кривые могут быть построены на основании уравнений для напорной и безнапорной фильтрации:

$$H_x = \frac{Q_0'}{2\pi km} \ln \left| 1 - e^{-\frac{\pi x}{\sigma}} \right| + H - \frac{Q_0' R}{2\sigma km} \left( \frac{1}{2} - \frac{x}{2R} \right) \quad (1)$$

$H_x$  – напор пониженного пьезометрического уровня подземных вод на расстоянии  $x$  от карьера, м,

$Q_0'$  – расход подземных вод дренажных систем карьера, м,

$K$  – коэффициент фильтрации, м/сут,

$m$  – мощность водоносного горизонта, м,

$r_c$  – приведенный радиус карьера,

$R$  – радиус влияния карьера.

$$h_{x/t} = \sqrt{h_e^2 + (h_1^2 - h_0^2) \left[ S \left( \frac{x}{R} \tau \right) - 1 + \frac{x}{R} \right]} \quad (2)$$

$h_{x/t}$  – напор безнапорного водоносного горизонта на удалении  $x$  от карьера, м,

$h_e$  – первоначальная мощность потока в сечении  $x$ , м,

$h_1$  – первоначальная мощность потока в месте расположения карьера, м,

$h_0$  – уровень воды в карьере, м,

$a$  – коэффициент урвнеспроводности, м<sup>2</sup>/сут,

$$\tau = \frac{at}{R^2}, \quad S \left( \frac{x}{R} \tau \right).$$

Опыт использования аналитических решений показывает, что депрессионная кривая имеет достаточно пологую форму и отличается от наблюдаемых значений напоров подземных вод около борта карьера при ведении горных работ.

Двухмерное профильное моделирование осуществляется на базе программных комплексов 2D PlaxFlow и Seep/W (рисунок 5, 6). Программные модули основаны на конечно-элементном методе моделирования с автоматической разбивкой моделируемой области на поля треугольной формы. Программные комплексы позволяют решать стационарную и нестационарную задачу напорного и безнапорного режима фильтрации. Существенным плюсом моделирования является скорость создания профильных моделей, учет инфильтрации и возможных фильтрационных неоднородностей. Минусом такого вида моделирования является невозможность пространственного расположения границ и как следствие возможные неточности при расчете депрессионных кривых.

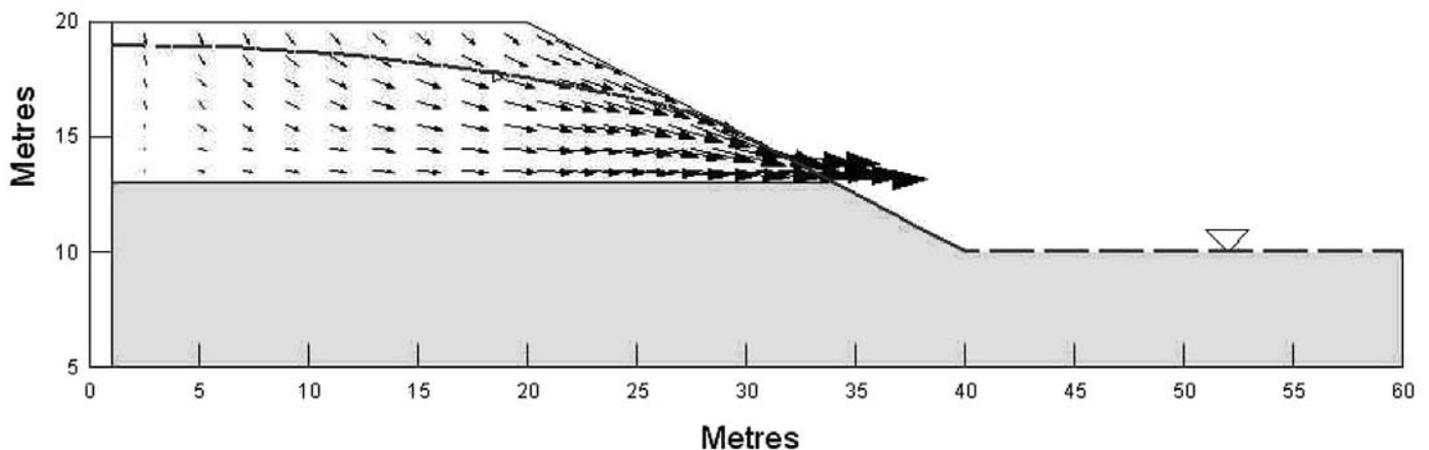


Рис. 5. Расчет депрессионной кривой и поля скоростей фильтрации подземных вод в программном модуле SEEP/W

Наиболее точным, в наибольшей мере учитывающим природные условия, является трехмерное численное моделирование фильтрации подземных вод с помощью таких программ как Processing Modflow, Visual Modflow, использующие метод конечных – элементов.

Опыт эксплуатации месторождений полезных ископаемых, показал, что наиболее точным методом расчета депрессионных кривых является трехмерное моделирование фильтрации подземных вод. Сопоставление схем гидроизогипс, полученных в результате численного моделирования геофильтрации, и наблюдаемой ситуации на месторождениях полезных ископаемых позволяют на практике воспользоваться более удобным и подходящим программным комплексом.

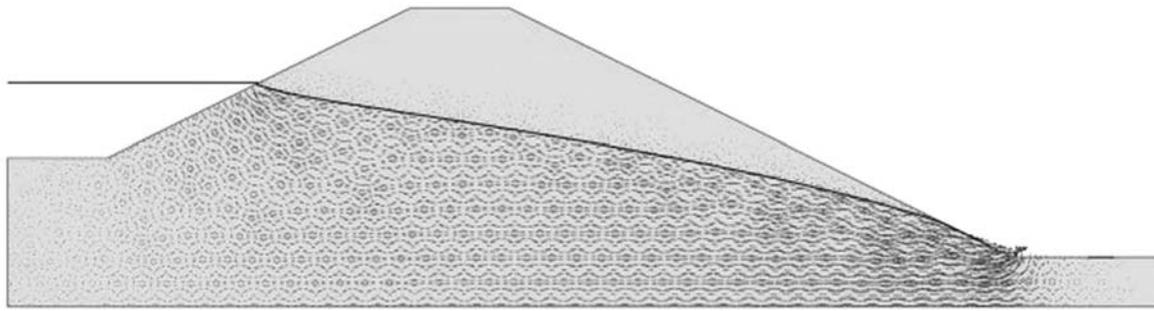


Рис. 6. Расчет депрессионной кривой и поля скоростей фильтрации подземных вод в программном модуле 2D PlaxFlow

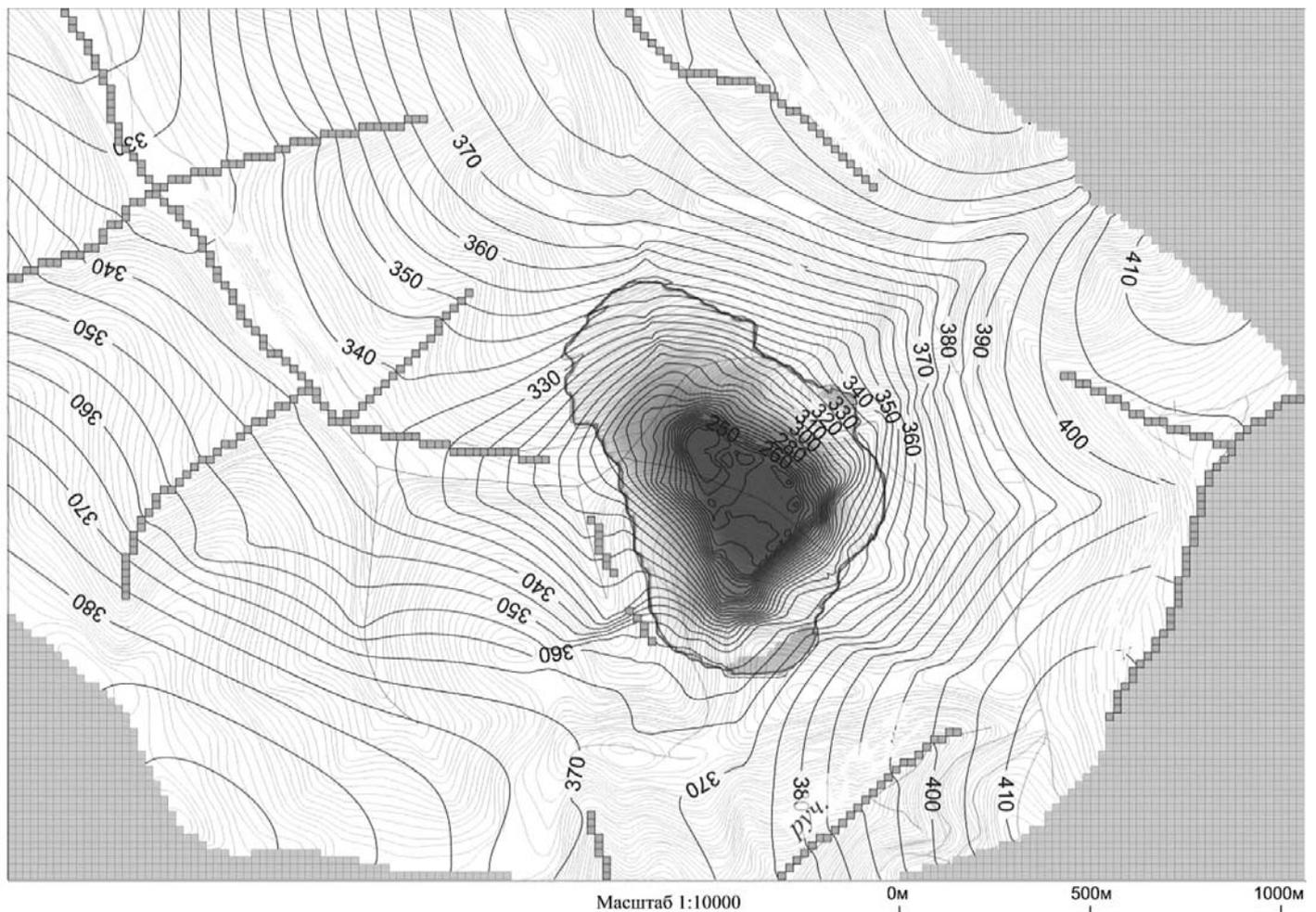


Рис. 7. Пример расчета схемы гидроизогипс безнапорного водоносного горизонта с помощью программ трехмерного численного моделирования

### Список литературы

1. Григорьев А.А., Горбунова Е.В., Девяткина А.Н. Оценка устойчивости бортов карьеров (разрезов) и отвалов. Методические указания. Владивосток, ДВГТУ, 2010.
2. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики, Москва, «Недра», 1974.
3. Мироненко В.М. Гидрогеологические исследования в горном деле, Москва, «Недра», 1976.
4. Петров И.Ф. (редактор), Фисенко Г.Л. (составитель) и др. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных разрезах, Санкт-Петербург, ВНИМИ, 1998.
5. Рид Джон, Стейси Питер. Руководство по проектированию бортов карьера. Правовед, 2015 г.
6. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. Учеб. пособ. – М., Изд-во МГУ, 1998.
7. Beale Geoff, Read John. Evaluating Water in Pit Slope Stability. CRC, CRISCO, 2013.
8. Bear Jacob, Cheng Alexander H.-D. Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport, Springer, 2010.
9. Read John, Stacey Peter. Guidelines for open pit slope design. CRC, CRISCO, 2010.
10. Wen-Hsing Chiang 3D-Groundwater Modeling with PMWIN. Springer, 2005.
11. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Ленинград, «Недра», 1977.

Лехов С.М., Царев М.А.

МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, trakky@mail.ru, domikes@gmail.com

## СЛОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДОМ ОДИНОЧНЫХ ОТКАЧЕК ИЗ СКВАЖИН

### Введение

Опытно-фильтрационные работы (ОФР) в скважинах являются основным методом изучения гидрогеологических параметров при изысканиях. Сложившийся к настоящему времени подход к планированию ОФР сводится к соблюдению требований нормативной документации, в частности п.7.14 СП 11-105-97, где сказано о достаточности использования одиночных и экспресс-методов. Также допустимы и лабораторные методы и расчеты по эмпирическим формулам в случае необходимости определения лишь коэффициента фильтрации. Кустовые опыты согласно нормативному документу надлежит использовать лишь при обосновании в программе изысканий, так как кратковременные (до 12 часов) одиночные опыты обозначаются как допустимый метод для ориентировочной оценки коэффициента фильтрации. Исчерпывающим требованием обозначается проведение не менее трех одиночных опытов для опробования водоносного горизонта с соблюдением устаревшего ГОСТ 23278-78.

В современной практике инженерных изысканий в крупных городах гидрогеологические исследования минимизируются и исполняются лишь ради исполнения нормативных требований [2]. Причин этому множество, к примеру, высокая стоимость проведения работ, высокие требования к квалификации гидрогеолога, высокая продолжительность проведения опытов, а также их подготовки и интерпретации, необходимость круглосуточного наличия, как специалистов, так и технического персонала при проведении опытно-фильтрационных работ. Все вышперечисленное не является полным списком факторов, осложняющих проведение гидрогеологических работ. В крупных организациях, проводящих изыскания под строительство, гидрогеологические изыскания выполняются в минимальном объеме, то есть проводятся в лучшем случае одиночные откачки, а в основном – экспресс опыты. Но даже эти опробования выполняются лишь для прохождения экспертизы. Кроме того, сказывается низкий уровень качества буровых работ по подготовке гидрогеологических скважин.

Опытно-фильтрационные работы как вид гидрогеологических исследований ставят целью получение обоснованных параметров [1], что особенно важно при решении таких задач как водопонижение, которое невозможно рассчитать без емкостных параметров (гравитационной и упругой водоотдачи), эти параметры могут быть получены только путем проведения длительной кустовой откачки или налива. Зачастую кустовые опыты заменяются на одиночные, а в случае необходимости прогнозных расчетов все недостающие параметры берутся из справочных материалов.

### О проведении опытно-фильтрационных работ при изысканиях

Постановка одиночных опытов, как правило, происходит без стадии планирования эксперимента. При этом отсутствует не только имитация опыта на модели, но и даже простые аналитические расчеты. Техническая подготовка также оставляет желать лучшего. Используемый математический аппарат представляет собой простейшие формулы, существенно развитые и доработанные с тех пор. Аппарат производства и интерпретации ОФР в XX столетии был разработан и доведен до высокого уровня [2]. В изысканиях же нашего времени нормативное требование проводить ОФР выполняется все более формально. Проведение кустовых опытов на грунтовые горизонты в Москве проводятся все реже и реже, уже не говоря про нижележащие напорные горизонты. Изучение проводимости  $T$  и водоотдачи  $m$  проводится в кратковременных наскоро сделанных без должной квалификации одиночных скважинах, без планирования эксперимента, моделирования возможных ситуаций. Обработка результатов сводится к построению 1 графика и проведению к нему касательной, то есть «по Дюпюи». При этом не соблюдаются все предписания, начиная от горизонтальности водоупора и заканчивая неоднородностью коэффициентов фильтрации по вертикали. Этот вопрос имеет и вторую сторону: используя формулу Дюпюи, выведенную в XIX столетии для дамб и плотин, перечеркиваются все последующие открытия и разработки таких прогрессивных деятелей науки, как Шестаков В.М., Полубаринова-Кочина П.Я., Мироненко В.А., Чарный И.А. и других.

В ряде случаев отсутствует первичный геологический материал: карта гидроизогипс, буровые журналы, геологические разрезы. Сюда же часто накладывается факт низкоквалифицированной работы геодезистов, которые зачастую не в состоянии сделать привязку устья опробуемой скважины. Все чаще разрез глубже забоя скважины, положение водоупора остаются неизученными. Параметры упругой емкости  $m^*$ , перетока с через слабопроницаемые слои одиночными опытами, как известно, не могут быть определены по ряду причин – из-за влияния емкости ствола, высачивания, несовершенства, кольматации и, конечно, неоднородности.

Традиционно при выходе на объект выполняется инженерно-геологическое бурение, а после него или в одновременно с ним выполняются гидрогеологические исследования. В результате снижается качество ОФР вследствие нарушения гидрогеологических условий уже пробуренными рядом инженерно-геологическими скважинами так как появляется локальная гидродинамическая связь между горизонтами, или в процессе бурения (откачка-закачка бурового раствора и т.д.), что делает затраты на опробование водоносного горизонта напрасными. Размещение и очередность гидрогеологических скважин подчиняется установленным, согласованным заказчиком и организацией точкам бурения, что делает возможным необходимую очередность работ, однако гидрогеологические работы сокращаются в виду необходимости снизить расходы на их производство, ОФР остаются формальным видом работ в изысканиях.

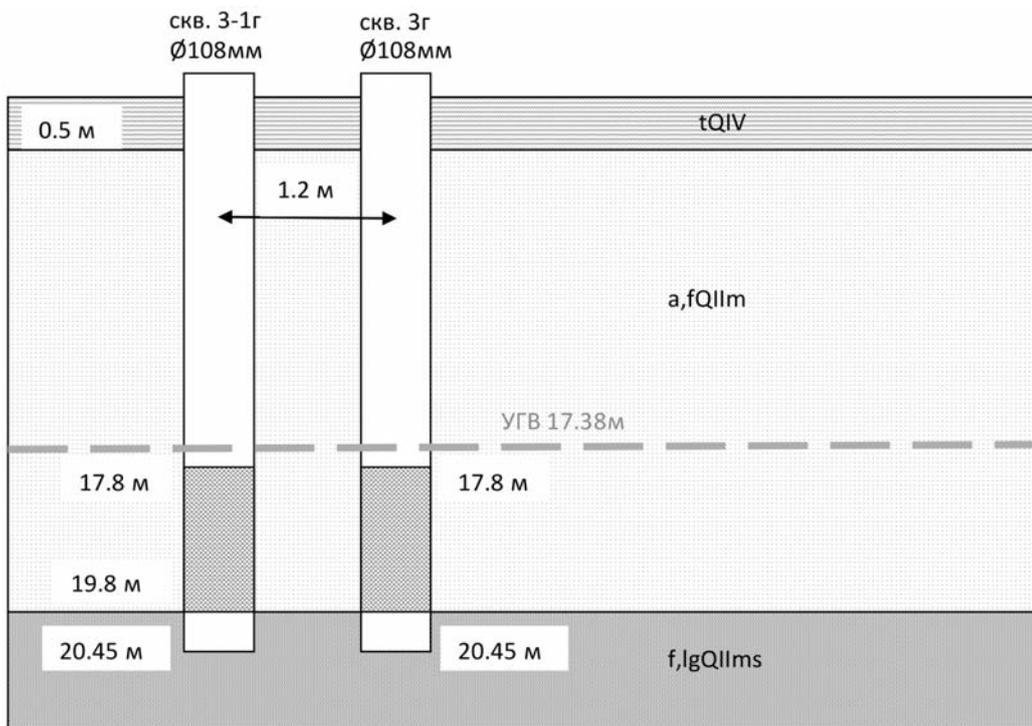
Проведение одиночных опробований требует тщательного планирования эксперимента: выбор диаметра и типа фильтра, расположения скважины, попытка установки хотя бы 1 пьезометра. Ввиду того, что это не делается, для откачек характерно быстрое осушение ствола скважины с минимальной реакцией в пласте, либо минимальный дебит, что никоим образом не дает пласту среагировать на создаваемое возмущение в объеме, необходимом для достоверного определения фильтрационных параметров пласта. Это подтверждается результатами моделирования, которые будут приведены автором в будущей работе. Наливы из-за переполнения ствола, как правило, или быстро оканчиваются, или переходят с постоянного дебита на постоянный напор, что делает расчет проводимости по известным аналитическим моделям невозможным.

В кратковременных одиночных откачках и наливах не представляется возможным доказать корректность расчета даже значений проводимости. Например, способ расчета по прямолинейному участку графика зависимости понижения от логарифма времени далеко не всегда применим. Наступление этого, квазистационарного периода следует проверять, исходя из знания емкости пласта, которая одиночным опробованием не определяются.

**Постановка эксперимента**

С целью установить целесообразность проведения одиночных опытов для оценки коэффициента фильтрации, авторами было предложена постановка опытов в одной и той же скважине: экспресс-налива, одиночного налива с постоянным дебитом, проведение в ней кустового налива с дополнительной скважиной на расстоянии 1,2 м от первой, а также выполнена лабораторная оценка величины коэффициента фильтрации.

Водовмещающими отложениями надъюрского водоносного горизонта, являются пески средней крупности четвертичного возраста  $a, fQ_{lms}$ . Подстилающим разделяющим слоем горизонту служат одновозрастные глинистые образования. Горизонт на участке обследования безнапорный, глубина залегания уровня подземных вод от поверхности земли 17,38м (а.о. 125,85м).



**Рис.1. Схематическое расположение скважин в пласте**

Методика проведения работ в процессе одиночного налива с постоянным дебитом [5], заключалась в прослеживании динамики повышения уровня воды в скв. 3г (рис. 1), до относительной стабилизации повышения во времени и продолжением наблюдений за уровнем в процессе восстановления уровня подземных вод. В процессе кустового налива с постоянным дебитом, производилось прослеживание динамики повышения уровня воды в дополнительно пробуренной скв. 3-1г которая использовалась в качестве центральной с наблюдением динамики повы-

шения уровня в наблюдательной скв. 3г (расстояние между скважинами составило 1,2 м), до относительной стабилизации повышения во времени и продолжением наблюдений за уровнем в процессе восстановления уровня подземных вод. В процессе экспресс – наливов, методика проведения опыта заключалась в одновременном понижении уровня воды в одиночной скважине 3г и последующим наблюдением за восстановлением уровня воды до его относительной стабилизации.

Обработка результатов повышения уровня в процессе наливов с постоянным дебитом, производилась графоаналитическим методом, который основан на методе Тейса-Джейкоба, с построением диагностического графика временного прослеживания в полулогарифмических координатах. Проводимость рассчитывалась по следующей формуле:

$$T = \frac{Q}{4\pi(S_2 - S_1)} \ln \frac{t_2}{t_1}$$

Где T – проводимость, м<sup>2</sup>/сут; Q – дебит налива в скважину, м<sup>3</sup>/сут; t<sub>1</sub>, t<sub>2</sub> – значения времени на прямой Джекоба; S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> – соответствующие повышения.

Обработка результатов восстановления уровня после прекращения наливов с постоянным дебитом производилась графоаналитическим методом по конечному ходу восстановления, с построением диагностического графика в полулогарифмических координатах S – t/t<sub>в</sub>. Проводимость рассчитывалась исходя из формулы 2 по двум точкам, при выходе графика на прямую линию:

$$T = \frac{Q}{4\pi(S_2 - S_1)} \ln \frac{t_2^*}{t_1^*}$$

где  $T$  – проводимость, м<sup>2</sup>/сут;  $Q$  – дебит налива в скважину, м<sup>3</sup>/сут;  $t_1^*$  и  $t_2^*$  – отношение значения времени к времени восстановления;  $S_1, S_2$  – соответствующие отношениям понижения.

В качестве расчетной схемы при экспресс-наливах, была выбрана схема безнапорного, изотропного, неограниченного в плане пласта.

Интерпретация опыта уровня производилась по методике, изложенной в «Динамике подземных вод» В.М. Шестакова [4], а также графоаналитическим методом Бауера-Райса [3, 6], с построением диагностического графика временного прослеживания в полулогарифмических координатах  $\lg S_o/S_w - t$ .

Коэффициент фильтрации рассчитывался исходя из формулы 3

$$k = 2.3 \frac{r_c^2}{2l_w} C \ln \frac{R}{r_w} \quad (3)$$

где  $k$  – коэффициент фильтрации, м/сут;  $r_c$  – радиус опытной скважины, м;  $l_w$  – длина фильтра, м;  $C$  – коэффициент наклона прямой на диагностическом графике, при наступлении квазистационарного режима.

Радиус влияния  $R$  рассчитывается для совершенной по вскрытию скважины:

$$\ln \frac{R}{r_w} = \left( \frac{1.1}{\ln \frac{z}{r_w}} + \frac{r_w A_3}{l_w} \right)^{-1} \quad (4)$$

где  $A_3$  – безразмерный параметр, зависящий от длины фильтра и радиуса опытной скважины;  $r_w$  – радиус фильтра опытной скважины, м.

Перед началом работ выполнены прокачки всех скважин до появления чистой воды, затем уровни восстановлены до начальных значений.

Результаты опытно-фильтрационных работ, представлены в таблице 1.

Таблица 1

№ скв	Мощность горизонта, м	Длина фильтра, м	Метод опробования	Дебит, куб.м/сут	Глубина уровня от оголовка, м		Значение коэф. фильтрации, м/сут
					Стат.	Динам.	
3-1г (ц)	2,4	2	Кустовой налив/Восстановление	28,46	17,38	9,79	0,9 0,8
3г (н)	2,4		Кустовой налив/Восстановление	28,46	17,38	16,98	18,0 14,7
3г	2,4	2	Одиночный налив/Восстановление	28,83	17,38	8,6	2,2 0,4
3г	2,4	2	Экспресс-налив: по В.М. Шестакову/Решение Bouwer-Rice	228,56	17,38	6,88	0,39 0,34
3г	2,4	2	Экспресс-налив: по В.М. Шестакову/Решение Bouwer-Rice	48,5	17,38	15,63	0,27 0,22

Полученный в результате экспресс-налива коэффициент фильтрации характеризуются низкими значениями, соответствующими фильтрации в прискважинной зоне, в то время как та же скважина при кустовом опыте как наблюдательная дает значение, превосходящее его на два порядка. Подобная ситуация складывается и в отношении параметра полученного в результате одиночного налива с постоянным дебитом, интерпретация полученных данных одиночного опыта как всегда затруднена по-видимому из-за изменчивой кольматации во времени.

Следует отметить, что значение коэффициента фильтрации, полученное в результате обработки восстановления после одиночного налива с постоянным дебитом в скважине 3г, является низким, по-видимому, из-за отсутствия обсыпки в скважине вокруг фильтра, как и значение, полученное в результате интерпретации восстановления уровня воды в скважине после экспресс-налива.

## Выводы

Зачастую наблюдается ситуация, когда не ясна и конечная цель опытно-фильтрационных работ при их планировании и проведении в ходе изысканий, вследствие чего, например, после последующего выяснения необходимости моделирования для

решения задачи подпора или водопонижения, специалист закладывает в модель необоснованные параметры, иногда и вовсе несуществующие, следовательно заключение специалиста следует признавать необоснованными.

Кроме того, не следует забывать, что помимо коэффициента фильтрации существуют такие параметры, как пьезопроводность, емкостные параметры пласта, которые невозможно определить одиночными опытами [4]. А ведь эти параметры необходимы для решения таких гидрогеологических задач, как задачи водопонижения, расчет дренажа, расчет устойчивости склона. Все это говорит о том, что проведение опытно-фильтрационных работ проводится лишь для заполнения пустот в производственных отчетах, а не для решения каких-то конкретно задач. Исходя из этих соображений и применяются одиночные опыты, а в ряде случаев еще и экспресс-опробования, как наиболее простые и дешевые опытно-фильтрационные работы.

Перед проведением опытно-фильтрационных работ, как и перед проведением всех изысканий в целом, должна быть поставлена конкретная цель, определен список задач. И уже после этого должны быть выбраны те или иные виды работ. Одиночные и, особенно, экспресс опыты на участке строительства сооружения должны быть заменены на 1 – 2 кустовые откачки или налива. Ссылка изыскателей на высокую цену кустовых опытов и нормативные документы, предусматривающие их лишь в редких случаях, несостоятельны. Цена бурения наблюдательной скважины диаметром 89 мм с пластиковым фильтром до верхов водоносного пласта соизмерима, например, с комплексом определений физико-механических параметров, не говоря о зондированиях разного рода, но она окупается достоверностью параметров.

Затраты на производство одной наблюдательной скважины оправдывают бурение всех остальных одиночных скважин которые дают лишь относительную изменчивость параметра на площади и сами по себе не дают обоснованную оценку величины коэффициента фильтрации, в виду влияния емкости ствола скважины, переменной кольматации в течение всего опыта, что искажает исследуемый график.

Сложилась ситуация, при которой ОФР проводятся номинально, для соблюдения требований нормативной документации, при этом полностью игнорируя задачу для которой они проводятся, что ведет за собой культивирование недобросовестных исполнителей с чисто формальным отношением.

Таким образом, бурение наблюдательной скважины является необходимой практической задачей для достижения результата, отвечающего затраченным средствам на буровые работы, в случае необходимости достоверного определения параметров.

#### Список литературы

1. Веригин Н.Н. Методы определения фильтрационных свойств горных пород // М. Госстройиздат, 1962 г., 180с
2. Лехов М.В. Гидрогеологические исследования и прогнозное моделирование в инженерных изысканиях // Инж. изыскания. 2013, №1, с. 24 – 29
3. Синдаловский Л.Н. Справочник аналитических решений для интерпретации опытно-фильтрационных опробований // СПб. Изд-во С.-Петерб. Ун-та, 2006, 769с.
4. Шестаков В.М. Динамика подземных вод //М., Изд-во Моск. Ун-та, 1979 г., 368с.
5. Шестаков В.М. Башкатов Д.Н. Опыт-но-фильтрационные работы //М. Недра, 1974, 204с.
6. Bouwer H, and R. C. Rice, A slug test for determining hydraulic conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells, Water Resour. Res., 12(3), 423-428, 1976.

**Лехов В.А.**

МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, v.lekhov@gmail.com

## УЧЕТ ЗОНЫ АЭРАЦИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОПЫТНЫХ ОТКАЧЕК В БЕЗНАПОРНОМ ВОДОНОСНОМ ГОРИЗОНТЕ

В откачках из безнапорных пластов при нестационарном режиме фильтрации проявляется гравитационная водоотдача на свободной поверхности. В данном исследовании проводится сравнение теоретических моделей для обработки опытных откачек, которые в разной степени учитывают влияние гравитационной и упругой водоотдачи на характер снижения уровней, и моделирование влагопереноса в зоне неполного водонасыщения для уточнения параметров водоотдачи на примере данных откачки из куста 2К, вскрывающего безнапорный аллювиальный горизонт. Модели, которые обычно используют для интерпретации откачек, в безнапорном потоке различаются по способу учета и описания гравитационной и упругой водоотдачи и наличия вертикальной анизотропии среды фильтрации. Наиболее известные из них модели Боултона [1], Ньюмана [1] и Матиаса-Батлера [4].

В таблице 1 показано, как учтен тот или иной этап для каждой модели.

Опытная откачка проводилась из аллювиального водоносного горизонта, сложенного песками, от среднезернистых в основании до мелкозернистых в верхней части, общей мощностью 22 м, которые подстилаются повсеместно слабопроницаемым водоупором, сложенным глинами.

По результатам опытной откачки из куста 2К строились графики временного прослеживания  $S \pm \lg t$  и комбинированного  $S \pm \lg(t/r^2)$ . По графику комбинированного прослеживания отчетливо прослеживаются 2 перегиба у кривых, которые показывают три этапа изменения уровней в процессе откачки: упругий, ложностационарный и гравитационный. Для интерпретации данных опытной откачки использовался программный комплекс ANSDIMAT [2], в котором применялась схема неограниченного безнапорного потока, для всех трех упомянутых расчетных моделей.

Сравнение наборов параметров моделей

Модель	Гравитационная водоотдача	Упругая водоотдача	Вертикальная анизотропия проницаемости
Боултона	Учитывает динамику водоотдачи	Не учитывает	Не учитывает
Ньюмана	Учитывает, но водоотдача постоянна	Учитывает	Учитывает
Матиаса-Батлера*	Учитывает динамику водоотдачи	Учитывает	Учитывает

\* - модель учитывает влагоперенос в зоне аэрации

Таблица 2

Параметры грунтового горизонта определенные по каждой наблюдательной скважине и по всем сразу с использованием моделей Ньюмана и Матиаса-Баилера (Ньюман/Матиас-Батлер)

Номер скважины	2К-1	2К-2	2К-3	2К-4	2К-5	2К-6	Для всех вместе
Коэффициент фильтрации по горизонтали $K_x$ , м/сут	45/44	53/52	55/54	43/43	43/42	43/42	44/44
Коэффициент фильтрации по вертикали $K_z$ , м/сут	6/6	4/4	3/3	6/6	4/4	4/4	4/4
Упругая водоотдача $\mu^*$	0,026/ 0,028	0,034/ 0,036	0,026/ 0,030	0,034/ 0,037	0,031/ 0,33	0,044/ 0,047	0,038/ 0,04
Гравитационная водоотдача $\mu$	0,087/ 0,09	0,070/ 0,078	0,098/ 0,011	0,111/ 0,013	0,13/ 0,15	0,10/ 0,120	0,13/ 0,14

Программа ANSDIMAT поддерживает решение прямой и обратных задач. Обратная многопараметрическая задача решается при помощи модуля UCODE [5]. При подборе моделью Боултона расчетных кривых для 6 наблюдательных скважин оказалось, что расчетные кривые не описывают наблюдаемые данные, это связано с отсутствием пользовательского ввода в ANSDIMAT коэффициента замедления  $\alpha$ .

По результатам подбора параметров по модели Ньюмана были получены расчетные кривые и значения для 6 наблюдательных скважин одновременно и для каждой в отдельности (табл. 2, рис. 1(а)).

Полученные значения упругой водоотдачи  $\mu^*$  получились много больше величин, рекомендованных в литературных источниках, а гравитационная водоотдача  $\mu$  немного меньше, чем характерные значения для мелко- и среднезернистых песков.

Для того чтобы попытаться уменьшить упругую водоотдачу и приближенно учесть динамику гравитационной водоотдачи использовалась модель Матиаса и Батлера, объединяющую модель Боултона, модель Ньюмана и так же учитывающую влагоперенос в зоне аэрации.

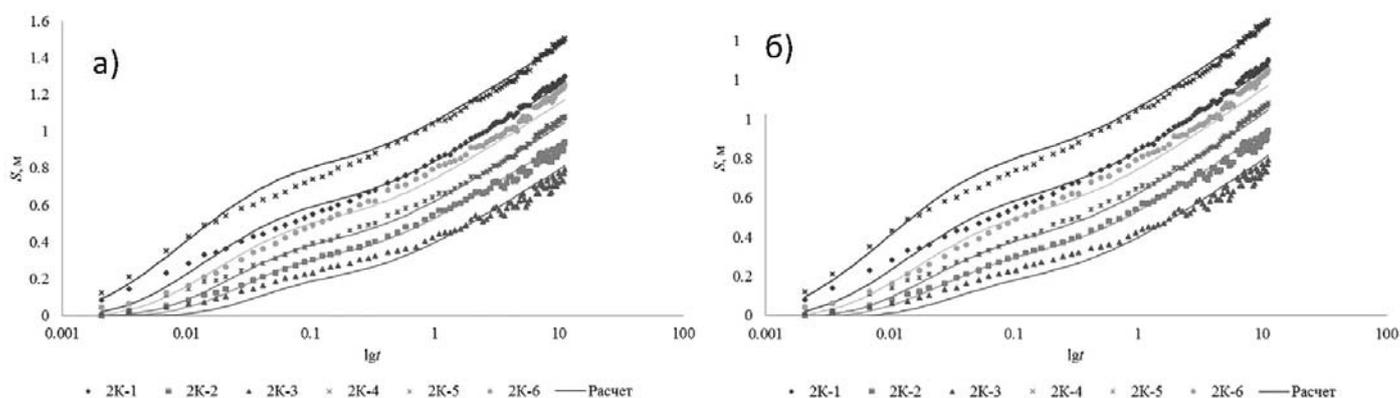


Рис. 1. Сопоставление расчетных кривых по модели Ньюмана (а), по модели Матиаса-Батлера (б) и наблюдаемых данных по наблюдательным скважинам куста 2К

Параметры емкости безнапорного горизонта, полученные по модели Матиаса-Батлера ближе к литературным значениям, чем по модели Ньюмана, но все равно получившиеся параметры имеют те же отклонения от ожидаемых величин, что и, в модели Ньюмана (табл. 2, рис. 1(б)).

Возможно, гравитационная водоотдача меньше, чем следовало ожидать для песков, связана с упрощенной экспоненциальной моделью связи насыщенности и высоты давления. Для оценки динамики водоотдачи с использованием более реалистической

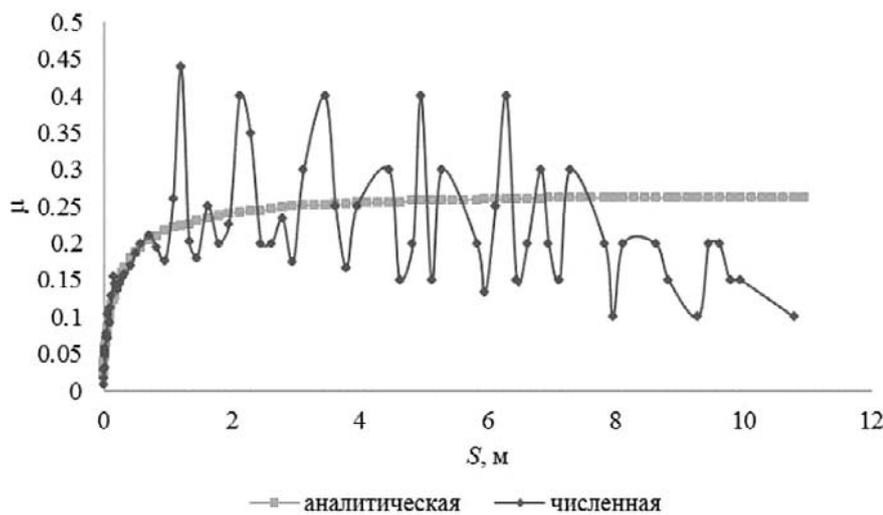
связи насыщенности и высоты давления, описываемой моделью Ван Генухтена [6] использовалась одномерная модель, сечением 1 м<sup>2</sup> и длиной 14 м, в которой моделировалось вертикальное перемещение влаги от верхней границы зоны аэрации до верха фильтровой части центральной скважины 2К. Моделирование влагопереноса проводилось при помощи программы Hydrus 1-D.

Поскольку параметры влагопереноса для данных песков не определялись, то для их задания использовался существующий в программе Hydrus 1-D модуль, позволяющий приблизительно оценивать параметры влагопереноса по гранулометрическому составу, а именно по содержанию песчаных, пылеватых и глинистых частиц.

По результатам моделирования для всех трех разностей строились графики зависимости вытекшего объема воды из колонки  $V$ , от понижения уровня грунтовых вод  $S$ . Поскольку по определению гравитационная водоотдача в каждый момент времени равна  $dV/dS$  [3], то для получения водоотдачи при каждом значении понижения использовалось дифференцирование функции  $V(S)$ . Далее, функция аппроксимировалась полиномом четвертой степени, который уже и дифференцировался аналитически. Для сравнения сделано и численное дифференцирование по последовательным парам точек используя центральную разность:

$$\mu_i = \frac{V_{i+1} - V_{i-1}}{S_{i+1} - S_{i-1}}. \quad (1)$$

В результате для каждого понижения получены значения гравитационной водоотдачи на соответствующий момент времени и понижения свободной поверхности (рис. 2).



**Рис. 2. График зависимости водоотдачи, полученной разными методами дифференцирования, от понижения уровня грунтовых вод**

По построенным графикам, стабилизация водоотдачи происходит для данных песков при понижении уровня грунтовых вод  $S_{krit}$  более чем 0,2-0,3 м. В качестве критерия стабилизации выбиралось значение водоотдачи как 0,9 от всего объема воды, который мог вытечь из столбика породы  $0,9 \times (\theta - \theta_r) = 0,27$ . Следовательно, в воронке депрессии, формирующейся от скважины, существуют две зоны – внутренняя зона, в которой водоотдача уже стабилизировалась, и внешняя зона в которой

стабилизация не прошла. Граница между этими зонами проходит по величине понижения  $S_{krit}$ .

Оценим, какая доля расхода откачки формируется во внутренней зоне. Для этого используем модель Тейса для этапа гравитационного режима [1]. Согласно этой модели

$$S_{krit} = \frac{Q}{4\pi T} W(u_{krit}); \quad u = \frac{r^2}{4at}. \quad (2)$$

А, расход, зависящий от радиальной координаты, как известно [3] связан с расходом скважины  $Q$  как

$$Q(u) = Q \exp(-u). \quad (3)$$

Подставляя в уравнение для расхода критическое значение  $u$ , можно получить расход на границе между внутренней и внешней зон. Соответственно, разница между расходом  $Q$  и  $Q(u_{krit})$  равна части расхода откачки формирующейся во внутренней зоне, где водоотдача уже стабилизировалась.

Для расчета функции  $W(u_{krit})$  бралась проводимость, которая определялась по 3 этапу режима изменения уровня и равная 560 м<sup>3</sup>/сут, и величина критического понижения. В результате получено, что расход, формирующийся во внешней зоне воронки депрессии  $Q(u_{krit})$  равен 1430 м<sup>3</sup>/сут, он формируется в зоне переменной гравитационной водоотдачи, значит расход, формирующийся в зоне постоянной водоотдачи равен 120 м<sup>3</sup>/сут. Это свидетельствует, что расход откачки, в горизонте формируется в обла

Применение модели Ньюмана для интерпретации опытной откачки, показало хорошее совпадение с наблюдаемыми данными, но значения упругой водоотдачи – завышены, а гравитационной – занижены. Модель Матиаса-Батлера также показала хорошую сходимость с данными наблюдений, при этом значение упругой водоотдачи увеличилось, а гравитационной водоотдачи стало несколько больше чем по модели Ньюмана. Значение горизонтального коэффициента

фильтрации по обеим моделям получилось примерно одинаково, что свидетельствует о надежности его определения в ходе откачки.

Оценка динамики гравитационной водоотдачи с помощью модели насыщенно-ненасыщенной фильтрации показала, что, в условиях данной откачки стабилизация водоотдачи происходит при понижении свободной поверхности более 0,2 м. Это означает, что более 90% расхода откачки формируется в области малых понижений и, следовательно, малой гравитационной водоотдачи. Возможно, этот факт определяет невысокую гравитационную водоотдачу, полученную при интерпретации по обеим используемым моделям.

Автор выражает огромную благодарность С.П. Позднякову за постановку задачи и консультации, и Л.Н. Синдаловскому за предоставленную программу и ценные советы.

### Список литературы

1. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. – М.: Недра, 1978. 325 с.
2. Синдаловский Л.Н. ANSDIMAT – программный комплекс для определения параметров водоносных пластов. – СПб.: Наука, 2011. 335 с.
3. Шестаков В.М. Гидрогеодинамика. М.: Изд-во МГУ, 1995. 368 с.
4. Barlow P.M., Moench A.F. WTAQ version 2—A computer program for analysis of aquifer tests in confined and water-table aquifers with alternative representations of drainage from the unsaturated zone. – USGS, Techniques and Methods 3-B9, 2011. 41 p.
5. Poeter E.P., Hill M.C., Banta E.R. UCODE\_2005 and Six Other Computer Codes for Universal Sensitivity Analysis, Calibration, and Uncertainty Evaluation. – USGS, Techniques and Methods 6-A11, 2005. 283p.
6. Šimůnek J., Šejna M., Saito H., Sakai M., van Genuchten M.T. The HYDRUS-1D Software Package for Simulating the One-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Version 4.08, HYDRUS Software Series 3. – USA, Department of environmental sciences, University of California Riverside, 2008. 330p.

**Павлова Н.А., Данзанова М.В., Ефремов В.С.**

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, pavlova@mpi.ysn.ru

## ОЦЕНКА ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ОБВОДНЕННЫХ ГРУНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ЯКУТСКА

### Введение

В последние годы в г. Якутске на фоне интенсивного увеличения объемов строительства остро ощущается дефицит подходящих для этого площадок. Для выхода из сложившейся ситуации используются территории сноса старой деревянной застройки и пониженные участки, ранее считавшиеся неудобными для освоения. Особенностью таких площадок является наличие в грунтах оснований водонасыщенных таликов, сформировавшихся в условиях высокой зарегулированности поверхностного и надмерзлотного стока различными барражами. Неоднократные попытки восстановить гидрологическую обстановку, существовавшую до активного многоэтажного строительства, и организовать надмерзлотный сток к естественным дренам оказались практически безрезультатными [6]. Это связано с невыдержанностью мощности слоя сезонного протаивания пород по площади и по разрезу, что в свою очередь определяется не только геоморфологическим положением участка, но и литологическим составом и фильтрационными свойствами отложений, а также видом и степенью техногенного воздействия на окружающую среду [3].

Состав мероприятий по инженерной подготовке грунтов оснований в г. Якутске традиционно ограничивается подсыпками площадок застройки привозным грунтом и организацией поверхностного стока. Локальные отсыпки выполняются без высотной увязки планировочных отметок смежных кварталов. В результате проблема обводнения территории лишь усугубляется и проявляется в виде затопления и заболачивания придорожных полос, участков вокруг отдельных зданий, а иногда даже обширных площадей внутри кварталов. В редких случаях, при строительстве особо ответственных зданий, проводят предпостроечное охлаждение высокотемпературных грунтов сезонноохлаждающими установками. При этом не учитывается, что промерзание надмерзлотных вод сопровождается увеличением их минерализации и, соответственно, понижением температуры замерзания поровых растворов, а также ростом давления в остающемся водоносном талике. Насыщенные солеными водами породы, имея отрицательные температуры, обладают свойствами талых грунтов и, соответственно, низкими прочностными характеристиками. Помимо этого, высокоминерализованные растворы являются высоко агрессивными по отношению к бетонам и металлическим конструкциям. В последующем изучение мерзлотно-гидрогеохимической обстановки на подобных участках проводят при наступлении угрозы деформации инженерных сооружений.

Перспективным способом мелиорации слабых грунтов и улучшения их строительных свойств может являться водоотведение поверхностных и надмерзлотных вод с помощью устройства различных видов дренажей. Этот метод широко применяется вне криолитозоны. В г. Якутске его внедрение сдерживается отсутствием методики проведения водопонизительных работ в сложных мерзлотно-гидрогеологических условиях.

Основной целью выполненных исследований являлось изучение обводненности пород и определение их основных гидрогеологических параметров для дальнейшей оценки эффективности применения и расчета дренажей при строительном освоении проблемных участков на территории города.

## Общая характеристика территории и методика работ

Город Якутск расположен в пределах первой надпойменной террасы р. Лены [4]. Поверхность террасы плоская, абсолютные отметки рельефа изменяются от 95 до 100 м. В ее строении принимают участие до глубины 2.0-3.5 м пойменные супеси и суглинки, подстилаемые русловыми песками. Размер фракций последних увеличивается вниз по разрезу от пылеватых частиц до средне- и крупнозернистых. Мощность аллювиальной толщи составляет 20-25 м. В естественных условиях глубина слоя годовых теплооборотов достигает 15-20 м, а температура грунтов на его подошве изменяется от минус 2° до минус 4°С. Мощность слоя сезонного протаивания мерзлых отложений обычно не превышает 1.5-2.0 м, редко достигая 2.5-4.0 м, а формирующие в нем надмерзлотные воды зимой промерзают. На территории города картина распределения глубины протаивания пород и их обводненности весьма пестрая и во многом определяется мощностью культурного слоя, его засоленностью, а также степенью благоустройства городских кварталов [5]. Наиболее неблагоприятная ситуация в отношении обводнения грунтов оснований отмечается в кварталах со старой деревянной застройкой, оказавшихся при строительном освоении гипсометрически ниже окружающей территории. Здесь мощность водонасыщенных таликов в местах, наследующих чаши протаивания под домами и сливные ямы, достигает 6-15 м, а в засоленных грунтах линзы криопэгов прослеживаются до подошвы слоя годовых теплооборотов [1].

При обосновании выбора дренажных систем одним из основных геофильтрационных параметров, который необходимо иметь для расчетов, является коэффициент фильтрации водовмещающих отложений и грунтов зоны аэрации. Как правило, при инженерно-геологических изысканиях этот показатель определяют лабораторными методами, используя дистиллированную воду или воду питьевого качества. Учитывая, что на территории г. Якутска надмерзлотные воды подвержены техногенному загрязнению и, как правило, имеют минерализацию больше 1 г/дм<sup>3</sup>, в лабораторных экспериментах при применении пресной и ультрапресной воды получают лишь ориентировочную величину этого геофильтрационного параметра, которую можно использовать для приближенных расчетов [2]. Для повышения точности определения коэффициента фильтрации грунтов, Институтом мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН совместно с ООО НВЦ «Геотехнология» на четырех экспериментальных площадках, расположенных в разных частях города, в 2009-2011 гг. был выполнен комплекс гидрогеологических исследований, включающий режимные наблюдения за динамикой надмерзлотных вод и опытно-фильтрационные работы.

Опытные одиночные и кустовые откачки на каждом полигоне проводились дважды: в зимний или весенний периоды и летом. При интерпретации результатов опытно-фильтрационных работ использовались графоаналитические методы и формулы теории притока воды к скважинам. Выполненные работы дали возможность также оценить возможность применения различных видов дренажей для осушения техногенных таликов.

## Результаты работ

**Первый опытный участок** расположен в заболоченном понижении – фрагменте древней ложбины стока. Литологический состав грунтов представлен до глубины 1.0-1.5 м супесями и суглинками, которые подстилаются мелкими и пылеватыми песками. Мощность сезонно-талого слоя пород составляет 1.2-1.5 м. Содержание солей в грунтах изменяется по разрезу от 0.07-0.1% в супесях и суглинках до 0.03-0.05% в песках.

Для изучения гидрогеологических параметров грунтов сезонно-талого слоя на участке был устроен приемный водосборный колодец с глухим дном и стенками глубиной 3 м. К колодцу подведена перфорированная дренажная труба, уложенная в траншею, заполненную щебнем. Глубина траншеи, секущей ложбину стока, соответствовала мощности сезонного протаивания грунтов. Наблюдения за понижением уровня надмерзлотных вод в процессе откачек проводились по трем скважинам, две из которых располагались на расстоянии 5 метров от траншеи по обе ее стороны и одна – на расстоянии 10 метров.

По данным режимных наблюдений, формирование вод сезонно-талого слоя на участке начинается в начале июне. Талые воды, стекающие в мае с водосборной площади и скапливающие в заболоченной низине, задерживают прогревание подстилающих грунтов. В течение лета кровля многолетнемерзлого водоупора постепенно опускается, мощность водоносного слоя при этом увеличивается и к сентябрю достигает 1.1-1.4 м. Минерализация надмерзлотных вод изменяется в течение теплого периода от 2 до 6.4 г/дм<sup>3</sup>.

Экспресс-откачки из колодца были выполнены в начале, середине и конце лета. Результаты опытных работ показали низкую водопропускную способность грунтов на участке, о чем свидетельствовали весьма небольшие водоприток в колодец (0.9, 2.2 и 3.3 м<sup>3</sup>/сут в начале июня, июле и августе соответственно). Был сделан вывод о слабой эффективности данного вида дренажа для осушения супесчано-суглинистых грунтов с небольшой мощностью сезонно-талого слоя. Тем не менее, траншейный дренаж хорошо зарекомендовал себя для отвода поверхностных вод в период снеготаяния.

**Второй экспериментальный полигон** расположен на выположенном склоне древнего эрозионного понижения. Он находится на периферии г. Якутска и окружен одноэтажными жилыми домами с приусадебными участками. При бурении на полигоне вскрыты надмерзлотные криопэги с глубины 2.0–3.5 м в пылеватых и мелкозернистых песках. Мощность обводненного слоя составила 2.0–2.5 м. Минерализация криопэгов изменялась во времени и по площади в пределах 8–15 г/дм<sup>3</sup>, а их температура от минус 0.2° в октябре до минус 0.6°С – в июне. Подземные воды обладали напором, минимальная глубина залегания их уровня в скважинах отмечалась в апреле-начале июня, максимальная – феврале-марте. Амплитуда колебания уровня в течение года достигала 1.5 м. Засоленность супесей и суглинков, перекрывающих криопэги, составляла 0.4–1.0%, а подстилающих песков – 0.1–0.4%.

По предварительным расчетам естественные запасы воды в пласте, с учетом упругих и емкостных, оценены в 800 м<sup>3</sup>. Для изучения фильтрационных свойств засоленных грунтов, насыщенных криопэгами, на участке был установлен колодец с перфорированным дном и стенками, из которого проводились опытные откачки. На разном расстоянии от колодца оборудованы

пять наблюдательных скважин. При интерпретации результатов кустовых откачек, выполненных с дебитами 22 и 29 м<sup>3</sup>/сут в мае-июне и июле-августе, были рассчитаны коэффициенты фильтрации ( $K_f$ ) и пьезопроводности ( $a$ ) пород, водоотдача отложений ( $\mu$ ) (таблица 1). Фильтрационные свойства грунтов в конце весны-начале лета оказались выше, чем в августе. Это, по-видимому, связано с высокой криогенной водоотдачей пород талика при максимальном его сезонном промерзании. Откачки с дебитом 72 м<sup>3</sup>/сут в существующих на полигоне мерзлотно-гидрогеологических условиях оказались неинформативными из-за весьма малой зоны гидродинамического возмущения, что не позволило достоверно оценить гидрогеологические параметры. В целях водоосушения грунтов проводить откачки с таким дебитом также нецелесообразно из-за ее незначительного радиуса влияния и небольшого понижения уровня воды в пласте.

**Третий экспериментальный полигон** расположен вблизи озерной котловины на участке сноса отапливаемых гаражей с полами по грунту. Озерно-аллювиальные отложения в пределах вновь застраиваемой территории представлены сверху супесями и суглинками, пылеватыми, реже мелкозернистыми песками, которые подстилаются с глубины 10 м среднезернистыми песками. Повсеместно четвертичные отложения перекрыты слоем насыпных грунтов мощностью 0.7–4.3 м. При бурении скважин на этом участке в декабре был вскрыт водоносный талик с глубины 1.8–4.2 м мощностью 7.5 м. Вода в талике имела минерализацию 1.8–3.4 г/дм<sup>3</sup>. Температура грунтов в обводненном интервале колебалась в пределах минус 0.1°–0.4°С. Содержание солей в суглинистых отложениях составляло 0.3–0.6%, в песчаных – 0.1–0.2%.

Таблица 1

Фильтрационные параметры грунтов на экспериментальных участках в г. Якутске

Номер участка Интервал опробования (м)	Водоме- щающие отложения	Время проведения опыта	$K_f$ (м/сут)	$\mu$	$a$ (м <sup>2</sup> /сут)	Водоприток (м <sup>3</sup> /сут)	Минерализация воды, (г/дм <sup>3</sup> )
<u>1</u> 0-1.2	Супеси, суглинки	Май		Не опр.	Не опр.	0.9	2-4
		Август		Не опр.	Не опр.	2-3	4-6
<u>2</u> 2.5-4.0	Пески пылеватые и мелкозер- нистые	Май-июнь	5.2	Не опр.	Не опр.	33	16-17
		Июль- август	3.1–6.0	$(4-6) \cdot 10^{-3}$	$(0.2-2.2) \cdot 10^3$	25	12-15
<u>3</u> 1.8-10.0	То же	Декабрь- январь	0.7–0.8	$1.1 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^3$	34	2
		Август	0.4	Не опр.	Не опр.	13	1.5-2
<u>4</u> 1.4-8.0	То же	Июнь- июль	1.1	$8 \cdot 10^{-3}$	800	16	1.5-4

Для возможности проведения кустовых откачек три скважины, расположенные по одному лучу, были оборудованы фильтром. Уровень воды в них в декабре залегал на глубине 1.4–1.5 м, а в августе установился на 2.1 м ниже поверхности земли. Ориентировочный объем гравитационной воды в талике составил 2240 м<sup>3</sup>. Откачки проводились с дебитами 22 и 36 м<sup>3</sup>/сут в зимний и летний периоды. Сравнение результатов опытных работ, выполненных в разные сезоны, показало, что фильтрационные свойства грунтов летом хуже, чем зимой (см. табл.). Соответственно, для организации такого вида дренажа в летний период потребуется большее количество скважин.

**Четвертый опытный участок**, находится в пределах области естественного стока поверхностных и надмерзлотных вод, поступающих с западной и южной частей города. Такое расположение, вероятно, и является одним из факторов наиболее высокой обводненности этого активно застраиваемого микрорайона.

По данным бурения, на экспериментальном полигоне верхняя часть разреза до глубины 1.5-2.0 м сложена супесчано-суглинистыми отложениями, которые подстилаются пылеватыми и мелкозернистыми песками. Талые обводненные грунты вскрыты в интервале глубин 1.4-8.0 м. Минерализация надмерзлотных грунтовых вод в талике изменялась по площади от 1.5 до 4 г/дм<sup>3</sup>. Емкостные запасы воды в талике составляли около 3 500 м<sup>3</sup>. На участке были пробурены и оборудованы три гидрогеологических скважины, из которых в мае и июне выполнялись кустовые откачки с дебитом 20-25 м<sup>3</sup>/сут. По данным опытно-фильтрационных работ, величина коэффициента фильтрации грунтов в пределах талой толщи оказалась близка к параметру, определенному на третьем участке.

### Выводы

Таким образом, в процессе полевых гидрогеологических исследований были изучены фильтрационно-емкостные характеристики дисперсных грунтов, развитых на территории г. Якутска, и оценена эффективность применения различных видов дренажей на типовых участках. Самыми низкими фильтрационными свойствами, как и ожидалось, обладают супесчано-суглинистые разности грунтов. На заболоченных участках, сложенных такими отложениями, для осушения сезонно-талого слоя пород эффективная работа траншейных дренажей будет обеспечена после того, как глубина сезонного оттаивания грунтов со-

ставит более одного метра. Опробованный вариант дренирования с укладкой фильтрующего материала (щебень) может быть рекомендован для отвода поверхностных вод в период снеготаяния.

Сравнительный анализ результатов натуральных экспериментов, проведенных на участках надмерзлотных таликов с криопэгами, показывает, что коэффициенты фильтрации песков, вмещающих высокоминерализованные воды, на порядок превышают значения, характерные для участков со слабосолоноватыми грунтовыми водами. Выявлено, в зимне-весенний период при росте криогенного напора в талике фильтрационная способность грунтов повышается. На строительных площадках и на свободных от застройки территориях, в геологическом разрезе которых вскрыты талые обводненные грунты песчаного состава, возможно устройство вертикального дренажа. Учитывая сезонную изменчивость емкостных параметров грунтов, в летний период для принудительного снижения уровней требуется увеличить количество водопонижительных скважин.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-45-05050).*

#### Список литературы

1. Павлова Н.А. Динамика мерзлотно-гидрогеохимической обстановки на участках распространения криопэгов в г. Якутске // Наука и образование, 2010, №3. – С. 15-19.
2. Павлова Н.А., Данзанова М.В. К вопросу о решении проблемы обводнения застраиваемой территории города Якутска // Наука и образование, 2013, №3 (71). – С. 101-105.
3. Павлова Н.А., Данзанова М.В., Сериков С.И. Оценка техногенного влияния на обводненность и гидрохимическую обстановку г. Якутска // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геоэкология, 2014. №3. – С. 133-140.
4. Спектор В.В., Бакулина Н.Т., Спектор В.Б. Рельеф и возраст аллювиального покрова долины р. Лены на «Якутском разбое» // Геоморфология, 2008, №1. – С. 87-94.
5. Сыромятников И.И., Дорофеев И.В. Особенности динамики температуры грунтов на территории г. Якутска // Наука и образование, 2014, №4. – С. 42-45.
6. Шац М.М., Сериков С.И. Обводнение г. Якутска и его влияние на городскую среду // Научное обеспечение решения ключевых проблем развития г. Якутска. Мат-лы совместной научной сессии АН РС(Я) и городского округа «Город Якутск». – Якутск: ООО «Изд-во Сфера», 2010. – С. 40-44.

**Норватов Ю.А., Котлов С.Н., Будилова В.В., Шамшев А.А.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Norvatov@mail.ru, sergei\_k@spmi.ru, v.budilova@mail.ru, MisterMVP@yandex.ru

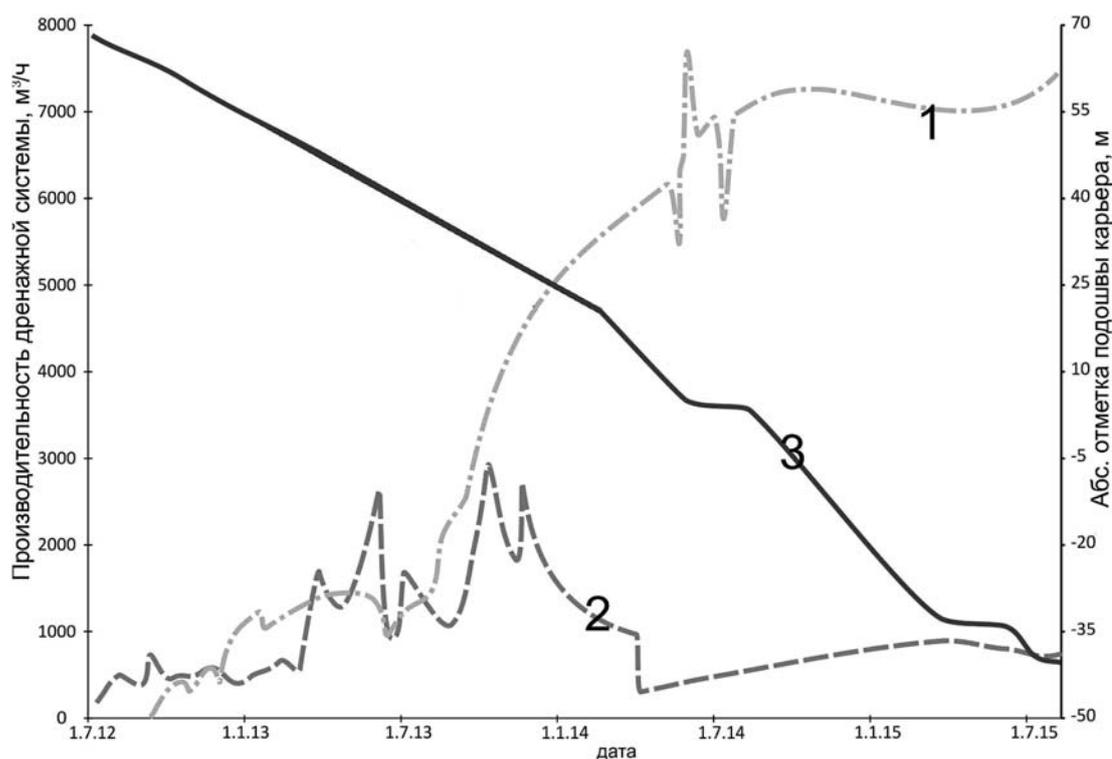
## АНАЛИЗ КОМПРЕССИОННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ СЛОИСТОГО ПОРОДНОГО КОМПЛЕКСА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ВОДОПОНИЖЕНИЯ НА АЛМАЗНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ ИМ. В.П. ГРИБА

Рассмотрена гидрогеологическая структура алмазного месторождения. Выполнен анализ результатов дренажных работ при строительстве и эксплуатации карьера. Представлены результаты наблюдений за развитием деформаций земной поверхности и снижением напоров слоистого водоносного комплекса. Предложена методика оценки компрессионных характеристик слоистого породного массива с использованием данных натуральных наблюдений. Оценены коэффициенты сжимаемости глинистых пород и упругая водоотдача слоистого массива.

Алмазное месторождение им. В.П. Гриба, расположенное в Архангельской области, разрабатывается открытым способом с 2011 года. Проектная глубина карьера 450 м, средняя скорость углубки около 30 м в год. К началу 2015 года глубина карьера составила около 120 м.

Карьером вскрывается водонасыщенный породный массив сложной структуры. Под четвертичными песчано-глинистыми отложениями залегают отложения среднего карбона, представленные пластом доломитов ольмуго-окуневской свиты мощностью 20 м, и пластом песчаников урзугской свиты мощностью 20-30 м. Между ольмуго-окуневскими и урзугскими отложениями, фиксируется пачка слабопроницаемых песчаников и алевролитов мощностью 5-10 м. К отложениям среднего карбона приурочен ольмуго-окуневский и урзугский водоносные горизонты, суммарная проводимость которых достигает 200-250 м<sup>2</sup>/сут. Отложения среднего карбона перекрывают регионально развитую толщу отложений венда. Верхняя часть этой толщи сложена отложениями падунской свиты, представленных преимущественно песчаниками с прослоями алевролитов и аргиллитов. К этим отложениям приурочен основной водоносный комплекс, мощность которого составляет 150 м, а проводимость достигает 250-300 м<sup>2</sup>/сут. Отложения мезенской свиты венда, представленные частым переслаиванием слабопроницаемых песчаников, алевролитов и аргиллитов будут вскрыты карьером на глубинах 240-450 м.

Нормальные условия проходки карьера обеспечиваются за счёт эксплуатации контурной системы заградительного дренажа, представленной 86 водопонижающими скважинами, из которых 75 скважин оборудованы фильтрами на основной падунский водоносный комплекс. Ввод в эксплуатацию водопонижающих скважин выполнялся постепенно, начиная с сентября 2012 года (рисунок 1). К концу 2014 года при глубине карьера около 120 м производительность системы заградительного дренажа достигла 7000 м<sup>3</sup>/ч, что обеспечивало ограничение притока подземных вод в карьер (800 м<sup>3</sup>/ч).



**Рис. 1. Хронологический график изменения производительности системы дренажа: 1 – производительность заградительного дренажа (системы водопонижающих скважин); 2 – производительность карьерного водоотлива, 3 – абсолютная отметка подошвы карьера**

Мощный отбор подземных вод и активное снижение напоров падунского водоносного комплекса на дренажном контуре привело к заметному снижению напоров по площади карьерного поля. Максимальные снижения уровней зафиксированы по сети наблюдательных скважин на юго-западном и южном участках (рисунки 2).

В октябре 2012 года на северо-западном и юго-западном участках карьерного поля оборудованы две линии реперов длиной соответственно 1200 м и 2500 м (рисунки 2). Минимальное расстояние до реперов от предельного (проектного) контура карьера было принято равным 300-500 м с учётом перспективы их использования в качестве опорных при выполнении различных маркшейдерских работ, в частности – при контроле устойчивости бортов карьера и внешних отвалов. Однако проверка стабильности системы реперов показала, что по всем реперам фиксируются деформации оседания земной поверхности при их закономерном увеличении во времени (таблица 1) и по направлению к контуру карьера.

Таблица 1

**Результаты наблюдений за оседаниями земной поверхности по реперам**

Дата наблюдений	Оседания земной поверхности (мм) по реперам							
	0979	оп.реп.I	оп.реп.IV	0959	0978	0970	0971	0972
30.10.2012	0	0	0	0	0	0	0	0
21.06.2013	-3.8	-4.7	-4.7	-1.7	-1.6	-2.1	-1.5	0
06.10.2013	-14	-14.1	-14.1	-6.8	-6.7	-7.1	-2.8	0
03.07.2014	-28.9	-29.1	-32.4	-13.7	-12.1	-11.7	-0.9	0
24.10.2014	-33.4	-32.1	-38.6	-15	-12.8	-16.7	-4.7	0

К началу 2015 года деформации оседания земной поверхности достигли 30-50 мм на расстояниях 600-750 м от фактического положения верхней бровки бортов карьера и составляли около 15 мм на расстояниях 1200-1500 м. К этому времени фактическая глубина карьера составляла около 120 м, а рассчитанные значения коэффициентов устойчивости бортов превышали 1,8.

Известно [1], что возможные деформации земной поверхности за пределами контура карьера обычно распространяются на расстояние L, соответствующее условию:  $L \approx 1,5z$ , где z – глубина карьера. Следовательно, зафиксированные на значительных расстояниях от карьера деформации не связаны с проходкой карьера в рассматриваемый период.

Между тем, наблюдаемое развитие деформаций оседания земной поверхности может быть обусловлено постепенным снижением уровней подземных вод, которое зафиксировано по наблюдательным гидрогеологическим скважинам, расположенным на северо-западном и юго-западном участках карьерного поля (рисунки 2).

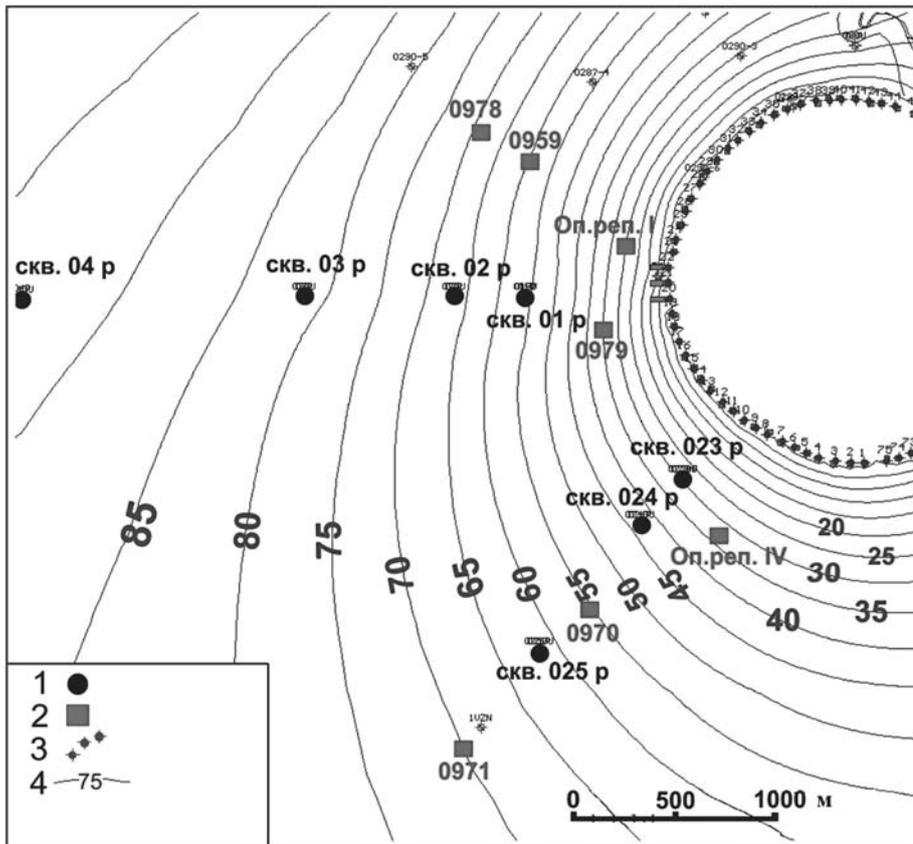


Рис. 2. План размещения наблюдательных скважин и опорных реперов, совмещённый со схемой гидроизогипс падунского водоносного комплекса на северо-западном и юго-западном участках карьерного поля. 1 – наблюдательная скважина и номер режимной сети; 2 – опорный репер; 3 – водопонижающие скважины дренажного контура; 4 – гидроизогипсы падунского водоносного комплекса (абсолютные отметки).

Начиная с 2012 года производительность системы заградительного дренажа и притоки в карьер активно увеличивались (рисунок 1), что привело к значительным снижениям уровней падунского водоносного комплекса.

Уровневый режим падунского водоносного комплекса, сформированный к концу 2014 года на северо-западном и юго-западном участках карьерного поля, иллюстрируется схемой гидроизогипс (рисунок 2). Напоры этого комплекса на рассматриваемых участках в естественных

условиях фиксировались на абсолютных отметках плюс 84÷86 м. Понижения напоров падунского водоносного комплекса к концу 2014 года относительно их стояния при естественном режиме, зафиксированные непосредственно на участках расположения реперов, представлены в таблице 2.

Снижение напоров и соответствующих гидростатических давлений сопровождается эквивалентным повышением эффективных напряжений в породном массиве, которое предопределяет развитие компрессионных и других деформаций массива [2, 3].

Следует отметить, что понижения напоров ольмуго-окуневского и урзугского водоносных горизонтов к концу 2014 года на участках заложения реперов не превышали 2-3 м. Поэтому незначительные дополнительные напряжения в каменноугольных отложениях очевидно не привели к заметным компрессионным деформациям мергелей и песчаников.

Деформации земной поверхности при снижении напоров в слоистом падунском комплексе в основном определяются компрессионным уплотнением пластов глинистых пород с податливым скелетом, которое может быть оценено по зависимости [3]:

$$\Delta m = a_n \cdot \Delta \sigma \cdot m / (1 + \varepsilon),$$

где  $\Delta m$  – сокращение мощности пласта ( $m$ ) при повышении эффективного напряжения на величину  $\Delta \sigma$ ;  $\varepsilon$  и  $a_n$  – коэффициенты пористости и сжимаемости глинистых пород.

При изучении геомеханических процессов, развивающихся при разработке месторождений полезных ископаемых, установлено, что оседания земной поверхности ( $\eta$ ) определяются мощностью вынимаемого пласта ( $M$ ) в соответствии с зависимостью [4]:

$$\eta = q/M,$$

где  $q$  – безразмерный коэффициент (относительное оседание  $q/M$ ), равный 0,7-0,8. Следовательно, при оценке компрессионного уплотнения глинистых пород по результатам наблюдений за оседаниями земной поверхности целесообразно учитывать, что в формуле (1) величина  $\Delta m$  должна быть рассчитана по зависимости:

$$\Delta m = \eta/q \approx (1,3 \div 1,4)\eta,$$

При постепенном снижении напоров эффективные напряжения в водонасыщенных массивах повышаются также постепенно (рисунок 3), поэтому при расчётах деформаций с использованием формулы (1) следует принимать  $\Delta \sigma = 0,5 \Delta H \gamma_o$ , где  $\Delta H$  – максимальное понижение напоров за рассматриваемый период,  $\gamma_o$  – объёмный вес воды.

Результаты расчёта коэффициентов сжимаемости глинистых слоёв падунского комплекса

Номер репера, по которому ведутся замеры	0979	оп.реп.I	оп.реп.IV	0959	0978	0970	0971	0972
Абс. отметка "естественного" уровня напора на участке расположения репера, $H_0$ , м	84	84	82	86	87.6	84.5	86	86
Абс. отметка сниженного напора (август 2015 г), $H$ , м	34	35	32	60	68	56	70	76
Понижение напора, $\Delta H = H_0 - H$ , м	50	49	50	26	19.6	28.5	16	10
Оседание земной поверхности ( $\eta$ ), мм	33.4	32.1	38.6	15	12.8	16.7	4.7	0
Изменение эффективных напряжений в глинистых породах при снижении напоров, $\Delta \sigma$ , кгс/см <sup>2</sup>	2,5	2,45	2,5	1,3	1,0	1,45	0,8	
Уплотнение (сокращение мощности) пласта, $\Delta m$ , мм	43.42	41.73	50.18	19.5	16.64	21.71	6.11	
Коэффициент сжимаемости глинистых пород, $a_n$ , см <sup>2</sup> /кгс	$8,4 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-4}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-4}$	

Мощность слоистого падунского комплекса достигает 150 м, при этом содержание в разрезе песчаников составляет около 80%. При снижении напоров в слоистом массиве компрессионное уплотнение песчаников проявляется незначительно. В этих условиях оседания земной поверхности определяются в основном уплотнением пластов глинистых пород (алевролитов и аргиллитов), суммарная мощность которых составляет около 30 м.

При оценке коэффициента сжимаемости глинистых пластов по формуле (1) с использованием результатов наблюдений за деформациями земной поверхности и снижениями напоров в слоистом падунском комплексе в качестве исходных данных можно принять  $m=30$  м при значении коэффициента пористости  $\varepsilon = 0,4$ . Расчёт коэффициентов сжимаемости выполнен с использованием результатов наблюдений за оседаниями земной поверхности по каждому из реперов (таблица 2).

Комментируя результаты расчёта коэффициента сжимаемости аргиллитов и алевролитов, можно отметить, что полученные значения этого параметра по всем реперам практически близки и могут быть приняты равными  $8 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/кгс. Полученный параметр целесообразно использовать при прогнозе продолжающихся деформаций земной поверхности с учётом возможного снижения уровней падунского водоносного комплекса. При дальнейшем увеличении глубины карьера и продолжающейся эксплуатации скважин заградительного дренажа снижение уровней падунского водоносного комплекса на линии дренажного ряда должно достигать 200-220 м (до абсолютных отметок минус 130-140 м). Кроме того, существенные деформации земной поверхности вблизи карьера могут развиваться при снижении гидростатических давлений в слабопроницаемых отложениях мезенской свиты.

Полученные деформационные характеристики глинистых отложений ( $a_n$ ) определяют их емкостные параметры в соответствии с зависимостью [2, 3]:

$$\beta = \gamma_o / (1 + \varepsilon) \times (\varepsilon / E_g + a_n),$$

где  $\beta$  – коэффициент упругоёмкости глинистых пород,  $\gamma_o$  и  $E_g$  – объёмный вес и модуль упругости воды ( $E_g = 2 \cdot 10^4$  кгс/см<sup>2</sup>).

В соответствии с формулой (4) при  $a_n = 8 \cdot 10^{-4}$  см<sup>2</sup>/кгс,  $\gamma_o = 10^{-3}$  кгс/см<sup>3</sup> и  $\varepsilon = 0,4$  значение коэффициента упругоёмкости глинистых прослоев падунского комплекса составляет  $6 \cdot 10^{-7}$  1/см =  $6 \cdot 10^{-5}$  1/м. Заметим, что по результатам опытно-фильтрационных работ среднее значение коэффициента упругоёмкости слоистого падунского комплекса в целом определено равным  $510^{-6}$  1/м.

Упругая водоотдача ( $\mu$ ) слоистого падунского водоносного комплекса в целом определяется формулой:

$$\mu = \beta \cdot m,$$

где  $m$  – суммарная мощность пластов глинистых пород, охарактеризованных коэффициентом упругоёмкости  $\beta$ .

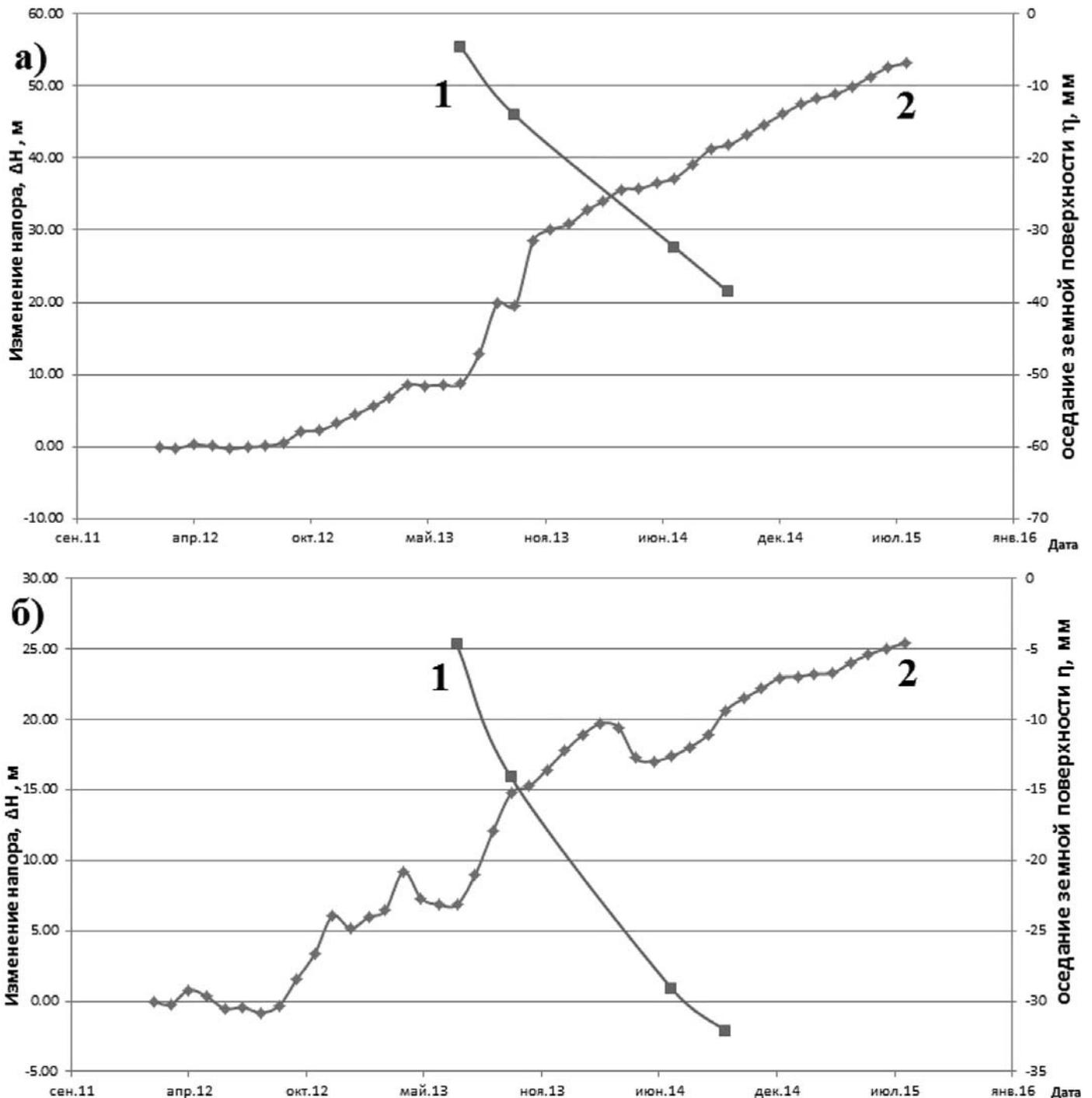


Рис. 3. Хронологические графики зависимости оседания земной поверхности (1) и изменения напора(2) на участках расположения реперов: а) опорный репер IV и скважина 023 р, б) опорный репер I и скважина 01 р.

В соответствии с формулой (5) при  $1/m$  и при  $\beta = 6 \cdot 10^{-5}$  1/м суммарной мощности пластов глинистых пород  $m = 30$  значение параметра упругой водоотдачи падунского комплекса в целом составляет  $\mu = 1,8 \cdot 10^{-3}$ .

По результатам опытно-фильтрационных работ, выполненных ранее при разведке и доразведке месторождения, среднее значение коэффициента пьезопроводности падунского комплекса определено равным  $2,5 \cdot 10^5$  м<sup>2</sup>/сут. При проводимости  $T=200$  м<sup>2</sup>/сут значение параметра упругой водоотдачи комплекса в целом  $\mu = T/a = 8 \cdot 10^{-4}$ . Следовательно, определённое по результатам наблюдений за деформациями земной поверхности значение упругоёмкости слоистого массива заметно выше значений, полученных при выполнении опытно-фильтрационных работ.

Этот конкретный результат подтверждает известное положение о том, что при проведении опытных откачек упругоёмкость глинистых пород не проявляется в полной мере вследствие малых понижений напоров и ограниченного по времени действия соответствующих дополнительных нагрузок на породный скелет.

В рассматриваемых условиях оценка коэффициента упругоёмкости глинистых пород и упругой водоотдачи слоистого падунского комплекса по результатам наблюдений за деформациями земной поверхности целесообразна при калибровке созданной ранее численной геофильтрационной модели района месторождения им. В. П. Гриба.

## Выводы

При организации и проведении маркшейдерских работ на месторождениях со сложными гидрогеологическими условиями следует учитывать возможность нестабильности опорных реперов, обусловленной снижением напоров дренируемых водоносных горизонтов.

Оседания земной поверхности, обусловленные снижением напоров в слоистых массивах, определяются сжимаемостью и мощностью глинистых пород с податливым скелетом, что должно быть учтено при анализе результатов маркшейдерских наблюдений.

При оценке компрессионных характеристик водонасыщенных массивов по результатам маркшейдерских наблюдений необходимо учитывать положение пластов глинистых пород в разрезе, которое определяет величину оседаний земной поверхности в зависимости от деформации уплотнения этих пластов.

При построении и использовании численных геофильтрационных моделей для анализа и прогноза техногенного гидродинамического режима подземных вод на месторождениях полезных ископаемых уточнение емкостных характеристик дренируемых водоносных комплексов целесообразно выполнять с учётом результатов наблюдений за развитием деформаций земной поверхности.

## Список литературы

1. Правила обеспечения устойчивости откосов на угольных месторождениях. СПб, ВНИМИ, 1998, 208 с
2. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Основы гидрогеомеханики, М. Недра, 1974, МГУ, 295 с.
3. Шестаков В.М. Гидрогеомеханика, изд. МГУ, М. 1998, 72 с
4. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок на угольных месторождениях. СПб, ВНИМИ, 1996, 280 с.

## Косинова И.И., Сарычева Н.В.

Воронежский государственный университет, Воронеж  
Филиал «АИИС-Воронеж», Воронеж, kosinova777@yandex.ru

# ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОГЕННОГО ПОДТОПЛЕНИЯ В ПРЕДЕЛАХ ЗАТОПЛЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Подтопление на застроенных территориях представляет собой направленный процесс подъема уровня грунтовых вод и увеличения влажности грунтов, обусловленных изменением водного баланса под влиянием комплекса техногенных факторов при соответствующих природных условиях. Интенсивность проявленности процессов подтопления зависит от природных и техногенных факторов [1].

К природным относятся климатические, орографические, геоморфологические, геологические и гидрогеологические условия.

Под комплексом техногенных факторов следует понимать суммарное воздействие строительной и хозяйственной деятельности человека на геологическую среду. Отрицательное воздействие подтопления наиболее интенсивно проявляется по отношению к грунтам, строительным конструкциям. Оно активизирует экзогенные геологические процессы (суффозию, эрозию, просадочность, склоновые гравитационные процессы). За последние десятилетия подтопление городских территорий в России приняло практически повсеместный характер.

Целью данной работы являлась оценка особенностей подтопления спс. Шуберское Новоусманского района Воронежской области, сформировавшегося в результате воздействия ряда техногенных факторов.

Рассмотрение данного объекта производилось в качестве типовой задачи, основные параметры которой сохраняются для многих подобных ситуаций. В предшествующие столетия затопляемые территории не застраивались. Как правило, это были участки выпаса скота, отдыха, развития сельского хозяйства.

В настоящее время особенностью современного строительства является застройка участков зон затопления. Это приводит к тому, что повышаются уровни подземных вод, формируются процессы подтопления, а также возникают катастрофические ситуации в процессе паводков.

Инженерные изыскания, которые необходимо проводить на данных территориях, сталкиваются с двумя проблемами.

Первая связана с запретом застройки затопляемых территорий. Однако, практически для 70 % водных объектов зона затопления в настоящий момент не рассчитана. Причем это касается не только мелких рек, не только участков временных водотоков, но даже крупных водных объектов, таких как, Воронежское водохранилище, которое располагается в своем основном объеме в г. Воронеж. В связи с этим строительство в зонах затопления ведется достаточно активно.

Вторая позиция связана с обоснованием гидрологических и гидрогеологических параметров возможности строительства. Соответствующие расчеты позволяют определить зоны затопления при различных уровнях обеспеченности и предусмотреть соответствующие строительные условия при возведении зданий и сооружений. [2]

Поселение Шуберское представляет собой типовой объект, демонстрирующий последствия пренебрежения к проведению комплекса инженерно-гидрометеорологических изысканий.

В течение последних 5 лет жители поселения стали объектом серьезных чрезвычайных ситуаций. Так в 2010 году большая часть поселка выгорела в результате катастрофических пожаров. Небывалая жара, установившаяся в Воронежской области,

сопровождалась многочисленными лесными пожарами, которые к середине июля стали грозным стихийным бедствием. С 20 июля леса под Воронежем и в сельских районах горели постоянно. 27 июля на территории региона был введен режим чрезвычайной ситуации, одновременно МЧС установило высший, пятый, уровень пожарной опасности, вход и въезд в леса был запрещен. Спс. Шуберское значительно пострадало от данных процессов, было уничтожено 29 домов, больше 70 человек осталось без крова. В связи со сложившимися ситуациями, правительство предприняло решение о восстановлении пострадавшего посёлка. Федеральные программы помощи людям, оказавшимся без крова над головой, стали финансовой основой восстановления поселения Шуберское. Однако застройка была произведена вопреки, как опыту предшествующих поколений, так и особенностям гидрологической ситуации. В результате все новые строения были размещены в пределах временного водотока, входящего в площадь водосбора р. Усмань. (рисунок 1)



**Рис. 1. Обзорная карта-схема района работ**

В 2013 г. в пределах данного района прошел паводок с 10 % обеспеченностью с подъемом уровня воды до 2 м. Все нововозведенные здания, а также ряд более старых построек были затоплены.

В этой связи, согласно муниципальной программе был проведен комплекс инженерных изысканий в целях обоснования инвестиций для предотвращения и ликвидации процессов затопления и подтопления данной территории (рисунок 2).

Инженерные изыскания являются одним из важнейших видов строительной деятельности, с них начинается любой процесс строительства и эксплуатации объектов. Комплексный подход, объединяющий различные виды инженерных изысканий, позволяет проводить разностороннее и своевременное обследование строительных площадок, зданий и сооружений [1].

**Рис. 2. Территория проведения инженерных изысканий**

Для решения проблемы подтопления и затопления пос. Шуберское был проведен комплекс инженерных изысканий:

- инженерно-геодезические;
- выполнен анализ гидрологической изученности региона. Собрана информация по режиму стока рек и временных водотоков района изысканий;
- определены гидрографические характеристики русла и водосбора временного водотока, формирующегося на территории пос. Шуберское. Подобраны реки-аналоги для исследуемого водотока;
- установлен гидрологический режим временного водотока на участке проектирования.
- изучены инженерно-геологические, гидрогеологические условия участка и определены физико-механические свойства грунтов для последующей разработки комплекса мероприятий по предотвращению подтопления пос. Шуберское Новосуманского муниципального района Воронежской области.



- участок изысканий

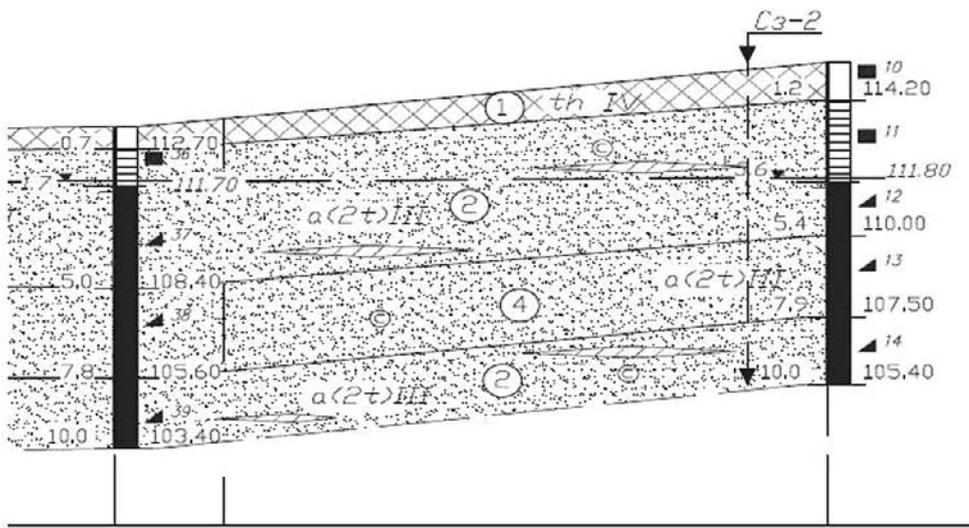


Рис. 3. Геологический разрез русловой части

Процессы подтопления на исследуемой территории происходят практически повсеместно.

К природным факторам подтопления на данной территории относятся:

- Наличие большого количества талых вод.
- Близкое залегание грунтовых вод к поверхности. Уровень залегания подземных вод на исследуемом участке не превышает первых метров до практически полного выхода на дневную поверхность.

- Рельеф местности. Наиболее распространенными формами рельефа исследуемого территории являются балки и полого-наклонная поверхность надпойменной террасы р. Усмань.
- Геологическое строение местности. В разрезе русла временного водотока преобладают влагонасыщенные пески (рисунок 3), на террасах встречаются глинистые отложения (рисунок 4).

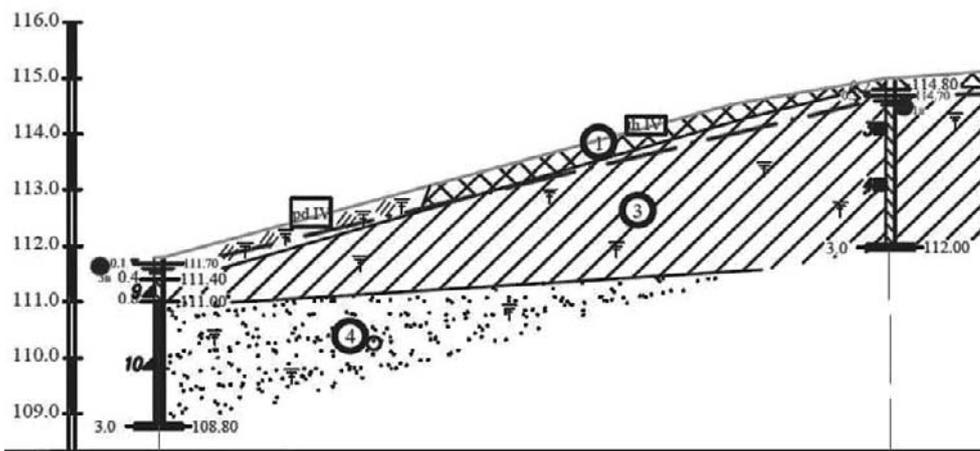


Рис. 4. Геологический разрез террасы

Несомненно, природные особенности имеют большое значение при возникновении процессов подтопления, но после проведенных исследований была выявлена прямая зависимость возникновения данного процесса от техногенных факторов.

После реконструкции сельского поселения, процессы подтопления активизировались практически по всей территории поселка. Это позволяет выделить техногенные факторы возникновения подтопления:

- практически приконтактное расположение жилых домов.
- прокладка 12 дорожных сооружений и переходов, перекрывающих естественный сток;
- возведение очистных сооружений в непосредственной близости к долине стока полей фильтрации;
- образование насыпи отработанного грунта, сформированной при строительстве очистных сооружений, которая перегораживает долину стока вод в нижней части сельского поселения.

Зависимость возникновения процессов подтопления, имеющих техногенный характер, а именно застройка территории подтверждается полученными данными.

Так в 2010 году, до реконструкции поселка, уровень грунтовых вод фиксировался в 2-6 метрах от дневной поверхности, с редкими превышениями в 1 метр. (рисунок 5).

В 2013 году, после крупного затопления и подтопления территории в связи с обильным паводком, уровень грунтовых вод поднялся до отметок в 0.1 – 0.7 метров, вплоть до выхода на дневную поверхность (рисунок 6).

В 2015 году также проводились работы по выявлению уровня залегания грунтовых вод, но уже в отсутствии чрезвычайной ситуации. Результаты данных работ показали, что УГВ спустя 3 года опустился в среднем на 0.7 метров, что является ничтожно малым показателем (рисунок 7).

Следовательно, в спс. Шуберское Новусманского района Воронежской области строительной-хозяйственной деятельностью напрямую повлияла на уровень залегания грунтовых вод (рисунок 8) и, как следствие, на возникновение процессов подтопления.

В 2010 году в пределах исследуемого поселения глубина залегания грунтовых вод в среднем составляла 2-2,5м., 2013 год характеризуется максимальным подъемом уровней. Результаты гидрогеологического мониторинга грунтовых вод 2015 года демонстрирует некоторую стабилизацию ситуации, которая отличается равномерным залеганием зеркала грунтовых вод на глубине от 1 до 1,5 м (рисунок 8).

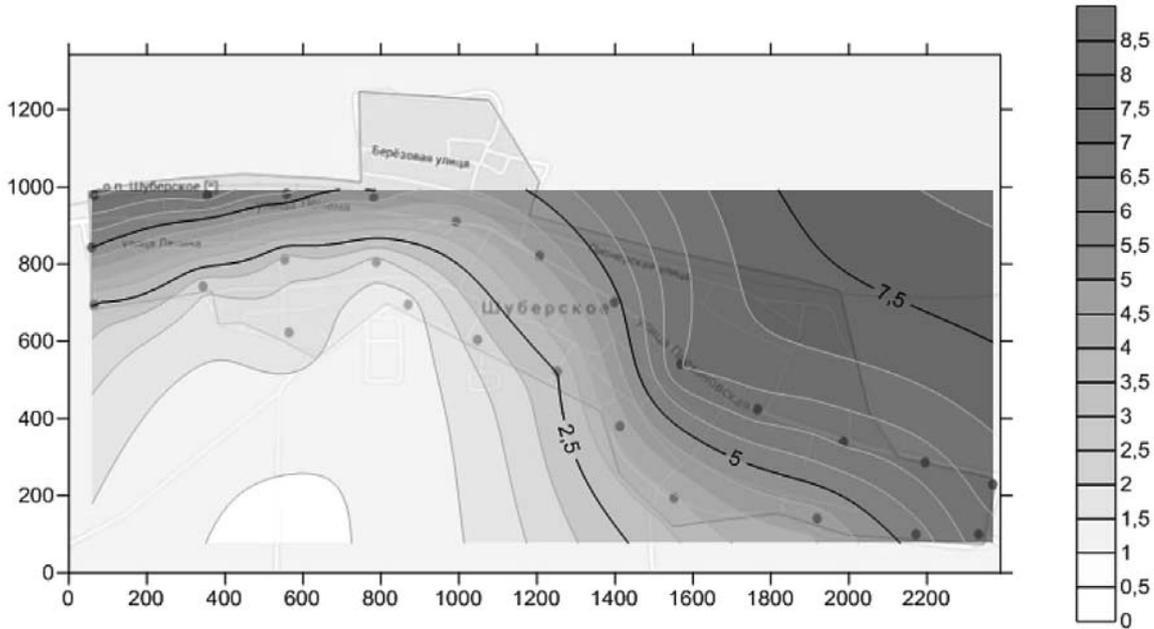


Рис. 5. Карта – схема УГВ в 2010 г.

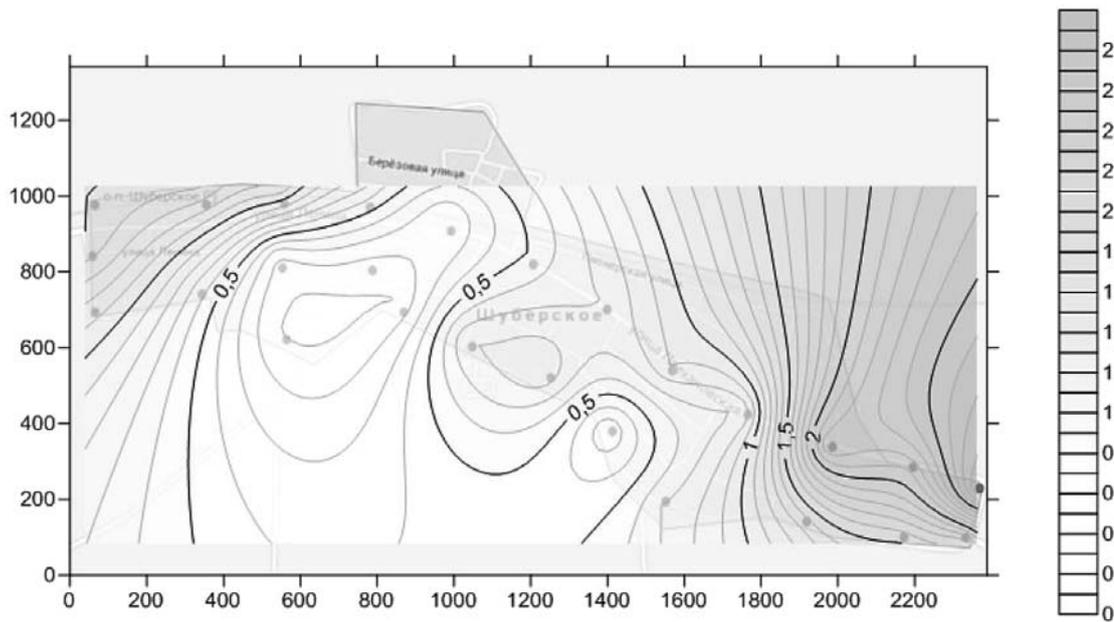


Рис. 6. Карта – схема УГВ в 2013г.

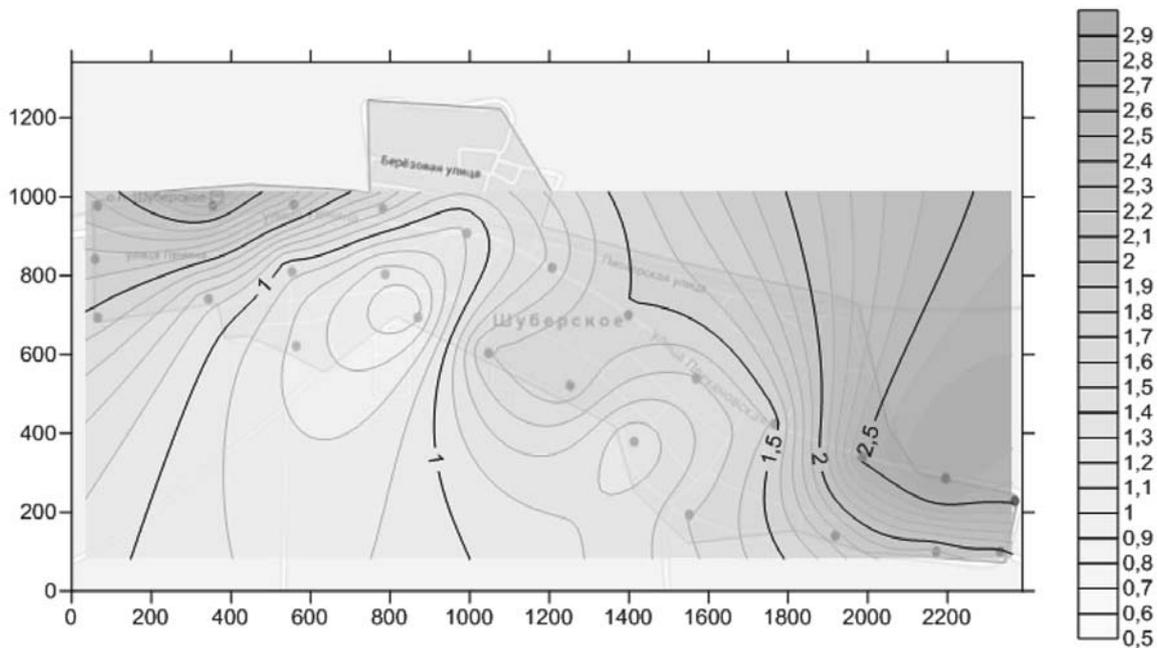


Рис. 7. Карта – схема УГВ в 2015 г.

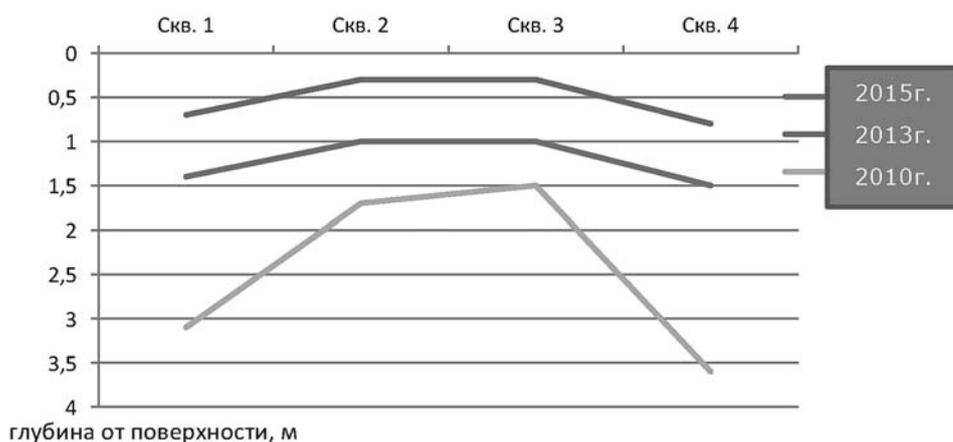


Рис. 8. УГВ в 2010, 2014, 2015 г.

Процесс подтопления негативно воздействует на фундаменты инженерных сооружений, приводит к подтоплению подвалов, затоплению огородных и приусадебных участков, нарушению экосистем приповерхностного типа.[3]

Следует отметить, что распространение процессов подтопления нередко связано с накоплением значительных объемов воды в куполах поднятия под фильтрующими объектами, к которым отнесены поля

фильтрации очистных сооружений.

Наиболее радикальным методом ликвидации негативных процессов затопления и подтопления является отселение жителей поселения из зоны затопления. Данное предложение обсуждалось, однако не было поддержано населением спс. Шуберское. Данная рекомендация послужила бы полной стабилизации существующей ситуации. Иной комплекс мероприятий ориентирован на внедрение дорогостоящих способов реконструкции поселения, к которым относятся:

- перестройка транспортной сети внутри спс. Шуберское
- ликвидация дорожных перекрытий, перекрывающих естественный сток, либо обустройство их соответствующими пропускными системами;
- создание сложной системы водоотведения для условий паводкового и меженного периодов;
- создание системы мониторинга за режимом подземных и поверхностных вод, за расходами (утечками) и напорами в водоразводных сетях, за деформациями оснований, зданий и сооружений.

Наиболее важным является внедрение системы правового контроля за разрешением строительства в пределах затопляемых территорий. Опыт практики инженерно-гидрологических и инженерно-экологических изысканий показывает, что даже на участках водных объектов в крупных городах отсутствуют документы по расчету зон затопления и подтопления, не разработаны регламенты поведения в условия ЧС.

В этой связи ущерб от подобных чрезвычайных ситуаций увеличивается в десятки раз, в то время, как регламент предупреждения и прогноза позволили бы свести их последствия к минимуму.

#### Список литературы

1. СНиП 2.06.15-85. Инженерная защита территории от затопления и подтопления. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986.
2. Прогнозы подтопления и расчёт дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях / ВНИИ ВОДГЕО. – М.: Стройиздат, 1991.. – (Справочное пособие к СНиП).
3. Куранов Н.П., Муфтахов А.Ж., Шевчик А.П., Бывальцев И.М. Последствия подтопления застроенных территорий и способы их дренирования // Итоги науки и техники: Гидрогеология. – М.: Изд-во ВИНТИ, 1991. – Т.13.

Никуленков А.М.<sup>1,2</sup>, Румынин В.Г.<sup>1,2</sup>, Синдаловский Л.Н.<sup>1,2</sup>, Логинова Н.В.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургское отделение Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, <sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, <sup>3</sup>Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, annik3@yandex.ru

## ИЗУЧЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СЛАБОПРОНИЦАЕМЫХ ГРУНТОВ ПОЛЕВЫМИ МЕТОДАМИ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ОБЪЕКТАМ ОКОНЧАТЕЛЬНОЙ ИЗОЛЯЦИИ РАО

Необходимость изучения фильтрационных параметров грунтов при проведении инженерно-геологических изысканий обозначена в целом ряде нормативных документов (СП 11-105-97, СП 47.13330.2012, НП 055-04 и др.). Правила и методика проведения полевых экспериментов наиболее полно изложены в ГОСТ 23278-2014 «Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости». Отметим, что все документы по полевому определению фильтрационных параметров строго ориентированы на хорошо проницаемые породы – водоносные горизонты и, зачастую, не могут быть применены на практике для определения параметров в слабопроницаемых грунтах.

Основной особенностью опытного опробования в слабопроницаемых породах является то, что непосредственно сам этап откачки может быть очень кратковременным (ввиду низкой обводненности пород), а этап восстановления способен длиться от нескольких суток до нескольких лет. Фильтрационные свойства таких грунтов, как правило, изучаются в лабораторных условиях на компрессионных установках. Однако полученные результаты характеризуют лишь параметры образца ограниченного объема, и могут в значительной степени отличаться (в меньшую сторону) от реального коэффициента фильтрации массива из-за недоучета масштаба опробования. Заниженные значения лабораторного коэффициента фильтрации способны приводить к драматическим последствиям, особенно когда речь идет об объектах окончательной изоляции радиоактивных отходов (РАО), где вмещающие слабопроницаемые породы рассматриваются в качестве природного барьера, отвечающего за долговременную безопасность.

На примере инженерных изысканий под строительство объектов окончательной изоляции РАО в котлинских глинах Ленинградской области и гранито-гнейсовом кристаллическом массиве Красноярского края рассмотрим некоторые аспекты полевого определения коэффициентов фильтрации в слабопроницаемых грунтах.

### 1. Изучение проницаемости в глинистых породах

Региональный пункт окончательной изоляции низко- и среднеактивных отходов предполагается разместить в котлинских глинах вблизи г. Сосновый Бор Ленинградской области. Геологический разрез представлен терригенно-осадочной толщей мощностью 180-200 м, которая несогласно залегает на древнем кристаллическом фундаменте. В осадочной толще можно выделить породы вендского, кембрийского и четвертичного возрастов. Основной особенностью разреза является то, что в разрезе присутствует мощная (70-80 м) пачка котлинских глин (см. рисунок 1), которая является регионально выдержанным водоупором. Глины отделяют друг от друга два водоносных горизонта – гдовский и ломоносовский. В скважинах фиксируется разрыв напоров между этими горизонтами.

На предпроектной стадии инженерно-геологических изысканий исследовалась возможность создания в глинах тоннеля (по типу метрополитена) для последующей окончательной изоляции в нем кондиционированных радиоактивных отходов. Отсутствие конвективного потока во вмещающих породах является одним из ключевых факторов, определяющим пригодность выбранного участка для строительства.

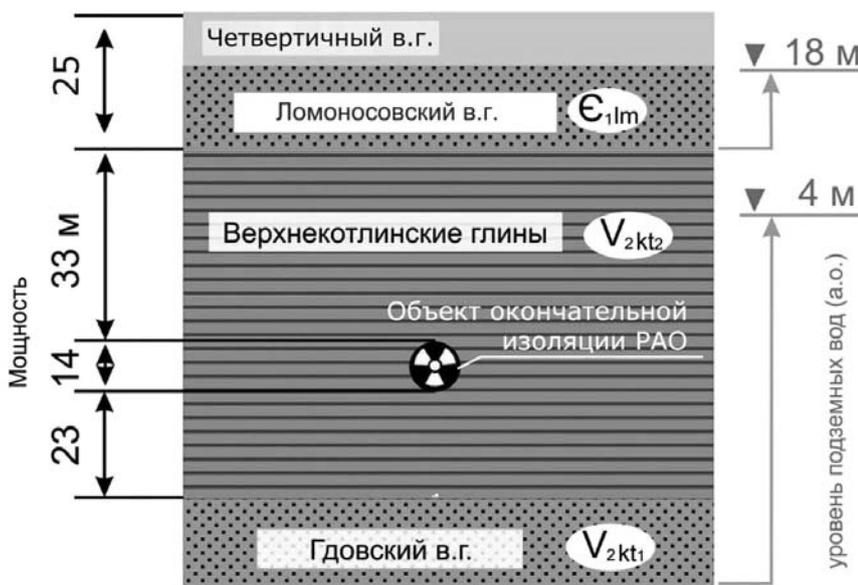


Рис. 1. Схема заложения пункта окончательной изоляции РАО в геологическом разрезе

С целью изучения фильтрационных свойств глинистого массива была пробурена сеть глубоких инженерно-геологических скважин, часть из которых далее переоборудовалась в гидрогеологические. Скважины являлись совершенными по степени вскрытия и оборудовались на гдовский водоносный горизонт. При проведении опытных откачек с постоянным расходом из гдовского горизонта, на графиках временного прослеживания фиксировалось постепенное выполаживание кривой вплоть до полной стабилизации уровня воды (см. рисунок 2). Такое поведение кривой объясняется дополнительным питанием за

счет перетока из вышележающих слоев. Интенсивность перетекания контролируется параметром перетекания (B), который, в свою очередь, зависит от коэффициента фильтрации водоупора [1]. Оценив значение параметра перетекания по данным опытных опробований, мы можем рассчитать фильтрационные свойства водоупора.

$$k' = T \cdot m' / B^2,$$

где  $k'$  – коэффициент фильтрации водоупора, м/сут;  $m'$  – мощность водоупора, м;  $T$  – проводимость водоносного пласта, м<sup>2</sup>/сут;  $B$  – параметр перетекания, м.

Пример обработки откачки по схеме напорного пласта с перетеканием (решение Хантуша–Джейкоба [2]) приведен на рисунке 2. Интерпретация полевых опробований выполнялась на программном комплексе ANSDIMAT [3].

Из графика видно, что выбранная расчетная модель хорошо согласуется с данными фактических наблюдений. Расчетная проводимость гдовского горизонта составила 50 м<sup>2</sup>/сут, а параметр перетекания равен 32 900 м. Основываясь на полученных параметрах и на уравнении (1) был рассчитан коэффициент фильтрации водоупора, который составил  $3,5 \times 10^{-6}$  м/сут. Данная проницаемость характеризует вмещающие породы как надежный водоупор, в котором исключена конвективная составляющая потока, т.е. миграция радионуклидов возможна только по медленному механизму диффузионного переноса.

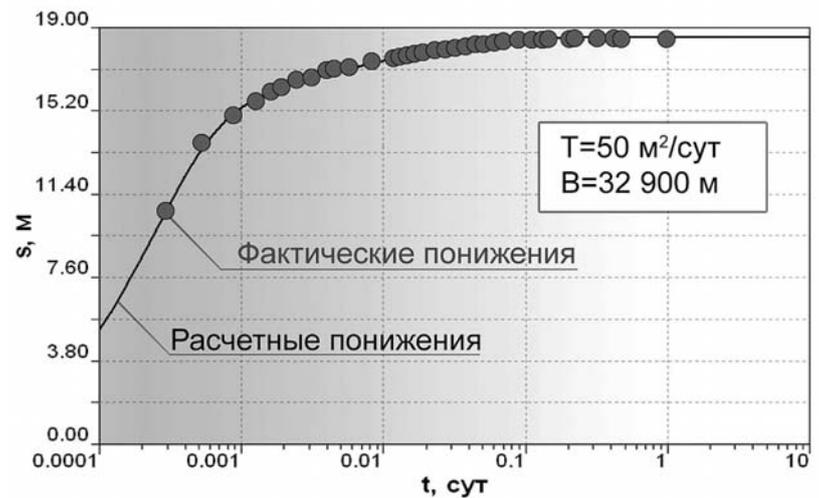
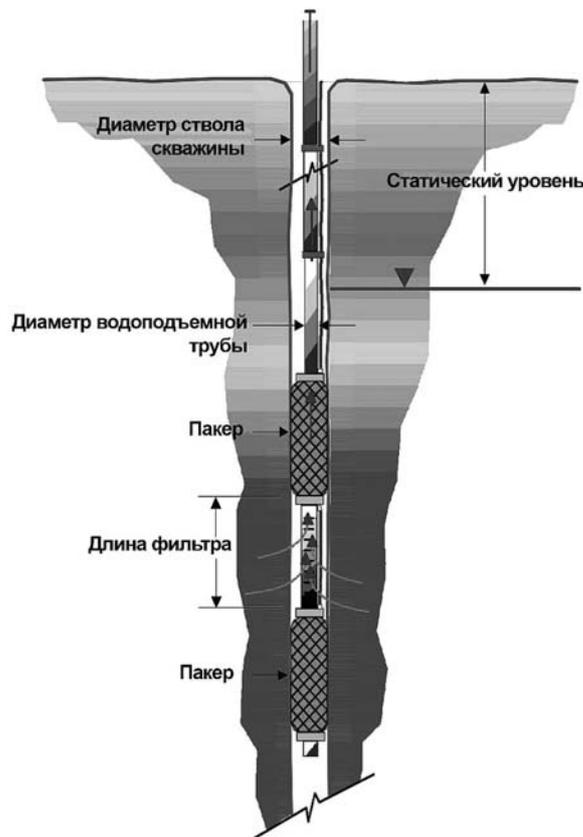
**Рис. 2. Интерпретация ОФР по скважине 04/10. Схема Хантуша–Джейкоба**

Поученный коэффициент фильтрации хорошо согласуется с данными гидродинамических реконструкций на численной региональной модели [4]. Было показано, что наблюдаемый разрыв напоров между смежными водоносными горизонтами (гдовским и ломоносовским) может существовать только в условиях, когда региональный коэффициент фильтрации водоупора не больше  $1 \times 10^{-5}$  м/сут.

**2. Изучение проницаемости в кристаллических массивах**

Федеральный пункт окончательной изоляции средне- и высокоактивных отходов планируется разместить на значительной глубине в трещиноватом гранито-гнейсовом массиве на территории Красноярского края.

В строении исследуемого участка принимают участие гнейсовая толща атамановской серии канского метаморфического комплекса архея, дайки основного состава архей-раннепротерозойского и рифейского возрастов, гранитоидные образования раннепротерозойского таракского комплекса, жильная фаза рифейских гранитоидов нижнеканского комплекса и современные элювиально-делювиальные отложения. С гидрогеологической точки зрения рассматриваемая территория представляет собой массив трещинных и трещинно-жильных вод.



**Рис. 3. Схема пакерного эксперимента**

Для изучения фильтрационной неоднородности трещиноватого кристаллического массива, сотрудниками ОАО «Красноярскгеология» [5] были проведены детальные поинтервальные опробования с помощью пакеров (см. рисунок 3). Длина фильтровой зоны пакера варьировала в диапазоне от 5 до 50 м. Технические условия эксперимента сводились к практически мгновенной откачке (около 200 л) воды из скважины с максимальными понижениями 20–80 м, и довольно продолжительному этапу восстановления (1-3 сут).

С помощью аналитических и численных решений изучалось влияние характерных для данных условий значений коэффициентов фильтрации на поведение кривых изменения уровня при откачке и восстановлении. Показано, что при опробовании трещиноватых пород с коэффициентом фильтрации ниже  $5 \times 10^{-4}$  м/сут опытная скважина практически не чувствительна к проницаемости пласта на этапе понижения уровня (откачки). В свою очередь, изменение уровня в скважине на стадии восстановления малочувствительно к фильтрационным свойствам пород, находящихся уже на удалении 20–30 м от скважины при коэффициенте фильтрации  $10^{-3}$  м/сут и 3–5 м – для  $10^{-4}$  м/сут.

Если масштаб опытного опробования не достигает минимального репрезентативного объема, то не выполняется предпосылка сплошности среды, на которой основаны все численные и аналитические решения в гидродинамике. Косвенным признаком невыполнения данной предпосылки служит не полное восстановление уровней воды в скважинах при опытных откачках. Такие эффекты были отмечены в неко-

торых интервалах опробования и были исключены из дальнейшего анализа.

Тем не менее, для большинства интервалов опробования достигается практически полное восстановление уровня воды в скважине после откачки. Наиболее оптимальными способами для обработки таких экспериментов в слабопроницаемых породах служат решения Купера и Бауэра-Райса [6, 7, 8].

Пример интерпретации восстановления уровня в интервале глубин 48,6 – 62,5 м по решению Купера приведен на рисунке 4.

По результатам обработки значительного количества пакерных экспериментов было установлено, что коэффициент фильтрации в гранито-гнейсах падает с глубиной от значений  $1 \times 10^{-2}$  м/сут в верхней части разреза, до  $1 \times 10^{-4}$ – $1 \times 10^{-5}$  м/сут в интервале глубин 200–500 м (см. рисунок 5).

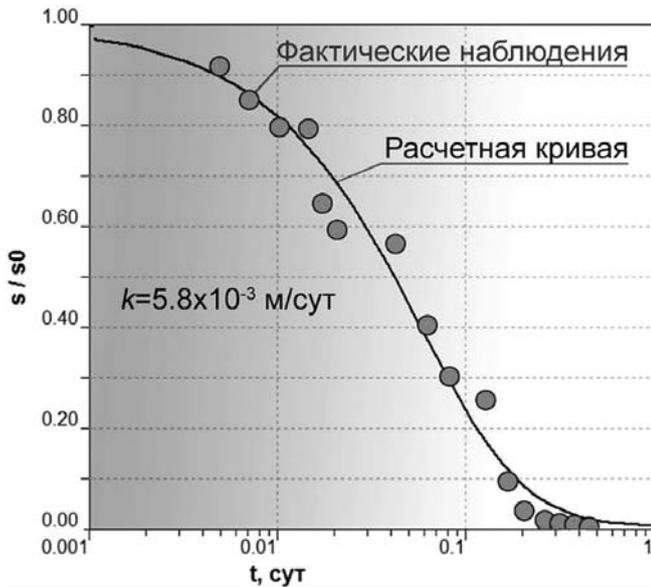


Рис. 4. Обработка восстановления уровня по скважине P2 в интервале глубин 48–62 м

Для изучения причин изменения коэффициента фильтрации с глубиной была проведена работа по оцифровке kernового материала скважин. Анализ фотоматериалов позволил выделить два потенциальных фактора, которые могут оказывать влияние на проницаемость массива – это трещиноватость керна и мощность зон локальной дезинтеграции массива в пределах фиксированных интервалов. В первом случае велся учет количества трещин в погонном метре керна и рассчитывался коэффициент трещиноватости. Во втором случае замерялась накопленная мощность зон дезинтеграции на каждые 10 м керна. За зоны дезинтеграции приняты участки с сильным разрушением kernового материала, приуроченные к областям разгрузки механических напряжений, а также к местам контакта гранито-гнейсов с дайками.

Результаты сравнения расчетных параметров (см. рисунок 5) показывают устойчивую корреляцию между зонами дезинтеграции и коэффициентом фильтрации. В то же время не обнаружено значимой связи фильтрационных параметров массива с количеством трещин. Вероятно, это обусловлено тем, что трещины на глубине находятся в сомкнутом состоянии и не являются проводящими зонами.

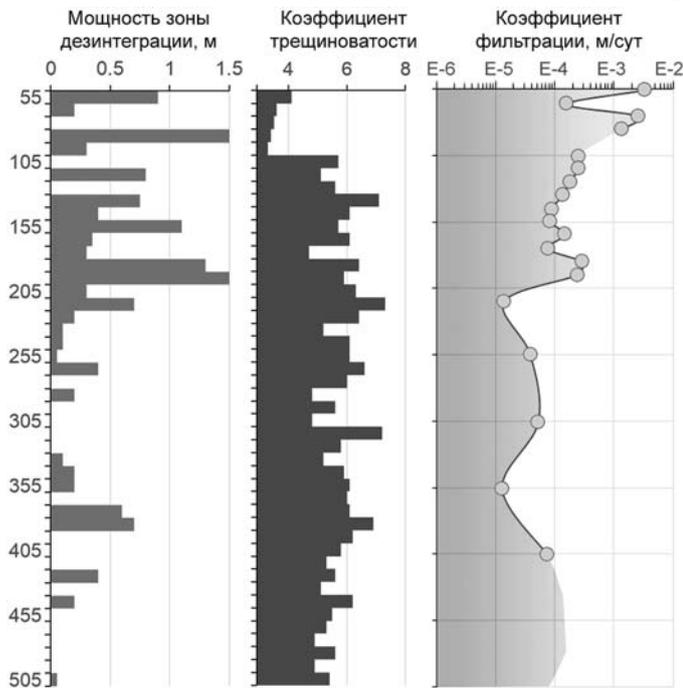


Рис. 5. Диаграмма распределения расчетных параметров по глубине

### Заключение

Исследование фильтрационных параметров слабопроницаемых грунтов полевыми методами применяется при строительстве ответственных и особо опасных сооружений. Обоснование параметров среды с учетом масштабных эффектов требует нетривиальных решений и индивидуального подхода к каждому объекту.

В качестве перспективных направлений дальнейших исследований, направленных на повышение надежности определения фильтрационных параметров слабопроницаемых массивов *in situ*, нам представляются: (1) прослеживание гидродинамических возмущений в глинах с помощью датчиков порового давления; (2) переход к гидродинамическим моделям дискретной трещиноватости (DFN) для интерпретации опробований скальных массивов, когда выполнение предпосылки сплошности среды вызывает сомнение.

### Список литературы

1. Мироненко В.А., Шестаков В.М. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. М.: Недра, 1978.
2. Hantush M.S., Jacob C.E. Non-steady radial flow in an infinite leaky aquifer // Transactions, American Geophysical Union. 1955b. Vol. 36, N 1. P. 95–100.
3. Синдаловский Л.Н. Аналитическое моделирование опытных опробований водоносных пластов и скважинных водозаборов (программный комплекс ANSDIMAT). СПб.: Наука, 2014.
4. В.Г. Румынин, Е.Б. Панкина, М.Ф. Якушев, А.В. Боронина, Е.Л. Кузнецова, Т.А. Кукушкина, И.Л. Хархордин, А.А. Потапов, И.В. Токарев, П.К. Коносовский, В.Ю. Абрамов, В.Н. Епимахов, С.А. Переверзева, К.С. Харьковский. Оценка существующего и потенциального воздействия атомно-промышленного комплекса на подземные воды (г. Сосновый Бор Ленинградской области) – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та. 2002. – 249 с. – УДК 622:502
5. Озерский А.Ю., Караулов В.А. Гидрогеологические исследования при изысканиях для подземного строительства в пределах массива кристаллических пород в южной части Енисейского кряжа. Журнал «Инженерные изыскания», 11/2012.
6. Bouwer H., Rice R.C. A slug test for determining conductivity of unconfined aquifers with completely or partially penetrating wells // Water Resources Research. 1976. V. 12. № 3. P. 423-428
7. Cooper H.H., Bredehoeft J.D., Papadopoulos I.S. Response of a finite diameter well to an instantaneous charge of water // Water Resources Research. 1967. V. 3, № 1. P. 263-269
8. Синдаловский Л.Н., Никуленков А.М. Использование опытных экспресс-откачек и наливов в скважины при инженерно-геологических изысканиях. Журнал «Инженерные изыскания», 08/2015.

Позднякова И.А., Галицкая И.В., Костикова И.А., Батрак Г.И., Томс Л.С.  
Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), Москва, gib74@mail.ru

## **ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОГНОЗЫ НА ТЕРРИТОРИИ Г. МОСКВЫ**

Резко неоднородная геологическая среда города, сложные гидрогеологические условия, высокая плотность существующей застройки обуславливают необходимость выполнения прогнозов изменения гидрогеологических условий при строительстве и эксплуатации объектов вне зависимости от их назначения, размеров и специфики.

Гидрогеологические прогнозы выполняются на основе информации о гидрогеологических условиях территории, полученной в результате инженерно-геологических и инженерно-экологических изысканий.

Как правило, специалисты, выполняющие прогнозные расчеты, получают краткую справку о гидрогеологическом строении территории, составленную на основе фондовых данных, результатов инженерно-геологического бурения на площадке строительства и определения фильтрационных параметров. Обоснованность гидрогеологических прогнозов зависит от достаточности и кондиционности этой информации.

Вопрос достаточности информации является актуальным, так как изыскания выполняются на площадке строительства, а гидрогеологический прогноз должен ответить на вопрос повлияет ли строительство и эксплуатация объекта на изменение гидрогеологических условий на прилегающей территории. Для этого необходима дополнительная информация о результатах инженерно-геологических изысканий на прилегающей территории. Без привлечения этих данных выполнение обоснованных прогнозов невозможно. Как существенно могут отличаться результаты гидрогеологических прогнозов, если они выполнены с использованием данных только по строительному участку или с использованием данных на прилегающей территории, показано на примерах целого ряда возводимых в центре города объектов.

Наиболее критичным является вопрос о достоверности информации об уровнях подземных вод, замеряемых при бурении инженерно-геологических скважин. Для большей части территории города главным объектом гидрогеологических прогнозов является надъяурский водоносный комплекс, так как залегающий выше надморенный комплекс распространен локально, а более глубокие водоносные горизонты в каменноугольных отложениях изолированы от надъяурского толщей слабопроницаемых юрских глин. Надъяурский комплекс в литологическом и фильтрационном отношении неоднороден и может состоять из 5-ти и более водоносных горизонтов в четвертичных (аллювиальных, флювиогляциальных), меловых и верхнеюрских отложениях. Существующая практика замеров уровня подземных вод при бурении скважин (без его восстановления) не только не позволяет дифференцировать напоры подземных вод по вертикали в слоистых системах, но даже в более или менее однородных слабопроницаемых отложениях точно зафиксировать все водопоявления. Полученное на основе таких замеров распределение напоров подземных вод характеризуется трудно интерпретируемыми «ямами» и «буграми» и реализуется в моделях при помощи задания зон с сильно отличающимися параметрами пласта. Обосновать такую неоднородность пласта в плане на локальном участке сложно, а она может повлиять на результаты прогноза. Необходимо использовать новые методики, нормативные документы и технические средства для получения достоверной информации об уровнях подземных вод при инженерно-геологическом бурении.

Вопрос доверия значениям фильтрационных параметров, полученным в ходе изысканий, также является актуальным для гидрогеологических прогнозов. Для определения фильтрационных параметров (коэффициента фильтрации), как правило, используют лабораторные методы определения, реже экспресс-наливы в скважину, еще реже опытно-фильтрационные откачки. Данные, полученные лабораторным способом для разных литологических разностей, могут быть использованы только для установления диапазона изменения значений коэффициента фильтрации или как ориентировочные. Наливы и откачки более информативны, но для их проведения и интерпретации должны привлекаться специалисты-гидрогеологи, что происходит далеко не всегда.

За время работы на территории г.Москвы специалистами Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева были разработаны гидрогеологические прогнозные модели для тоннелей и станций метрополитена, автомобильных тоннелей, крупных подземных хозяйственных сооружений, жилых домов. Среди них есть уникальные в инженерном отношении объекты, расположенные в сложных гидрогеологических условиях. Это связано с тем, что наиболее удобные для строительства территории в городе давно застроены. В результате строительство часто ведется на склонах, поймах и даже на засыпанных руслах малых рек. Все это выдвигает повышенные требования к точности гидрогеологических прогнозов и, как следствие их параметрическому обеспечению.

Батрак Г.И., Карфидова Е.А.

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), Москва, e.karfidova@yandex.ru, gib74@mail.ru

## АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗНЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Рассмотрена возможность количественного анализа современного городского ландшафта на примере водосборного бассейна реки, рельеф которого спланирован, а русло убрано в коллектор.

Авторами показаны возможности ГИС-технологий для выделения границ водосборных бассейнов разных порядков, выявления путей миграции поверхностного стока по территории водосбора, районирования территории по уклонам водосборных площадей и эрозионной сети, выявления зон повышенной аккумуляции поверхностных вод. Показано, что, несмотря на значительные видимые изменения в рельефе земной поверхности, он сохраняет практически все природные черты: границы водосборных бассейнов, эрозионную сеть малых порядков, объемы и пути миграции поверхностного стока, зоны аккумуляции атмосферных осадков. В то же время дисперсия значений параметров, характеризующих поверхность земли, на городской территории снижается.

Использование ГИС-технологий для анализа условий формирования поверхностного стока позволяет увеличивать точность прогнозных экологических моделей.

### Введение

Изменение природного ландшафта неизменно сопутствует развитию любого города, а эколого-градостроительные усилия целенаправлены на сохранение природного ландшафта. Внимательное бережное отношение к открытым водным объектам, а также к долинам рек, закопанных и канализованных, является одной из первостепенных задач урбоэкологии. Для Москвы наиболее известным примером успешного решения подобных задач является долина реки Неглинки, которая за всю историю развития Москвы сохранилась в урбанизированном современном ландшафте города; в настоящее время эта задача закреплена в совокупности зон с ограниченными условиями градостроительной и хозяйственной деятельности, разработка которых осуществляется по программе сохранения природного комплекса центрального округа Москвы.

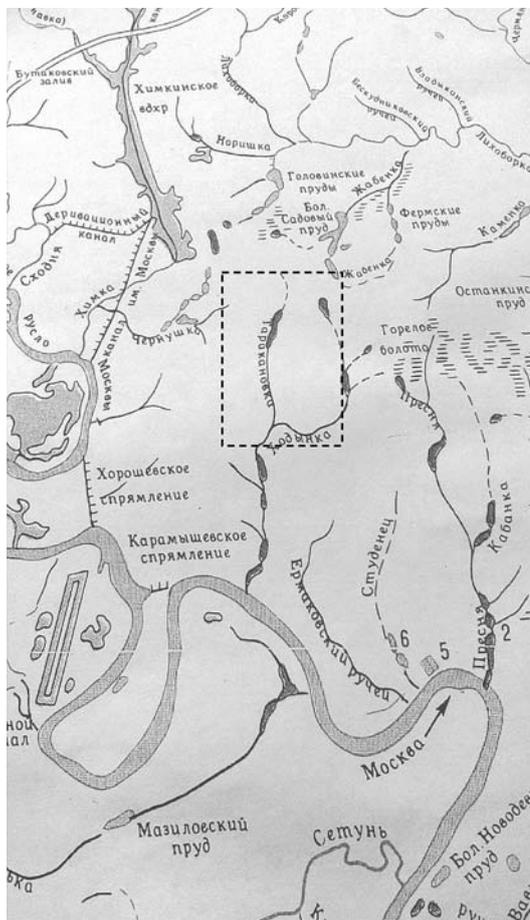
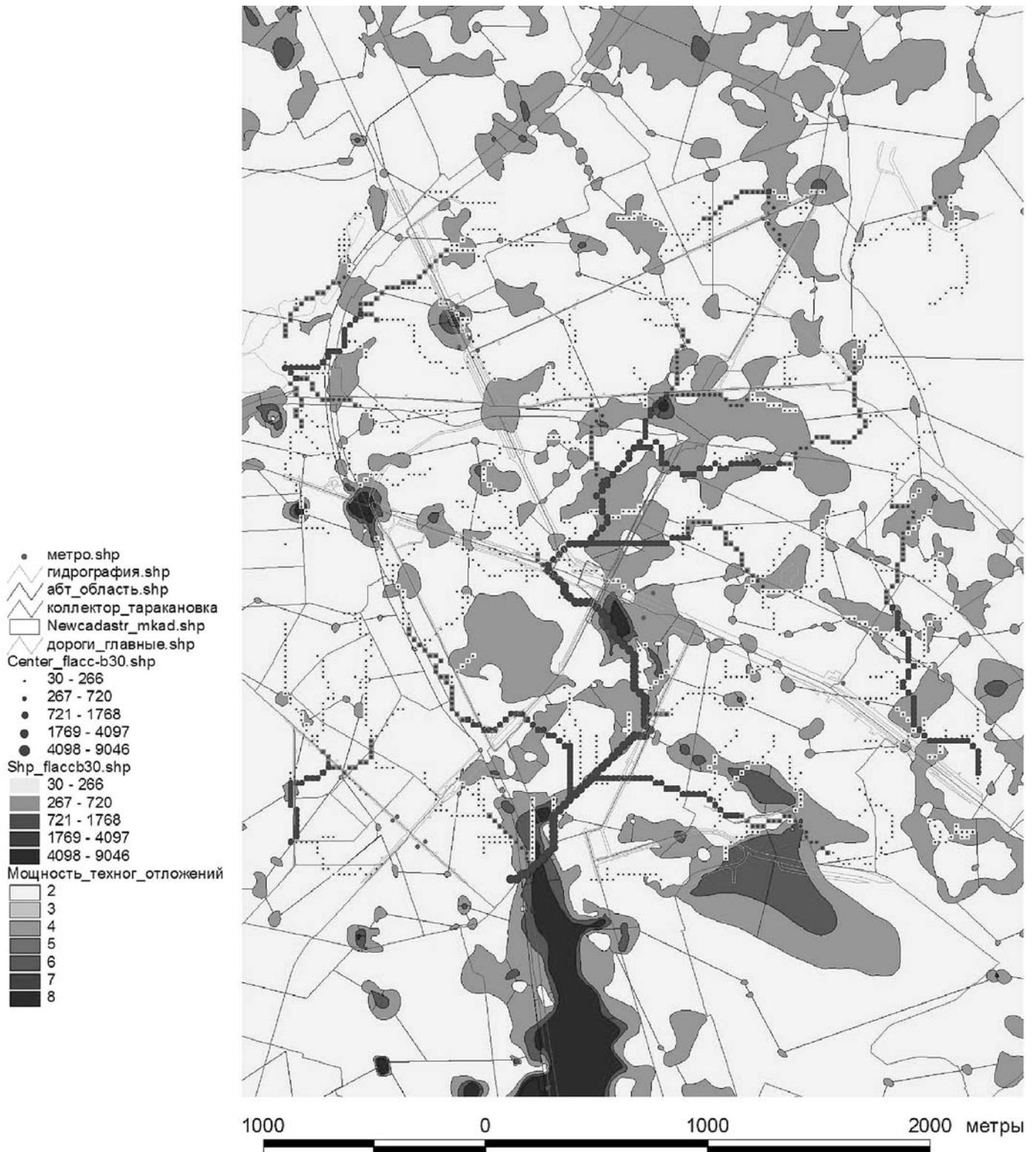


Рис. 1. Слева – Фрагмент северо-западной части исторического представления гидрографической сети [1, с. 63]. Справа – мощность техногенных отложений современного городского ландшафта в долине реки Таракановка

Применительно к практическим задачам, таким, как проектирование сетей дождевой канализации или очистных сооружений поверхностного стока для городских территорий, а также при решении экологических задач в рамках раздела проекта «Охрана окружающей среды», используются весьма обобщенные зависимости для расчета формирующихся объемов поверхностного стока. В данных расчетных схемах не учитывается уклон поверхности. Расчеты ведутся через обобщенный коэффициент стока, который принимается средним для водосборного бассейна. Однако принимается он на основе характера покрытия поверхности и условий техногенного освоения, а отнюдь не на основе характеристик рельефа. Этот подход является устаревшим, относящимся к эпохе отсутствия эффективного аппарата ГИС-технологий. В рамках применяемого подхода невозможно определить пути миграции стока на водосборном бассейне, зоны повышенной его аккумуляции, что сказывается на качестве проектирования. Страдает от этого и решение экологических задач.

В настоящее время на территории крупных городов таких, как Москва, ведется активное освоение подземного пространства. Это влечет необходимость гидрогеологических расчетов водопритоков в строительные выработки, а также рекомендаций по созданию дренажной сети. Для этих расчетов весьма полезной является дифференциация территории по условиям питания грунтовых вод.



Данная статья посвящена обоснованию подходов к решению этой и выше изложенных задач с помощью аппарата ГИС-технологий на основе данных о рельефе земной поверхности.

Район данного исследования лежит в северо-западном округе Москвы, в верховьях долины реки Таракановка, включая впадение реки Ходынки; на схеме гидрографической сети с реконструкцией рек Москвы, закопанных или убранных в канализацию, он представлен пунктирным прямоугольником (рис. 1).

Согласно энциклопедической справке, Таракановка, левый приток р. Москвы. Длина 7,8 км. Большой частью заключена в коллектор. Площадь бассейна 18,3 км<sup>2</sup>. Левый приток – р. Ходынка (часто, наоборот, Таракановка рассматривается как приток Ходынки). [1, с. 786]. По значимости (протяженности и водосборному бассейну) река Таракановка сопоставима с рекой Пресня, но ее канализация произошла позднее на 50-70 лет.

Исходные данные о рельефе земной поверхности (абсолютные высотные отметки) позволили с использованием лицензионного программного обеспечения ArcView ESRI построить поверхности в виде триангуляционной нерегулярной сети (TIN) и регулярной интерполяционной сетки ГРИД (GRID) с размером ячейки 30 м и провести их анализ.

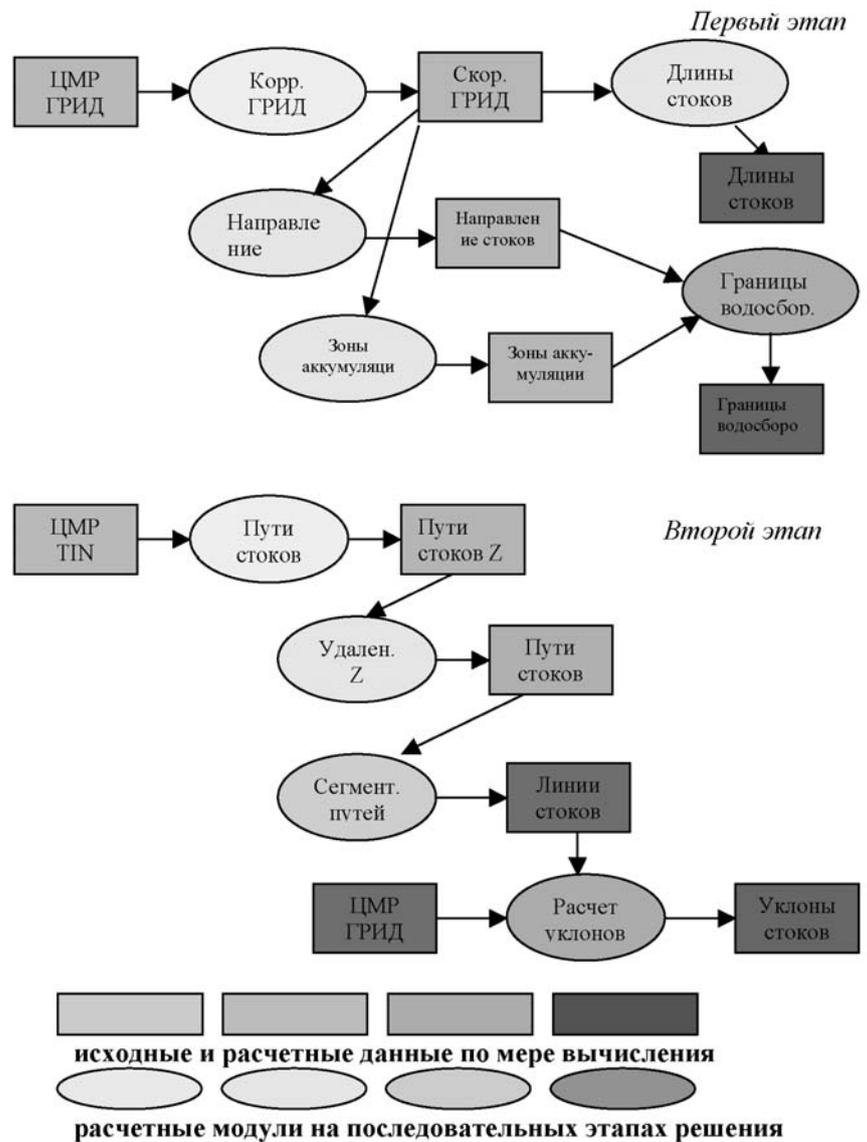
**Методика исследований**

Формализация анализа формирования поверхностных стоков представлена на рис. 2. Модель создана на основе использования модулей Spatial Analyst, 3D Analyst и Model Builder ESRI. Первый этап решения задачи основан на использовании модуля гидрологического моделирования Hydrologic Modeling [3]. Второй этап – на основе программного расширения ядра ГИС, доступного для пользователей ESRI, как общественный электронный ресурс [4].

**Рис. 2. Модель анализа формирования поверхностного стока, где:**

Ниже приведены используемые в модели модули – расширения ядра ГИС (в скобках приводятся наименование оригинального модуля и форма представления результата):

- Корр. ГРИД – Корректировка ГРИД на основе заполнения «раковин», локальных понижений (Fill), ГРИД,
- Направление стоков – определение азимутального направления стоков (Flow direction), ГРИД,
- Зоны аккумуляции – расчет зон аккумуляции стоков (Flow accumulation), ГРИД,
- Длины стоков – расчет длины стоков (Flow length), ГРИД,
- Границы водосборных бассейнов (Watersheds), шейп-файл, содержащий полигоны,
- Пути стоков – определение кратчайших путей стоков со склонов из центра треугольника – элемента нерегулярной триангуляционной сети (3D.Fpath), линейный объект в трехмерном представлении,
- Удаленная Z – удаление 3D представления и перевод в обычный вид полилинии (RemoveZ), шейп-файл, содержащий полилинии,
- Сегментация путей – сегментация полилиний (Point&polyline Tools), шейп-файл, содержащий линии,
- Расчет уклонов – расчет склоновых уклонов по отдельным линиям стоков (Line Slope analyst), шейп-файл, содержащий линии с атрибутами длины и уклона.



**Результаты исследований**

Расчет геостатистических данных ГРИД позволяет получить основные характеристики цифровой модели рельефа земной поверхности (табл. 1). В нижней части ЦМР выделяется долина реки на отметках 150 и 152 м, в срединной и нижней частях исследуемого района обращают на себя внимание локальные понижения.

Построение отмытки рельефа позволяет заметить в срединной части района исследования линеаменты азимутального простираения 27 и 90 градусов. Законы распределения высотных значений для ГРИД земной поверхности – нормальный, для ГРИД уклонов – лог-нормальный; оценки вертикального расчленения выявляют значения 5-6 м в радиусе 100 м, но их расположение связано с большими магистралями и железной дорогой. Если исключить техногенную составляющую, то оценки в 2 – 3 м связываются с долиной реки Таракановка и Ходынка. Основываясь на данных мощности техногенных отложений в составе карты техногенных отложений комплекта крупномасштабных геологических карт территории Москвы [2], можно заметить, что техногенные отложения в районе исследования связаны с бывшим руслом реки Таракановка (верхняя часть русла, близкая к истоку). Фрагментарно на небольшой площади они достигают мощности в 6 м, но в среднем составляют 3 – 4 м. Они не имеют постоянного простираения в русле реки. В отличие от верхней, в нижней части реки до ее устья, мощность техногенных отложений достигает 8 м, и занимаемая ими поверхность имеет значительную ширину вкрест простираения русла и постоянна на всем протяжении вплоть до впадения в реку Москва.

Внимательное отношение к оценке уклонов склонов долины равнинной реки позволяет выявить, что оценка уклонов в модуле Spatial Analyst является усредненной, т.е. не вполне отражает реальную картину. Поэтому уклоны были рассчитаны по склонам сети TIN, построение их распределения выявило отличие от распределения уклонов по ГРИД (рис. 3), что и предопределило необходимость анализа формирования путей направленных склоновых стоков использовать направление наибольшей крутизны.

**Рис. 3. Распределение уклонов склонов, рассчитанных на основе TIN**

Расчет скорректированной ГРИД с заполнением локальных понижений, статистические данные которой приводятся в табл. 1, позволяет рассчитать зоны локального понижения, используя формулу:

$$\text{ГРИД}_{\text{лок}} = \text{ГРИД}_{\text{кор}} - \text{ГРИД}_{\text{исх}}$$

Расчитанные на основе ГРИД<sub>лок</sub> изолинии локального понижения достигают 1,5 м и располагаются как в срединной части, так и в нижней частях русла в пределах района исследования, в том числе, и в местах, где расположены техногенные отложения мощностью 3 – 4 м.

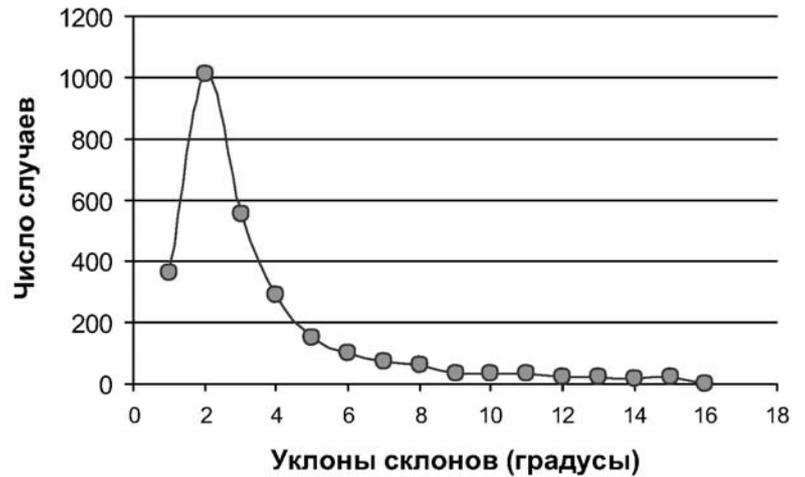


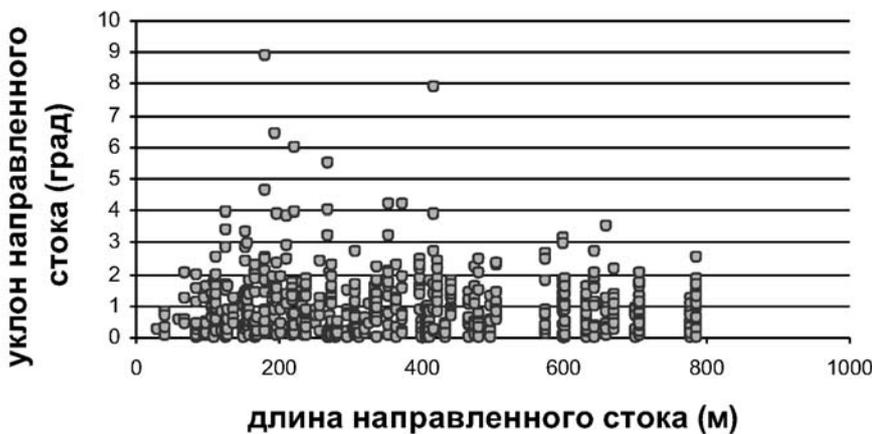
Таблица 1

**Статистика расчетных ГРИД цифровой модели рельефа**

Наименование ГРИД	Статистика					
	Минимальное значение, м	Максимальное значение, м	Среднее значение, м	Стандартное отклонение	Отклонение	Амплитуда, м
ЦМР ГРИД <sub>исх</sub>	147.24	171.64	160.58	3.95	15.63	24.40
Скорректированная ЦМР ГРИД <sub>кор</sub> (заполнение замкнутых понижений, выброс недостоверных значений)	148.28	171.64	160.61	3.93	15.45	23.36
Локального понижения ГРИД <sub>лок</sub>	0.0	4.04	0.54	0.65	0.43	4.04
Уклонов ГРИД <sub>укл</sub>	0.001	7.83	0.79	0.69	0.48	7.83

Анализируя направленность простирания зон аккумуляции высокой степени, как предполагаемое русло реки, заметим, что выделяются два линеамента меридиональной направленности в средней части исследуемого района с азимутальным направлением 27- 29 градусов и два линеамента широтного направления с азимутальным направлением около 90 градусов. Направления этих линеаментов совпадают с линеаментами отмывки рельефа.

Максимальная величина накопления стока по площади водосборного бассейна (9046 в ячейках сетки) равняется 8,14 км<sup>2</sup>, что в сравнении с историческими данными о площади водосборного бассейна 18,3 км<sup>2</sup> для всей реки, представляется для исследуемого района вполне реальной величиной с потерей порядка 10-15% по сравнению с историческими данными.



**Рис. 4. Распределение уклонов по длине направленного стока**

Расчет границ водосборного бассейна требует ввода параметра минимальной площади и по своей сути является итерационным, подбираемым пользователем. В данном случае была выбрана минимальная водосборная площадь 100 ячеек сети, позволяющие выявить притоки второго порядка. В результате расчета, наряду с существенными полигонами, возникают мелкие несущественные полигоны.

Уничтожение таких полигонов возможно при задании минимальной площади и присоединении к соседнему полигону по длинной стороне (модуль Dissolve.avx). Расчетное число водосборных бассейнов – 18, средняя площадь – 0,32 км<sup>2</sup> (минимальная площадь – 0,05 км<sup>2</sup>, максимальная площадь – 0,83 км<sup>2</sup>). Уклоны водосборных бассейнов (в градусах) имеют среднее значение 1,09 (минимальное значение – 0,36, максимальное значение – 1,88), причем уклоны предполагаемого русла ниже склоновых уклонов в среднем на 15 – 20%. Максимальные склоновые уклоны в морфометрическом анализе выступают в виде маркеров, которые позволяют выявить основные уровни террас долины реки. Уклоны левых склонов в срединной части русла превышают уклоны правых склонов в среднем на 20%. Характерной особенностью склоновых (направленных) уклонов является то обстоятельство, что максимальные уклоны встречаются у коротких по длине стоков. (рис. 4).

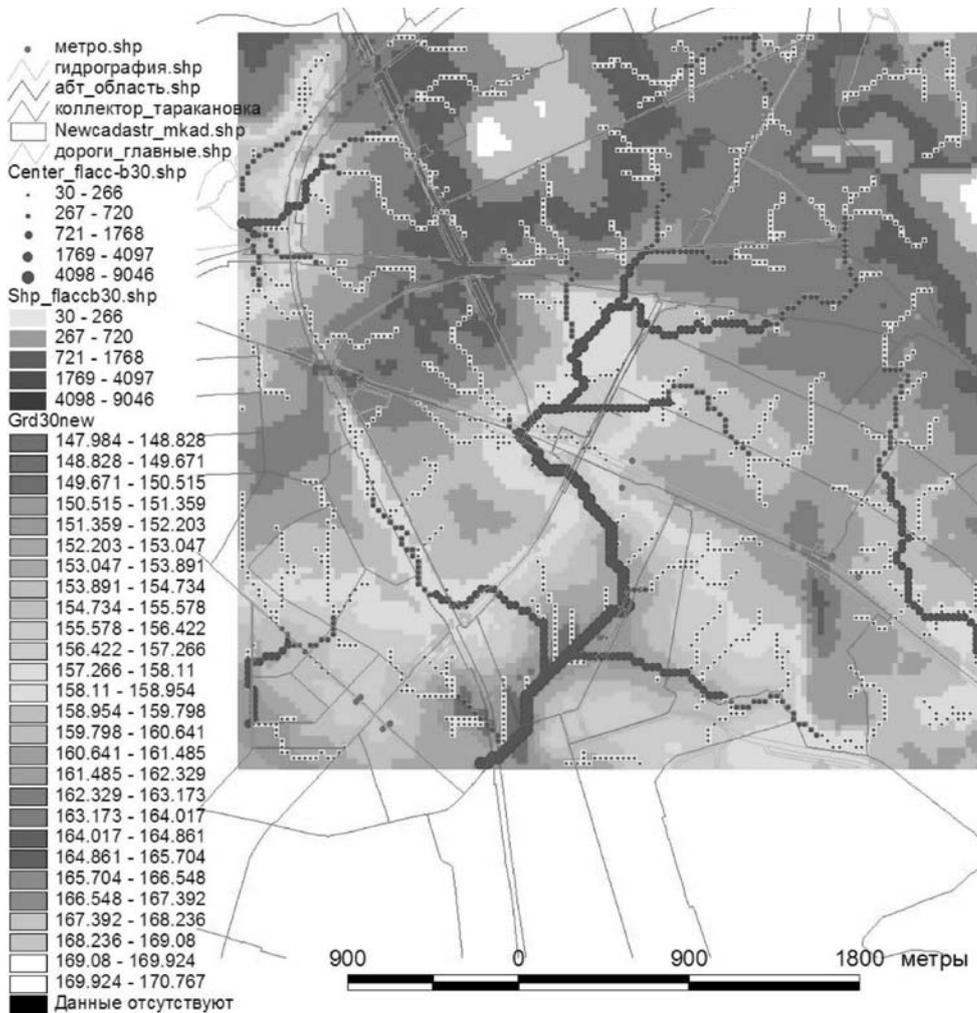


Рис. 5. Карта-схема зон аккумуляции стоков на цветовом представлении цифровой модели рельефа (ЦМР). Аккумуляция стоков представлена как полигональный объект и как масштабируемый точечный объект. Сиреневым цветом сверху ЦМР показан слой кадастрового деления

Результаты реализации первого этапа позволили получить наглядную картину формирования стоков на территории исследования (рис. 5). Синими точками различной интенсивности и размера показаны ячейки, в которые происходит аккумуляция стока с других ячеек. Минимальное число ячеек, с которых собирается сток, принято 30. Чем крупнее и интенсивнее окрашена ячейка, тем больше в нее сток. Это позволило выявить все бывшие притоки р. Таракановки, а также оценить их роль в водном балансе водосборного бассейна. И если геометрия основного русла была более-менее известна, то информации о притоках и роли разных частей водосборного бассейна в питании реки не было.

Однако помимо объемов аккумуляции воды важной характеристикой является доля поверхностных вод, которая транзитом проходит через территорию по отношению к той части, которая просачивается в почву и уходит на испарение. И здесь необходимо учитывать как характеристику покрытия земной поверхности (газон, асфальт и т.д.), так и углы наклона поверхности на водосборе. Там, где углы невелики, формируется застойный водный режим, улучшаются условия для просачивания. При неглубоком залегании грунтовых вод и высокой проницаемости отложений зоны аэрации, формируются условия для улучшенного питания подземных вод. Для выявления таких зон водосборный бассейн был прорайонирован по уклонам поверхности (рис. 6).

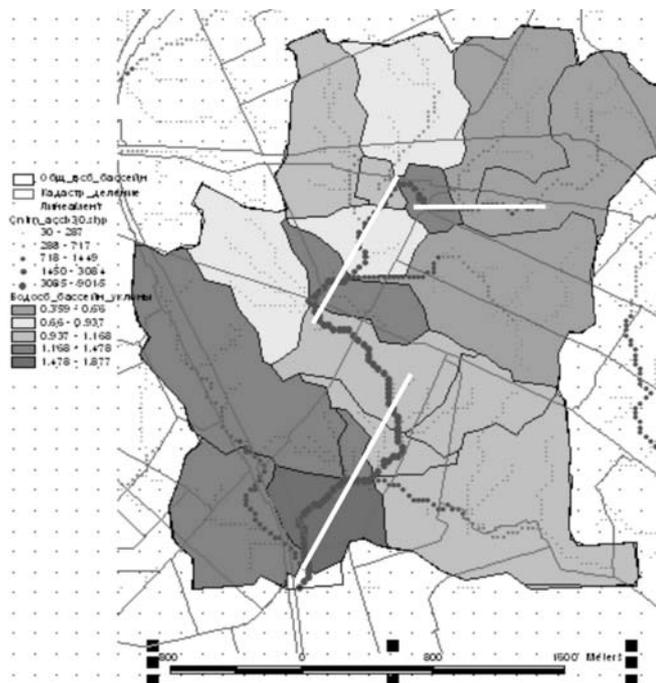


Рис. 6. Районирование водосборного бассейна по уклонам поверхности (белым цветом показаны выделенные линейменты)

По данным каталога геоданных единого геоинформационного пространства Москвы Москомархитектуры [5] на территории исследуемого района находятся лесопарки, парки, кладбище (бывшее), зоны строго регулирования градостроительной деятельности, зоны регулирования застройки, зоны охраняемого природного ландшафта, охраняемого культурного слоя, территории объектов культурного наследия (рис. 7). Большие магистрали (Ленинградский проспект и улица Алабяна) секут долину реки Таракановка, перекрывая естественные пути миграции поверхностного стока с перехватом последнего и направлением его в систему дождевой канализации. Этот факт также учитывался при районировании по условиям питания подземных вод.



**Рис. 7. Территории с особыми требованиями к осуществлению градостроительной деятельности в районе исследования (Скриншот с геопортала Москомархитектуры)**

### Заключение

Показана эффективность использования ГИС-технологий для анализа условий формирования поверхностного стока на городских территориях.

Для бассейна р. Таракановка был произведен анализ путей направленных склоновых стоков. Характерной особенностью склоновых (направленных) уклонов является то обстоятельство, что максимальные уклоны встречаются у коротких по длине стоков.

Произведен расчет границ водосборных бассейнов разных порядков. Уклоны водосборных бассейнов (в градусах) имеют среднее значение 1,09 (минимальное значение – 0,36, максимальное значение – 1,88), причем уклоны предполагаемого русла реки ниже склоновых уклонов в среднем на 15 – 20%. Максимальные склоновые уклоны в морфометрическом анализе выступают в виде маркеров, которые позволяют выявить основные уровни террас долины реки.

Построена карта-схема зон аккумуляции стоков, которая в сочетании с районированием водосборного бассейна по уклонам поверхности позволяет оценить зоны преимущественного просачивания поверхностных вод в грунты зоны аэрации.

Анализ сопоставления зон аккумуляции стоков и водосборных бассейнов с существующей застройкой показывает, что планировка и кадастровое деление территории проведено относительно «дружественно» по отношению к долине реки Таракановка. Большинство кварталов вписано в границы естественных элементов ландшафта.

Интересным фактом в сравнении расчетных ЦМР рельефа земной поверхности и погребенного горизонта (юрского возраста) являются линеаменты русла одного азимутального направления (27 – 29 градусов), расположенные с небольшим смещением, как в срединной, так и в нижней части русла в исследуемом районе.

Полученные зоны повышенного увлажнения поверхности земли были использованы для прогнозного гидрогеологического моделирования Алабяно-Балтийского тоннеля в г. Москве в качестве базы при оценке инфильтрационного питания.

### Список литературы

1. Москва энциклопедия, научное издательство «Большая российская энциклопедия», Москва, 1998 г.
2. В.И. Осипов. Крупномасштабное геологическое картирование территории г. Москвы // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2011. № 3. С. 195 – 197.
3. Jenson, S. K., and J. O. Domingue. 1988 г. «Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis.» Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54 (11): 1593–1600.

Батрак Г.И., Костикова И.А., Позднякова И.А., Томс Л.С.

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН (ИГЭ РАН), Москва, tomsleo@mail.ru

# О ПРЕИМУЩЕСТВАХ КОМПЛЕКСНОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗЫСКАНИЙ И ОБСЛЕДОВАНИЙ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ПРИЧИН ДЕФОРМАЦИЙ СООРУЖЕНИЙ НА ПРИМЕРЕ БОЛЬШОГО МОСКВОРЕЦКОГО МОСТА В Г. МОСКВЕ

Описаны преимущества комплексного выполнения изысканий и строительного обследования при выявлении причин деформаций сооружений на примере Большого Москворецкого моста в г. Москве. Для реконструируемых сооружений, расположенных на участках с длительной историей техногенного освоения необходимо применение широкого перечня методов исследований для выявления всех факторов вызывающих деформации и количественной оценки значимости каждого из них.

Рассмотрена связь изменения гидрогеологических условий с интенсификацией суффозии и снижением прочностных и деформационных свойств грунтов и строительных материалов. Описаны преимущества применения геофильтрационного моделирования в эпигнозной постановке для воспроизведения основных стадий существования сооружения, калибровке модели на их основании для последующего выполнения достоверных прогнозов.

## Введение

Большой Москворецкий мост расположен в центре г. Москва и соединяет ул. Балчуг и Красную площадь. В связи с необходимостью увеличения допустимой нагрузки, сооружение подлежит реконструкции.

Целью выполненных исследований было создание концептуальной модели реконструкции Большого Москворецкого моста.

Основными задачами блока изысканий и обследований при этом являлись:

- Определение физико-механических свойств грунтов и строительных материалов;
- Изучение геотехнических, гидрогеологических и гидрогеохимических условий;
- Выявление причин деформаций моста и определение значимости каждого фактора;
- Воспроизведение на гидрогеологической и геомеханической моделях основных стадий существования сооружения;

Работы выполнялись коллективом, состоящим из специалистов ИГЭ РАН, МГУ, ООО «ГВИН-ПИН» и ООО «ПетроМоделинг» при содействии и под контролем ГБУ «Гормост».

В состав исследований входили: инженерно-геологические, инженерно-геодезические изыскания, гидрогеологические, геофизические, геотехнические исследования и строительное обследование конструкций.

Для территории исследований накоплен большой объем геологической информации, многократно выполнялось строительное обследование. Однако недостатком выполненных на предыдущих этапах исследований была их узкая направленность, которая не позволила всесторонне оценить происходящие процессы. Тем не менее, значительный объем фактических данных за разные годы исследований послужил хорошим основанием для создания и калибровки геомеханической и геофильтрационной моделей и их параметрического обеспечения. Все фондовые и архивные данные были проанализированы и переинтерпретированы в составе комплексной изыскательно-обследовательской работы.

## Общие технические сведения

Большой Москворецкий мост через реку Москва на улице Большая Ордынка построен в 1937 году по проекту Гормост-проекта для пропуска временных нагрузок по схеме Н-12. Сооружение запроектировано по единым нормам ИНОРСа издания 1934 г. Расчет моста выполнен по методу допускаемых напряжений.

Полная длина моста равна 524.7 м, ширина (в свету между внутренними гранями парапетов) – 40.0 м, в том числе: проезжая часть – 31.0 м и два тротуара по 4.5 м. Мост пересекает реку Москва под прямым углом. Сооружение состоит из подходов, эстакад, руслового и береговых пролетов, насыпей в подпорных стенах.

## Геологические и гидрогеологические условия

В геологическом строении участка изысканий принимают участие четвертичные и каменноугольные отложения (рис. 1). Снизу вверх развиты следующие отложения:

- Воскресенская подсвита (С3vs) представлена переслаивающимися красноцветными глинами и известковистыми и доломитовыми мергелями. Подошва – 83-88 м.
- Ратмировская подсвита (С3rt) представлена трещиноватыми известняками светло-серыми, мелко- и тонкозернистыми, малопрочными до средней прочности. Подошва – 94-96 м.
- Неверовская подсвита (С3nv) представлены глинами пестроцветными, известковистыми, плотными, слоистыми, слабо слюдястые, твердой и полутвердой консистенции и мергелями. Подошва – 97-102 м.
- Перхуровская подсвита (С3prh) представлена известняками светло-серыми, органогенно-детритовыми, трещиноватыми, кавернозными, в верхней части разрушенными до состояния муки и щебня. Подошва – 105-109 м.

- Четвертичные флювиогляциальные отложения донско-московского горизонта (fQIds-ms) выполняют доледниковую палеодолину, представлены песками от пылеватых до крупных, полевошпатово-кварцевыми, неравномерно глинистыми, слабо сортированными, а также супесями и суглинками. Абсолютные отметки подошвы – от 115 до 123 м.
- Аллювиальные отложения (aQIV) представлены песком от мелкого до крупного, светло-коричневым, реже супесями и суглинками. Подошва – 107 -116 м.
- Техногенные отложения (tQIV) представлены насыпными грунтами неоднородными по составу: песчаными и супесчаными, реже суглинистыми и глинистыми отложениями, с включениями строительного мусора.

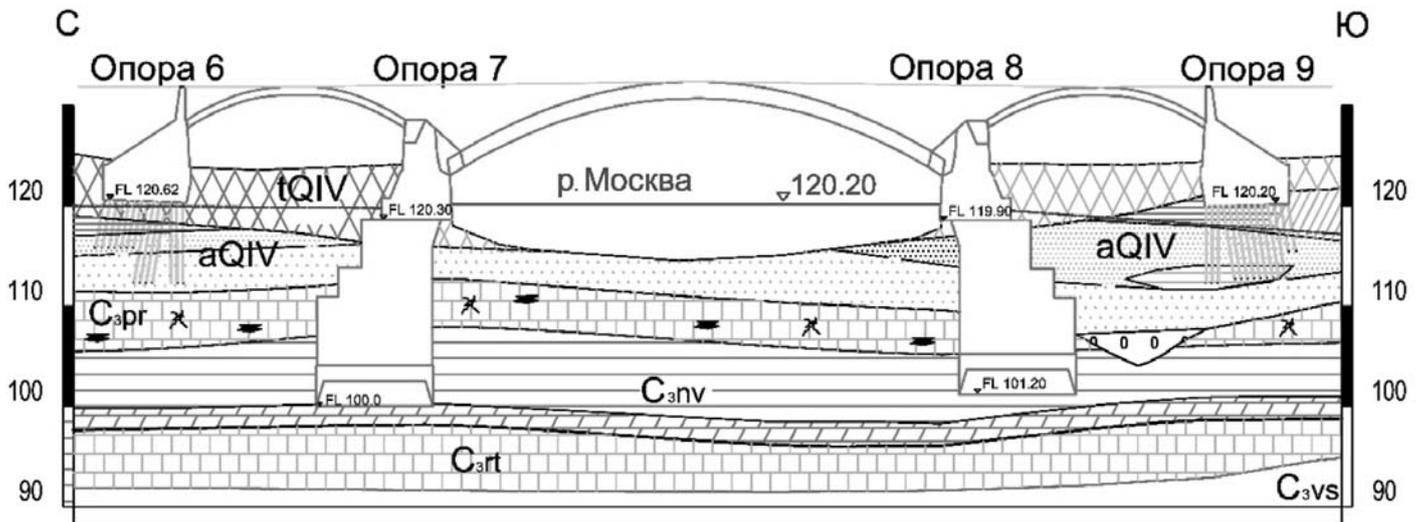


Рис. 1. Профильная геологическая схема по оси Большого Москворецкого моста

В основании опор №№ 1-5 залегают аллювиальные четвертичные пески от пылеватых до гравелистых, водонасыщенные, средней плотности и рыхлые. В этих отложениях наблюдаются признаки протекания процесса суффозии. При дальнейшем развитии процесса возможно снижение прочностных и деформационных свойств грунтов, что в свою очередь может привести к неравномерным деформациям самого сооружения и к аварийному состоянию системы в целом.

В основании опоры № 6 под остриями свай (левобережный устой) залегают аллювиальные четвертичные пески крупные и гравелистые, водонасыщенные, средней плотности и рыхлые. Заглубление свай находится в диапазоне от 4-х до 8-ми метров, лишь 45% свай выполнены до проектной глубины (8 метров). Подошва ростверка плоская слабонаклонная в сторону реки, что является отклонением от проекта. Абсолютная отметка основания меняется от 120.3 до 120.6 м. В основании ростверка залегают техногенные грунты насыпного генезиса, состав, состояние и свойства которого требуют дополнительного изучения.

Опора № 7 (левобережная береговая) имеет абсолютную отметку основания в диапазоне 99,0-99,9 м вместо 97,5 м указанных в проекте. В основании кессонов на абсолютной отметке 99,0 м залегают мергели пониженной прочности, слагающие нижнюю часть неверовской толщи ( $C_{3rv}$ ), а на отметке 99,9 м подошвы кессонов залегают в твердых и полутвердых карбонатных глинах. Глинисто-мергелистые отложения, которые являются основанием для опоры, имеют мощность под кессонами от 0,0 до 2,5 м и подстилаются прочными, слабо трещиноватыми известняками ратмировской толщи ( $C_{3rt}$ ).

Опора № 8 (правобережная береговая) имеет абсолютную отметку основания в диапазоне 100,9-101,3 м вместо 99,0 м, указанных в проекте. В основании опоры залегают карбонатные твердые глины неверовской толщи ( $C_{3rv}$ ).

В основании опоры № 9 под остриями свай (правобережный устой) залегают аллювиальные четвертичные глины и суглинки мягкопластичные и тугопластичные мощностью около 2 м. Средняя часть свай залегает в пылеватых (до средних) песках. Более 80% свай заглублены до проектных 8-ми метров, оставшиеся 20% заглублены от 4-х до 6-ми метров. Подошва тела опоры плоская, слабонаклонная в сторону реки, что является отклонением от проекта. Абсолютная отметка основания тела опоры меняется от 119.9 до 120.2 м. В основании подошвы залегают аллювиальные глины и суглинки мягкопластичной и тугопластичной консистенции, состояние и свойства которых требуют дополнительного изучения.

В основании свай опор №№ 10-14 залегают аллювиальные четвертичные пески пылеватые (до средних), водонасыщенные, средней плотности и рыхлые. Подошвы колонн залегают в техногенных грунтах. Заглубление свай от низа ростверка составляет 4,5-6,0 м, т.е. на абсолютных отметках 115-117 м при проектном значении 111-112 м.

Параллельно современному руслу р. Москва (в районе расположения 9-й опоры в крест сооружению Большого Москворецкого моста) существует переуглубление в поверхности кровли каменноугольных отложений, выполненное аллювиальными песчанистыми отложениями. В осевой части переуглубления полностью размыты перхуровские известняки, и аллювиальные отложения залегают непосредственно на неверовских глинах. Переуглубление связано с эрозионной деятельностью р. Москвы и является следствием изменения русла (меандрирования) в период снижения базиса эрозии. Выявленная палеодолина является природным каналом и обуславливает возможность выноса материала в процессе суффозии.

Основным горизонтом, попадающим в область влияния реконструируемого сооружения, является четвертично-перхуровский водоносный горизонт. Для моделирования геофильтрации подземных вод вертикальная дискретизация области фильтрации была принята шестислойной:

- Первый от поверхности слой модели соответствует слабопроницаемому суглинистому и супесчаному слою техногенных и аллювиальных отложений. Слой развит повсеместно, мощность колеблется в пределах от 0,5 до 7,0 м.
- Второй от поверхности слой модели отвечает аллювиальному грунтовому водоносному горизонту, приуроченному к песчаным аллювиальным отложениям. Слой развит повсеместно, мощность колеблется в пределах от 2,0 до 13,0 м.
- Третий от поверхности слой модели соответствует карбонатным отложениям перхуровской пачки дорогомилловского горизонта. Горизонт развит не повсеместно и отсутствует в осевой зоне палеодолины р. Москва в южной части области моделирования. Мощность слоя колеблется в пределах от 0,0 до 8,0 м.
- Четвертый от поверхности слой модели соответствует слабопроницаемым глинистым отложениям неверовской пачки. Разделяющие отложения развиты не повсеместно и отсутствуют в осевой зоне палеодолины р. Москва в южной части области моделирования. Мощность слоя колеблется в пределах от 0,0 до 7,0 м.
- Пятый от поверхности слой модели соответствует карбонатным отложениям ратмировской пачки. Горизонт развит повсеместно в пределах области моделирования. Мощность слоя колеблется в пределах от 2,5 до 9,5 м.
- Шестой от поверхности слой модели соответствует слабопроницаемым глинистым отложениям воскресенской пачки. Разделяющие отложения развиты повсеместно в пределах области моделирования. Мощность слоя колеблется в пределах от 7,0 до 11,0 м.

Поскольку режим р. Москва и водоотводного канала на участке работ зарегулирован, попуски вод происходят редко, большую часть года изменение уровней поверхностных вод весьма мало, режим уровней подземных вод моделировался в стационарной постановке. Параметры модели уточнялись в процессе калибровки модели. При этом верификация модели как необходимый этап ее разработки, доказывающий адекватность модели природным условиям, проводится на основе воспроизведения стационарных балансово-гидродинамических условий, отвечающих среднемноголетнему уровню водности: метеословий, поверхностного и подземного стока.

При изысканиях зафиксирован отрыв уровня р. Москва от грунтового водоносного горизонта, что говорит о значительном вертикальном перетоке из четвертичного водоносного горизонта в нижележащие каменноугольные. В горных выработках (на удалении 20-30 м), пройденных в подмостовом пространстве, зафиксированы уровни на 0,5-1,1 м ниже уровня р. Москвы, а на удалении 50-100 м от уреза р. Москва уровни в подземных водах устанавливаются на отметках 117,5-119,0 м, т.е. на 1,5-2,2 м ниже уровня в реке.

Градиент фильтрационного потока на территории исследования составляет 0.09-0.35. Это весьма большой градиент для равнинных условий, при котором в случае наличия зон сосредоточенной фильтрации или открытых техногенных каналов может происходить вынос песчаного материала из-под опор моста.

В рассматриваемом случае есть все условия для возникновения процесса суффозии: большие скорости потока подземных вод, сильное гидродинамическое воздействие, неоднородность грунтов (предрасположенность к суффозии) и наличие области выноса.

Также зафиксированные утечки нефтепродуктов и противогололедных реагентов под конструкции моста могли привести к дополнительному снижению несущей способности грунтов основания и строительных материалов.

### Анализ факторов, вызывающих деформации

Анализ геологического строения, гидрогеологических и геотехнических условий, а также проектных решений, позволил определить ряд возможных причин оседания поверхности земли, которые неоднократно выявлялись ранее и были обнаружены в непосредственной близости от Б. Москворецкого моста и в подмостовом пространстве:

- суффозионный вынос;
- неравномерное снижение напоров воды и увеличение градиентов;
- отклонения от проекта при создании сооружения;
- уплотнение техногенных грунтов обратной засыпки.

В пределах области исследования существуют предпосылки для активного развития внутрипластовой суффозии. На прилегающих территориях и непосредственно в подмостовом пространстве, особенно на правобережье, зафиксированы многочисленные оседания и провалы грунта. Суффозия развивается и в горизонтальном, и в вертикальном направлениях.

Выполненные расчеты по методике ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева для оценки суффозионной устойчивости песчаных отложений показали, что аллювиальные пески, являющиеся основанием сооружения, суффозионно неустойчивы. Согласно таблицам 5.1 и 5.2 СП 11-105-97 ч.II, категорию устойчивости территории относительно интенсивности и средних диаметров карстовых провалов можно отнести к типу IV-B – интенсивность провалообразования: среднегодовое количество провалов на 1 км<sup>2</sup> территории – свыше 0,01 до 0,05 случая/км<sup>2</sup> в год; средние диаметры карстовых провалов свыше 3 до 10 м.

Снижение напоров воды в водоносном горизонте в результате водопонижений при строительном освоении окружающих территорий и в следствии изменения гидрогеологических условий каменноугольных водоносных горизонтов в целом для территории Московского региона, повлекшее увеличение градиентов, так же является фактором, вызывающим интенсификацию процесса суффозии.

На базе фондовых материалов и результатов комплексных изысканий была построена геомеханическая модель системы сооружение-грунтовый массив. Был произведен анализ и верификация информации прошлых лет по геологическим данным и по конструктивным особенностям сооружения и его изменения в период эксплуатации.

При действии постоянных и обращающихся нагрузок (A11) с учетом предполагаемого, в настоящий момент времени, приложения действующих сил грунты основания опор 7 и 8 несут сооружение, однако устойчивость системы в целом оценивается как неудовлетворительная с показателем коэффициента запаса не более 1,05. В условиях плоской задачи массив аллювиальных отложений, в которых находятся висячие сваи 6 опоры, устойчив в действующих нагрузках и не дает критических осадок и деформаций. Опора № 9 в условиях плоской задачи дает большие осадки, чем 6-я опора, но находится в устойчивом состоянии. Моделирование суффозионного процесса на базе геомеханической модели и, численно выраженное в постепенном (итерационном) снижении несущей способности аллювиальных грунтов (до 50%), показывает резкую интенсификацию деформаций и существенные осадки. В случае реализации подобного снижения несущей способности прогнозируются вертикальные и горизонтальные перемещения устоев.

В массивах 6-й и 9-й опор, по результатам работ по обследованию, выявлены трещины с ярко выраженной круглоцилиндрической поверхностью. Выявленные трещины были подтверждены геофизическими исследованиями. Такие трещины могут быть связаны с действующими напряжениями внутри устоев, возникающими в условиях невозможности развития деформаций грунтов в основании, поскольку все осадки прошли на начальной стадии эксплуатации (13-15 лет). Зафиксированные трещины представляют собой сдвиговые перемещения внутри устоев, проходящие через бетонную и грунтовую часть.

Опора № 7 заземлена в своем основании и является анкером, от которого расходятся напряжения. В результате этого массив самой опоры № 7 разбит трещинами в меньшей степени, чем все остальные. Опора № 8 может испытать горизонтальное перемещение, поскольку ее фундамент находится целиком в глинах. Формирование горизонтальных трещин связано с горизонтально действующими силами от обоих пролетных строений – руслового и берегового, что создаёт эффект «ножницы» – пару сил. При анализе диаграмм напряжений, полученных расчетным путем, распространение напряжений от места приложения усилий коррелируется с распространением трещин, при этом численные значения максимальных напряжений сопоставимы с расчетным сопротивлением бетона по скалыванию. Это обстоятельство может рассматриваться как рабочая гипотеза появления трещин.

С целью верификации воссозданных на модели деформаций рассматриваемого сооружения выполнена инструментальная геодезическая съемка, результатом которой явились очертания сводов моста. Данная работа позволила соотнести расчетную схему моста, определенную авторами проекта, и расчетную схему моста по состоянию на текущий период времени. Выполненный объем инструментальных измерений достаточен для концептуальных выводов, однако для детального конструирования, основополагающих расчетов и точного графического представления необходимо выполнение лазерного сканирования всего сооружения с детальным анализом снятого облака точек.

Учитывая изменчивость инженерно-геологической среды под влиянием гидрогеологических и сторонних геотехнических факторов, усилия, передаваемые от сооружения на грунтовый массив, могут способствовать неблагоприятным процессам, возможность развития которых подлежит дополнительному анализу. Пока однозначно можно утверждать, что в настоящее время на правом берегу происходит процесс суффозии, который ведет к разуплотнению и потере жесткости и несущей способности грунтового массива основания опоры 9.

В результате геомеханического моделирования системы опора-основание сооружения получены картины распределения напряжений, показывающие, что в теле опор мостового перехода наблюдаются зоны концентраций напряжений. Состояние системы в целом оценивается как предельноравновесное. На основании вышеизложенного, при определении концепции основных проектных решений, особенно в части восстановления расчетной схемы моста путем замены шарниров или замены пролетных строений целиком, необходимо подробно изучить возможные геологические процессы, которые могут развиваться в том числе и на стадии производства работ, например, при снятии распора от арок сводов. Объем изучения инженерно-геологических процессов и состояния как окружающего грунтового массива, так и массива непосредственных оснований опор должен быть достаточен для принятия соответствующих проектных решений.

## Выводы

Комплексное выполнение изысканий и строительного обследования при выявлении причин деформаций сооружений имеет ряд существенных преимуществ. Для реконструируемых сооружений, расположенных на участках с длительной историей техногенного освоения, необходимо применение широкого перечня методов исследований для выявления всех факторов, вызывающих деформации и количественной оценки значимости каждого из них.

При выполнении комплексных исследований деформаций Большого Москворецкого моста было установлено, что основной причиной их развития стал суффозионный вынос аллювиальных песков (горизонтальный и вертикальный). Суффозия интенсивно развивается из-за техногенно измененных гидрогеологических условий: инверсии напоров (направление потока подземных вод от реки Москва, разгрузка – в перепониженные трещиноватые известняки) на исследуемой территории и, как следствие, возросших градиентов.

## СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

**Воронцов Е.А., Яшин И.С.**

ООО «Эффективные технологии», Санкт-Петербург, spb@eftgroup.ru

### СПУТНИКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ – ПРОБЛЕМЫ РЕАЛИЗАЦИИ И ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

На сегодняшний день в спутниковых технологиях, пожалуй, самым актуальным вопросом является создание, внедрение и использование постоянно действующих базовых станций. Возможность получения пространственного положения объекта или процесса в режиме времени, близком к реальному, выводит на новый качественный уровень производства работ в сфере инженерных изысканий, исследования сложнейших процессов взаимодействия природной и техногенной сред. При этом кризис в экономике, рост курса доллара, постоянная угроза санкций со стороны зарубежных государств вынуждает российских продавцов геодезической техники приступать к собственному производству инструментов и приборов, вставать на трудоемкий и наукоемкий путь импортозамещения. При этом, важно не слепо копировать зарубежные образцы, а создавать эффективные собственные, наилучшим образом адаптированные для решения в сложных физико-географических условиях России.

Базовая станция является сложным аппаратно-программным комплексом, состоящим из следующих основных элементов: ГНСС-приемник, антенный элемент, микрокомпьютер, интернет роутер, антенный кабель и блок бесперебойного питания. Базовый приемник устанавливается стационарно, как правило, непосредственно в помещениях, антенный элемент закрепляется на специальных пилонах, на крышах зданий или на другом неподвижном основании, при этом необходимо закрепить антенный элемент в точке с наиболее благоприятными условиями получения спутниковых сигналов. Для большей эффективности одиночные постояннодействующие базовые станции объединяются в сеть, что позволяет производить сбор данных на единый сервер, который автоматически формирует файлы статистики в единый каталог и RTK поправки для пользователей сети. Местоположение каждой станции в сети устанавливается по определенной схеме при этом расстояние между станциями не должно превышать 60км.

Преимущества использования сети постояннодействующих базовых станций:

- Нет необходимости использования опорных пунктов.
- Высокая точность определения координат передвижными ГНСС приемниками.
- Большая территория покрытия (территория РФ).
- Единая система координат на район производства работ.
- Экономия времени.

На данный момент компания ООО «Эффективные Технологии» реализует программу создания собственной сети постоянно действующих базовых станций на всей территории Российской Федерации. Идея не нова и реализуется в регионах несколькими частными компаниями, а также государственными структурами. Так в Санкт-Петербурге и Ленинградской области уже создано как минимум три сети базовых станций, различной степени точности и эффективности. Уникальность нашего проекта состоит в том, что его реализация базируется на собственном оборудовании, а также возможности участия в процессе привязки станции и последующего уточнения ее пространственных координат каждого исполнителя.

Так специалистами группы компаний «Эффективные Технологии» в этом году впервые в России был разработан и запущен в производство отечественный сетевой ГНСС приемник EFT-RS1. Данное оборудование успешно прошло государственную сертификацию и внесено в государственный реестр средств измерений (ГРСИ), что подтверждено соответствующим свидетельством об утверждении типа средств измерений.

В настоящее время группа компаний «Эффективные Технологии» разработала и организует выпуск передвижных ГНСС приемников на территории Российской Федерации, что позволит выйти на качественно новый уровень решения проблем импортозамещения и решения актуальных проблем отечественных изыскателей: геодезистов, геологов, экологов, гидрометеорологов.

**Козыренко О.Н., Тимофеев А.Н.**

ООО «Новосибирский инженерный центр», Новосибирск, nica.nsk@mail.ru

### ПРИМЕНЕНИЕ GNSS-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Одной из основных задач геодезического обеспечения инженерно-геологических изысканий является вынос в натуру и привязка инженерно-геологических выработок (скважин, шурфов), точек статического и динамического зондирования. Согласно п. 5.216 Свода правил по инженерно-геодезическим изысканиям для строительства (СП 11-104-97) перенесение в натуру и привязка инженерно-геологических выработок и других точек наблюдений должны производиться со средней погрешностью не более 1 мм в масштабе топографического плана, что для плана масштаба 1:500 эквивалентно 0,5 м на местности. Средняя погрешность определения положения выработок по высоте составляет 0.1 м [2]. Учитывая приведенные точностные требования к определению

положения геологических выработок, для этих целей целесообразно использовать спутниковые методы. Они отличаются дополнительными требованиями к условиям измерений – относительно открытой местности, отсутствию препятствий прохождению сигнала. Но следует отметить, что при инженерно-геологических изысканиях геологические объекты, как правило, располагаются на наиболее открытых участках местности. Кроме того, спутниковые методы геодезических определений отличаются более высокой производительностью, что дает им значительное преимущество перед традиционными методами.



**Рис. 1. GeoXR в режиме измерения с использованием встроенной антенны**

В ООО «Новосибирский инженерный центр» для выполнения геодезических работ был выбран спутниковый приемник фирмы Trimble – GeoXR. GeoXR, в сравнении с другими подобными приборами, имеет малые габариты и прост в использовании. После соответствующих настроек работа с ним не требует высокой квалификации и каких-либо специальных знаний в области геодезии – достаточно базовых знаний о принципах работы спутниковой аппаратуры и небольшого опыта работы с прибором. Благодаря чему, геологи самостоятельно могут выполнять вынос в натуру и привязку выработок. Среди преимуществ данного прибора следует особенно отметить возможность его использования без внешней антенны. Это не оказывает значитель-

ного влияния на точность измерений, но упрощает рабочий комплект оборудования. Специально для выполнения работ с использованием встроенной антенны приемника было изготовлено крепление на вешку для более точной центрировки приемника над измеряемой точкой и определения ее высоты (рис. 1, 2).



**Рис. 2. Выполнение съемки приемником GeoXR**

Особенность прибора в том, что он предназначен для работы в сетях постоянно действующих базовых станций. В настоящее время данная технология широко развита за рубежом. На территории России сети постоянно действующих базовых станций действуют уже в Москве и Московской области, Республике Татарстан, Смоленской, Кировской, Тверской, Тюменской, Новосибирской областях, Красноярском крае и многих других регионах. Данная технология более доступна, поскольку пользователю для работы требуется меньшее количество оборудования: нет необходимости устанавливать собственную базовую станцию, а значит достаточно всего одного приемника. Однако у нее имеются и свои недостатки: возможность использования данной технологии ограничивается степенью покрытия территории данной сетью постоянно действующих базовых станций (ПДБС), а также степенью покрытия и качества GSM связи, поскольку связь приемника с базовыми станциями осуществляется через интернет.

Среди возможностей работы в режиме реального времени от сетей ПДБС можно выделить две группы работы: режимы измерения от одиночной станции (по умолчанию от ближайшей к пользователю доступной станции или принудительно от конкретной станции) и сетевые режимы (от нескольких станций – i-MAX, VRS, MAX). Измерения в сетевых режимах являются более надежными в сравнении с измерениями от одиночной станции. При определении координат в режиме одиночной станции по мере удаления ровера от базовой станции снижается точность определяемых координат. Это связано с тем, что атмосферные условия для ровера и базовой станции могут значительно отличаться. В сетевом режиме на сервере за счет использования при обработке данных от нескольких базовых станций уменьшается влияние ошибок, связанных с расстоянием ровера от базовой станции и, как следствие, повышается точность определения координат. Режимы i-MAX и VRS похожи. Приемник пользователя передает на сервер свои приближенные координаты. Спутниковые данные с нескольких базовых станций также поступают на сервер, где происходит обработка данных и формирование поправок для пользователя. Разница режимов заключается в принципе формирования и передачи поправок. В первом случае поправки вычисляются на сервере и передаются роверу относительно реально существующей базовой станции, называемой

мастер-станций. Во втором случае поправки вычисляются и передаются относительно виртуальной базовой станции – воображаемой точки, располагающейся в нескольких метрах – нескольких дециметрах от пользователя. Особенностью режима MAX является то, что сервер посылает приемнику пользователя «сырые» спутниковые наблюдения и координаты мастер-станции [3]. Поправки вычисляются не на сервере, а непосредственно в приемнике пользователя. В связи с этим использование режима MAX доступно не всем приемникам. Этот режим поддерживается лишь теми приемниками, которые имеют соответствующее программное обеспечение.

В привязке инженерно-геологических выработок особенно большое значение имеет высотная составляющая. Современные GNSS-приемники позволяют пользователям указывать параметры используемых систем координат и получать координаты в процессе съемки на экране приемника. Однако при этом даже при использовании модели геоида EGM2008 высота будет определяться с ошибкой за разность высот геоида и квазигеоида. Для получения высоты из спутниковых измерений с высокой точностью необходима локальная модель геоида на территорию выполнения работ. Кроме того, в связи с режимным статусом ключей перехода к местным системам координат, данная функция в GPS-приемниках официально не может использоваться в полной мере. В качестве альтернативного метода для получения координат в местной системе в режиме реального времени в таком случае можно использовать метод калибровки.

В ситуации, когда рабочая площадка попадает на участок леса или застроенную городскую территорию, определение координат спутниковыми методами не представляется возможным. Чтобы не искать вблизи площадки пункты геодезической сети (многие из которых уже утрачены), которые могли бы быть использованы в качестве опорных пунктов для развития съемочной сети, съемочные точки на местности сразу определяются GNSS-приемником. Согласно СНиП 11-02-96 при создании съемочного обоснования допускается работать от сети базовых (референсных) станций в режиме реального времени с использованием сетевых режимов съемки [1]. Для определения координат таким способом достаточно измерений в течение 30-60 секунд, после чего, опираясь на измеренные точки, электронным тахеометром выполнить привязку выработок или, зная координаты выработок, выполнить вынос в натуру.

Результатом спутниковых измерений являются координаты и высоты точек, которые считываются с экрана приемника в поле и вводятся в тахеометр в качестве исходных пунктов.

При выполнении геологических работ на застроенных территориях с развитой сетью подземных коммуникаций, во избежание их повреждения, следует загрузить в приемник карту, содержащую сеть подземных коммуникаций, находящихся на территории объекта, например, в виде файла DXF, чтобы в полевых условиях было легче оценить ситуацию и при необходимости принять решение о смещении точки. Аналогично можно вынести на «карту» контур проектируемого здания (рис. 3).

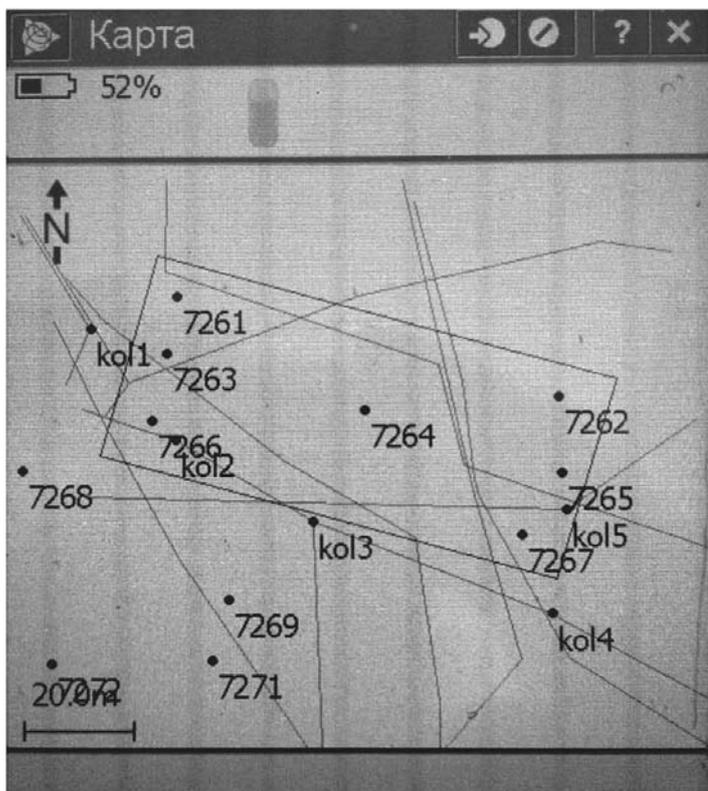


Рис. 3. Карта с отображением сети подземных коммуникаций и контура проектируемого здания в GeoXR

### Выводы

Современное спутниковое оборудование, после соответствующих настроек специалистом, достаточно просто в использовании и не требует наличия углубленных знаний в области геодезии, что дает возможность даже не имеющему специального геодезического образования пользователю, освоить прибор после непродолжительного времени работы с ним.

Использование спутниковых технологий значительно упрощает и ускоряет выполнение геодезических работ для обеспечения инженерно-геологических изысканий, что делает их выгодной альтернативой традиционным геодезическим методам.

Сети референсных станций – относительно новая, но очень перспективная и быстро развивающаяся технология. В настоящее время рынок спутникового оборудования, позволяющего работать с сетями референсных станций, достаточно широк и представлен спутниковыми приемниками самых разных типов и ценовой категории, однако приведенный в докладе геодезический приемник GeoXR, фирмы Trimble, имеет ряд существенных преимуществ перед другими схожими по назначению приемниками.

### Список литературы

1. Строительные нормы и правила: СНиП 11–02–96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения [Текст]: нормативно-технический материал. – Введ. с 01.07.13. – Москва: 2012. – 110 с.
2. Свод правил: СП 11–104–97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства [Текст]: Введ. с 01.01.1998. – Москва: 1997. – 76 с.
3. *Евстафьев О.В.* Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования [Текст] / О.В. Евстафьев. – Москва: ООО «Издательство «Проспект», 2009. – 48 с.

**Антонов А.Д.**

ЗАО «УГТ-Холдинг», Санкт-Петербург, spb@ugt-holding.ru

## **ИННОВАЦИИ JAVAD GNSS В СПУТНИКОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ**

Спутниковое оборудование JAVAD GNSS используется в работе с применением режима кинематики реального времени с поддержкой шести движков (RTK V6+), а также с передачей поправок с базы на ровер в режиме RTK с частотой 5 Гц без экстраполяции (BEAST MODE RTK).

В спутниковых геодезических измерениях в настоящее время наблюдается процесс эффективного использования технологии наземной бесконтактной съемки с помощью специализированного полевого геодезического приемника ГНСС TRIUMPH-LS, а также использования приемника ГНСС TRIUMPH-2 в качестве промежуточной базовой станции, транслирующей поправки RTK.

При этом необходимо учитывать в спутниковых геодезических измерениях некоторые особенности оборудования: встроенный контроллер, вынос с использованием передней камеры, электронный компас и инклинометр, возможность удаленного управления, поддержка облачных сервисов.

Применение данной линейки перспективного спутникового оборудования поддерживается новейшим полевым программным обеспечением J-FIELD, которое обеспечивает решение ряда задач координатной геометрии (COGO), фотограмметрии, высокоточной навигации, анализа радиопомех.

При этом задействовано применение технологии облачных вычислений, которая позволяет выполнять обработку данных с помощью специализированного интернет-сервиса JAVAD DPOS.

Перспективное новейшее спутниковое оборудование JAVAD GNSS в условиях реальных полевых работ показывает себя надежным и удобным инструментом в эксплуатации. Спутниковое оборудование JAVAD GNSS позволяет успешно решать задачи для дальнейшего развития и совершенствования технологий спутниковых геодезических съемок.

### **Список литературы**

1. *Разумовский А.И.* Позиционирование в режиме RTK с использованием промежуточной базовой станции и сервиса DPOS. Статья на сайте javadgnss.ru 26.05.2015г.
2. *Javad Ashjaee, Ph.D.* RTK V6+ six engines plus one support. Статья на сайте javad.com 19.05.2015г.

**Широков В.В.**

ОАО «Атомэнергoproект», Москва, shirokovvv@mail.ru

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВТОРНЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ**

Современная практика проведения геодезического мониторинга требует прогнозирования оценок деформаций зданий и сооружений, что заложено в соответствующей нормативной литературе. Вместе с тем процедура прогнозирования по различным причинам не регламентирована и в основном описывается в научно-исследовательских источниках. Как показывает практика несмотря на обилие методов прогнозирования, предпочтение отдается простейшей модели – «определяется скорость и умножается на время!!!».

Практика прогнозирования геодезических данных, при рассмотрении алгоритмов прогнозирования Хольта, Хольта-Уинтерса, Тейла-Вейджа, показывает, что . Метод анализа сингулярного спектра (SSA) позволяет . При рассмотрении аспектов оценки точности прогнозирования тем или иным методом необходимо обратить внимание на . При регуляризации и нормализации неравноотстоящих изыскательских временных рядов можно порекомендовать .

**Веселов В.В.**

ОАО «Атомэнергoproект», Москва, v\_veselov@mail.ru

## **БАЗА ДАННЫХ ПОВТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИОННЫЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ**

Использование геодезической базы данных в комплексе со специальным программным обеспечением для ведения деформационного геодезического мониторинга показало, что существующая инструктивно-нормативная литература в части оценок деформаций зданий и сооружений геодезическими методами значительно устарела и требует пересмотра подходов к определению основных оценок деформаций.

Рассмотрены вопросы необходимого программного обеспечения для ведения геодезического мониторинга, анализа и прогноза текущего состояния. Как оказалось, что в простейшем случае ведение мониторинга с использованием простейшей базы данных требует одновременного владения средствами статистического анализа временных рядов, технологиями численных методов необходимых для регуляризации временных рядов, основами прогнозирования.

Показана предпочтительная технология расчетов основных параметров деформаций фундаментов зданий и сооружений таких как средняя и максимальная осадка, относительный крен и относительная разность осадки, скорости смещений и скорости распространения. Даны результаты сравнительного анализа существующих оценок деформаций, рекомендуемых в инструктивно-нормативной литературе.

Круглова П.А.<sup>1</sup>, Кудакаев. Т.З.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Датумэйт», Москва, polinak@datumate.com

<sup>2</sup>ООО «Алькомп-Инжиниринг», Москва, alcomp@alcomp.ru

## ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ 3D-МОДЕЛИ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ, КАК АЛЬТЕРНАТИВА МЕТОДУ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

### Введение

В последние годы происходит крупный технологический прогресс в области цифровой фотографии. Прогресс привел к значительному улучшению качества цифровых камер и увеличению на порядок разрешения изображений. Замечательное повышение качества цифровой фотографии за последние годы сочетается со значительным уменьшением цены на цифровые фотокамеры. В результате была получена возможность применять цифровые фотокамеры в качестве инструмента для создания трёхмерных моделей и геодезических измерений. Использование цифровых камер приводит к повышению производительности полевых групп, к повышению контроля качества, а также снижению затрат.

### Основные принципы фотограмметрического метода

#### Геометрическая модель изображения

Первый этап преобразования координат точек на изображениях в координаты в пространстве требует знания внутренних геометрических характеристик камеры для создания математической модели изображения.

Чтобы объяснить принципы геометрической модели изображения, сначала необходимо схематически описать внутреннюю геометрию цифровой камеры и пути световых лучей внутри камеры. На рисунке 1а показано схематическое поперечное сечение камеры с 4-ю оптическими элементами линз. Задача этих оптических элементов состоит в передаче и рассеивании световых лучей, чтобы световые лучи из объекта А перед камерой сошлись в одной точке ПЗС-сенсора. Таким образом, четкое изображение объекта А появится в точке а. То же верно для объектов В и С, а также остальных объектов перед камерой.

На следующем этапе, показанном выше на рисунке 1б, мы создаем эквивалентные образы световых лучей с помощью рисования линий через точки а, b, и с, которые проходят параллельно световым лучам, исходящим из А, В и С соответственно. Эквивалентные световые лучи пересекаются в задней узловой точке N 2 на оптической оси. Таким же образом, мы чертим линии из объектов А, В и С, которые проходят параллельно линиям а-N 2, b-N 2 и с-N 2 соответственно. Эти линии пересекаются в передней узловой точке N 1 на оптической оси. Полилиния А-N 1-N 2-а представляет собой эквивалент суммы световых лучей, которые исходят из объекта А, передаются и рассеиваются через оптические элементы, затем пересекаются в точке ПЗС-сенсора. То же верно для полилиний В-N 1-N 2-b и С-N 1-N 2-c. Передние и задние узловые точки имеют следующее свойство: луч, направленный на одну из них, преломляется линзами таким образом, что кажется что он вышел из другой точки, с тем же углом относительно оптической оси.

Как показано на рисунке 1с, для получения идеальной геометрической модели камеры необходимо удалить корпус камеры и оптические элементы, затем совместить левую и правую стороны чертежа, чтобы передние и задние узловые точки N 1 и N 2 сошлись. Это превращает все «эквивалентные образы световых лучей», которые показаны в виде полилиний на рис. 1б выше, в прямые линии на рис. 1с ниже. Таким образом, идеальная геометрическая модель камеры – это центральная проекция. Совмещенная узловая точка N 1-N 2 является центром проекции. Проекция этой точки на плоскости ПЗС-сенсора называется главной точкой изображения. То есть, главная точка – это точка плоскости изображения, которая расположена на основании перпендикуляра из совмещенной узловой точки N 1-N 2.

Однако, как показано на рис. 1d ниже, реальные оптические элементы не идеальны и реальная внутренняя геометрическая модель камеры отличается от идеальной модели. На практике, световые лучи из точек А и С проходят через заднюю узловую точку N2, преломляются и сходятся в точках а' и с', а не в точках а и с. Расстояния а-а' и с-с' показывают радиальные дисторсии и их значения как функцию расстояния от центра изображения, заданную:

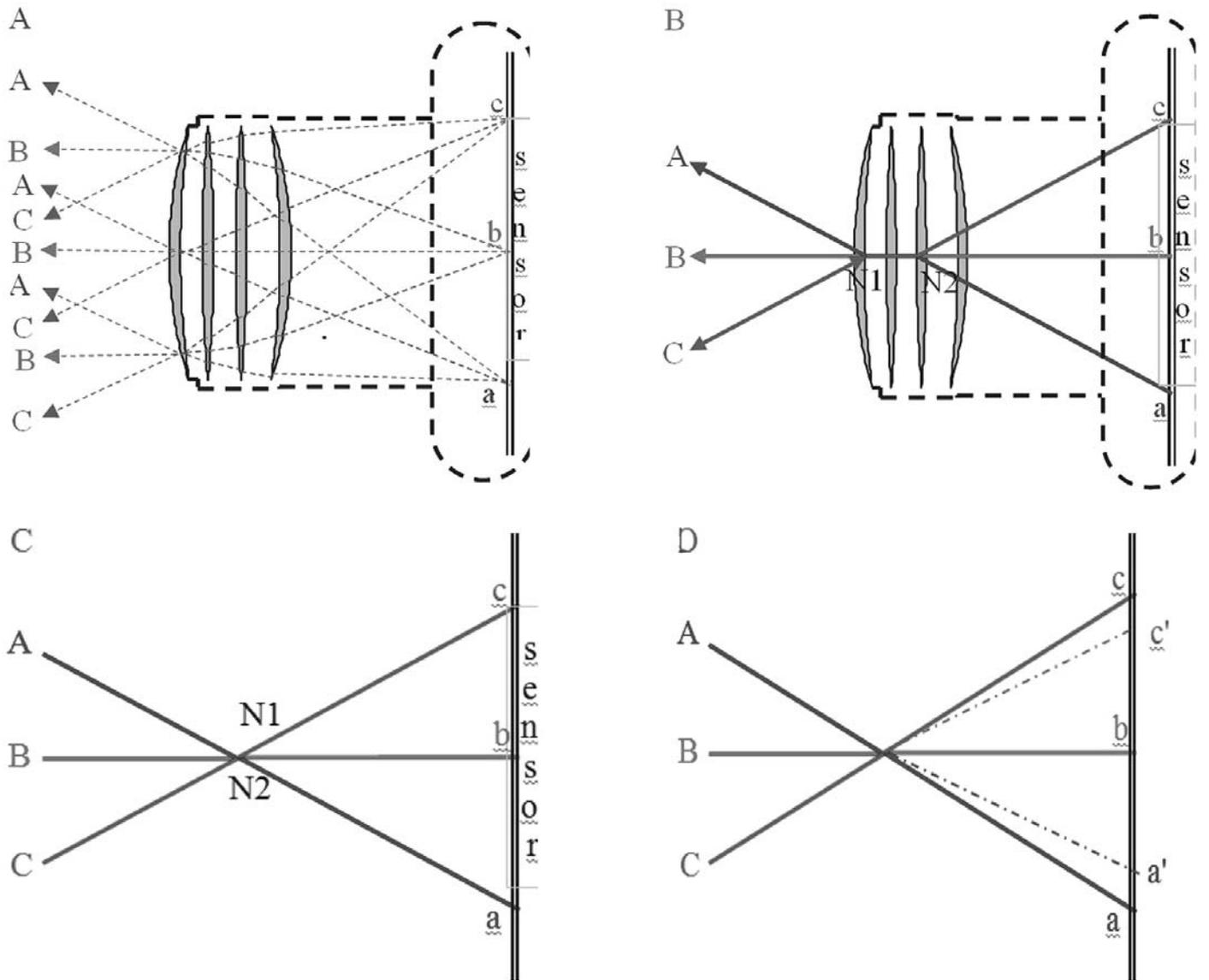


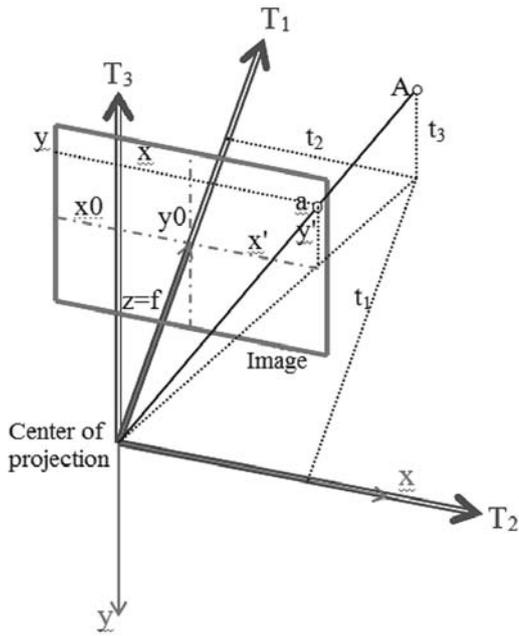
Рис. 1. Схематическое поперечное сечение цифровой камеры и пути световых лучей внутри камеры (А), схематическое поперечное сечение путей эквивалентных световых лучей через узловые точки (В), схематическое поперечное сечение идеальной внутренней геометрической модели камеры (центральная проекция) (С), схематическое поперечное сечение реальной внутренней геометрической модели из-за радиальной дисторсии (центральная проекция и радиальные дисторсии) (D)

$$\Delta r = K_1 r^3 + K_2 r^5 + \dots,$$

где  $r$  – это расстояние точки от центра изображения,  $K_1$  и  $K_2$  – это параметры радиальной дисторсии объектива. Параметры радиальной дисторсии объектива  $K_1$  и  $K_2$  определены для конкретной системы камеры, которая включает камеру и линзы. Отсюда следует, что коэффициенты радиальной дисторсии  $K_1$  и  $K_2$  меняются при замене линз в камере.

### Связь мировых пространственных координат и координат на изображении

Для понимания связи между изображением и мировой системой мы опишем особую модель, у которой оси на изображении проходят параллельно осям сети пространственных координат мировой системы. На рис. 2 ниже схематически показано изображение, снятое на уровне земли. Главная точка изображения – это пиксель с координатами  $(x_0, y_0)$  которые измерены от левого верхнего угла изображения,  $f$  – это фокусное расстояние. Мы размещаем начальную точку системы координат изображения  $(x, y, z)$  в центре точки проекции, чтобы ось  $z$  проходила через главную точку изображения, а центр точки проекции был перпендикулярен изображению и направлен на нее. Это делает координаты  $z$  каждой точки на изображении равными  $f$ . Оси  $x$  и  $y$  параллельны рамке изображения и направлены вправо и вниз соответственно. Линии  $T_1, T_2$  и  $T_3$  – это оси координат мировой системы, которые совпадают с осями  $x, y$  и  $z$  системы координат изображения (единственное исключение – это ось  $T_3$ , которая направлена в противоположную сторону от оси  $z$ ).



**Рис. 2. Геометрические связи между пространственными координатами точки и ее координатами на изображении**

Как показано на рис. 2 выше, пространственные координаты точки А равны  $(t_1, t_2, t_3)$ , идеальное изображение – это точка, которая является пересечением плоскости изображения и линии, которая соединяет точку А с центром проекции. Координаты точки в системе координат изображения  $(x', y', f)$ . Определив  $dx=x-x_0$  и  $dy=y-y_0$  мы получаем,

$$r^2 = dx^2 + dy^2 \quad \Delta r = K_1 r^3 + K_2 r^5$$

$$x' = x - x_0 + \frac{x - x_0}{r} \Delta r = x - x_0 + (x - x_0) [K_1 r^2 + K_2 r^4] \quad (2)$$

$$y' = y_0 - y + \frac{y_0 - y}{r} \Delta r = x_0 - y + (y_0 - y) [K_1 r^2 + K_2 r^4]$$

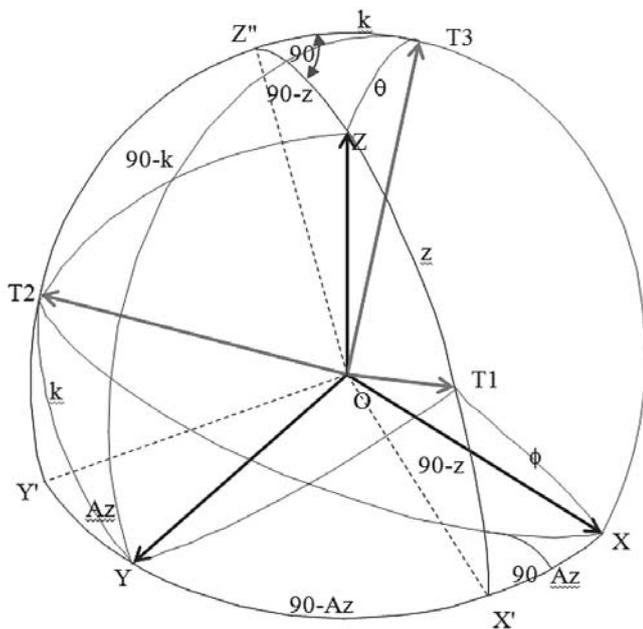
Отсюда мы переходим с помощью подобия треугольников к формуле коллинеарного метода, которая является основной формулой аналитической фотogramметрии,

$$\frac{x'}{t_2} = \frac{y'}{t_3} = \frac{f}{t_1} \quad (3)$$

Формула коллинеарного метода обычно записывается в виде,

$$x' = \frac{t_2}{t_1} f \quad y' = \frac{t_3}{t_1} f \quad (4)$$

Обычно оси координат изображения не совпадают с осями координат мировой системы, позиция центра точки проекции не совпадает с исходными осями X, Y и Z, которые являются системой мировых координат. Как показано на рис. 3 ниже, оси T1, T2 и T3 являются локальной системой координат, которая соответствует осям системы координат изображения. Точка O – это позиция точки центральной проекции изображения и начало осей (T1, T2, T3) системы координат. Координаты точки O в системе координат (X, Y, Z) –  $(x_0, y_0, z_0)$ .



**Рис. 3. Оси местной и мировых системы координат, а также углы между ними**

Для преобразования координат (X, Y, Z) в координаты (T1, T2, T3) необходимо выполнить три шага в следующем порядке,  
 (a) Поворот на угол  $Az$  вокруг оси Z переместит точку X в X' и точку Y в Y'.

(b) Поворот на угол 90 градусов вокруг оси Y' переместит ось X' в T1 и точку Z в Z''.

(c) Поворот на угол  $k$  вокруг оси T1 переместит точку Y' в T2 и точку Z'' в T3.

Таким образом, мы можем преобразовывать из одной системы координат в другую с помощью формулы преобразования,

$$\begin{pmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Для точного вычисления элементов  $q_i, j$  матрицы Q в Уравнении (5) выше, см. Селма (Salma) и др. (1980). Формулу коллинеарного метода можно записать следующим образом,

$$\begin{aligned} x' &= x - x_0 + (x - x_0) [K_1 r^2 + K_2 r^4] = \frac{t_2}{t_1} f = \frac{q_{21}(X - X_0) + q_{22}(Y - Y_0) + q_{23}(Z - Z_0)}{q_{11}(X - X_0) + q_{12}(Y - Y_0) + q_{13}(Z - Z_0)} f \\ y' &= y_0 - y + (y_0 - y) [K_1 r^2 + K_2 r^4] = \frac{t_3}{t_1} f = \frac{q_{31}(X - X_0) + q_{32}(Y - Y_0) + q_{33}(Z - Z_0)}{q_{11}(X - X_0) + q_{12}(Y - Y_0) + q_{13}(Z - Z_0)} f \end{aligned} \quad (6)$$

где,  $(X, Y, Z)$  – это пространственные координаты в мировой системе точки перед камерой, которая появляется на изображении.  $(x, y)$  – это координаты точки в системе координат цифрового изображения (номера столбца и строки).

$(x_0, y_0)$  – это координаты главной точки изображения в системе координат цифрового изображения (номера столбца и строки).  $f$  – это фокусное расстояние камеры, т.е. расстояние между центром точки проекции и главной точкой изображения.

$K_1, K_2$  – это параметры коэффициентов полинома для расчета радиальной дисторсии системы камеры.

$(X_0, Y_0, Z_0)$  – это пространственные координаты мировой системы камеры во время фотографирования.

$\begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} \end{pmatrix}$  это элементы матрицы преобразования, которая используется для преобразования мировой системы координат в систему координат изображения.

$K_1, K_2, x_0, y_0, f$  – это внутренние параметры ориентации, которые вычисляются во время калибровки системы камеры.

и  $(X_0, Y_0, Z_0)$  – это внешние параметры ориентации камеры во время фотографирования.

Так как точка соответствует одному пикселю на изображении, мы можем вычислить формулу коллинеарной линии этой точки при заданных углах между осями системы координат, позицией камеры и внешней ориентации. Затем на основе известных контрольных точек на изображении, мы можем вычислить элементы матрицы преобразования любого изображения на основе хотя бы трех известных контрольных точек этого изображения.

Согласно формуле коллинеарной линии, каждое изображение предоставляет два неизвестных параметра  $x$  и  $y$  на основе координат выбранного пикселя и внутренних параметров ориентации камеры ( $K_1, K_2, x_0, y_0, f$ ), которые образуют набор параметров калибровки камеры. Необходимо выбрать одну точку на хотя бы двух различных изображениях для вычисления ее координат в мировой системе. Эллипс ошибок точки является оптимальным для ориентации двух изображений на почти  $90^\circ$ . При выборе одной точки на нескольких изображениях повысится точность измерения координат точки. При выборе точки на нескольких изображениях необходимо выполнить вычисление методом наименьших квадратов всех выбранных точек с помощью метода блочного уравнивания.

### Сравнение фотограмметрического способа и способа лазерного сканирования на примере получения трёхмерной модели забоя, с целью отслеживания изменений на объекте

Для сравнения двух способов получения трёхмерной модели, была проведена съёмка одного и того же объекта двумя методами. В качестве объекта съёмки был выбран действующий карьер, находящийся в Рузском районе. На карьере было проведено сканирование, при помощи лазерного сканера, и съёмка с воздуха при помощи квадрокоптера, полученные данные в дальнейшем были обработаны, для получения трёхмерных моделей и геодезических измерений.

Рассмотрим подробнее каждый из способов. Для получения трёхмерной модели фотограмметрическим способом, были получены фотографии с воздуха, с помощью небольшого летательного аппарата – квадрокоптера Phantom 2. Квадрокоптер поднимался на высоту приблизительно 80 м, длительность полёта составляла около 15 мин. Так же для получения точной модели в реальном масштабе объекта, были расположения 8-ми меток, в виде белых перекрестий из пластика, они были равномерно распределены по объекту и закоординированы при помощи GPS. Установка и координирование меток заняла около 35 минут. На этом этап полевых работ был закончен. Процесс обработки состоял из следующих действий:

- загрузка фотографий;
- привязка по закоординированным меткам;
- выделение интересующих областей;
- выгрузка полученной трёхмерной модели.

В процессе обработки с фотографиями объекта и можно увидеть, как выделяются области на фото, так и получают координаты отдельных объектов на фото, отмеченные вручную. При этом выделяя отдельные области, используется алгоритм автопоиска, который автоматически распознаёт характерные точки рельефа и строит трёхмерную модель. В процессе построения модели можно делать её более и менее детальной (рис. 4).

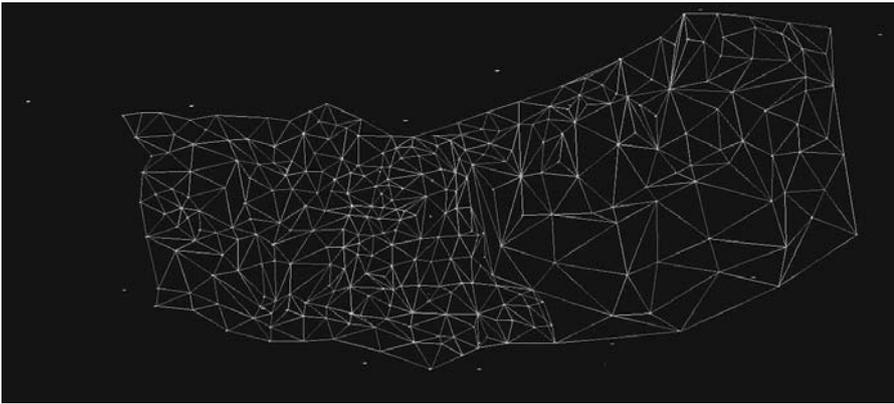
Необходимо отметить, что при возможности жесткого закрепления закоординированных меток на объекте, последующие построения можно осуществлять используя только новые фото объекта.

Преимущества данной методики:

- скорость получения модели;
- простота обработки материала;
- возможность визуального представления положения каждой точки;
- высокая точность полученной модели;
- возможность быстрого мониторинга.

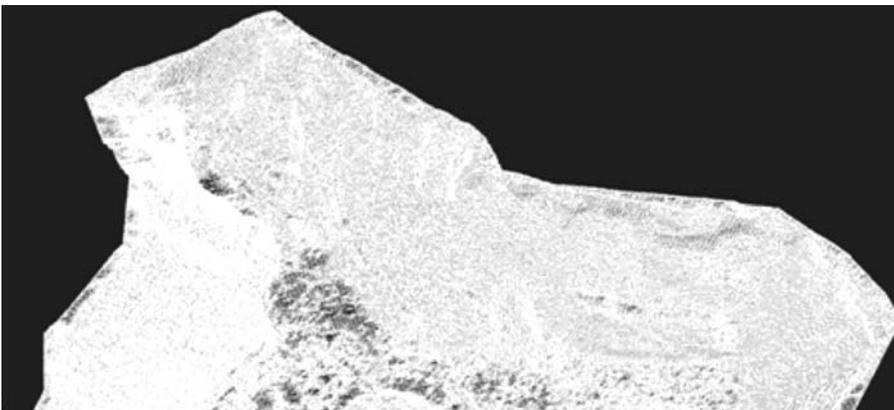
Недостатки данного метода:

- ручная маркировка опорных меток;
- ручное выделение областей построения модели.



**Рис. 4. Трёхмерная модель, полученная фотограмметрическим методом**

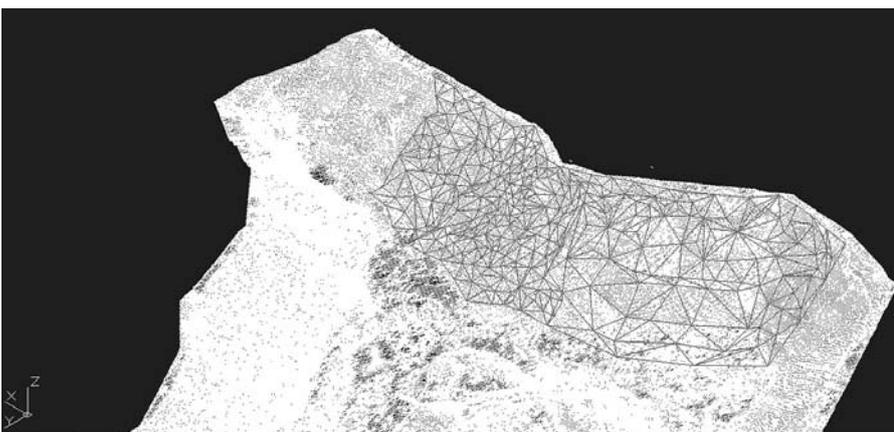
Метод получения трёхмерной модели с помощью лазерного сканера. Для сканирования использовалось 6 закоординированных точек стояния, точки так же определялись с помощью GPS, это заняло примерно 20 минут, на каждой точке прибор стоял в среднем по 8 минут. По окончании полевого этапа, данные лазерного сканирования были обработаны в течение 5 часов (рис. 5).



**Рис. 5. Трёхмерная модель, полученная с помощью лазерного сканера**

На следующем этапе переходим к сравнению полученных данных, относительно того, что берётся за наиболее точную модель совокупность выемок и отвалов, то есть берем реальную поверхность карьера, а также сравниваем модели относительно друг друга. Сравнивались участки забоя длиной около 200 м. При сравнении с поверхностью карьера, поверхность, полученная фотограмметрическим методом и методом лазерного сканирования, отличались не более, чем на 5 %. Следует отметить, что модель, полученная лазерным сканером получилась более детальная, но количество полученных точек является избыточным, модель получается очень тяжелой и сложной для обработки. Модель, полученная фотограмметрическим способом, является менее детальной, чем модель, полученная в результате лазерного сканирования, но при этом соответствует всем нормам по точности, предъявляемым к данному направлению работ, при этом количество и плотность получаемых точек контролируется пользователем, модель получается оптимальной для дальнейшей обработки и получения конечных целей (рис. 6).

Модель, полученная лазерным сканером получилась более детальная, но количество полученных точек является избыточным, модель получается очень тяжелой и сложной для обработки. Модель, полученная фотограмметрическим способом, является менее детальной, чем модель, полученная в результате лазерного сканирования, но при этом соответствует всем нормам по точности, предъявляемым к данному направлению работ, при этом количество и плотность получаемых точек контролируется пользователем, модель получается оптимальной для дальнейшей обработки и получения конечных целей (рис. 6).



**Рис.6. Сравнение трёхмерных моделей, полученных разными способами**

#### Выводы

В настоящее время в области изысканий нет одного универсального метода получения данных, для построения 3D модели, и контроля ведения работ для всех объектов и всех видов работ. На разных объектах применяется разное оборудование и разное программное обеспечение для получения максимальной эффективности. При работе не редко возникает задача получение как 3D

моделей, так и точных измерения на небольших участках, в диапазоне площадей от 50м<sup>2</sup> до 1000м<sup>2</sup>, как правило, помимо точности на таких участках, важна и скорость. Для таких задач наиболее эффективным, по данным авторов считается использование фотограмметрических методов. Помимо высокой скорости получения данных, метод позволяет получить визуальную картину объекта. Сотруднику, находящемуся на месте проведения работ, необходимо провести фотографирование и координирование меток, а специалист, находящийся на расстоянии от объекта, может сам выбирать интересующие его участки, и получить все измерения прямо по фотографиям, а также провести добор недостающих данных на любом этапе работ. Эффективность данной методики проверялась на ряде объектов, и на данный момент может стать хорошей альтернативой лазерному сканированию на локальных участках с требованиями точности масштабов 1:500, 1:1000 и 1:2000.

**Выстрчил М.Г., Смирнова Е.Н.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Ratven@yandex.ru

## **ПРЕДЕЛЬНАЯ ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО МОНИТОРИНГА РОБОТИЗИРОВАННЫМИ ТАХЕОМЕТРАМИ**

Как известно, одной из главных функций, отличающей класс роботизированных тахеометров от обычных, является функция автонаведения. При традиционном способе наведения, глаз является одной из частей оптической системы наряду со зрительной трубой, поэтому точность визирования напрямую зависит от разрешающей способности глаза, условий съемки и оптических свойств трубы. В оптической системе зрительной трубы роботизированного тахеометра присутствует датчик, позволяющий тахеометру наводиться без участия человека. Такая конструкция позволяет исключить субъективные ошибки, связанные с восприятием человека.

Роботизированные тахеометры производят съемки с различными типами отражателей, ярким примером которых являются минипризмы. Призмы такой конструкции нашли свое применение во многих видах маркшейдерских и геодезических съемок, включая автоматизированный мониторинг деформаций открытых горных выработок и инженерных сооружений.

Методика и результаты исследования точности автонаведения роботизированных тахеометров, на примере тахеометра Trimble VX, позволили авторам сделать некоторые выводы. На основе лабораторных исследований подтверждается гипотеза о нормальном распределении ошибок автонаведения на стандартные призмы. Выполненные авторами исследования позволяют сделать вывод, что зависимость между точностью автонаведения на одиночные минипризмы с их удалением от прибора носит степенной характер. При этом, среднеквадратическая погрешность наведения на призму, при ее удалении от прибора на расстояние больше 20 м, в среднем может быть принята 0.5", что соответствует паспортной точности прибора. Принимая, что предельная точность визирования глазом для трубы с 30 кратным увеличением составляет, в среднем 2", можно сделать вывод о преимуществе и предпочтительности автоматизированного наведения.

При проведении съемок открытых горных выработок тахеометрическим способом с использованием роботизированных тахеометров, в большинстве случаев, используются панорамные призмы типа «360°». Призмы такого типа представляют из себя оптическую систему из нескольких призм, позволяющую в автоматическом режиме вести ее трассирование. Исследование авторами показало, что при использовании призм такой конструкции, к существующим ошибкам наведения добавляется составляющая, вызываемая поворотом примы. Ошибка поворота призмы носит случайный, непредсказуемый и неизбежный характер. При этом исследование показало, что она имеет доминирующее значение над остальными ошибками.

При обработке полевых данных была получена степенная зависимость, связывающая удаление призм от тахеометра и общие ошибки автонаведения. Полученные значения ошибок значительно превышают паспортную ошибку наведения прибора и ошибку визирования человеком, поэтому требует особого контроля.

Исследования независимых измерений на круглую призму показало, что ряд отклонений от среднего имеет очень низкий эксцесс при нулевой асимметрии. Из чего можно заключить, что закон распределения ошибок, вызванных поворотом призмы близок к равномерному. Известно, что сумма одинаково распределенных случайных чисел имеет асимптотически нормальное распределение, это положение, доказанное выдающимся русским математиком и механиком Александром Михайловичем Ляпуновым (1857–1918), практически справедливо уже при числе слагаемых равном пяти.

Таким образом, при выполнении наблюдений на точки, определение положения которых требуется произвести с высокой надежностью, для снижения влияния ошибки, вызванной поворотом призмы, в работе рекомендуется выдерживать число приемов, большим 5-6, выполняя при этом необходимо поворот призмы между каждым из них.

**Выстрчил М.Г., Парфенов Г. С., Коваленко Е.О.**

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, kmd@spmi.ru

## **ПЛАНИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ НАЗЕМНОЙ ЛАЗЕРНО-СКАНИРУЮЩЕЙ СЪЕМКИ**

В настоящее время автоматизированные системы занимают все больший объем рынка маркшейдерско-геодезических приборов. Оглянувшись назад, можно увидеть, что каждая, входящая в практику маркшейдерско-геодезических изысканий, автоматизированная система, в подавляющем большинстве примеров, оказывает положительное влияние на производительность работ, точность съемок и безопасность их проведения.

Вспоминая историю развития практики геодезии и маркшейдерского дела, становится очевидно, что с введением любого нового прибора в значительной степени меняются методики проведения работ. Это в свою очередь требует разработки новых и, корректировки существующих, программ планирования и определения стоимости выполняемых изысканий.

В настоящее время лазерно-сканирующие (лидарные) системы принимают все большее участие при выполнении различного рода съемок. Все более возрастающее количество моделей данных приборов позволяет подобрать прибор оптимальный для непосредственного решения задач практически любой сложности, в любых климатических и прочих внешних условиях.

О лазерном сканировании сегодня много пишут и говорят, и в основном, в превосходной степени: «новая быстро развивающаяся технология, которая уже оказала очень сильное положительное влияние на группы смежных прикладных дисциплин – геодезию, маркшейдерия, картографию, фотограмметрию...». Большинство специалистов сходятся в одном – технологические последствия, которые связаны с появлением этого инструмента съемки, так значительны, что могут быть сравнимы с введением в практику геодезии GNSS приемников в конце XX века. Во многом подобный оптимизм оправдан тем, что в большинство лазерно-сканирующих систем обладает колоссальным потенциалом в области сбора данных. Трудно представить, что один довольно компактный прибор в состоянии производить съемку с миллиметровой точностью и скоростью набора данных, превышающей несколько сотен тысяч точек в секунду на расстояния в несколько километров. Фактически, на сегодняшний день мы имеем целое семейство приборов, которые представляют нам в силу своей психо-информационной избыточности абсолютно новые по характеру данные. Характер этих данных принципиально отличается от данных, получаемых традиционными способами съемок, в качестве примеров которых можно привести тахеометрическую съемку или съемку с использованием GNSS приемников.

Главные отличия данных сканирования от традиционных заключается как в их исключительном объеме и избыточности, так и в невозможности сбора данных за препятствиями, преграждающими путь лазерного луча. Действительно, незначительное препятствие в виде бермы или гребня, высотой не больше метра, степень влияния которого была бы незаметна при традиционном ведении съемки или была бы исключена простым увеличением высоты вехи, оказывается непреодолимым для луча лазерно-сканирующей системы. Сложность геометрической формы снимаемых объектов и большое количество препятствий обуславливают наличие значительного количества так называемых «мертвых» или «теневых» зон, информация в которых отсутствует. На практике, исключить такие зоны можно лишь путем сбора дополнительной информации, получаемой путем сканирования объекта с разных точек установки прибора. Это обстоятельство позволяет применить к производству лазерно-сканирующей съемки закон В. Парето, или принцип 80 к 20, эмпирическое правило, которое утверждает, что «20% усилий дают 80% результата, а остальные 80% усилий — лишь 20% результата». В случае лазерно-сканирующей съемки это означает, что после выполнения небольшого количества сканов, выполненных с различных точек установки прибора, мы можем уже получить достаточно полную информацию о геометрической форме объекта. Однако для сбора остальной информации нам будет необходимо затратить многократно превосходящие усилия и ресурсы. Трудоемкость сбора такого рода остаточных данных определяет то, что «мертвые зоны» в целом расположены по всей площади объекта случайно и часто требуют для своего устранения выполнения специальных отдельных сканов.

Необходимость сбора полных и равномерных по плотности информации данных следует из их общей избыточности. В отличие от традиционных способов ведения съемки, в которых мы можем однозначно сопоставить съемочную точку какой-либо точке на местности, в случае лазерно-сканирующей съемки соответствие точки модели точке на местности носит случайный, вероятностный характер, который определяет в основном плотность и точность сканирования. Низкую плотность информации, собираемую при проведении изысканий традиционными методами, компенсирует осознанный человеческий выбор, который гарантирует, что в случае выполнения съемки квалифицированным специалистом, полученной информации достаточно, чтобы произвести ее интерполяцию и получить достоверные сведения о форме снимаемого объекта. Лазерно-сканирующая съемка производится автоматически и тотально, поэтому мы не имеем никаких оснований полагать, что на пропущенном участке характер рельефа снимаемого объекта не изменился. По этой причине производить общую интерполяцию данных некорректно. Комбинирование традиционных способов ведения съемок совместно с лидарными часто не дает ожидаемых результатов, так как автоматическое интерполирование данных сканирования обычно производится путем построения полигональных поверхностей, при построении которых данные низкой плотности, собранные тахеометрической или GNSS съемками, могут быть приняты как «шумовые» и исключены при построении поверхности.

Указанные факторы обуславливают основные требования к проведению лазерно-сканирующей съемки – это необходимость полной и равномерной по плотности детальной съемки по всей площади снимаемого объекта.

Произвести выравнивание кривой затрат времени на съемку можно только с помощью тщательного планирования производимых изысканий. Такое планирование поможет не только более эффективно использовать ресурсы и возможности прибора, но и более адекватно оценить сложность и трудоемкость работ, что позволит рассчитать справедливую цену при заказе лазерно-сканирующей съемки сторонним организациям.

К сегодняшнему дню существует много научных работ, посвященных ведению и планированию лазерно-сканирующей съемки в различных сложных условиях, характерных для горнотехнических объектов. Одним из главных недостатков большинства существующих методик планирования лазерно-сканирующей съемки является то, что они построены по принципу ограничения максимальных технико-точностных характеристик прибора условиями, накладываемыми снимаемыми объектами, в частности горными выработками.

Такой подход позволяет довольно точно определить параметры сканирования для частных случаев ведения съемки (съемки подземных горных выработок, определения объемов и т.д.), но трудно экстраполируется на общие случаи съемки. Разнородность условий, накладываемых снимаемыми объектами, и сама специфика лазерно-сканирующей съемки не позволяет на сегодняшнем этапе изученности аспектов ведения лазерного сканирования обобщить их в одну общую систему ограничений, которая позволила бы сформулировать единую методику планирования и ведения съемок в произвольных условиях.

Тем не менее, решение любой задачи по определению оптимального плана невозможно без системы каких-либо ограничений. Математически это объясняется тем, что непрерывная зависимость, определяющая эффективность съемки, не имеет экстремума при бесконечной области определения, в то время как на ограниченном отрезке (по второй теореме Больцано-Вейерштрасса) функция достигнет своего максимального и минимального значения.

Рассмотрим отвлеченный образный пример: дорогой, красивый спортивный автомобиль, способный в идеальных условиях разогнаться до скорости, превышающей двести-триста километров в час, скорее всего, никогда не раскроет весь свой потенциал на узких, заставленных другими машинами и светофорами улицах города. По этим понятным причинам, ни один счастливый обладатель такой машины не станет рассчитывать время своего прибытия на работу исходя из заявленной максимальной скорости. Отсюда очевидна иррациональность заложения в основу планирования лазерно-сканирующей съемки максимальных характеристик прибора. С учетом множества непредсказуемых внешних факторов, накладывающих свои ограничения на съемку, представляется гораздо более оправданным подход, в котором выделяется некоторый набор оптимальных режимов, выполняющих которые эффективность использования прибора при съемке будет наибольшей (продолжая начатую аналогию, как передаточные числа в коробке передач автомобиля).

Исходя из ранее изложенных требований к выходным данным лазерно-сканирующей съемки и особенностей ее ведения, в предлагаемой методике была принята следующая система ограничений: максимальное время работы прибора, определяемое емкостью аккумулятора, необходимость получения данных требуемой плотности, определяемая как максимальное расстояние между смежными точками, ограничение рабочего дня восьмью часами. Подобные ограничения являются универсальными и справедливыми для любых приборов и объектов съемки. Следует отметить, что порог, определяемый ограниченным ресурсом работы аккумуляторной батареи вызван не сколько отсутствием возможности замены севшего аккумулятора, а возможной потерей данных, вызванной нештатным прерыванием выполняемого скана в процессе съемки.

Современные лазерно-сканирующие системы представляют собой довольно массивные приборы, заключающие в своей конструкции множество узлов, потребляющих в процессе съемки значительные объемы энергии. Вследствие этого, даже при наличии ёмких аккумуляторов, время непосредственной съемки ограничено, в среднем 2-4 часами. Точное время работы легко устанавливается практически или вычисляется исходя из ёмкости аккумулятора и потребляемой прибором мощности. Важно учитывать, что температура окружающей среды и режим работы сканера оказывают значительное влияние на фактическую ёмкость аккумуляторной батареи в отличие от заявленных производителем максимальных показателей времени работы. Следует отметить, что ограничение, вызываемое емкостью батареи тем значительнее, чем ниже производительность (скорость сканирования) прибора, так как, при одинаковом времени работы, более производительный сканер быстрее наберет требуемую информацию, из-за чего успеет выполнить больше сканов за полный цикл разряда аккумулятора. Указанные особенности позволяют выдвинуть основное ограничение для бесперебойной работы сканера – время работы аккумулятора.

Зная максимальное время работы прибора на одной батарее ( $t_{max}$ ) и требуемое количество выполняемых на цикл сканов легко рассчитать время отдельного скана как:

$$t_{СКАН} = \frac{t_{max}}{n + k}, \quad (1)$$

где  $t_{СКАН}$  – время, отводимое на один скан;  $t_{max}$  – максимальное время съемки;  $n$  – планируемое количество станций;  $k$  – коэффициент запаса, учитывающий расход энергии из-за температурных колебаний, времени инициализации прибора и прочих причин (в работе принят  $k=0,25$ , что соответствует времени выполнения четверти скана).

Количество выполняемых сканов выбирается исходя из условий съемки, времени перехода таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$n t_{СКАН} + t_{ПЕРЕХОДА} \leq t_{РАБ\_Д}, \quad (2)$$

где  $t_{ПЕРЕХОДА}$  – время необходимое для снятия прибора, переход между станциями сканирования и последующее приведение прибора к рабочему состоянию;  $t_{РАБ\_Д}$  – время рабочего дня.

Принимая, что время рабочего дня  $t_{РАБ\_Д}$  при проведении полевых работ, обычно, ограничено световым днем, или установленными законом, трудовым договором и нормами, а время необходимое на переход и подготовительные операции с прибором, в среднем составляет порядка 20 минут, ожидаемое количество выполняемых сканов в день не превосходит 12-15.

Для большинства лазерно-сканирующих систем скорость сканирования постоянная величина, определяющая ее производительность. При конечной скорости набора данных скан, независимо от задаваемой плотности, будет содержать количество точек, определяемое выражением:

$$N = t_{СКАН} \cdot v_{СКАН}, \quad (3)$$

где  $N$  – максимальное количество точек в скане;  $t_{СКАН}$  – время выполнения скана, с;  $v_{СКАН}$  – скорость сканирования, точки/с.

Плотность данных внутри скана определяется величиной задаваемого углового шага сканирования, которая может быть связана с общим количеством точек в скане выражением:

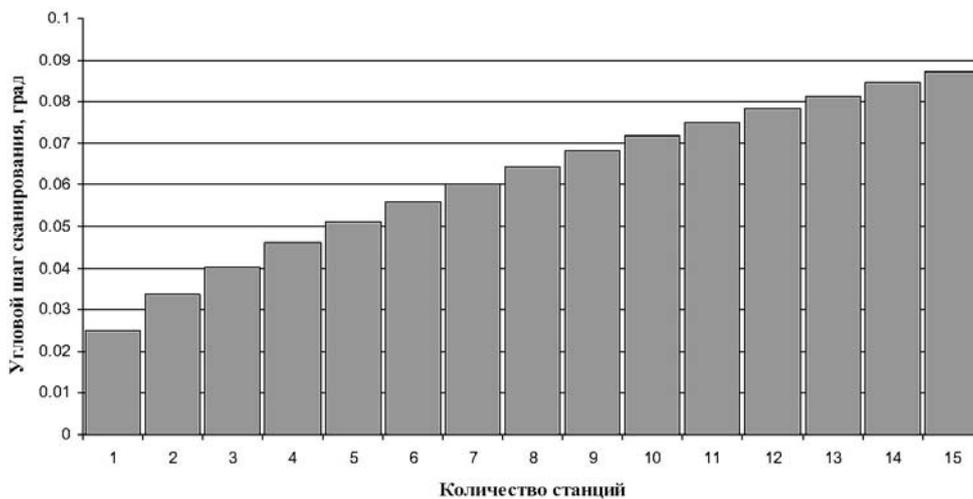
$$N = \frac{n_1}{\Delta\varphi_1} \cdot \frac{n_2}{\Delta\varphi_2} = \frac{n_1 \cdot n_2}{\Delta\varphi^2}, \quad (4)$$

где  $n_1$  и  $n_2$  – соответственно горизонтальный и вертикальный угловой сектор сканирования, задаваемый пользователем или определяемый конструкцией лазерно-сканирующей системы, град;  $\Delta\varphi$  – угловой шаг сканирования, град.

При допущении условия, что границы области сканирования фиксированы, что соответствует панорамной съемке на 360°, зависимость углового шага сканирования  $\Delta\varphi$ , для определенной модели лазерно-сканирующей системы, будет определяться только через время выполнения отдельного скана  $t_{скан}$ . Объединив формулы (3) и (4), можно получить выражение, определяющее эту зависимость, которая после элементарных математических преобразований примет вид:

$$\Delta\varphi = \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2}{t_{скан} \cdot v_{скан}}} \quad (5)$$

Функция  $\Delta\varphi(t_{скан})$ , определяемая по выражению (5), непрерывна и принимает однозначные значения на всей своей области определения ( $t_{скан} > 0$ ). При выполнении условий (1) и (2), величины углового шага сканирования для  $n$ , выполняемых за один цикл разряда аккумулятора сканов примут значения, показанные на гистограмме изображенной на рисунке 1. Примеры вычислений и реализация методики выполнена на примере лазерно-сканирующей системы Riegl LMS-420i, обладающей следующими характеристиками: время работы  $t_{max} = 2$  часа, скорость сканирования  $v_{скан} = 8000$  точек/сек, максимальные угловые сектора сканирования  $n_1$  и  $n_2 = 360^\circ$  и  $80^\circ$  соответственно.



**Рис. 1. Значения оптимального углового шага сканирования при выполнении различного числа сканов, за один полный цикл разряда аккумулятора**

Исходя из выбранной системы ограничений, полученные режимы сканирования являются оптимальными, так как отклонение от определенного значения углового шага в меньшую сторону приведет к возрастающему риску прерывания выполнения съемки, а в большую – к неполному использованию ресурса батареи.

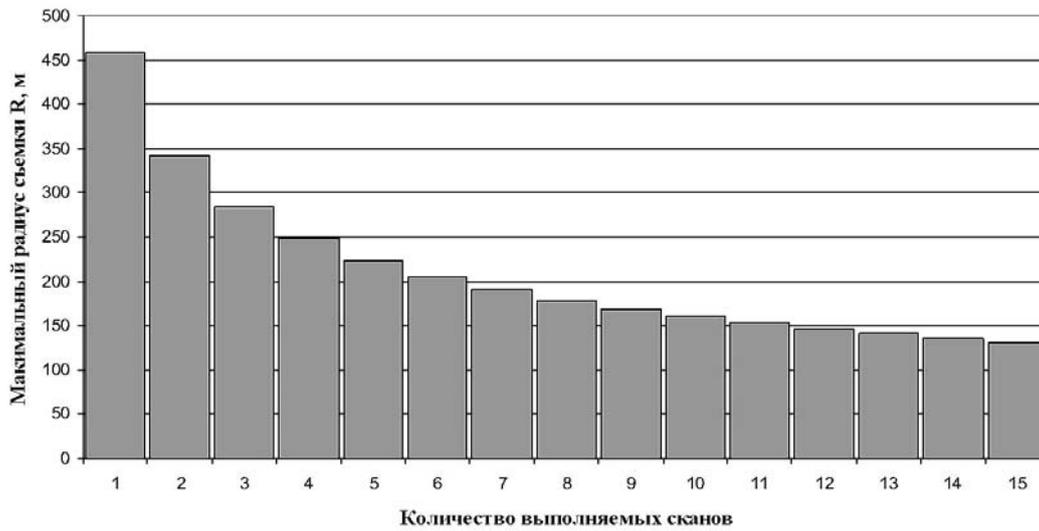
Неизменность, в процессе выполнения съемки, углового шага сканирования приводит к неравномерной плотности данных внутри отдельного скана. Расстояние между смежными точками в скане будет линейно увеличиваться с возрастанием дистанции, разделяющей их от лазерно-сканирующей системы, пропорционально величине углового шага сканирования. В большинстве случаев, тотальность выполнения съемки приводит к необходимости получения моделей заданной плотности. Наиболее существенны такие условия при выполнении ориентирования сканов автокорреляционными алгоритмами (например, по широко применяемому ICP-алгоритму), так как точность взаимного ориентирования напрямую зависит от плотности сводимых вместе моделей.

Максимальный радиус съемки –  $R$ , внутри которого расстояние между смежными точками будет меньше задаваемого порога –  $d$ , определяется зависимостью:

$$R = \frac{d}{2tg\left(\frac{\Delta\varphi}{2}\right)} \quad (6)$$

Исходя из опыта проведения лазерно-сканирующих съемок, средняя точность взаимного ориентирования по ICP-алгоритму примерно соответствует расстоянию между смежными точками в моделях. Исходя из этого, при выполнении съемок горных выработок следует стремиться к получению плотности моделей близкой или большей требуемой точности определения положения элементов съемки. К примеру, при проведении лазерно-сканирующей съемки открытых горных выработок для масштаба 1:1000 не желательно задавать вышеназванный порог  $d$  большим 0,15-0,20 м.

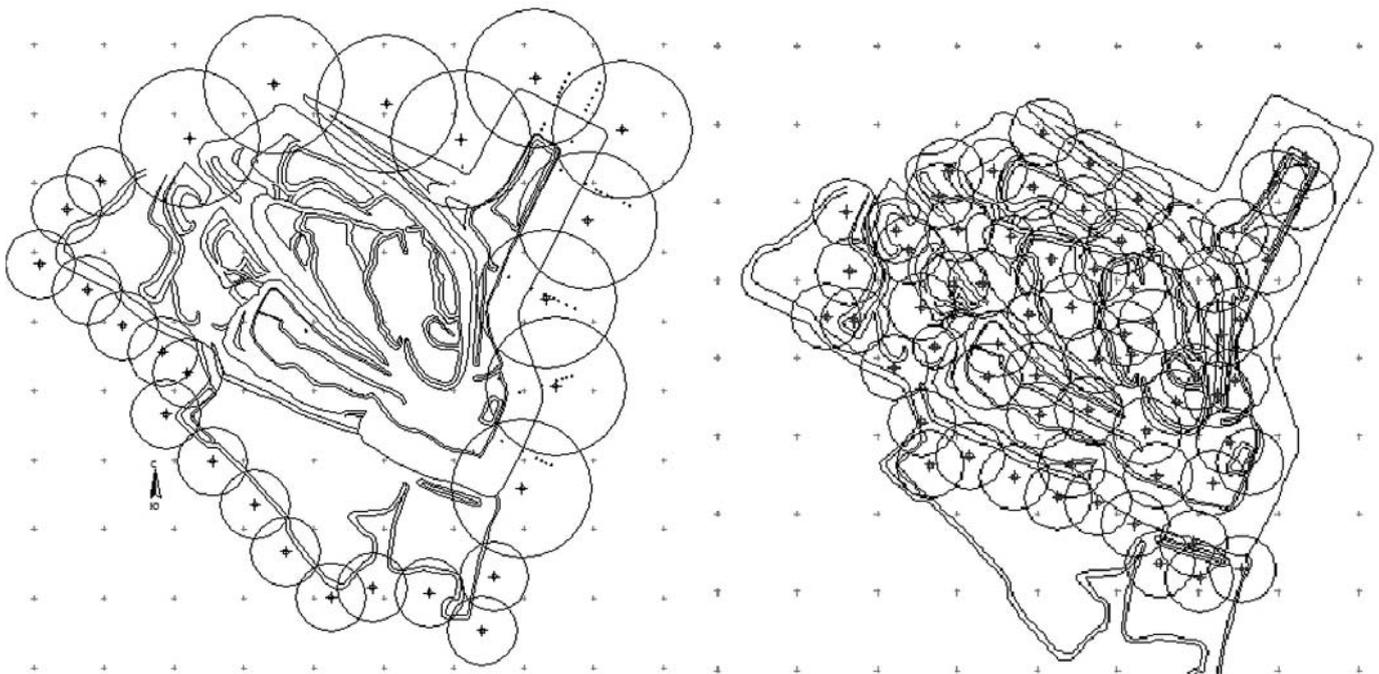
Гистограмма, иллюстрирующая максимальный радиус съемки для лазерно-сканирующей системы Riegl LMS-420i при максимальном расстоянии между смежными точками  $d=0,15$  м, показана на рисунке 2.



**Рис. 2. Значения максимального радиуса сканирования при выполнении различного числа сканов за один полный цикл разряда аккумулятора**

Реализация предлагаемой методики представлена на примере планирования лазерно-сканирующей съемки отвала фосфогипса ОАО «БМУ». В программной среде AutoCAD по всей требуемой площади съемки в соответствии с рельефом объекта распределены окружности с радиусом, определенным выражением (6), центр которых определяет местоположение планируемых станций сканирования.

При этом следует стремиться распределять станции сканирования определенной плотности таким образом, чтобы их общее количество оставалось кратным числу выполняемых сканов за один полный цикл работы батареи  $n$ . Топографической основой для распределения станций сканирования могут являться данные, полученные из предшествующих съемок или, в случае их отсутствия, космические снимки из открытых источников Google Maps и т.п. Иллюстрация к проведенному планированию съемки представлена на рисунке 3.



**Рис. 3. Пример выполнения планирования лазерно-сканирующей съемки отвала фосфогипса ОАО «БМУ»**

В результате проведенного планирования предполагается, что для полной лазерно-сканирующей съемки заданного объекта достаточно выполнить 57 сканов, из чего можно заключить, что ожидаемое время полевых работ составит 5 рабочих дней. Опыт проведения лазерно-сканирующей съемки названного отвала показал, что фактически для его съемки потребовалось произвести съемку с 51-й станции сканирования. Близость полученных фактических и теоретических значений говорит, по нашему мнению, в пользу предлагаемой методики, а несколько завышенное количество теоретических станций дает ей некоторый запас надежности и объясняется невозможностью полного учета изменяющейся на объекте ситуации и сложностью рельефа объекта съемки, не допускающего абсолютно строгого назначения положений предполагаемых станций сканирования.

**Список литературы**

1. Середович В.А. Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова // Новосибирск: СГГА, 2009, С.261;
2. Нестеренко Е.А. Методика съёмки карьеров, отвалов и складов на основе применения трехмерных лазерно-сканирующих систем: Дис. ...канд. техн. наук / СПб., 2010. – 150с.

## СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ НА ШЕЛЬФЕ»

Чуркин О.Ф.

АНО «Судебный эксперт», Москва, churkin\_ol@mail.ru

# ГИДРОГРАФИЧЕСКИЕ РАБОТЫ КАК САМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ ВИД ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ

Гидрографические работы являются базисными при выполнении любых инженерных изысканий для строительства на море и водных переходах. В комплексе с неотъемлемой их частью – навигационным обеспечением работ, они позволяют создать картографическую основу для нанесения на неё результатов иных видов инженерных изысканий. Анализ ныне действующих документов, регламентирующих инженерные изыскания в строительстве, свидетельствует о том, что фундаментальная значимость гидрографических работ в последние 20 лет, к сожалению, подверглась сомнению. Рассмотрим подробно этот тезис.

Все инженерные изыскания регламентируются разного рода СНиПами, ГОСТами, Приказами или созданными на их основе специальными техническими условиями (СТУ). Даже поверхностное ознакомление с рядом действующих ныне документов говорит о том, что порядка в данном направлении, увы, немного. А немалое количество этих документов (более десятка), может легко запутать любого изыскателя, позволить различные трактовки, что совершенно недопустимо. Не изучив историю вопроса, разобраться почему так случилось, непросто.

Итак, примерно до середины 90-х годов практически все гидрографические работы выполнялись либо подразделениями Гидрографической службы СССР, либо Гидрографическим предприятием, в зону ответственности которого традиционно входила акватория Северного морского пути. Организация гидрографических работ, в том числе и в сфере морского строительства, регламентировалась рядом ведомственных документов, среди которых наиболее известными были Инструкция по промеру (ИП-64), заменённая в последующем на Правила Гидрографической службы (ПГС-4) [3], Руководство по океанографическим исследованиям (РОИ-80) [7], Правила Гидрографической службы № 35 (ПГС-35) [4] и т.д. Данные документы исчерпывающе освещали весь комплекс вопросов, связанных с подготовкой и проведением гидрографических работ, а так же чётко регламентировали порядок подготовки и содержания отчётных материалов.

В 90-е годы из-за известных в стране событий вместе с почти полной остановкой масштабных гидрографических работ затормозилась и разработка документов, их регламентирующих. В то же самое время, как реакция на образующийся вакуум (отсутствие масштабной деятельности гидрографических подразделений в период недостаточного финансирования), начинается массовое создание кооперативов, организаций разных форм собственности, занимающихся гидрографическими работами для инженерных целей. Многие утверждают, что в этой ситуации были неизбежны методические отступления от ранее действующих подходов. Ведь задачи Гидрографической службы, прежде всего, заключались в сборе данных для картосоставления и не были пригодны для инженерного проектирования. Не соглашусь с этим, поскольку гидрографическая съёмка делалась, в том числе, и в крупном масштабе, (например 1:500), вполне пригодном для инженерного проектирования под строительство морских сооружений.

Тем не менее, уже в середине 90-х годов, с началом интенсивного освоения континентального шельфа, начинается и создание документов, регламентирующих морские инженерные изыскания. В течение последующих 15 лет возникает целый ряд документов, которые создаются уже не в недрах научных подразделений Гидрографической службы, а силами нескольких Министерств и ведомств (Минстрой, Госстрой и пр.) Назовём лишь некоторые из них:

- СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения», принятые и введенные в действие с 1 ноября 1996 г постановлением Минстроя № 18-77 от 29 октября 1996 г. [8];
- СП 11-104-97 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства», принятые и введенные в действие с 1 января 1998 г. письмом Госстроя России № 9-4/116 от 14 октября 1997г. [9];
- СП 11-114-2004 «Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений», принятые и введенные в действие с 1 июля 2004 г письмом Госстроя России № ЛБ-21 от 11 мая 2004 г. [10] и т.д.

В дополнение к перечисленному выше, в системе нормативных документов в этот период начинает действовать ряд ведомственных инструкций и стандартов, более подробно определяющих методы производства и камеральной обработки промеров и других видов изысканий на акваториях. Ознакомившись с этими документами, специалист-гидрограф начинает осознавать, что за короткое время гидрографические работы, существующие до тех пор как самостоятельные, и даже включающие в себя топографическую съёмку побережья, превратились в одну из составных частей инженерно-геодезических изысканий. При этом, включив инженерно-гидрографические работы в состав геодезических изысканий, Минстрой, а далее Госстрой, другие организации государственного масштаба не создали отдельного документа, регламентирующего их функционирование, не разработали каких-либо новых норм, стандартов, а достаточно бегло «срастили» геодезические изыскания с гидрографическими работами. Таким образом, главный объект гидрографии – морское дно, превратился в объект инженерно-геодезических изысканий. Вероятно, это в какой-то степени было бы оправдано, если бы речь шла только о выполнении гидрографических работ на небольших водных переходах по маршрутам сухопутных трасс. Вероятно, водоёмы (мелководные реки, пруды, ручьи, болота, латеральная зона побережья морей), где съёмку можно выполнять геодезическими методами измерений, проще рассматривать, как объект инженерно-геодезических изысканий. Но как можно назвать инженерно-геодезическими изысканиями скажем гидрографические работы по трассам проектов «Голубой поток» и «Южный поток» с глубинами до 2200 м?

В ранее упомянутом СП 11-104-97 [9], впервые появился самостоятельный раздел «Инженерно-гидрографические работы». Но в нём содержится такое количество устаревших терминов, не соответствующих ни российским, ни международным стандартам по гидрографии, что пользоваться им и ссылаться на него считается непрофессиональным.

В Приказе Федеральной службы геодезии и картографии России N 196 от 24 декабря 2002 года «О введении в действие единых норм выработки (времени) на геодезические и топографические работы, справочника сметных укрупнённых норм на топографо-геодезические работы» [6], упоминаний о гидрографических работах нет вовсе. Хотя в соответствии с документами Госстроя и Минстроя они (гидрографические работы) были включены в инженерно-геодезические изыскания.

И вот в следующем документе СП 11-114-2004 [10] предпринимается попытка ликвидировать отсутствие регламентирующей базы гидрографических работ, но не путём её разработки, а признанием необходимости соблюдения требований ряда инструкций ГУНиО МО РФ [7,4]. В данном СП изложена процедура составления карт (планов) и дана общая структура написания технического отчёта. При этом, по странному стечению обстоятельств, данный документ, который можно считать более содержательным, чем предыдущие, не распространяется на инженерные изыскания для строительства подводных трубопроводов. Хотя именно это направление изысканий является в последние два десятилетия наиболее востребованным.

Т.е. на данный момент по части гидрографических работ и в частности для строительства подводных трубопроводов, вообще отсутствуют нормативные документы.

Вместе с тем, в условиях резкой нехватки документов, регламентирующих деятельность гидрографических работ в строительной области, специалисты-гидрографы столкнулись ещё с целым рядом серьёзных проблем на всех этапах её выполнения. Назовём их проблемами методическими и техническими.

Проблема методическая: в период подготовки Программ комплексных работ или написания Итоговых отчётов, гидрографы не могут выделить даже самостоятельного раздела «Гидрографические работы» – его просто не предусмотрено вне раздела инженерно-геодезических изысканий. При этом если работы выполнялись исключительно в морской части – это всё равно инженерно-геодезические изыскания.

Проблема техническая: несмотря на то, что гидрографические работы выполняются эхолотами (однолучевыми и многолучевыми), приборами, работа которых основана на иных физических принципах, нежели геодезические, на них автоматически распространились требования, предъявляемые к метрологической аттестации геодезических средств измерений. Но метрологической аттестации эхолотов никто не осуществляет. В связи с этим в Интернете развёрнута парадоксальная дискуссия по поводу того, является ли эхолот средством измерения.

В итоге, гидрографы поставлены в положение, когда им приходится изворачиваться и проявлять творческие чудеса и изобретательность, как в период выполнения работ, так и при написании отчетов, дабы прикрыть эту искусственно созданную методическую и нормативную брешь.

А какие терминологические вирши можно найти в некоторых отчётах по гидрографическим работам, выполняемых специалистами-геодезистами и специалистами-гидрологами (промерные работы по странной логике составителей ныне действующих документов вместо того, чтобы быть выделены в отдельный вид изысканий, оказались и в инженерно-геодезических, и в инженерно-гидрологических изысканиях). Например, с позволения сказать термин «эхолотирование» или «многолучевое эхолотирование», включённый в документ [10]. Почему-то разработчикам данного документа ГОСТ 23634 «Морская навигация и морская гидрография» [1] – не указ. Или следующий «термин» – «многолучевой промер». Любому гидрографу известно, что промер выполняется только однолучевым эхолотом. Всё чаще используют термин «картирование», которого никогда в гидрографии не было. Всё это, по меньшей мере, является неграмотностью и отсутствием терминологической дисциплины. Терминологическое «расползание» (увеличение количества терминов, обозначающих одно и то же понятие) приводит к тому, что специалисты или те, кто себя таковыми называет, перестают понимать друг – друга. Ведь правильным то может быть только один, принятый ГОСТом термин.

Еще раз заглянем в историю вопроса, чтобы дать этому обстоятельству объективную оценку.

В начале 70-х годов наблюдается значительное увеличение объемов инженерных работ на мелководье шельфа. Стала ощущаться острая нехватка специалистов-гидрографов и соответствующей научно-технической документации, регламентирующей работы. Военная гидрография к гражданскому строительству почти не подключалась по причине специфической задачи – обеспечения безопасности мореплавания, поставленной этому подразделению Министерством Обороны. Поэтому гражданские ведомства для решения вопроса подготовки собственных кадров ввели в МИИГАиКе на геодезическом факультете специальность «морская геодезия». Выпускники в большинстве случаев стали распределяются в Мингео, к нефтяникам и газовикам. В 1975 г. в Системе ГУГК был образован отдел съёмки шельфа и Мирового Океана. В задачи отдела входило создание нормативно-технической документации, разработка терминов и определений, инструкций и руководств. В 1984 г. выходит документ *«Инженерные изыскания на континентальном шельфе»*. Основные положения по созданию топографических карт шельфа и внутренних водоемов» [2] (новая редакция этого документа была представлена в 1988 г.), дающий жизнь новым терминам – «топографическая съёмка шельфа» (далее ТСШ), «топографические карты шельфа» и новому понятию – «геодезические работы на шельфе». Было бы смешно, если бы не было так печально – на шельфе виртуально встретились две группы – с одной стороны специалисты-гидрографы для выполнения промера, а с другой геодезисты для выполнения ТСШ. Причем работать им было суждено по одинаковым методикам и на одних приборах (эхолотах) – другого то пока ничего не было, но называться это стало теперь по-разному. Таким образом, чисто административная победа «геодезии» над «гидрографией» обернулась победой над здравым смыслом, от которой пострадали обе стороны. Почему? Объясню. Гидрографии, как организации в лице ГУНиО МО РФ, с активизацией строительства на море следовало бы предпринять усилия, чтобы расширить свои функции, т.к. задачи сбора данных для картосоставления очень близки к задачам сбора данных (в рамках инженерных изысканий) для проектирования. Все возможности для этого – кадры, техника, суда, методики – были. В результате этих работ появились бы и средства на закупку более совершенной техники, завершение

перспективных НИРов и ОКРов, строительство специализированного гидрографического флота, разработку новых регламентирующих съемку рельефа дна документов и пр. Но ничего этого, увы, не случилось... А случилось следующее:

- гидрографический флот в большинстве своем «сгнил» у причалов, и в последующем пошел «на иголки»;
- преданные профессии гидрографы «разбрелись» по зарождающимся гражданским гидрографическим компаниям, остальные устроились, где смогли.
- -прекрасные разработки отечественной техники в области гидрографии, навигации, геофизики и пр. так и остались опытными, поражающими своими возможностями образцами, в единственном числе;
- разработка новых документов растянулась на долгие годы (новое издание ПГС-4 до сих пор так и не состоялось).

Гидрографии, подобно ГУГК, не появилось вовсе, а ГУНиО «потеряло» первую букву («Г» – главное), превратившись в рядовое управление в структуре ВМФ.

По каждому из этих тезисов можно написать полную скорби статью.

Что же было далее? В основу методологии «новой гидрографии» закладывались подходы инженерно-геодезических изысканий, которые уверенно работали лишь на водных переходах и пасовали перед работой на морских акваториях. ТСШ подменяло батиметрическую съемку шельфа на мелководье, при этом не имея ни своих специалистов, ни техники, ни документов, регламентирующих гидрографические работы на морских акваториях в более глубоководных районах моря. Какие перспективы у ТСШ. Их нет. Хотя бы по формальным признакам. Область, в которой осуществляется ТСШ, окаймляется бровкой шельфа и распространяется максимум до глубин 200-220 метров. За последние 15 лет (проекты Голубой поток и Южный поток) гидрографы «ушли» на глубины более 2000 метров, и там геодезистам с методологией ТСШ точно делать нечего.

Но попытки закрепить навсегда гидрографические работы на морских акваториях за инженерной геодезией предпринимаются с неослабевающей силой. Свежим примером этого можно в полной мере считать попытку обновления СНИП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения». Не останавливаясь на деталях, скажу главное – создается впечатление, что документ (в части гидрографических работ) создан в середине 70-х годов. Авторам как будто и не известно вовсе, что в настоящее время 95% исследований выполняется многолучевыми эхолотами, о методологии выполнения съемки которыми в документе нет ни слова. Причем зоны работы давно вышли за границы шельфа. Аналогичная ситуация и с позиционированием буксируемых подводных и надводных носителей с использованием акустических систем позиционирования и/или математических моделей движения.

К чему приводят такие изъятия в регламентирующих документах? К нарушению технологий выполнения гидрографических работ. Например, в 2012 году автору поступили на проверку материалы так называемой гидрографической съемки, выполненной с помощью 6-и !!! метровой намётки. Думаю, если так дело пойдет и дальше, появятся и 10-и метровые намётки, и лоты. И технология выполнения инженерно-геодезических изысканий будет напоминать гидрографию периода Петра Великого. Одним словом, в нынешнем виде для выполнения работ современными техническими средствами на всей акватории морей и океанов никакие из действующих документов не пригодны.

Как всегда, в критических ситуациях, подобных нашей, возникает сакраментальный русский вопрос «ЧТО ДЕЛАТЬ?», что делать в условиях острой нехватки регламентирующих документов? Ответ есть – составлять под каждый проект некий нормативный документ добровольного применения, устанавливающий технические требования, которым должна удовлетворять продукция. Для узаконивания такого ловкого выхода из положения в 2008 г. Минрегион издал приказ №36 «О порядке разработки и согласования специальных технических условий для выработки проектной документации на объекты капитального строительства» [5]. Среди документов, подходящих для подготовки СТУ в части гидрографической съемки, обычно берется СП 11-114-2004 [10] (и, напомню, это, не смотря на то, что он не должен распространяться на инженерные изыскания для строительства подводных трубопроводов) и ряд документов, разработанных в недрах военной гидрографии. Из отечественных и также достаточно «старинных» документов востребована «Техническая инструкция по производству промерных работ на морских дноуглубительных объектах ММФ 1971 года» [11]. Из иностранных документов, описывающих порядок проведения работ с использованием многолучевых эхолотов, базисным является Стандарт S 003 ИМСА (международной морской контрактной ассоциации) [17]. Этот стандарт определяет процедуру выполнения детальной съемки рельефа дна способом площадного обследования с помощью многолучевого эхолота, определяет порядок его калибровки и планирования работ, подробно рассматривает процесс сбора и обработки полученных данных. Также в данном документе уточнена терминология, применяемая при этом виде работ. Безусловно, при составлении СТУ, используется Стандарт S-44 ИНО (международной гидрографической организации) на гидрографические съемки, специальная публикация № 44 5-е издание, 2008 г.) [16]. Но и иностранная нормативная база имеет издержки, и в частности по вопросу точности гидрографических работ. Например, иностранные документы [16, 17], регламентируя требования к точности гидрографических работ, используют систематику, в которой основным критерием является глубина. Однако, если съемка выполняется с подводного носителя, какими критериями по глубине здесь следует задаваться? Глубиной хода аппарата над грунтом (она обычно бывает не более 30-40 м), и классифицировать съемку как Special Order (1a Order) или глубиной района работ? Опять же, необходимо учесть, что, работая на горизонте хода в 30-40 м, точность измерения глубин будет достаточно высока, но точность позиционирования аппарата будет значительно ниже, чем точность позиционирования при съемке с надводного судна с использованием ГНСС-приемников с дифференциальными поправками. Таким образом, гидрографы в настоящее время в полной мере не могут опереться не только на отечественную, но даже и иностранную нормативную базу.

Говорят: «Ничто так не постоянно, как временное». В подтверждение этой печальной мудрости, временные, т.е. действующие только на каждый отдельный проект СТУ, становятся нормой. Но правильно ли это? Конечно же, нет. Любая временная норма, временный документ позволяют отойти от стандарта, подогнать существующее под желаемое, решить синоминутную проблему в ущерб глобальной. Чтобы этого избежать, в отношении гидрографических работ необходимо, как минимум, сделать два последовательных шага:

- выделить инженерно-гидрографические изыскания в самостоятельный вид изысканий;
- создать документ, регламентирующий инженерно-гидрографические изыскания для строительства. При этом необходимо стремиться, чтобы он вобрал в себя всё ценное, содержащееся в регламентирующих документах военной гидрографии и учёл опыт гидрографических работ в строительстве на протяжении двух последних десятилетий.

Говорят: «Идеи витают в воздухе». По тематике проблем с регламентацией гидрографических работ в строительстве, автор многократно выступал с докладами на научных конференциях и форумах различного уровня [13,14,15]. Но выход на уровень не выступления, а широкого обсуждения и решения проблемы возможен только тогда, когда в дискуссии вовлечён широкий круг специалистов-гидрографов. Статья Фирсова Ю.Г. и Меньшикова И.В «Анализ нормативных документов отечественной инженерной гидрографии.», опубликованной в 2012 г в ж. «Геодезия и картография» [12] свидетельствует о том, что такое широкое обсуждение проблемы уже уначалось. А это значит, что проблему, обозначенную в статье, есть кому решать. Но если быть совершенно честным перед слушателями (читателями), то пока в недрах таких могучих с финансовой и административной точек зрения компаний как ГАЗПРОМ, ЛУКОЙЛ, РОСНЕФТЬ и подобных не появится понимание остроты обозначенной проблемы и необходимости наконец грамотно заняться вопросами регламентации инженерных изысканий, дело будет стоять на месте. Попытки «снизу» пробить костность иных администраторов увы пока ни к чему не приводят, а ожидание того, что система саморегулирования, нелепо введенная в сферу инженерных изысканий, наивна.

## Выводы

- Гидрографические работы являются базисными при выполнении любых инженерных изысканий на море;
- В действующих и разрабатываемых документах, регламентирующих гидрографические работы в строительстве, существуют серьёзные методические и нормативные изъяны, существенно затрудняющие организацию изысканий;
- В исходных документах (Программы работ, Технические задания и пр.) и в отчётных документах (Итоговые отчёты, картографический материал), руководящих документах по строительству, всё чаще можно встретить отступления от терминологии, принятой в гидрографии и закреплённой в ГОСТах;
- Любая временная норма, временный документ позволяют отойти от стандарта, подогнать существующее под желаемое, решить сиюминутную проблему в ущерб глобальной. Поэтому практика создания СТУ под каждый проект не должна подменять создание и постоянное совершенствование регламентирующих инженерные изыскания документов;
- Выделить инженерно-гидрографические изыскания в самостоятельный вид изысканий и создать отдельный документ, регламентирующий их выполнение в строительстве.

## Список литературы

1. ГОСТ 23634-83 «Морская навигация и морская гидрография. Термины и определения» Российская Федерация, 01.01.1984.
2. ВСН 51.2-84. Инженерные изыскания на континентальном шельфе. Основные положения по созданию топографических карт шельфа и внутренних водоемов. – М.: ЦНИИГАиК, ГУГК СССР, 1984.
3. Правила гидрографической службы № 4 (ПГС № 4.) Съёмка рельефа дна. – Л.: ГУНиО МО РФ, 1984.
4. Правила гидрографической службы № 35 (ПГС № 35), изд. ГУНиО МО 1956 г.
5. Приказ Минрегиона РФ от 01.04.2008 №36 «О порядке разработки и согласования специальных технических условий для выработки проектной документации на объекты капитального строительства».
6. Приказ Федеральной службы геодезии и картографии России от 24 декабря 2002 г. N 196-пр «О введении в действие единых норм выработки (времени) на геодезические и топографические работы, справочника сметных укрупнённых норм на топографо-геодезические работы».
7. РОИ-80 Руководство по океанографическому изучению океанов и морей, часть 1,2, -Л.: ГУНиО МО, 1980.
8. СНиП 11-02-96 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения», принятые и введенные в действие с 1 ноября 1996 г постановлением Минстроя № 18-77 от 29 октября 1996 г.
9. СП 11-104-97 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства», принятые и введенные в действие с 1 января 1998 г. письмом Госстроя России № 9-4/116 от 14 октября 1997г.
10. СП 11-114-2004 «Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений», принятые и введенные в действие с 1 июля 2004 г письмом Госстроя России № ЛБ-21 от 11 мая 2004 г. и т.д.
11. Техническая инструкция по производству промерных работ на морских дноуглубительных объектах ММФ. Главное управление развития и капитального строительства Министерства МФ СССР, 1971.
12. Фирсов Ю.Г., Меньшиков И.В. Анализ нормативных документов отечественной инженерной гидрографии. Геодезия и картография, 2012, № 4, с.46-50.
13. Чуркин О.Ф. «Гидрографические работы и навигационное обеспечение изысканий в проектах ООО «Питер Газ». Ряд аспектов, затрудняющих изыскательскую деятельность в области гидрографии и навигации. Пути решения» Доклад, Седьмая Российская научно-техническая Конференция «Навигация, гидрография и океанография: приоритеты развития и инновации морской деятельности», «НГО-2011», Труды конференции, СПб: ГосНИНГИ, 2011 г, с.603-606
14. Чуркин О.Ф. «Методические и нормативные изъяны в действующих документах, регламентирующих гидрографические работы. Пути решения» Доклад, Седьмая Общероссийская Конференция «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», Москва, 2011 г.
15. Чуркин О.Ф. «Документы, регламентирующие гидрографические работы для строительства. Методические и нормативные изъяны» Доклад, 12-ая Международная конференция по гражданскому судостроению, морской технике освоения океана и шельфа, судоремонту и производству судового оборудования «Нева-2013», Программа и тезисы докладов, СПб 2013 г., с.293-297
16. ИНО Standards for hydrographic surveys (S-44) 5<sup>th</sup> Edition, February 2008.
17. S 003, The International Marine Contractors Association (IMCA). Guidelines on the use of multibeam echosounders for Offshore surveys, 2006.

# СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ»

**Рузанов В.Т.**

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН, Анадырь, gidrogeoruz@mail.ru

## ЗИМНЕЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ РЕК ЧУКОТКИ: ГИДРОЛОГИЯ И ГИДРОХИМИЯ

Первые научные описания рек Чукотки известны по трудам Северо-Восточной экспедиции 1785-1795 гг. Биллингса-Сарычева, затем Майделя (1868-1870) и др. [1-4]. После 1889 г., с организацией гидрометеостанций (ГМС) в Анадыре, несколько позднее в Марково, Уэлене, а с 1930-х годов ещё, в советский период, во многих пунктах Чукотки, гидрологическая изученность резко возросла (рисунок 1).

**Рис. 1. Схема расположения гидрометеостанций и проектируемых плотин ГЭС на территории Чукотского автономного округа**

С 1935 г. на организованной Главным управлением Севморпуть (ГУСМП) Анадырской мерзлотной станции (АНИМС) велись комплексные исследования, в том числе гидрологические. В 1950-е годы И.А. Некрасовым детально обследован бассейн реки Анадырь [2].

В 2013 г., с целью гидрологического и гидрохимического изучения рек Анадырь, Белая в конце зимнего критического периода 2013 г., для сбора гидрологических данных о промерзаемости других крупных рек Чукотки в зимний период, сведений прежних лет по гидрологии и гидрохимии, автором проведены работы по договору между СВКНИИ ДВО РАН (г. Магадан) и ООО «ВЕД» (г. Москва) [3].

Основной целью работ 2013 г. являлось гидрологическое и гидрохимическое изучение рек Анадырь, Белая в конце зимнего периода 2013 г., сбор сведений о перемерзании рек Чукотки. Основной объект изучения – поверхностные воды. Обследованы также водозаборные скважины в селах Марково, Усть-Белая. Полевые работы проведены в апреле-мае 2013 г. – гидрологические, геотермические и др. работы, отобраны пробы воды на химические анализы. Участки работ (створы скважин-лунок) по реке Анадырь находились выше и ниже сёл. По реке Белая створ заложен в устье, почти напротив села Усть-Белая. Одна скважина пробурена в устье р. Анадырь, у Американской Кошки. Исследованы полыньи ниже сёл и в устьевой части р. Белой. Замерены расходы водотоков, толщина льда, снега, слой воды подо льдом. На месте, в полевых условиях, определены рН и минерализация речной воды и подземной из водозаборных скважин. Сокращенные химические анализы воды выполнены в стационарной химической лаборатории (г. Анадырь). Дополнительно по всем створам отобраны пробы воды на определение тяжелых металлов. Собраны литературные и фондовые данные по гидрологической, гидрогеологической, гидрохимической изученности участков работ.

*Марково.* Гидрологические створы расположены в 1,5 км выше села (верхний створ) и 3 км ниже села (нижний створ). Исследуемая площадь расположена в пределах Марковской впадины, которая является составной частью Анадырско-Пен-



жинской низины. Абсолютные отметки колеблются от 15 до 25 м. Поверхность впадины изобилует пойменными озерами старичного и термокарстового происхождения и расчленена русловой системой р. Анадырь. Река Анадырь в районе села имеет 2-3 основных рукава шириной по 150-200 м, которые местами сливаются в одно русло шириной 400-500 м. Средняя скорость течения здесь 1,5 м/с, уклон реки 0,0010-0,0035. Для русла реки характерны многочисленные перекаты. В весенний период р. Анадырь заливает обширные пространства. Паводок начинается в конце мая, пик приходится на середину июня и к концу июня начинается спад уровня. Высота пика паводка иногда превышает на 8 м минимальный зимний уровень. В августе наблюдаются устойчивые уровни межени, которые выше зимних на 1,5-2,0 м. Устойчивый ледяной покров образуется в середине октября, ледоход начинается в середине мая.

*Усть-Белая.* Участок работ расположен в месте слияния рек Анадырь и Белая. На территории имеются две крупные реки – Анадырь и Белая. Здесь река Анадырь носит равнинный характер и характеризуется незначительным уклоном – 0,00004 и лишь на перекате уклоны могут достигать до 0,003. Русло шириной 700-800 метров до 1 км. Скорость потока 0,3-0,4 м/с и на перекатах достигает 0,8 м/сек. Река изобилует островами разнообразных очертаний в плане. Вскрытие реки ото льда приходится на конец мая начало июня, а ледостав происходит в начале – середине октября. Среднемесячные расходы в конце зимнего периода составляет 31-25 м<sup>3</sup>/с. В период весеннего паводка (продолжительность его около 50 суток) среднемесячный расход составляет 5 520 м<sup>3</sup>/с. В течение лета расход реки постепенно снижается и к ледоставу составляет 400-500 м<sup>3</sup>/с. Среднегодовой расход составляет 1 183 м<sup>3</sup>/с. В весенний паводок максимальный среднесуточный расход р. Анадырь достигает 7 000-7 500 м<sup>3</sup>/с. В зимний период расход реки Белой не превышает 2-10 м<sup>3</sup>/с.

*Участок «Устье р. Анадырь» (Американская Кошка).* (Ранее устьем Анадыря считался участок вблизи г. Анадыря, между морпортом и мысом Обсервации). Американская Кошка (коса) находится в 65 км от г. Анадыря, по прямой, и около 80 км по фарватеру залива Онемен Анадырского лимана. Лиман замерзает обычно в декабре – начале января, вскрывается в июне. По гидрологическому и гидрохимическому режиму это фактически эстуарий с приливно-отливными явлениями и переменной соленостью. Весной, в период паводка, а также летом после сильных дождей в бассейне лимана, вода становится пресной. Зимой минерализация достигает 20-27 г/л.

## Выводы

В результате проведенного в 2013 г. зимнего обследования в бассейне реки Анадырь получены новые данные по гидрологии и гидрохимии рек Анадырь, Белая. Установлено, что расходы реки Анадырь в период проведенных работ – конце зимнего критического периода, сопоставимы с расходами, замеренными несколько десятков лет назад в аналогичный водный период. В то же время впервые установлено полное перемерзание реки Белой в устьевой части. По величине минерализации поверхностные воды рек Анадырь и Белая в период обследования являлись очень пресными. По химическому составу поверхностные воды в районе с. Марково и с. Усть-Белая резко отличаются: в «Марковской» воде в анионном составе преобладают гидрокарбонаты, в «Усть-Бельской» – хлориды. За многолетний период расход, минерализация и химический состав поверхностных вод реки Анадырь является относительно стабильным. По реке Белой данные отрывочны, но полученные новые и выявленные литературные сведения прежних лет предполагают перемерзание данного водотока на отдельных участках.

Полученный материал позволил также подготовить корректную Справку о перемерзании всех крупных рек Чукотки в зимний период [3]. Основной вывод: почти все реки Чукотки в конце зимнего периода перемерзают полностью; исключением является лишь самая крупная – река Анадырь в среднем и нижнем течении, а в низовьях, вероятно, – реки Великая, Анной, Амгуэма.

## Список литературы

1. Гидрогеология СССР. Т. XXV1. Северо-Восток СССР. Ред. О.Н. Толстихина. М.: Недра, 1972. – 297 с.
2. Некрасов И.А. Талики речных долин и закономерности их распространения на примере бассейна р. Анадырь. – М.: Наука, 1967. -138 с.
3. Рузанов В.Т. Отчет о результатах зимнего обследования водотоков Анадырского района Чукотского АО: гидрология и гидрохимия. 18 с, 8 илл., 5 табл. в тексте, 22 текстовых приложений, 31 библи. СВКНИИ ДВО РАН, Анадырь, июнь 2013. (ФГУ НПП «Росгеолфонд», Чукотский ТФГИ, СВКНИИ ДВО РАН). Q-59, 60-XIV, Чукотский автономный округ.
4. Яньшин А.В. Гидрометеорологический очерк Чукотского автономного округа (в 4-х частях). – Владивосток, 1992. – 870 с.

**Виноградов Р.А., Андреев О.М.**

ФГБУ «ААНИИ», Санкт-Петербург, vinra@aari.ru, andoleg@aari.ru

# ПРОВЕДЕНИЕ ЛЕДОВЫХ ИЗЫСКАНИЙ В РАЙОНЕ ГТС К УСЛОВИЯМ ПОВЫШЕННЫХ ТРЕБОВАНИЙ ТБ

Изыскания, связанные с изучением характеристик ледяного покрова и ледяных образований (торосов, стамух, айсбергов и др.) занимают важное место в ряду прочих гидрометеорологических изысканий. Причем они могут не только предшествовать проектированию объектов или носить уточняющий характер при создании проекта, но и проводиться в период строительства или эксплуатации сооружений. Так, согласно пункту 8.2 СП 11-103-97 «Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства» [1]: «Выполнение инженерно-гидрометеорологических изысканий в период строительства и эксплуатации сооружений предусматривают при:

- **строительстве ответственных гидротехнических сооружений** (крупных гидроузлов на реках, **нефтепромысловых сооружений на морях** и т.д.);
- **необходимости получения оперативной информации о** гидрологических и метеорологических параметрах, оказывающих влияние на безопасность строительных работ и **нарушающих нормальный режим работы сооружения;**
- расположении площадки строительства в особо сложных природных условиях и **необходимости контроля за развитием опасных гидromетеорологических процессов и явлений, с целью предотвращения их негативного воздействия на сооружение».**

В данном случае интерес представляют гидротехнические сооружения (ГТС), предназначенные в первую очередь для добычи и транспортировки углеводородного сырья в шельфовой зоне морей (как арктических, так и замерзающих). К ним относятся нефтегазодобывающие платформы, отгрузочные терминалы и т.д.

При этом в районе указанных сооружений могут проводиться гидromетеорологические изыскания, направленные на сбор информации по следующим ледовым условиям, объектам и явлениям: ровный и наслоенный ледяной покров, восторженные ледяные образования (торосы, стамухи, навалы и др.), образования изо льдов материкового происхождения (айсберги и их обломки), эволюция этих ледяных объектов (процессы образования, разрушения и перемещения). В ходе работ необходимо получение данных по трем основным направлениям:

- морфометрия ледяных образований (размеры объектов и их составных частей, внутреннее строение);
- физико-механические параметры (температура, соленость, прочностные свойства и т.д.);
- динамические характеристики объектов исследования (скорость и направление перемещения).

Изыскания могут проводиться с помощью дистанционных и контактных методов. Первые подразумевают использование различных систем наблюдения, установленных как на самом гидротехническом сооружении, так и на мобильных платформах (суда обеспечения, пилотируемая авиация, беспилотные летательные аппараты). Вторые предусматривают работы непосредственно на льду.

С точки зрения обеспечения безопасности (ТБ), применение дистанционных методов на стадии строительства или эксплуатации объекта чревато преимущественно организационными вопросами. Так дополнительные сложности могут возникнуть при получении разрешений на деятельность в районе сооружения. Однако некоторые наблюдения невозможно провести дистанционно, и они требуют работ на льду (ледяном образовании) или в непосредственной близости от объекта исследований. В первую очередь это относится к определению внутренней структуры, физико-механических свойств и, частично, при детализации морфометрических характеристик.

Во время проведения экспедиционных работ на льду с борта научно-исследовательского или научно-экспедиционного судна должны выполняться стандартные требования ТБ при производстве наблюдений и работ на сети Госкомгидромета [2]. Для этого, после швартовки судна к льдине, дежурный гидролог производит вначале визуальный осмотр ледяного покрова, а затем, посредством сквозного бурения, определяет его толщину. По результатам обследования дежурный гидролог выдает заключение о достаточной прочности льда для безопасного выхода на него человека с грузом (рабочим оборудованием, приборами и т.д.). В заключение указывается участок льда и перечень разрешенных на нем работ. Далее экспедиционный состав в пределах указанного участка без заметных ограничений перемещается и выполняет необходимые исследования (естественно с соблюдением соответствующих требований техники безопасности).



**Рис. 1. Основные СИЗ от падения в воду: безлямочный предохранительный пояс, спасательный жилет (фото из Интернета)**

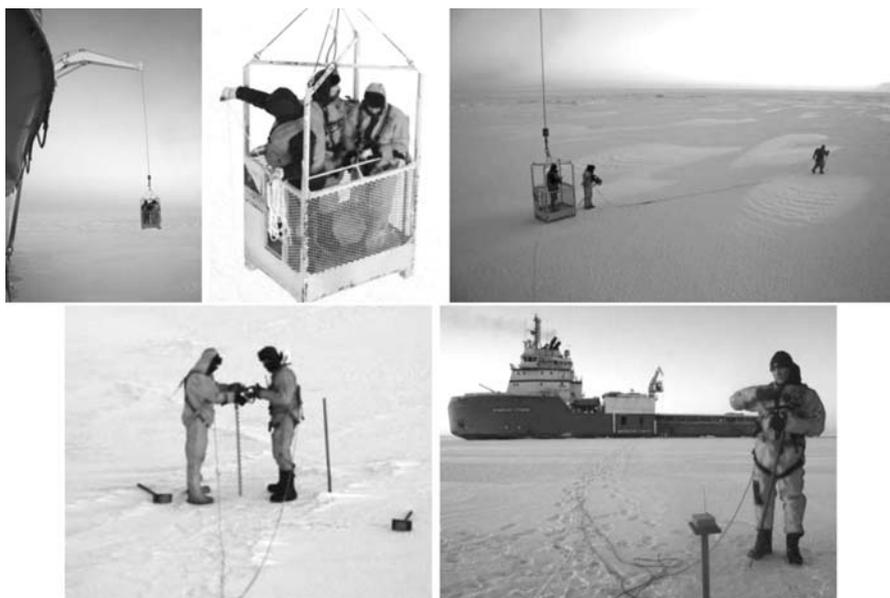
При необходимости выполнения ледовых изысканий в районе уже существующего гидротехнического сооружения с борта ГТС и/или судна приходится сталкиваться с повышенными требованиями по обеспечению техники безопасности работ на льду со стороны капитана судна или руководства ГТС. Ответственные за соблюдение техники безопасности считают недостаточными нормы ТБ, указанные выше, и требуют дополнительные средств страховки и индивидуальной защиты людей на льду. Разберем варианты предлагаемых средств.

В простейшем случае выпуск на лед осуществляется со штатного трапа судна (ГТС) с применением следую-

щих обязательных средств индивидуальной защиты (СИЗ): каска, предохранительный пояс и спасательный жилет (рис. 1). Страховка осуществляется посредством страховочного каната, закрепленного одним концом к предохранительному поясу изыскателя. Другой конец каната контролирует ответственный за безопасность работ из числа персонала судна (ГТС). Предохранительные пояса обычно используются безлямочные (ППА, ПБ-4 или аналогичные). Спасательный жилет применяется также простейшего типа (например, ЖС-2000 или аналогичный). Все СИЗ одеваются поверх климатической одежды.

Из всего перечисленного наименьшее неудобство в работе представляет каска. Правда, необходимость ее использования на льду можно поставить под сомнение. Радиус действия изыскателя ограничен длиной страховочного каната (обычно не более 200 м) и сдерживающими действиями страхующего. Спасательный жилет практически полностью сковывает движения рук и затрудняет ходьбу. Кроме простого нахождения на льду практически невозможно выполнять необходимую для изысканий работу. Фактически подобный метод страховки обеспечивает только формальное выполнение требований техники безопасности при работе на льду. В остальном наблюдаются только минусы.

Более усовершенствованным вариантом является использование специальной корзины (люльки) для выгрузки людей на лед с борта судна или ГТС. Подобный метод применялся, например, в районе морской ледостойкой стационарной платформы (МЛСП) «Приразломная» для расстановки автономных буев на дрейфующем льду (рис. 2).



**Рис. 2. Выгрузка на лед при помощи специальной корзины, двое изыскателей облачены в спасательные костюмы и страховочные обвязки (фото Головина Н.В.)**

Принципиально схема проведения работ оставалась прежней. При этом страхующий находился в специальной корзине, а изыскатели работали в радиусе 100-200 м от нее. Теоретически была возможность расширения зоны работы за счет изменения точки постановки корзины на лед. Устройство подобное корзине (люльке) обычно существует и на ГТС. С его помощью осуществляется перемещение людей с судна на ГТС и обратно (рис. 3).



**Рис. 3. Перемещение людей с ГТС на судно при помощи специального модуля (фото Головина Н.В.)**

Так же была улучшена экипировка изыскателей средствами индивидуальной защиты. Спасательный жилет был заменен спасательным костюмом для зимних условий. А безлямочный предохранительный пояс на страховочную обвязку (предохранительный пояс с наплечными и набедренными лямками). От каски отказались. Подобный подход несколько облегчал действия изыскателей (по крайней мере, при работе на ровном льду). При этом работать с приборами и оборудованием в спасательном костюме, предназначенном только для поддержания плавучести и теплового комфорта при падении в воду, не очень удобно. Однако основные проблемы при работе изыскателей на льду, хоть и несколько облегчались с усовершенствованием системы страховки, но в целом оставались прежними. В первую очередь это касается двух аспектов: удобства работы и обеспечения действительной страховки при всех нештатных ситуациях.

Спасательные костюмы и жилеты предназначены для длительного (несколько часов/суток) автономного пребывания человека в воде (в том числе в бессознательном состоянии) и сравнимой по длительности (до 6 часов) защиты от переохлаждения (для костюмов). В реальности работы на льду проводятся не в одиночку, а группой людей, которые могут прийти на помощь пострадавшему (провалившемуся в воду). К тому же, обычно, в непосредственной близости располагается судно или ГТС, которые используются для базирования рабочей группы. Силами их экипажа может быть оказана дополнительная помощь пострадавшим. В таких условиях столь большая продолжительность защитных свойств спасательных средств теряет свою актуальность. Зато те ограничения, которые они накладывают на свободу движений человека, могут дополнительно способствовать возникновению аварийной ситуации.

Существует широкий спектр костюмов типа «поплавок», предназначенных для активных действий на льду и воде (от рыбалки и занятий спортом до поисково-спасательных работ). Степень свободы движений в них находится на уровне обычной климатической одежды. Одновременно они обладают полной или частичной герметичностью и различной степенью теплозащиты. Такие свойства могут обеспечиваться как характеристиками самого изделия (например, комбинезон и костюм «Дельфин» для поисковых и аварийно-спасательных работ), так и в комплексе с климатической одеждой, находящейся под костюмом (например, зимний костюм для рыбалки «Самоспас», разработанный сотрудниками МЧС). Многие из подобных костюмов сертифицированы Российским Морским Регистром Судоходства и, соответственно, могут применяться в качестве, минимум, рабоче-страховочного средства. Температурный диапазон использования (от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $+65^{\circ}\text{C}$ ) вполне приемлем для замерзающих и арктических морей, т.к. при более низких температурах работы на льду обычно не проводятся. Силы плавучести костюмов в большинстве случаев хватает для поддержания на плаву достаточно крупных людей (в том числе с быстрым автоматическим поворачиванием угодившего в воду в правильное положение, т.е. лицом вверх). В случае необходимости костюм можно дополнить рабоче-страховочным жилетом.

Второй аспект более актуален при работе не на ровном льду, а на ледяных образованиях. Наиболее полно он проявился при обследовании навала льда у борта МЛСП «Приразломная». Навал относится к опасным ледовым явлениям. Его возникновение и разрушение происходит достаточно быстро и, зачастую, неожиданно. Точно спрогнозировать эти процессы на данный момент невозможно (собственно изыскания и были направлены на решение этих вопросов). При работе в подобных условиях к опасности попадания в воду добавляется опасность падения с высоты, т.к. навал может возвышаться над уровнем воды на несколько метров (до 10-12 м) и иметь достаточно крутые склоны. Обычная обвязка со страховочной веревкой не всегда может обеспечить должный уровень безопасности от падения с высоты. Причем это относится не только к перемещению по поверхности ледяного образования (здесь методы страховки сравнимы с применяемыми альпинистами при движении по леднику / снежнику). Опасность может возникнуть и при работе на точке измерений, когда взаимная страховка изыскателей затруднена в силу специфики проводимых работ (руки заняты оборудованием, внимание направлено на проведение измерений и т.д.), а неустойчивостьстилающей поверхности сохраняется.

В данном случае могут быть использованы методы и средства страховки, применяемые в промышленном альпинизме, т.к. условия работ и вероятные опасности во многом схожи. В первую очередь следует обратить внимание на блокирующие устройства типа «рулетка», которые в комплексе с полнопрофильной страховочной обвязкой (предохранительный пояс с наплечными и набедренными лямками) обеспечивают надежную защиту от падения с высоты (рис. 4).



Рис. 4. Вариант страховочной системы для защиты от падений (фото из Интернета)

«Рулетка» может быть снабжена стропом или стальным тросом, обеспечивающим свободное перемещение от 2 до 30 метров от точки крепления с автоматической уборкой свободного провиса. Срабатывание устройства происходит при падении человека не более чем на 0,5 м. Есть возможность крепления к обвязке как спереди, так и сзади.

Для работы на навале спуск изыскателей (до 2-4 чел.) на лед возможен посредством крана с использованием грузовой траверсы, например, рамной. К последней подвешиваются как страховочные системы типа «рулетка» для людей, так и используемое оборудование, которое, по понятным причинам, должно быть достаточно компактным. Если есть возможность использовать только один кран, то спуск людей и оборудования осуществляется за один прием. Если грузовых устройств несколько, то отдельно спускаются люди в специальном модуле (люльке), отдельно снаряжение. Одно грузовое устройство применяется для обязательной верхней страховки изыскателей. Траверса с разносом точек крепления каждой индивидуальной страховки позволяет уменьшить риск столкновения за счет маятника при одновременном падении людей, а «рулетки» обеспечивают значительную свободу перемещения каждого человека без ущерба для его безопасности. Крановщик при этом должен отслеживать перемещение изыскателей на льду и своевременно корректировать местоположение траверсы, не допуская полного вытравления страховочных концов и их значительного отклонения от вертикали для предотвращения маятника.

Данным методом можно обеспечить необходимую страховку 2-3 изыскателей при проведении сквозного бурения ледяного образования (навала, стамухи и др.) у борта ГТС / судна или определения его физико-механических свойств. Проведение топосъемки верхней поверхности, при использовании одного крана, может быть затруднена, т.к. она требует большого расстояния между изыскателями (соответственно, между теодолитом/тахеометром и рейкой/вешкой). Однако и здесь возможно применение указанной системы страховки. При этом страховка реечника осуществляется с помощью грузового устройства, а геодезист-теодолитчик страхуется непосредственно с борта ГТС/судна или, если возможно, работает на борту.

Таким образом, перечисленные СИЗ и страховки должны обеспечивать комфортное выполнение работ на льду без ущерба для безопасности изыскателей.

#### Список литературы

1. Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства: СП 11-103-97. – Введ. 1997-08-15. – М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2004, 34 с.
2. Правила по технике безопасности при производстве наблюдений и работ на сети Госкомгидромета, Л.: Гидрометеоздат, 1983, 320 с.

Айбулатов Д.Н.

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, gidroden@mail.ru

## ОСОБЕННОСТИ И ПРОБЛЕМЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

В связи с подготовкой новой редакции СП 11-103-97 Инженерные гидрометеорологические изыскания и переделки СП 47.13330.2012 «Актуализированная версия. Инженерные изыскания для строительства» появилась необходимость пересмотреть блок по метеорологическим изысканиям, который по некоторым позициям явно устарел и требует изменений.

Следует определиться с источниками информации, откуда следует брать данные для написания климатической характеристики. На данный момент существует три основных их источника: приобретение в органах Росгидромета и иных организациях, имеющих соответствующие лицензии; выписывание данных из справочников (бумажных или электронных) и нормативов; расчет метеорологических характеристик самостоятельно.

- В п. 4.7 СП 11-103-97 прописано, что при сборе информации следует использовать:
- периодические издания Государственного водного кадастра, Научно-прикладной справочник по климату, а также Справочник Государственного фонда данных о состоянии природной среды и материалы изысканий прошлых лет;
- данные архивов на магнитных носителях АИС ГВК (автоматизированной информационной системы Государственного водного кадастра);
- научно-техническую литературу, архивные материалы, содержащие сведения об экстремальных гидрометеорологических явлениях (больших наводнениях, ветрах и др.).

При этом, Научно-прикладной справочник по климату СССР был выпущен в начале 90-ых годов прошлого века, а данные, которые в нем представлены приходится на 80-ые годы и использовать их в принципе уже нельзя. В 2011 году вышла электронная версия этого справочника и в новых нормативах обязательно нужно дать на нее ссылку, как на источник данных. Некоторые изыскатели и проектировщики вообще используют в своих отчетах данные Справочника по климату СССР 60-ых годов выпуска, что совсем некорректно.

Хорошо бы в новых СП прописать и источники рядов метеорологических данных, которые можно использовать в анализе (сайт ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» [www.meteo.ru](http://www.meteo.ru), может быть [www.rp5.ru](http://www.rp5.ru) и др.).

Списки обязательных для приведения в технических отчетах по инженерным гидрометеорологическим изысканиям метеорологическим характеристикам, приведенным в таблицах 7.1, 9.2, 9.5, 9.7 СП 11-103-97 требуют также корректировки с участием профильных проектировщиков, потому что большая часть из них вообще не требуется при проектировании и некоторые параметры требуют корректировки в формулировках, потому что порой даже опытные метеорологи не могут понять, что это за характеристика.

Параллельно возникает вопрос о периоде наблюдений и длине расчетных рядов, по которым необходимо получать расчетные данные. В одних случаях органы Росгидромета предоставляют данные за весь период функционирования метеостанции, в других – за последние 30 лет, в третьих, – за более короткие периоды.

Не отражены также в нормативной литературе вопросы влияния изменения климата на расчетные характеристики.

Не полностью решены проблемы с определением репрезентативных метеостанций, продолжительности наблюдений за метеорологическими элементами (табл. 7.1 СП 11-103-97), необходимости проведения микроклиматических исследований в рамках инженерных гидрометеорологических изысканий.

Все эти проблемные пункты необходимо учесть при выпуске новых нормативов, чтобы у инженеров-изыскателей, проектировщиков, экспертизы не было разных подходов в получении, анализе и интерпретации метеорологических характеристик.

## СЕКЦИЯ «ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ ПАМЯТНИКОВ КУЛЬТУРЫ»

**Пашкин Е.М.**

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, Москва, pashkin44@mail.ru

### ВЛИЯНИЕ ТЕХНОГЕНЕЗА НА СОХРАННОСТЬ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ

Оценивая сохранность памятников архитектуры, как рукотворных элементов исторических природно-технических систем (ИПТС) «памятник – геологическая среда», мы не обращаем внимание на временную координату жизни памятника, давая оценку его состояния только на текущий период времени. Тем самым, мы исключаем ход эволюционных преобразований, приводящих к качественным и количественным изменениям техногенных накоплений, изменяющих не только структуру дневной поверхности, но и ее эдификаторную способность и создающих ряд негативных факторов в геологической среде, нарушающих равновесие природной системы, и негативно влиявших на сохранность памятников архитектуры. И как справедливо отмечал знаменитый французский архитектор Эжен-Эммануил Виоле-ле-Дюк, всякое рукотворное создание этой системы «...подвергается разрушению и тем быстрее, чем оно менее рационально в данных природных условиях». Проследим на отдельных памятниках архитектуры, каким образом такой процесс, как техногенез разрушал рациональность их взаимодействия с окружающей средой.

Техногенез, как совокупность процессов, связанных с хозяйственной деятельностью человека при освоении исторических территорий, обуславливал, прежде всего, формирование техногенных накоплений. Техногенные накопления – это не только результат экскавации грунта при строительных работах, это, прежде всего, результат эрозионного размыва поверхности ливневыми и талыми водами песчано-глинистого материала по поверхности стока, но и перенос, и эрозионное воздействие на цокольную часть зданий памятников и накапливание его на протяжении значительного периода времени при формировании исторических территорий. Нас в первую очередь интересует вопрос, какое влияние оказывали техногенные накопления на сохранность «рукотворных созданий» и насколько рациональными они оказывались в формирующихся условиях. Проследим развитие этих тенденций на примере формирования и развития исторической территории центра Москвы в районе Китай-города, в Зарядье и на примыкающей с востока части Белого города в период XV-XVIII веков.

Рассматриваемая территория до сих пор еще сохраняет отдельные реликты палеорельефа со значительными перепадами высот и уклонами, превышающими значения 0,015-0,025. Средневековая планировка улиц Китай-города, служивших основным транспортом атмосферных осадков по немощным улицам и лишь с XVI в. покрытых деревянными мостовыми, быстро выходившими из строя, и направлявших во время ливней и снеготаяния бурные водогрязевые потоки по Хрустальному и Рыбному переулкам и Владимирской улице. Эти улицы выходили прямо к памятникам архитектуры, расположенным по улице Варварка: церковь Георгия на Псковской горе, церковь Бориса и Глеба и церковь Варвары Великомученицы. Но не только неудачной была плановая привязка этих памятников, но и их размещение по отношению к крутому уступу террасы, будучи прислоненными к нему, они барражировали водогрязевые потоки. За время своего существования эти памятники архитектуры испытали в результате техногенеза разнообразные по интенсивности и масштабу воздействия. Изменение рельефа за счет техногенных накоплений существенно нарушивших структуру и баланс атмосферных осадков, и привело к нарушению естественного равновесия между геологической средой и несущими конструкциями памятников, и в конечном итоге, к их деструкции. Очевидно, ни о какой рациональности размещения зданий памятников в подобных условиях речи быть не может. Так, церкви Георгия на Псковской горе и Бориса и Глеба, построенные в первой половине XV века, уже в середине следующего столетия были разобраны и построены заново. Но во второй половине XVII века они были вновь разобраны и построены снова. Церковь Варвары была сооружена в 1514 году Алевизом Новым из белого камня и просуществовала 280 лет, после чего была снесена и вновь построена по проекту и под руководством архитектора Р.Р. Казакова в 1795 году.

И только после того, как в результате последней реконструкции эти памятники были поставлены на высокие цоколи, а все прилегающие к ним улицы и переулки с конца XVII- начала XVIII веков были покрыты профилированными мостовыми из естественного камня, интенсивность техногенеза резко снизилась.

За сотни лет существования памятников архитектуры интерес архитекторов реставраторов не касался прошлого исторических территорий и эта тема до сих пор находится для них за скобками профессиональных интересов. Однако, будучи, открытыми для воздействия факторов сложных природно-климатических условий России эти территории неоднократно подвергались интенсивным техногенным изменениям, не учитывая которые при проведении инженерной реставрации природно-технических систем «памятник архитектуры – геологическая среда» недопустимо.

Демкин И.А., Кувшинников В.М.

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, Москва, igit-1@mail.ru

## ОПЫТ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ ЭПОХИ КОНСТРУКТИВИЗМА В ЦЕЛЯХ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНО-РЕСТАВРАЦИОННЫХ РАБОТ

Приспособление памятников архитектуры под современное использование во все времена было и остается одним из наиболее интересных и сложных с технической точки зрения вопросов градостроительства и реставрации. При этом основная сложность заключается в том, что действующие в настоящее время строительные нормативы чаще всего не учитывают целый ряд особенностей исторических сооружений и, в частности, не предусматривают возможность применения для них нормативов, относящихся ко времени возведения объектов.

Наиболее ярко данная проблема отражается на объектах конструктивизма, в эпоху строительства которых (20-30-е гг. XX в.) уже были детально разработаны методики прочностных расчетов конструкций, проработаны в той или иной степени вопросы расчетов оснований, а также разработаны основные строительные нормы и правила (ОСТы и ГОСТы на арматурную и прокатную сталь, бетон, кирпич и т.д.). Построенные в соответствии с этим здания имеют в своей основе много схожего с современным домостроением. Так, для эпохи конструктивизма вполне типично применение технологии монолитного железобетона при возведении каркасов зданий и в ряде случаев даже при строительстве фундаментов. Опыт обследования объектов конструктивизма показывает, что в подавляющем большинстве случаев эти памятники не имеют серьезных деформаций, связанных с прочностью и устойчивостью конструкций (ДК им. Русакова, Дом Гинзбурга, Комбинат газеты «Правда», здание бывшего Газетного почтамта в Москве, здание Фабрики-кухни в Самаре и др.). Это объясняется очень высоким уровнем профессионализма архитекторов и инженеров, проектировавших и строивших рассматриваемые здания. Однако при реконструкции данных объектов возникает техническая и отчасти юридическая коллизия, а именно: при попытках применить к конструкциям памятников конструктивизма современные методики прочностных расчетов оказывается, что конструкции не обладают достаточной несущей способностью (при отсутствии значительных деформаций за время их эксплуатации!). Эта проблема становится наиболее острой при прохождении Государственной экспертизы, поскольку эксперты в 99,9% случаев подходят к объекту с формальной точки зрения (т.е. основываются на Постановлении Правительства РФ от 26 декабря 2014 г. № 1521 «Об утверждении перечня национальных стандартов и сводов правил...»). В итоге проектировщики вынуждены применять тяжеловесные проектные решения по усилению строительных конструкций уникальнейших памятников, аналогов которым в мировой практике нет.

Например, СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции сводит к минимуму прочность арматурной стали, срок эксплуатации которой превышает 50 лет. Расчет при таких условиях показывает чаще всего, что необходимо усиление прокатной сталью, что практически меняет конструктивную схему отдельных элементов и здания в целом. Возможные варианты усиления конструкций с применением наклеиваемого углеволокна и косвенного армирования композитной арматурой, во-первых, не имеют прямых нормативных подтверждений, а во-вторых, должны предусматривать устройство значительных противопожарных слоев, серьезно меняющих габариты конструкций и часто приводящих к искажению предмета охраны (например, интерьера). При подобном подходе становится весьма трудным сохранение таких элементов памятника, как его каркас и конструктивная схема, являющихся чаще всего предметом охраны. Более того, проблематичным становится сохранение отдельных элементов здания, например, тонких монолитных железобетонных перекрытий, не проходящих по расчету.

Несколько проще вопрос обстоит с основаниями и фундаментами памятников конструктивизма. Проблемы, аналогичные описанным выше, относятся к конструкциям фундаментов, однако их проще решать, поскольку данные элементы скрыты и зачастую не входят в предмет охраны, хотя могут быть при этом уникальными (например, кессонированная фундаментная плита комбината газеты «Правда»). Бутовые же и бутобетонные фундаменты позволяют достаточно свободно оперировать различными методами их усиления, что, однако, часто приводит к изменению конструктивной схемы фундаментов, как, например, на бывшем Газетном почтамте и самарской Фабрике-кухне. В таких случаях предпочтение следует отдавать применению методов технической мелиорации грунтов, позволяющим сохранить фундаменты зданий в тех рамках, как они были задуманы своими создателями (разумеется, в тех случаях, когда это возможно).

Резюмируя, следует отметить, что применение современных строительных нормативов при реставрации и приспособлении памятников архитектуры в целом, и объектов конструктивизма в частности, часто невозможно без нанесения значительного ущерба предмету охраны. В свете этого возникает острая необходимость разработки и совершенствования нормативной базы именно реставрационного процесса, позволяющей решать кратко рассмотренные выше вопросы. В противном случае корректных проектных решений, позволяющих в полной мере сохранять уникальные объекты культурного наследия народов России, просто не будет.

Вилкова М.В.

ООО «НПФ «Рекон», Казань, recon@mi.ru

# СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ (НА ПРИМЕРЕ «УСАДЬБЫ XVIII-XIX ВЕКА» Г. КАЗАНИ, РЕСПУБЛИКА ТАТАРСТАН)

В начале любой реставрации и реконструкции зданий памятников обязательны детальные инженерные и инженерно-геологические исследования. Существует определенный перечень работ, который лежит в основе диагностик и который обязателен согласно действующих строительных норм и правил. Однако, здания памятников создавались еще тогда, когда мастера основывались в большинстве своем не на строительные нормы, а на свой опыт и многие технические решения принимали на основе собственных эмпирических исследований. Отсюда следует, что в основе современных исследований зданий памятников необходимо учитывать эти особенности и закономерности строительства того времени. Неотъемлемыми также являются условия эксплуатации здания на протяжении всей его «жизни».

Цель такого исследования безусловно сохранить и продлить, на сколько это возможно, жизнеспособность зданий памятников с сохранением его особенностей строительства, индивидуальных конструктивных решений на фоне современных их приспособлений.

Техническое состояние зданий памятников, дошедших в аутентичном состоянии до нашего времени, различное. И не секрет, что большинство памятников находятся в аварийном состоянии, где разработка превентивных мер по сохранению здания уже невозможна.

Ярким примером такого исследования является здание памятника образца гражданской архитектуры «Усадьбы XVIII-XIX века», расположенное в центральной части города Казани. Здание построено, предположительно, в первой половине XVIII века (в 1730-40 гг.). В настоящее время не эксплуатируется и находится в аварийном состоянии.

Техническое состояние здания определяется следующими параметрами:

- объемно-планировочная структура внутреннего пространства;
- конструктивные решения;
- местоположение здания;
- условия эксплуатации здания на протяжении всего его существования, в том числе, и проведенные реконструкции;
- геоморфологическая обстановка;
- гидрогеологические условия;
- инженерно-геологические характеристики грунтов основания.

Все вышеперечисленные пункты как нельзя явно отражают причинно-следственную связь аварийности здания.

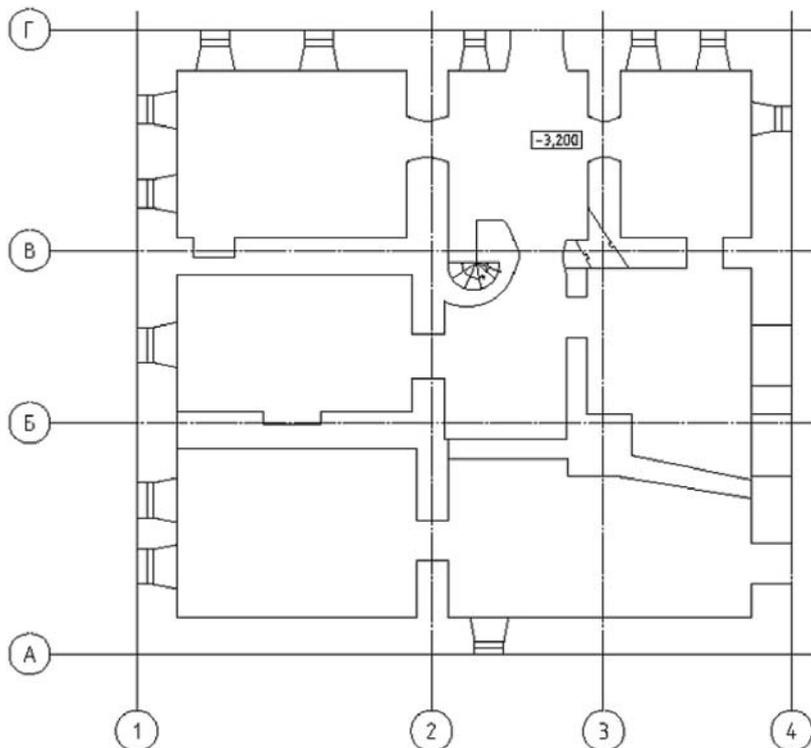


Рис. 1 План цокольного этажа здания

**Выводы**, сделанные на основе натурно-инструментальных исследований здания памятника и его окружающей среды, подтверждаются современными поверочными расчетами, однако, в данном случае, остаются приоритетными для разработки рекомендаций по реставрации и реконструкции здания памятника.

Дашко Р.Э., Шидловская А.В.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,  
Санкт-Петербург, regda2002@mail.ru, shidanna@bk.ru

## К ВОПРОСУ НЕОБХОДИМОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ И ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ПЕТРОПАВЛОВСКОГО СОБОРА В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

Петропавловский собор, построенный в течение 1712-1733 г.г. по проекту архитектора Доменико Трезини на месте деревянной церкви, служит центральной композицией архитектурно-исторического ансамбля Петропавловской крепости, которой принадлежит особое место в истории Санкт-Петербурга. Именно с начала ее строительства 16 (27) мая 1703 года как оборонительной крепости, Петр 1 решил приступить к заложению будущего города и выбрал для строительства небольшой остров в устье Невы, известный под названием Заячий, который располагался неподалеку от взморья и был защищен с юга и запада широкой полноводной рекой, а с севера и востока – непроходимыми болотами и многочисленными протоками.

Строительство Петропавловского собора было начато с возведения фундамента сразу под все здание. В первую очередь, по настоянию Петра I, строилась колокольня, а к созданию самого собора приступили через 4 года в 1716 году. Когда начали кладку стен собора, колокольня еще продолжала строиться, и, согласно архивным данным, ее осадка развивалась во времени. Деформации Петропавловского собора отмечались и после завершения его строительства. По историческим данным, после 40 лет функционирования собора, между колокольней и основным зданием стали образовываться трещины. Развитие трещин в фасадах собора отмечается и в настоящее время.

Заячий остров размещается в пределах нижней Литориновой террасы и характеризуется наиболее низкими для территории города абсолютными отметками дневной поверхности (0,5-3,2 м), что способствует подтоплению острова во время наводнений, а в период высокого положения уровня воды в р. Неве – его частичному затоплению. Территория острова находится вне зоны погребенной долины Пра-Невы и соответственно коренные отложения – верхнекотлинские глины венда вскрываются на глубинах около 26–29 метров. При оценке устойчивости зданий и сооружений принципиальное значение имеет верхняя толща четвертичных отложений, перекрытая техногенными образованиями. Разрез четвертичных грунтов представлен (снизу вверх): ледниковыми супесями и суглинками валдайского оледенения мощностью 9-10 метров, перекрытыми озерно-ледниковыми ленточными глинами и суглинками мощностью от 5 до 10 метров. Выше по разрезу залегает сложно-построенный чехол современных песчано-глинистых отложений Анцилового озера и Литоринового моря. Глины и суглинки Анцилового озера имеют максимальную мощность 8 метров, пески и супеси Литоринового моря – 10 метров. Анциловые и литориновые грунты содержат природную органику. В верхней части повсеместно присутствуют насыпные образования XVIII–XIX в.в. мощностью до 8 метров. Максимальная мощность техногенных отложений отмечается по периметру острова за счет проведения земляных работ, связанных с увеличением площади, а также в районе засыпанных рвов и канала. В грунтах верхней части разреза присутствуют включения органического вещества.

Отдельные элементы собора, а именно его наружные стены, колоннада и колокольня возводились на различных типах фундамента. Колоннада и колокольня собора построены на плитах размером 4 м<sup>2</sup> и 12 м<sup>2</sup> из бутовой кладки известняка и кирпича на известковом растворе. Наружные стены собора опираются на ленточный фундамент шириной 4 м из бута известняка (таблица 1).

Таблица 1

Конструктивные особенности фундаментов Петропавловского собора

Конструктивные элементы собора	Фундамент				
	тип	ширина (b), м	длина (l), м	глубина заложения, (h <sub>ф</sub> ), м	h <sub>ф</sub> /b
Колокольня	плита из бутовой кладки известняка	12	12	3,2	0,27
Наружные стены	ленточный	4	-	3,3	0,83
Колоннада	плита из бутовой кладки известняка	4	4	3,46	0,87

Таким образом, в основании фундаментов Петропавловского собора залегают литориновые пески, содержащие природную и техногенную органику. Обследование материалов фундаментов Петропавловского собора показало их крайне неудовлетворительное состояние. Отмечалось просачивание через фундамент воды, похожей на разбавленное молоко, содержащей взвешенный гидроксид кальция, что свидетельствовало о вымывании растворов и выщелачивании преобразованных известняков. Содержание Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup> в грунтовых водах около собора в 1999 г. достигало 1116,2 мг/л и 29,2 мг/л соответственно, в 2004 г. – Ca<sup>2+</sup> до 100 мг/л и Mg<sup>2+</sup> – 66,0 мг/л (таблица 2).

Химический состав грунтовых вод около Петропавловского собора

Элементы анализа	Ед. измерения	Номера скважин			
		2501		2502	6282
		1999 г.	2004 г.	1999 г.	1999 г.
Ca <sup>2+</sup>	мг/л	80,0	100,0	132,0	116,2
Mg <sup>2+</sup>	мг/л	12,0	66,0	27,6	29,2
K <sup>+</sup> +Na <sup>+</sup>	мг/л	11,5	1,89	147,2	227,7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/л	2,6	2,9	1,9	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/л	41,1	2,0	57,5	163,3
Cl <sup>-</sup>	мг/л	35,4	30,0	226,9	127,9
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	231,8	396,5	427,0	677,3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/л	<0,45	0,9	0,5	-
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/л	0,022	0,074	0,032	-
Минерализация	мг/л	418,4	604,11	770,2	1004,4
Жесткость общая	мг-экв/л	5,8	6,5	7,6	23,0
Fe <sup>2+</sup> +Fe <sup>3+</sup>	мг/л	7,2	3,85	13,8	1,5
Перманганатная окисляемость	мгО <sub>2</sub> /л	64,0	16,0	32,0	-
CO <sub>2</sub> агрес	мг/л	4,4	19,8	13,2	8,8
pH*	-	7,4	7,44	7,1	7,17
Eh*	mV	-107	-13,8	-94	-

Примечание: \* - значения pH приведены по результатам измерений в лаборатории, Eh – в полевых условиях.  
Скважина 2501 и 2502 – режимная сеть (данные СПГГИ);  
Скважина 6282 возле западного фасада Петропавловского собора (данные треста «ГРИИ»)

Химический состав грунтовых вод, приуроченных к песчаным разностям литориновых и техногенных образований, по данным опробования 1999 и 2004 гг., характеризуется загрязнением по следующим показателям (см. таблицу 2): относительно высокое содержание легкоокисляемой органики – значение перманганатной окисляемости достигает 64 мгО<sub>2</sub>/л; повышенные содержания хлоридов Cl<sup>-</sup> до 226,9 мг/л; присутствие агрессивной углекислоты CO<sub>2</sub>агрес. до 19,8 мг/л; наличие восстановленных форм серы в виде сероводорода; высокие содержания органических тонких взвесей (по всей вероятности биогического и абиогического происхождения).

Величина окислительно-восстановительного потенциала Eh менее 100 mV свидетельствует о формировании восстановительной среды за счет окисления органического вещества, в результате чего происходит разрушение цементационных связей в песчано-глинистых породах и снижение их прочности.

Вместе с тем, минерализация грунтовых вод ниже, чем в пределах других островов исторического центра Санкт-Петербурга и изменяется по данным наблюдений в пределах 418–1004,4 мг/л, что определяется существованием промывного режима грунтовых вод за счет малых размеров острова при колебаниях уровня воды в р. Неве и протоках, характеризующихся малой минерализацией.

Присутствие CO<sub>2</sub>агр. в грунтовых водах (до 19,8 мг/л) создает условия для углекислой коррозии, переводящей плохо растворимые карбонаты кальция в хорошо растворимые бикарбонаты. Разрушение фундаментов Петропавловского собора провоцирует развитие дополнительных осадков и соответственно трещинообразование в его стенах.

Выполненные на биологическом факультете Санкт-Петербургского государственного университета исследования проб различных разрушенных строительных материалов (известняк, кирпич, цемент, облицовочный камень), отобранных из стен и цоколей зданий и сооружений Петропавловской крепости в 2002 и 2009 г.г. показали, что материалы подвержены интенсивному биоразрушению. При рассеивании измельченных образцов из Петропавловской крепости на питательные среды зафиксировано массовое развитие колоний грибов. Всего при исследовании зданий и сооружений Петропавловской крепости было выявлено 39 видов микромицетов, среди которых наибольшим видовым разнообразием пользуется род *Penicillium* (10 видов), большинство представителей которого известны как активные биодеструкторы различных материалов. Важно отметить, что 14 из 39 видов обладают значительной деструктивной способностью в отношении всех исследуемых материалов [1].

Кроме того, водные вытяжки, приготовленные из различных разрушенных строительных материалов (кирпич, известняк, цементный раствор) зданий и сооружений Петропавловской крепости в 2002 г., подтвердили значительную роль микроорганизмов в деградации исследуемых материалов. Во всех пробах было обнаружено высокое содержание нитратов (до 124 мг/л), сульфатов (до

95 мг/л), хлоридов (до 2450 мг/л), гидрокарбонатов (до 397 мг/л) и органических соединений, определяемых по величине перманганатной окисляемости (до 45 мгО<sub>2</sub>/л).

Выполненная оценка специфики развития деформаций Петропавловского собора с использованием параметров прочности, полученных по неконсолидированной схеме испытания в стабилометре для грунтов одного и того же генезиса и состава в сходных экологических и инженерно-геологических условиях (таблица 3), показала, что давление от сооружения (p=0,387 МПа), в данном случае колоннады собора, превышает расчетное сопротивление грунта несущего слоя (R=0,207 МПа), опре-

деленного при условии, что ширина фундамента  $b=4$  м, глубина заложения  $h_{\phi}=3,4$  м, сцепление  $c=0,015$  МПа и угол внутреннего трения  $j=14^0$  (см. таблица 3). В таком случае, при  $p>R$ , грунты основания работают на 2-ой стадии деформирования – стадии сдвигов, что определяет развитие деформаций сооружения с постоянной скоростью [2].

Таблица 3

**Критические давления на основание Петропавловского собора для различных типов фундаментов**

Конструктивные элементы собора	Давление от сооружения ( $P_{соор}$ ), МПа	Расчетное сопротивление грунта ( $R$ ), МПа	Первое критическое давление ( $P_1$ ), МПа	Второе критическое давление ( $P_2$ )*, МПа
Колокольня	0,135	0,219	0,14	0,92
Наружные стены	0,202	0,204	0,142	0,945
Колоннада	0,387	0,207	0,145	0,981

Примечание: \* рассчитано по формуле краевого давления согласно теории предельного равновесия

Для приближенной оценки возможных величин деформаций колоннады Петропавловского собора был выполнен расчет осадки с учетом пластических деформаций с использованием решения И.А. Розенфельда [3]:

$$S = \frac{\omega p_c b(1 - \mu^2)}{E_{л}} \left[ 1 + \frac{1 - m}{m(1 + n)} \left[ \frac{p_c}{p_2} \right]^n \right] \quad (1)$$

где  $p_c$  – величина давления от сооружения (0,387 МПа);  $p_2$  – величина второго критического давления (0,981 МПа);  $\omega$  – коэффициент, зависящий от относительных размеров и форм фундамента, равен 1,12;  $m$  – коэффициент поперечного расширения, равен 0,4;  $b$  – ширина фундамента 3,58 м;  $n$  – коэффициент, учитывающий снижение модуля общей деформации на стадии линейного развития осадки ( $E_{л} = 2,6$  МПа) по сравнению с тем же показателем при условии развития пластических деформаций ( $E_{п} = 1,3$  МПа),  $m = E_{л} / E_{п} = 2$ ;  $n$  – коэффициент, зависящий от величины  $E_{л}$  (при  $E_{л} \leq 15$  МПа  $n=2$ ).

Сравнивая значения  $R$  грунта несущего слоя и давление от сооружения для наружных стен и колокольни (см. таблицу 3), можно утверждать, что в данном случае для расчета осадки наружных стен и колокольни применима модель линейно-деформируемой среды, а именно схема линейно-деформируемого полупространства:

$$S = 0,8 \sum_{i=1}^n \frac{h_i \sigma_z}{E_i} \quad (2)$$

где  $\sigma_{zi}$  – величина нормального напряжения от сооружения в середине расчетного слоя;  $h_i$  – мощность расчетного слоя;  $E_i$  – модуль деформации расчетного слоя;  $n$  – число расчетных слоев в сжимаемой слое.

Величины осадок колокольни, наружных стен и колоннады, рассчитанные по вышеуказанным формулам, представлены в таблице 4.

Таблица 4

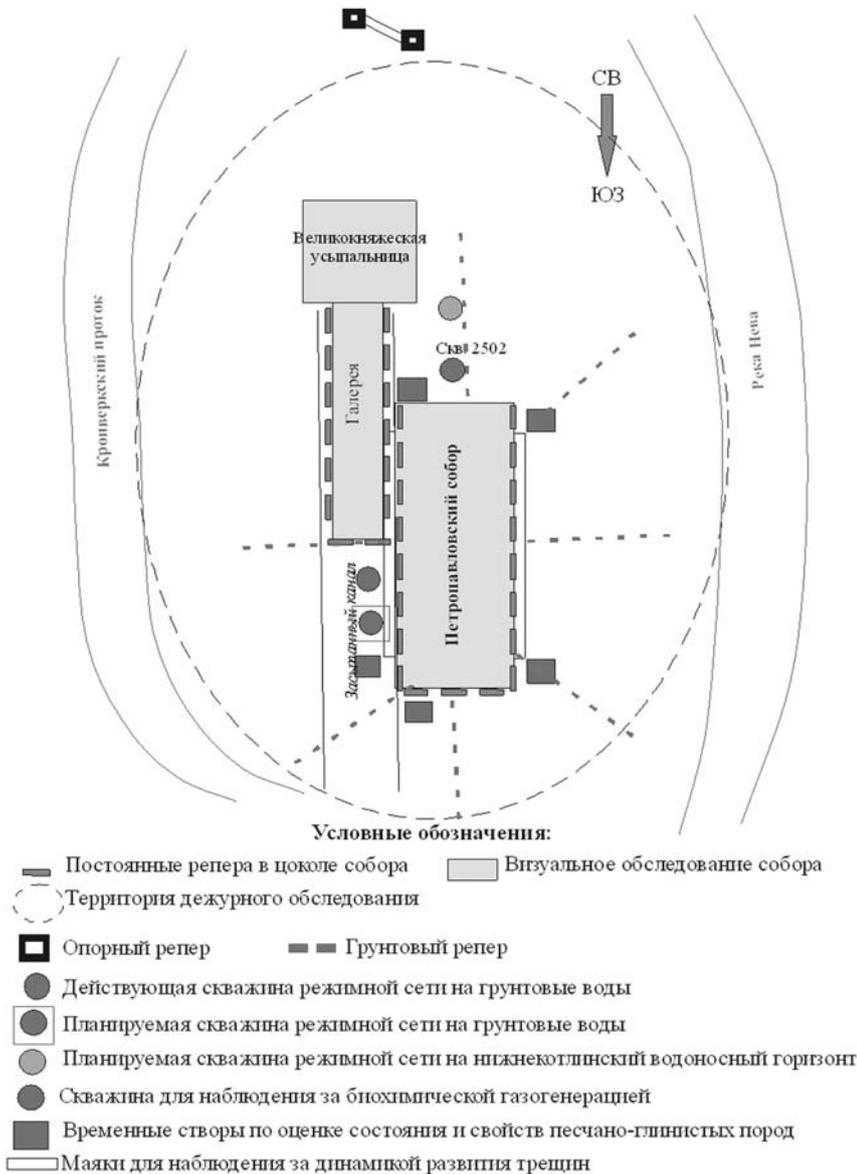
**Значения абсолютных величин осадок различных типов фундаментов Петропавловского собора**

Конструктивные элементы	Расчетный метод	Значение абсолютной осадки, м
Наружные стены	Метод послойного суммирования (линейно-деформируемое полупространство)	0,38
Колокольня		0,59
Колоннада	Нелинейно-деформируемая среда, т.к. $P_{соор}>R$ (решение Розенфельда)	0,48

Примечание: несущий слой – среднезернистые литориновые пески: угол внутреннего трения ( $\varphi=14^0$ ); сцепление ( $c=0,015$  МПа); плотность  $\gamma=2,04$  т/м<sup>3</sup> и  $\gamma'=1,0$  т/м<sup>3</sup>;  $E=5$  МПа.

Негативная трансформация грунтов в основании Петропавловского собора и разрушение его фундаментов приводит к развитию длительных и неравномерных осадок, вызывает развитие трещин в его несущих конструкциях. Расчеты показывают, что относительная неравномерность осадок между несущими конструкциями собора в 6-12 раз превышает значения, регламентируемые СНиП 2.02.03–85.

Прогноз устойчивости и сохранности Петропавловского собора, а также рекомендации по его реконструкции должны базироваться на создании объектного мониторинга по следующим направлениям (рис. 1).



**Рис. 1. Схема расположения наблюдательной сети мониторинга Петропавловского собора**

1. Режимные наблюдения за изменением уровня, состава и агрессивности грунтовых вод в существующих скважинах режимной сети. При этом, частота опробования будет зависеть от положения уровня воды в р. Неве и должна составлять не менее 4 раз в год с обязательной фиксацией уровня, температуры и отбором пробы воды на химический анализ в период наводнений.

2. Наблюдения за динамикой варьирования пьезометрической поверхности нижнекотлинского водоносного горизонта для оценки его роли в развитие деформаций собора по скважине региональной сети мониторинга. При этом, глубина скважины должна быть уточнена по результатам оборудования временных створов. Периодичность опробования определяется интенсивностью использования вод этого водоносного горизонта для хозяйственно-бытовых и питьевых целей, что будет проявляться в развитии депрессионной воронки, захватывающей территорию Заячьего острова. В настоящее время с учетом спада добычи вод нижнекотлинского водоносного горизонта можно рекомендовать наблюдения за гидродинамическим режимом 4 раза в год.

3. Наблюдения за изменением состояния комплекса сооружений и физико-механических свойств пород в основании собора во времени под воздействием напряжений, физико-химических и биохимических факторов с частотой опробования 2 раза в год. С этой целью следует организовать 5 створов, позволяющих осуществлять опробование четвертичных и верхней толщи коренных отложений по всему периметру собора во времени. При этом, исследования физико-механических свойств песчано-глинистых пород необходимо совмещать с оценкой микробной пораженности пород по содержанию в них бактериальной массы и определения численности микроорганизмов и их физиологических групп. Пески следует исследовать на проявление плавунных свойств.

4. Наблюдения за биохимической газогенерацией в районе засыпанного канала (северная сторона собора) с тампонируванием устья постоянно действующей газовой скважины для ее полной изоляции. Кроме того, необходима оценка состава биохимического газа. Глубина газовой скважины должна составлять не менее 8 метров, что определяется глубиной русла засыпанного канала.

5. Организация наблюдений о ходе консолидации глинистых отложений в основании собора при помощи установки в скважинах датчиков порового давления, которые позволят получить данные об изменении порового давления по разрезу.

6. Оборудование грунтовых реперов по периметру Петропавловского собора, а также примыкающей к нему галереи, соединяющей собор с зданием Великокняжеской усыпальницы через 15 метров для получения контуров осадочной воронки и ее изменения во времени с нивелированием в первые три месяца наблюдений – 3 раза в неделю, в последующие – 1 раз в квартал, а также установка реперов в цоколе собора и примыкающей к нему галереи с шагом 10 метров.

7. Установка по зафиксированным и выявленным трещинам маяков для контроля степени, характера и динамики раскрытия трещин. Контроль степени раскрытия трещин – 2 раза в месяц. При проведении реконструкционных работ, наводнениях частота контроля определяется в каждом конкретном случае.

8. Неразрушающий контроль за состоянием кладки фундамента собора.

### Список литературы

1. Власов Д.Ю., Дашко Р.Э., Шидловская А.В. Некоторые данные о биоразрушении строительных материалов Петропавловской крепости // Материалы научно-практической конференции по медицинской микологии, Санкт-Петербург, 2003, с. 74.
2. Шидловская А.В. Инженерно-геологическая и геоэкологическая оценка условий Петропавловского собора и организация системы объектного мониторинга // Записки Горного института. СПГИ (ТУ), том 159. Часть 1, 2004, с. 29-31.
3. Дашко Р.Э. Механика горных пород. М., Недра, 1987.

Буфеев Ф.К., Кувшинников В.М., Фоменко И.К.  
МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, Москва, igit-1@mail.ru

## **ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТОВ УСТОЙЧИВОСТИ СКЛОНОВ НА ИСТОРИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ ОТ ПРИМЕНЯЕМОЙ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВОЙСТВ ГРУНТОВ В МАССИВЕ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО СКЛОНА СВЯТО-БОГОЛЮБСКОГО МОНАСТЫРЯ В БОГОЛЮБОВО)**

В настоящее время инженеры-геологи часто сталкиваются с необходимостью изучения оползневых процессов, развивающихся в пределах границ исторических природно-технических систем.

Оценка влияния выбора моделей распределения свойств грунтов при численном анализе опасности развития оползневых процессов производилась на примере расчета устойчивости склона, выполненного авторами в составе ООО «ИГИТ» в пределах сферы взаимодействия юго-восточного участка стен и башен XVIII в. Свято-Боголюбского монастыря. В сферу взаимодействия также попадали объекты культурного наследия ЮНЕСКО: Богородице-Рождественский собор, Лестничная башня и переходы палат Андрея Боголюбского.

В геологическом строении рассматриваемого склона сверху вниз принимают участие современные техногенные накопления, современные озерно-болотные отложения, современные аллювиальные отложения, нерасчлененные средне-верхнечетвертичные аллювиально-флювиогляциальные отложения первой надпойменной террасы р. Клязьмы, нерасчлененные средне-верхнечетвертичные флювиогляциальные и озерно-ледниковые отложения и отложения северодвинского горизонта татарского яруса пермской системы.

На этапе изысканий изучение свойств грунтов проводилось стандартными методами на образцах, отобранных в скважинах, пробуренных на склоне и за его пределами.

Основой для построения геометрических моделей служили инженерно-геологические разрезы, построенные по наиболее вероятным направлениям потери устойчивости склона. При построении инженерно-геологических разрезов использовались результаты изысканий, в процессе которых были установлены границы между инженерно-геологическими элементами, различающимися по своим физическим и механическим характеристикам.

В соответствии с требованиями нормативных документов, учитывая особую историческую и культурную значимость объекта, в расчетах принята в качестве минимального коэффициента устойчивости, при котором удерживающие конструкции не требуются, величина равная 1,25.

Для оценки зависимости результатов количественной оценки устойчивости склонов от выбора модели распределения свойств грунтов была проведена серия стандартных расчетов устойчивости. Расчеты проводились с использованием метода Morgenштерна-Прайса и выполнялись по следующим вариантам:

- Расчет по круглоцилиндрической поверхности скольжения;
- Расчет по оптимизированной поверхности скольжения.
- Расчет по круглоцилиндрической поверхности скольжения был выполнен с целью исключения влияния фактора оптимизации на конечный результат.

Для каждого варианта были использованы следующие расчётные схемы:

- в пределах выделенных расчетных грунтовых элементов (РГЭ) (ГОСТ 20522-96) задавались расчетные характеристики свойств;
- в пределах выделенных РГЭ задавались нормативные характеристики свойств грунтов;
- задавалось поле распределения свойств в массиве в целом;
- задавалось поле распределения свойств в пределах выделенных РГЭ.

Анализ общей оценки устойчивости склона с учетом использования различных моделей распределения свойств грунтов показал, что они оказывают влияние, как на положение расчетной поверхности скольжения, так и на величину коэффициента устойчивости. Сравнение результатов оценки устойчивости, полученных на дискретных моделях распределения прочностных свойств грунтов с разделением на РГЭ и по массиву в целом, показало, что выделение границ приводит к повышению  $K_y$  и увеличению потенциального объема оползневых тел.

Никифоров А.А.

Руководящий комитет по культурному наследию и ландшафтам Совета Европы (СЕ), Москва, Andrei.nikiphorov@mail.ru

## «ВОССОЗДАНИЕ» ПАМЯТНИКОВ ИСТОРИИ И КУЛЬТУРЫ КАК ВИД РЕСТАВРАЦИОННЫХ РАБОТ

Проблемы восстановления архитектурно-исторической среды и воссоздания утраченных архитектурных шедевров впервые в методологии реставрационного процесса возникли после окончания Первой мировой войны 1914-1918 гг., но наибольшего развития получили на протяжении послевоенного десятилетия, когда волна масштабного «ретроразвития», захлестнувшая эмпирическую реставрацию, стала конкурировать с методологическими устоями археологической реставрационной концепции 1930-ых годов.

В связи с этим, кардинальные вопросы теории сохранения памятников истории и культуры были затронуты на II Международном конгрессе архитекторов и технических специалистов по историческим памятникам, прошедшем в г. Венеции 25-31 мая 1964 г. По итогам международного форума была принята Международная хартия по консервации и реставрации памятников и достопримечательных мест (Венецианская хартия), которая во многом дополнила Афинскую хартию 1931 г.

В настоящее время понятия и термины, примененные в Венецианской хартии 1964 г., одобренной Международным советом по сохранению памятников и достопримечательных мест (ИКОМОС) в 1965 г., продолжают оставаться основополагающими в методологии реставрационного процесса и кодифицируют принципы и стандарты в области сохранения памятников истории и культуры.

Смещение ключевых понятий «*conservation* (сохранение)» и «*restauration* (восстановление)», принятых в Венецианской хартии, в российской правовой системе действительно создает определенные трудности.

Так, глава VII Федерального закона от 25.06.2002 г. № 73-ФЗ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации» называется «Сохранение объекта культурного наследия» и фактически объединяет все виды действий, возможные в отношении памятника истории и культуры. Принятие данного ключевого термина в российском правовом поле полностью связано с необходимостью обеспечения имплементации Конвенции по охране архитектурного наследия Европы (г. Гранада, 1985 г.), ст. 10 которой ввело в обиход европейской сферы охраны культурного наследия понятие «*conservation policies* (политики (стратегии) сохранения)».

К сожалению, п. 1 ст. 40 Федерального закона от 25.06.2002 г. № 73-ФЗ, который дает развернутое понятие «сохранение объекта культурного наследия», противоречит смыслу, вкладываемому в термин «сохранение» Гранадской конвенцией Совета Европы. Авторы федерального закона, являющегося основным в сфере охраны объектов культурного наследия, сузили сохранение памятника истории и культуры до «обеспечения его физической сохранности», то есть до «консервации», тогда как комплекс мероприятий по сохранению объекта культурного наследия может включать в себя и работы, направленные на выявление и/или восстановление историко-культурной ценности памятника истории и культуры.

Известный российский архитектор-реставратор С.С. Подъяпольский считал, что под консервацией следует понимать сложные работы по укреплению и инженерной защите памятника, в том числе усиление оснований, укрепление фундаментов, несущих конструкций, мероприятия по борьбе с влажностью, структурное укрепление старых материалов и обессоливание кладки ... все это можно охарактеризовать как «инженерная реставрация».

К сожалению, в структуру Федерального закона от 25.06.2002 г. № 73-ФЗ определение консервации объекта культурного наследия вошло в довольно искаженном смысле, а понятие «противоаварийные работы» вообще не раскрыто. Между тем, на наш взгляд, именно комплекс работ по инженерной реставрации объекта культурного наследия отвечает задачам консервации памятника, определенной ст. 10 Венецианской хартии и в оригинале именуемой «*consolidation* (консервация (стабилизация))».

Е.В. Михайловский – крупнейший теоретик реставрации второй половины XX в. в своей монографии «Реставрация памятников архитектуры / Восстановление памятников архитектуры (Проблемы реставрации)» полагал, что «реставрация» может служить общим термином и для «консервации», которая является одним из методов таких работ.

Он также отмечал, что понятие «*restauration* (восстановление)», составляющее основу ст. 9 Венецианской хартии, может включать реконструкцию и обновление объекта. Введение в реставрационную методологию термина реконструкция во многом было вызвано опытом и практикой послевоенного восстановления. В нормативных правовых документах западноевропейских стран понятие «*reconstruction*» употребляется довольно часто, а его содержание в русскоязычной интерпретации стратегий сохранения объектов культурного наследия следует соотносить с термином «воссоздание».

Действительно, воссоздание в первую очередь относится к восстановлению зданий и сооружений, которые были утрачены в результате стихийных бедствий, военных или иных разрушительных событий на основе изобразительных, письменных и вещественных доказательств.

На наш взгляд, изменения понятийного аппарата реставрационной методологии, принятые Инструкцией 1986 года и сохраненные в Инструкции о составе, порядке разработки, согласовании и утверждении научно-проектной документации для реставрации недвижимых памятников истории и культуры, утвержденной приказом Министерства культуры РСФСР от 02.01.1991 г. № 1 и в РнИП 1.02.01-94, введенными приказом Минкультуры России от 25.03.1994 г.

№ 219, стерли различия между «ремонтно-реставрационными работами» и собственно реставрацией, что привело к искажениям и неправильным оценкам проводимых реставрационных работ на памятниках истории и культуры.

Воссоздание следует относить к специальному типу реставрационного вмешательства, которое вовсе не запрещено международными нормами в сфере сохранения культурного наследия.

В отличие от восстановления отдельных утраченных частей памятника истории и культуры целостное воссоздание всего объекта характеризуется не столько иным масштабом работ, сколько иной целью. Воссоздание или реконструкция, как уже говорилось, имеет своей целью восполнение утраченных смыслов и значений, важных для национальной культуры в целом.

### Список литературы

1. Конвенция об охране архитектурного наследия Европы (г. Гранада, 3 октября 1985 г., ETS № 121), European cultural heritage – Volume I, II. A review of policies and practice. Council of Europe, 2003.
2. Реставрация памятников архитектуры. Под общей редакцией
3. С.С. Подъяпольского. М., Стройиздат, 1988.
4. *Е.В. Михайловский*. Реставрация памятников архитектуры / Восстановление памятников архитектуры (Проблемы реставрации) М. Искусство, 1983.

**Бондарев М.В., Буфеев Ф.К., Демкин И.А., Кувшинников В.М.**

МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, Москва, igit-1@mail.ru

## ОПЫТ КОМПЛЕКСНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ НА ПРИМЕРЕ УСПЕНСКОГО СОБОРА В СВИЯЖСКЕ

В июле-августе 2015 года специалистами ООО «ИГИТ» на объекте культурного наследия федерального значения – Успенском соборе, входящем в ансамбль Богородице-Успенского мужского монастыря располагающегося, в селе Свяжск Зеленодольского района республики Татарстан, были проведены исследования состояния грунтов основания, фундаментов, несущих конструкций храма.

В настоящее время монастырь находится на острове, но исторически это была возвышенная территория, называвшаяся «Круглой горой». Территория стала островом в 1957 году после заполнения Куйбышевского водохранилища и до строительства дамбы в 2008 г. на остров можно было попасть только по воде. Поселение на Круглой горе в середине XVI века основал Иван Грозный после очередного неудачного похода на Казань. Успенский монастырь был заложен в 1555 году, а собор построен в 1556-1560 гг. Зодчим был Постник Яковлев, построивший также прясла южных стен и башни Казанского кремля, включая Спасскую башню и Благовещенский собор в Казани, а также Никольскую церковь в самом монастыре.

В настоящее время собор находится в неудовлетворительном состоянии. Стены разбиты трещинами, из внутренних подпружных арок вываливаются замковые камни, разрушается уникальная фреска XVI века.

По результатам исследования были выявлены причины, приводящие к постепенному разрушению памятника. Существующая вертикальная планировка должным образом не осуществляет отвод талых и дождевых вод от здания, вследствие чего происходит постоянное замачивание стен и фундаментов собора. Под подошвой фундамента центральной апсиды располагается полость от дымохода, по которой, после обильных осадков, поток воды устремляется в грунты основания. Отсутствие регулярного качественного проветривания подклетов является причиной повышенной влажности внутренних помещений и формирования конденсата на стенах и сводах. Разница температурно-влажностного режима в различных помещениях собора является причиной формирования «высолов» на стенах и разрушения фресок.

Было установлено, что фундаменты собора ленточные, под пилонами – отдельные столбчатые. Кладка рядная, выполнена из блоков известняка и доломита грубой тёски на известково-песчаном растворе. Кладка фундаментов характеризуется высокой влажностью. Известково-песчаный раствор выщелочен. Нижняя часть фундамента центральной апсиды разобрана для вывода дымохода от калориферной печи, и в настоящее время ленточный фундамент апсиды на этом участке «висит» в воздухе. Это является основной причиной деформации центральной апсиды. Повышенная влажность кладки вызывает уменьшение несущей способности фундаментов и стен. Телеметрические исследования в скважинах, пройденных через тело фундамента, показали, что внутренняя часть фундаментов характеризуется высокой пустотностью.

В процессе исследований было выделено два инженерно-геологических элемента (ИГЭ).

**ИГЭ-1 ( $tQ_{II}$ )** – техногенные накопления. Представлен суглинком красновато-коричневым тугопластичным и супесью рыже-коричневой от твёрдой до пластичной консистенции с включениями строительного мусора содержанием от 10 до 35%.

**ИГЭ-2 ( $a, dQ_{II-III}$ )** – средне-верхнечетвертичные аллювиально-делювиальные отложения. Представлен супесью твердой желтовато-коричневой с красно-коричневыми пятнами и прослоями, с чёрными прослоями и тёмными стяжениями размером до 2-х мм, макропористой, с многочисленными вертикальными и субвертикальными цилиндрическими полостями. Диаметр полостей достигает 1,5 см, длина более двух метров. Полости заполнены кальцитом, и имеют сердцевину из разложившейся древесины. Расстояние между полостями составляет 1-10 см.

Результаты исследований минерального состава супесей показали, что в их строении принимают участие следующие минералы: кварц (68,7-68,9%), альбит (2,14-8,18%), слюда (3,07-5,46%), микроклин (3,96-7,97%), хлорит (3,65-3,94%), кальцит (1,47-1,90%), доломит (2,73-3,02%), диопсид (в одной пробе -2,81%), амфибол (2,77-3,34).

По результатам лабораторных исследований грунты ИГЭ-2 являются супесями твёрдыми слабопрсадочными, и их замачивание является причиной деформаций собора.

Для изучения структуры грунтов основания в центре коллективного пользования Казанского Федерального университета были проведены исследования образцов грунта на рентгеновском томографе. По данным томографии, при разрешении съёмки – 114 – 136 мкм пористость образцов составляет 0,27-0,91%, при разрешении съёмки – 1,56 мкм пористость образцов составляет 7,65-17,25%.

Состояние каменных конструкций фундаментов и стен ограничено работоспособное. Давление на подошву фундаментов превышает расчётное сопротивление грунтов основания. Внутрстенные деревянные связи сгнили, и здание не имеет каркаса жёсткости.

В сложившейся ситуации необходимо выполнение комплекса мероприятий, направленных на оптимизацию условий функционирования памятника:

1. Вертикальная планировка и благоустройство территории нормализует температурно-влажностный режим стен, фундаментов и грунтов основания.
2. Выполнить инъектирование фундаментов и усиление грунтов основания по специально разработанному проекту.
3. Создать наблюдательную сеть и систематически проводить геодезический мониторинг деформаций конструкций.

**Ендржиевский В.Я., Кувшинников В.М., Пашкин Е.М.**  
МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе, Москва, igit-1@mail.ru

## **КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ В СТЕСНЁННОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКЕ**

В настоящее время при реставрации памятников архитектуры часто возникает необходимость освоения подземного пространства. Это, в первую очередь, связано с запретом нового строительства в условиях исторической застройки. А в некоторых случаях, необходимо увеличивать объёмы помещений для эффективной эксплуатации памятников. В связи с этим, встаёт вопрос комплексного решения целого ряда задач, связанных с подземной реконструкцией исторических сооружений.

В подобных случаях важнейшую роль играет комплексность подходов, которая заключается в необходимости проведения инженерно-геодезических, инженерно-геологических изысканий, гидрогеологических исследований перед началом разработки конструктивных и планировочных решений. Исследования и изыскания должны проводиться в соответствии с требованиями действующих нормативных документов.

Разработка проектов реставрации и освоения памятников архитектуры, при необходимости освоения подземного пространства, начинается с разработки архитектурного и конструктивного разделов проекта. Обязательным и необходимым является проведение охранно-археологических работ. При разработке проекта организации строительства необходимо учитывать влияние строительства на окружающую застройку.

Следующим этапом является производство строительно-монтажных работ и ремонтно-реставрационных работ, которые должны предваряться созданием сети геотехнического мониторинга. В процессе производства работ должен постоянно проводиться мониторинг реставрируемого памятника и окружающей застройки.

Подобный подход был удачно реализован содружеством компаний ИГИТ-РЕКОНФИСС на нескольких исторических сооружениях города Москвы. Самыми яркими примерами являются работы по сохранению и освоению подземного пространства памятников архитектуры федерального значения – храме Всех Святых на Кулишках и городской усадьбе – доме Долгоруковых-Бобринских.

Храм Всех Святых на Кулишках является одной из жемчужин Москвы. Он расположен в центре Москвы, на Славянской площади. Существующее здание построено в XVI-XVII веке. За почти четыреста лет существования, вокруг храма накопился слой техногенного грунта мощностью около четырёх метров. Это связано с тем, что он расположен в низине, в пределах Белого города, под склоном, на котором сейчас располагается Ильинский сквер. В настоящее время дороги покрыты асфальтом, атмосферные осадки канализованы, но до конца XIX века покрытия не было. И после каждого дождя грязевые потоки устремлялись к храму, а твёрдые частицы оседали у его стен. Во время паводков Москва-река также приносила к стенам храма ил. И, в результате, первый этаж храма оказался под землёй, что привело к нарушению функционирования несущих конструкций. Фундаменты и стены до начала ремонтно-реставрационных работ находились в аварийном состоянии.

Городская усадьба – дом Долгоруковых-Бобринских располагается в историческом центре города Москвы, на Малой Никитской улице. Это усадьба, состоящая из главного дома, построенного в XVII веке, двух симметричных флигелей и конюшенного двора, построенных в середине XVIII века. В настоящее время здание передано в пользование фонду Ельцина. Перед разработкой проекта освоения подземного пространства ООО «ИГИТ» было выполнено обследование надземных конструкций, фундаментов и грунтов основания, в результате которого было выявлено, что здание находится в аварийном состоянии.

В результате производства работ здание храма Всех Святых на Кулишках было полностью отсечено от старых фундаментов. В настоящее время исторический ленточный белокаменный фундамент полностью заменён на свайный с монолитным железобетонным ростверком, выполненным с использованием Лентоновских муфт. Сваи изготовлены по технологии статического вдавливания. Также была удачно организована вертикальная дренажная система, сбрасывающая воду в нижележащие грунты

и обеспечивающая беспрепятственное производство ремонтно-реставрационных работ в сложных условиях. В настоящий момент здание готово к подъёму на специально разработанных домкратах.

Опираясь на результаты обследования, в усадьбе Бобринских были разработаны проекты усиления грунтов основания фундаментов и несущих конструкций. Первоочередным мероприятием стало выполнение противоаварийного раскрепления надземных конструкций путём взятия коробки зданий в стальной бандаж. Также было выполнено усиление фундаментов в сохраняемых частях зданий. По примеру храма Всех Святых на Кулишках была сделана обвязочная балка с применением Лентоновских муфт. Здания были полностью вывешены на задавливаемые сваи. Для отвода грунтовых вод был устроен пристенный технологический дренаж. В настоящий момент здание готово к возведению конструкций подземного пространства.