

МГУ имени М.В. Ломоносова

Лаборатория комплексной интерпретации геофизических данных

№ госрегистрации  
АААА-А16-116033010106-4

УТВЕРЖДАЮ  
Директор/декан

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ Г.

УДК  
550.83 Геофизические методы разведки

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Геологическое обеспечение минерально-сырьевой базы, безопасности  
хозяйственной деятельности и развития инфраструктуры России  
по теме:

Фундаментальные и прикладные глубинные и малоглубинные  
геофизические исследования и создание новых геофизических технологий  
при решении задач геологии, геоэкологии и геоэнергетики  
(промежуточный)

Зам. директора/декана  
по научной работе

\_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ Г.

Руководитель темы  
Булычев А.А.

\_\_\_\_\_  
«\_\_» \_\_\_\_\_ Г.

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы:

заведующий кафедрой, доктор  
физико-математических наук,  
профессор по кафедре, доцент  
по кафедре

\_\_\_\_\_ (Булычев А.А.)

Исполнители темы:

доцент, кандидат физико-  
математических наук, доцент  
по кафедре

\_\_\_\_\_ (Бобачев А.А.)

доцент, кандидат физико-  
математических наук, доцент  
по кафедре

\_\_\_\_\_ (Большаков Д.К.)

научный сотрудник

\_\_\_\_\_ (Гилод Д.А.)

научный сотрудник, кандидат  
геолого-минералогических на-  
ук

\_\_\_\_\_ (Голубцова Н.С.)

доцент, кандидат геолого-  
минералогических наук

\_\_\_\_\_ (Золотая Л.А.)

старший специалист

\_\_\_\_\_ (Иванова Е.В.)

специалист

\_\_\_\_\_ (Иванова С.В.)

ассистент, кандидат геолого-  
минералогических наук

\_\_\_\_\_ (Коснырева М.В.)

профессор, кандидат физико-  
математических наук, доктор  
геолого-минералогических на-  
ук, доцент/с.н.с. по специаль-  
ности

\_\_\_\_\_ (Куликов В.А.)

специалист

\_\_\_\_\_ (Куликова М.П.)

доцент, кандидат геолого-  
минералогических наук

\_\_\_\_\_ (Лыгин И.В.)

младший научный сотрудник,  
кандидат технических наук

\_\_\_\_\_ (Макаров Д.В.)

старший научный сотруд-  
ник, кандидат физико-  
математических наук

\_\_\_\_\_ (Марченко М.Н.)

профессор, доктор техниче-  
ских наук, доцент/с.н.с. по  
специальности

\_\_\_\_\_ (Модин И.Н.)

старший научный сотрудник,  
кандидат технических наук,  
доцент/с.н.с. по специальности

\_\_\_\_\_ (Никулин Б.А.)

ассистент

\_\_\_\_\_ (Паленов А.Ю.)

доцент, кандидат геолого-минералогических наук, доцент по кафедре  
доцент, кандидат физико-математических наук, доктор геолого-минералогических наук, доцент по кафедре  
старший научный сотрудник, кандидат геолого-минералогических наук  
ассистент  
профессор, доктор геолого-минералогических наук, профессор по кафедре  
профессор, доктор физико-математических наук, доцент по кафедре  
научный сотрудник  
доцент, кандидат физико-математических наук, доцент по кафедре  
младший научный сотрудник, кандидат технических наук

\_\_\_\_\_ (Попов М.Г.)

\_\_\_\_\_ (Пушкарев П.Ю.)

\_\_\_\_\_ (Соколова Т.Б.)

\_\_\_\_\_ (Фадеев А.А.)

\_\_\_\_\_ (Хмелевской В.К.)

\_\_\_\_\_ (Шевнин В.А.)

\_\_\_\_\_ (Шустов Н.Л.)

\_\_\_\_\_ (Яковлев А.Г.)

\_\_\_\_\_ (Ялов Т.В.)

## РЕФЕРАТ

Ключевые слова:

геотермальные ресурсы, малоглубинная электроразведка, магнитотеллурическое зондирование, геофизика, магнитовариационное зондирование, тектоносфера, научно-образовательный центр, геофизическая обсерватория, петротермальная геофизика, гравитационное аномальное поле, кора и мантия земли, мировой океан, магнитное аномальное поле, 3d-электротомография, аномалии электропроводности

Ключевые слова по-английски:

petrothermal geophysics, electrical conductivity anomalies, anomalous gravity field, the anomalous magnetic field, magnetotelluric sounding, geothermal resources, tectonosphere, 3d electrical resistivity tomography, geophysics, geophysical observatory, near-surface electrical prospecting, scientific-educational centre, crust and mantle of the earth, the oceans, magnetovariational sounding

В отчете представлены основные результаты научно-исследовательской деятельности (НИР) сотрудников кафедры геофизических методов исследования земной коры геологического факультета МГУ за 2017 г., проводимой в рамках госзадания МГУ ч. 2. Исследования выполнялись по нескольким направлениям: 1. Изучение глубинного и малоглубинного строения отдельных районов Восточно-Европейской платформы (ВЕП) комплексом геофизических методов по результатам учебно-производственных геофизических практик как в летний, так и зимний период, а также по результатам хоздоговоров. 2. Совершенствование технологии непрерывной регистрации электромагнитных и сейсмических полей на базе учебно-научных геофизических практик МГУ в д.Александровка Калужской области. 3. Разработка рационального комплекса геофизических методов для картирования нефтяных загрязнений почв, возникающих при добыче, переработке и транспортировке нефтепродуктов. 4. Изучение глубинного строения тектоносферы подводных поднятий Индийского океана и нахождение основных закономерностей и связей между физическими полями и тектоническим строением этих регионов. 5. Обобщение накопленного опыта применения геофизики в археологии, а также усовершенствование комплекса археогеофизических исследований. 6. Проведение научных исследований, направленных на построение комплексной геофизической модели области Ладужской аномалии электропроводности.

## ВВЕДЕНИЕ

Приоритетными направлениями научных исследований, проводимых на кафедре геофизических методов исследования земной коры являются те направления, которые позволяют получать научно-технические результаты и создавать инновационные технологии в области глубинной и малоглубинной геофизики. Работы осуществлялись в соответствии с планом НИР на 2017 г., утвержденным на заседании Ученого Совета МГУ им. М.В. Ломоносова. В отчете представлены результаты НИР сотрудников структурных подразделений кафедры: лаборатории гравиразведки, лаборатории магниторазведки, лаборатории глубинной геоэлектрики, лаборатории малоглубинной электроразведки, магнитной обсерватории на базе «Александровка», а также достижения сотрудников кафедры в области международного сотрудничества. Следует отметить, что почти все исследования выполнялись с привлечением студентов и аспирантов кафедры геофизических методов исследования земной коры. Большая часть результатов НИР получена в ходе проведения летних и зимних учебно-научных практик, проводимых на геофизической базе МГУ «Александровка» в Калужской области, которая создана и существует во многом благодаря деятельности ООО «Северо-Запад» и непосредственно доцента кафедры Яковлева А.Г.

## ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

### РАЗДЕЛ 1.

Научно-исследовательские работы в лаборатории гравиразведки (проф. Булычев А.А., доц. Лыгин И.В., с.н.с. Соколова Т.Б., н.с. Гилод Д.А., асс. Фадеев А.А., инж. Кузнецов К.М.).

Сотрудниками лаборатории гравиразведки в 2017 году выполнялись исследования в рамках госзадания, научного сотрудничества с другими организациями и хозяйственных договоров. Основные направления и результаты научных исследований лаборатории гравиразведки в 2017 году:

1. Изучение строения коры и тектоносферы подводных поднятий южной части Индийского океана по геофизическим данным. Результаты анализа всей полученной информации подтверждают, что тектоносфера исследуемого региона разбита на блоки, имеющие разный генезис и эволюцию. Использование геолого-геофизических данных позволяет сделать некоторые выводы относительно возможной природы коры для исследуемых поднятий. Таким образом, в южной части Индийского океана выделяются блоки с утоненной континентальной корой (банка Элан, южный сектор плато Кергелен, банка Скифа, хребет Уильяма), океаническая (плато Крозе, поднятие Конрад, северный сектор плато Кергелен) и гетерогенная (центральный сектор плато Кергелен). В целом для всех поднятий гравитационный и магнитный эффекты схожи (пониженные значения поля гравитационных аномалий в редукции Буге, локальные и региональные минимумы в полях низкочастотной, среднечастотной и высокочастотной компонент гравитационного поля), но по интенсивности аномалий они различны. Также по данным сейсмотомографии для глубин, ниже границы Мохо, эти поднятия проявляются по-разному, что может быть связано с различным генезисом и историей развития этих структур.

2. Совместно с сотрудниками ФГБУ «ВНИГНИ» выполнена объемная реконструкция тектонических элементов Енисей-Хатангской рифтовой системы по результатам комплексной геолого-геофизической интерпретации.

3. Разработан алгоритм численного решения прямой задачи гравиметрии от сферического слоя переменной плотности.

4. Проанализированы временные вариации гравитационного поля, зарегистрированные спутниковой миссией GRACE над Аляскинской зоной субдукции. В настоящее время, благодаря непрерывному осуществлению спутниковой гравиметрической миссии GRACE, на протяжении более 15 лет, стало возможным выявлять вариации гравитационного поля, соответствующие изменениям напряжений и деформаций в крупных тектонически активных регионах Земли. Проанализированы полные вариации поля силы тяжести с 2003 по 2015 года, зарегистрированные миссией GRACE, над областью побережья Тихого океана, в окрестности, так называемого, «запертого» участка Аляскинской зоны субдукции, где сближены, по крайней мере, три разнонаправленных тектонически активных процесса (фронтальная и косая субдукции Тихоокеанской плиты и продвижение рифта Восточно-Тихоокеанского поднятия с юга на север под Северо-Американский континент).

5. Проведены полевые наблюдения с целью изучения сезонных вариаций гравитационного поля на научно-учебном полигоне Александровка (Калужская область).

6. Осуществлен контроль качества материалов комплексной аэрогеофизической (гравитационной и магнитной) съёмки на Гыданском участке в 2017 году (по заказу ООО «Арктик СПГ 2» (группа компаний ПАО «Новатек»)).

7. В рамках хоздоговора с компании ПАО «Газпром нефть» по теме «Перспективы применения методов потенциальных полей» совместно с сотрудниками других подразделений составлен обзор перспектив применения несейсмических методов на основе современных мировых тенденций при проведении геологоразведочных работ на нефть и газ. Обзор выполнен с целью разработки стратегии развития направления «Несейсмические методы» в Компании ПАО «Газпром нефть».

8. Изданы учебное пособие «Учебная практика по гравиразведке» в 4-х частях (геолого-геофизическая характеристика района практики, методика гравиразведочных работ, плотность горных пород, топогеодезическое обеспечение гравиметрических работ) и учебное пособие «Конспект лекций по гравиразведке. Часть I». Всего в авторстве и соавторстве сотрудниками и аспирантами лаборатории опубликовано 5 учебных пособий, 4 статьи, 4 тезиса докладов, сделано 8 выступлений на конференциях.

9. Проведен научно-практический семинар «Новые методы геологоразведки» в объеме 24 академических часа для сотрудников подразделений ПАО «Газпромнефть» в г. Санкт-Петербург, а также организован и проведен Гравиметрический и магнитометрический семинар, посвященный памяти профессора В.Р. Мелихова (МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет).

## РАЗДЕЛ 2.

Научно-исследовательские работы в лаборатории магниторазведки (доц. Золотая Л.А., асс. Коснырева М.В., асс. Паленов А.Ю.).

1. В рамках научно-исследовательской работы по разработке комплекса геофизических методов для изучения загрязненных почвенных разрезов выполнен лабораторный эксперимент по изучению электрических и магнитных свойств почвенных образцов. Изучены их электрические и магнитные свойства. Показано, что для получения тонкой дифференциации различных типов почв, кроме стандартных геоэлектрических параметров, таких как удельное электрическое сопротивление, кажущаяся поляризуемость и фаза ВП – полезно рассчитывать параметр поверхностной проводимости. С помощью этого параметра стало возможным разделение каштановых и черноземных почв от аллювиальных, а солодовые почвы хорошо определяются по значениям удельного электрического сопротивления. Изучения магнитных свойств почвенных образцов показало, что для солончаковых, солодовых и аллювиальных почв характерно гауссово распределение, в то время как каштановые и черноземные почвы обладают бимодальным распределением.

2. Еще одно направление исследований – это участие в работе научного коллектива по теме гранта РФФИ № 16-05-543 «Комплексная геофизическая модель области Ладожской аномалии электропроводности и ее геолого-тектоническая интерпретация» (рук. в.н.с. ИФЗ РАН Соколова Е.Ю.). В 2016 - 2017 г.г. были собраны материалы по потенциальным полям, которые в дальнейшем интерпретировались с использованием подходов и статистических методов, имеющихся в распоряжении исследователей из МГУ. Также была использована технология «КОСКАД 3D», предназначенная для обра-

ботки и интерпретации геолого-геофизической информации, организованной в одномерные, двухмерные и трехмерные регулярные сети, на основе вероятностно-статистического подхода. Выполнен анализ значимых кластеров, выявленных по совокупности петрофизических параметров получаемых геофизических моделей.

3. Организована и проведена международная научно-практическая конференция в апреле 2017 года «ГЕОСОЧИ-2017. Нефтегазовая геология и геофизика». Доцент Золотая Л.А. была главным координатором и председателем программного комитета конференции. В работе конференции приняли участие 140 специалистов из России, Белоруссии и Сербии. Сделано 85 докладов. Материалы конференции изданы на СД.

### РАЗДЕЛ 3.

Научно-исследовательские работы в лаборатории геоэлектрики (проф. Куликов В.А., д.г.-м.н. Пушкарев П.Ю., доц. Яковлев А.Г., н.с. Голубцова Н.С., н.с. Шустов Н.Л.).

1. В лаборатории геоэлектрики был выполнен обзор современного состояния методов электромагнитного зондирования земной коры, сформулирована методика анализа и интерпретации электромагнитных данных. Проведено обобщение результатов глубинных геоэлектрических исследований консолидированной земной коры и верхней мантии, а также результатов применения разведочной и малоглубинной геоэлектрики при поиске и разведке месторождений нефти и газа, рудных месторождений, при геотермальных и инженерно-гидрогеологических исследованиях. По итогам этой работы Пушкаревым П.Ю. 7-го июня 2017 года была защищена диссертация «Интерпретация низкочастотных электромагнитных зондирований неоднородных сред применительно к решению геологических задач» на соискание учёной степени доктора геолого-минералогических наук.

2. 24 мая 2017 года успешно прошла защита кандидатской диссертации Соловьевой А.В. Тема диссертации – «Применение методы вызванной поляризации при изучении природы слабомагнитных объектов». Диссертация выполнена на кафедре геофизических методов исследования земной коры. Научный руководитель – доктор геолого-минералогических наук, профессор Куликов В.А. В диссертации подведен итог работы, выполнявшейся на кафедре геофизики по следующим направлениям: - разработка методики разделения приповерхностных аномалий вызванной поляризации разного типа на основе анализа частотных характеристик, полученных по данным метода СВП. - построение двумерной математической модели озерно-болотных отложений четвертичного возраста, содержащих ферромагнитные минералы. Качественный анализ расчета прямой задачи. - проведение полевых измерений комплексом магниторазведки и СВП на ряде слабokonтрастных магнитных аномалий на территории Калужской области.

3. В 2015-2017 гг. группой сотрудников кафедры геофизики геологического факультета МГУ под руководством проф. Куликова В.А. проводилась разработка методики совместной двумерной инверсии магнитотеллурических (аудиомагнитотеллурических) зондирований и электротомографии в программе ZOND2DRES (автор – Каминский Е.А.) при решении рудных задач. Эта работа включала в себя: - расчет прямых задач для нескольких моделей, имитирующих рудные залежи различного типа; - проведение инверсий на синтетических данных и составление рекомендаций для совместной интерпретации магнитотеллурических методов и методов постоянного

тока; - переинтерпретацию комплексных геофизических работ, выполнявшихся ранее на рудных объектах.

4. В течении нескольких лет группой сотрудников, аспирантов и студентов кафедры геофизики геологического факультета под руководством проф. Куликова В.А. проводится разработка методики применения метода многочастотной вызванной поляризации при поисках и оценке месторождений песчано-гравийных смесей (ПГС). Метод вызванной поляризации в комплексе с вертикальными электрическими зондированиями или электротомографией позволяет решать такие сложные задачи, как выделение в пределах месторождений ПГС участков, обогащенных гравийной фракцией, определения глинистости песка, определение мощности обводненной песчано-гравийной смеси, находящейся ниже уровня грунтовых вод. Для определения природы аномалий вызванной поляризации желателен учет временные (частотные) характеристики поля ВП, фиксируя полный спад или проводя многочастотные измерения. Летом 2017 года в рамках учебной практики со студентами 3 курса Геологического факультета МГУ были выполнены электроразведочные работы методом электротомографии и вызванной поляризации на месторождении песчано-гравийно-галечных отложений «Вязищи» в Калужской области. Полученные результаты показали, что с помощью метода вызванной поляризации, при определенных благоприятных условиях, можно определить участки, обогащенные гравийной фракцией. Геофизические результаты были подтверждены лабораторными измерениями вызванной поляризации на образцах и данными бурения.

5. В 2017 году была продолжена интерпретация результатов многолетних работ методом магнитотеллурического зондирования, выполненных в пределах северо-западного склона Воронежского кристаллического массива в рамках международного проекта KIROVOGRAD с участием ученых Московского Университета им. М.В. Ломоносова, Центра геоэлектромагнитных исследований Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, ООО «Северо-Запад». По результатам трехмерной инверсии в программе ModEM была построена геоэлектрическая модель литосферы для площади более 100 000 км<sup>2</sup>, уточнены границы Бяратинской и Курской коровых аномалий, их глубинное строение и связь с хорошо изученными ранее областями высокой электропроводности Украинского щита.

6. В рамках гранта РФФИ № 16-05-543 (рук. в.н.с. ИФЗ РАН Соколова Е.Ю.) «Комплексная геофизическая модель области Ладожской аномалии (ЛА) электропроводности и ее геолого-тектоническая интерпретация» проведена дополнительная серия 2D инверсий данных синхронных МТ\МВ зондирований на профиле Выборг-Суоярви (ВС), а также обработка данных МТ-зондирований по профилю, проходящему вдоль восточного берега Ладожского озера. Достигнут новый уровень детальности разрешения геоэлектрического разреза ЛА, позволивший провести содержательную геотектоническую интерпретацию. Показано, что ЛА - не единый компактный объект, а совокупность проводников различного вещественного состава и геолого-тектонической приуроченности. С учетом проведенного районирования магнитного поля по изучаемой территории ЛА и геолого-тектонических представлений о ЮВ простирании Раахе-Ладожской перикратонной зоны осуществлено дальнейшее развитие прогнозной объемной

модели электропроводности области ЛА с использованием технологии 3D ЭМ моделирования.

7. Результаты НИР сотрудников лаборатории глубинной геоэлектрики отражены в двух диссертациях (1 докторская, 1 кандидатская). Опубликовано 3 статьи в журналах (1 – из списка RSCI WoS), 2 учебных пособия («Электроразведка», «Геофизика твердых полезных ископаемых»), 8 статей в сборниках, сделано 12 докладов на конференциях.

#### РАЗДЕЛ 4.

Научно-исследовательские работы в лаборатории малоглубинной электроразведки (проф. Модин И.Н., проф. Шевнин В.А., доц. Бобачев А.А., доц. Большаков Д.К., с.н.с. Марченко М.Н., м.н.с. Ялов Т.В., м.н.с. Макаров Д.В.).

1. На акватории реки Угры вблизи г.Юхнова студентами и сотрудниками МГУ выполнены комплексные геофизические исследования с целью обнаружения останков большого военного самолета ЕР-2, погибшего здесь 7 октября 1941 г. Исследования проведены с помощью магнитной съемки и георадиолокационного метода. По инициативе руководства Национального парка "Угра" и правительства Калужской области было принято решение поднять часть останков самолета, найти по этим останкам заводские номерные знаки, установить принадлежность самолета к соответствующей воинской части, имена и фамилии членов экипажа и увековечить подвиг советских летчиков в виде памятника. Большая масса самолета и наличие огромного количества металлических конструкций, сравнительно небольшая глубина и довольно конкретная привязка местоположения катастрофы делают этот самолёт и его обломки благоприятным объектом для геофизической съемки. Однако при поиске обломков мы исходили из конкретной ситуации. А она такова: живых свидетелей катастрофы не осталось, точное положение места падения неизвестно, разрозненные обломки встречаются в разных местах на акватории реки. Собрать всю картину крушения и постепенной дезинтеграции самолета воедино можно только с помощью геофизической съемки. Поэтому в качестве основных методов было предложено использовать магниторазведку и георадиолокационную съемку. Результаты магниторазведки позволили обнаружить скопление железных обломков самолета вблизи правого берега реки. Всего было обнаружено 82 аномалии магнитного поля, разбросанные на территории 40 тыс.кв.м. Часть аномалий подтвердилась с помощью георадиолокации. По рекомендованным аномалиям команда водолазов подняла наиболее крупные фрагменты самолета, включая шасси, по номерному знаку, который была установлена принадлежность самолета к 81 авиадивизии и определены имена погибших летчиков.

2. Осуществлен электрический мониторинг изменений удельного электрического сопротивления грунтов с помощью новой электроразведочной станции СЭМ-1 в районе г. Волоколамска. С целью изучения работоспособности станции нового поколения для электрометрического мониторинга в 30 км к востоку от г.Волоколамска Московской области был установлен комплекс СЭМ-1 (совместная разработка института ИГИИС и МГУ). Конструкторская разработка станции закончилась в начале октября 2016 г., а уже 12 октября начались первые ее пробные включения. Окончательно в рабочий режим станция была введена 16 октября в 10:26:04. Начало работы пришлось на тёплый период года, когда средняя температура воздуха составляла +5оС, а последние данные, которые были получены 16 декаб-

ря, соответствуют холодному периоду, когда температура опустилась ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ . Отличительной особенностью новой станции является установка в измерительных электродах температурных датчиков. Таким образом получены данные о реальных температурных вариациях непосредственно на глубине расположения установки.

3. Проведены работы методом электрической томографии для поиска погребенных карстовых зон при проектировании линейных сооружений. На одной из проектируемых дорог, соединяющей Москву с востоком Европейской территории РФ, на участке около 180 км сотрудниками лаборатории выполнены исследования методом электрической томографии. Дороги являются объектами самого высокого уровня ответственности, связанного прежде всего с безопасностью людей. Для обеспечения надежности проектирования и строительства необходим комплекс мероприятий при изысканиях, который надежно обеспечит обнаружение карстовых зон. Для этого по геологическим и геоморфологическим признакам выделяют прогнозные участки карстовой опасности. На этих прогнозных участках развития карбонатного и сульфатного карста выполняется электрическая томография. По результатам электрической томографии производится бурение. Такая последовательность методов является наиболее экономичной и результативной с точки зрения решения этой геологической задачи, что демонстрируется на конкретных примерах. В настоящий момент при изысканиях на линейных объектах строительства транспортных и другого типа сооружений (дороги, трубопроводы, линии электропередач) электроразведка методом электрической томографии очень часто используется как технология, опережающая бурение. Одним из опасных геологических процессов, который эффективно изучается с помощью электрической томографии, является карст. В ряде случаев такой подход оптимизирует финансовые расходы, людские и временные ресурсы, которые требуются на проведение исследований на карст. В наиболее простых случаях с помощью электроразведки можно сразу получить однозначный ответ: "карст есть" или "карста нет".

4. Развитие технологии электротомографии с использованием многосегментных измерений. Метод электрической томографии успешно применяется для решения широкого круга задач и является одним из основных геофизических методов инженерно-геологических изысканий при изучении верхней части геологических разрезов со сложным строением. Разработанная стандартная технология электрических зондирований, выполняемых с применением многоэлектродной аппаратуры, позволяет получать данные с высокой детальностью и необходимой глубиной исследований. Вместе с тем, наблюдается непрерывное развитие технологии электротомографии, связанное как с необходимостью решения новых задач, так и с совершенствованием стандартной методики. Развитие и усовершенствование аппаратуры, методики полевых измерений, интерпретации данных расширяет возможности метода, сокращает время измерений, увеличивает технологичность полевых работ, повышает количество и точность данных, увеличивает достоверность получаемых геологических результатов. Использование нескольких сегментов кос дает возможность увеличения длины применяемых электроразведочных установок и достижения большей глубины исследований, по сравнению со стандартной двухсегментной методикой. Предложена технология и методика выполнения электрических зондирований с присущей стандартной методике электротомографии детальностью

исследований, повышенной глубиной и выдержанной вдоль профиля наблюдений плотностью данных на соответствующих интервалах действующих разномосов.

5. Изучение тектонических нарушений в Южной Якутии с помощью электрической томографии (ЭТ). Метод электротомографии был применен для изучения активных тектонических нарушений Южной Якутии. При выполнении электротомографических наблюдений применялись дипольная осевая, комбинированная трехэлектродная и иверсная установка Шлюмберже. Сделан вывод, что геоэлектрические границы хорошо согласуются с данными сейсмотомографии и оба метода информативно дополняют друг друга. На основании проведенных электроразведочных работ можно заключить, что геологическое строение на участке работ АТР «Северный» двухслойное. Сверху залегает щебенистый грунт с супесчаным заполнением, суммарной мощностью 5-6 м. Книзу засоленность грунта увеличивается. Основание разреза представлено переслаиванием песчаников и алевролитов. Разломная зона по данным ЭТ выделяется как зона повышенной дифференциации удельных сопротивлений и нарушения горизонтальной стратификации грунтов. Зона измененных пород в геоэлектрическом разрезе практически не выражена, что может объясняться небольшой амплитудой нарушения. На АТР «Южный» на двух участках работ удалось выделить зону шириной до 30 м с аномально низкими значениями сопротивлений. Зона выделяется на трех независимых профилях в пределах полосы, прослеживаемой на данных лазерного сканирования рельефа. Полученные результаты показывают, что электрическая томография является весьма полезным инструментом в составе инженерно-геологических методов при изучении зон тектонических нарушений.

6. Электротомографические исследования для оценки пригодности участка для жилой застройки. В период с 10 по 22 января 2017 г. геофизический отряд лаборатория малоглубинной геофизики геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова выполнил площадные электротомографические исследования на площадке перспективного развития строительства одного из жилых кварталов подмосковного города. Результаты выполненных геофизических исследований указывают на строгую зональность в залегании осадочных пород нижнего карбона. Поперечные размеры зон составляют от 30 до 100 м. Насчитывается до 5 зон высокого сопротивления (предположительно сложены известняками) и такое же число зон низкого сопротивления (предположительно сложены преимущественно глинами). Ориентация зон с юго-запада на северо-восток. Среди установленных зон выделяется «главная палеодолина» шириной около 100 м, которая имеет глубину до 30 м и крутые склоны бортов. «Главная палеодолина» сверху перекрывается четвертичной палеодолиной, встроеной по центру «главной палеодолины». Установлено, что участок работ располагается на юго-восточном фланге крупной кольцевой структуры и приходится на участок второго тектонического кольца, которое опоясывает данную структуру и проявляется в виде аномалий радона в приповерхностных подземных водах на глубинах от 20 до 100 м. Последнее обстоятельство напрямую свидетельствует о современной тектонической активности данного участка.

7. В июне 2017 г. Гульзады Кубашевна Умирова (Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, геологический институт, кафедра геофизики) защитила работу, представлен-

ную на соискание ученой степени доктора Ph.D. по направлению 6D070600 – “Геология и разведка месторождений полезных ископаемых”, на тему “Выделение геоэлектрических неоднородностей в образованиях осадочного чехла в пределах блока Каратон-Саркамыс на основе технологии магнито-теллурических зондирований (МТЗ)”. Соруководитель работы - проф. И.Н. Модин. В сентябре 2017 г. диссертация была утверждена в ВАК РК.

8. Под руководством доц. Бобачева А.А. выполнена и успешно защищена кандидатская диссертация Груздевым А.И. на тему: Определение области применения бесконтактной технологии метода сопротивлений

#### РАЗДЕЛ 5.

Научные исследования в Геофизической обсерватории учебно-научного полигона «Александровка» (н.с. Шустов Н.Л.).

В 2017 г. проводились работы по совершенствованию технологии непрерывной регистрации электромагнитного поля. В течение всего 2017 г. производилась непрерывная запись двух электрических ( $E_x$ ,  $E_y$ ) и трех магнитных компонент ( $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$ ) естественного электромагнитного поля Земли с периодом опроса 1с, несколькими комплектами регистрирующей аппаратуры. Создание и совершенствование в геофизической обсерватории МГУ “Александровка” системы беспроводной передачи результатов измерения вариаций геомагнитного поля Земли обеспечивает возможность помехоподавляющей синхронной обработки магнитотеллурических данных, полученных в различных районах Восточно-Европейской платформы. В течение 2017 г. коллективом авторов выполнялась работа по разработке методов анализа данных геофизического мониторинга. В том числе, способов учета метеорологических факторов на результаты наблюдений.

#### РАЗДЕЛ 6.

Международные связи сотрудников кафедры геофизических методов исследования земной коры

В 2017 г. сотрудниками кафедры осуществлялись обширные международные связи: 1. проф. Модин И.Н. выезжал в Австрию (г. Вена) для участия в 4-м Международном симпозиуме по геоэлектрическому мониторингу “4th International Workshop on Geoelectrical Monitoring GELMON 2017”. 2. Доц. Пушкарев П.Ю. выезжал в Турцию (г. Диядин) для научной работы по теме: «Рекогносцировка геотермальной зоны на предмет возможностей её исследования геофизическими методами». 3. Сотрудниками кафедры был осуществлен прием иностранных специалистов. Граждане Ирана Бахрами Хосейнали, Шарифи Форуд, Шакери Мохаммадали, Потрос Хосро, Алиари Алиреза и Халилпоур Аболфазл, руководители и сотрудники Совета по вопросам водоснабжения и экологии при вице-президенте Ирана по научным и технологическим вопросам, а также компании ZAPCE (Иран), посетили геологический факультет МГУ 02 февраля 2017 г. На встрече с руководством факультета и заинтересованных кафедр обсуждались вопросы совместных научных исследований, обучения иранских аспирантов и студентов. 4. Граждане Франции Луиз Тома, Алина Моро, Грегуар Фише, Фрэнк Латаллери и Никола Марки, студенты Университета Страсбурга (Франция), приезжали с 24 июня по 30 июля. Они прошли учебную практику по геофизическим методам в Калужской области. 5. Гражданка Казахстана Балгайша Гафуровна Муканова, д.ф.-м.н., сотрудница Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилёва (Казахстан), посетила МГУ в апреле. Обсуждались вопросы совместных исследований по моделированию элек-

трического поля над сложными геоэлектрическими разрезами с неровным рельефом поверхности земли. По результатам работы были подготовлены совместный доклад для конференции Near Surface 2017 (Швеция, г. Мале) и совместная монография для издательства Springer (Balgaisha G. Mukanova, Igor N. Modin "Applications of the boundary elements method to geoelectrical survey problems"). 6. Граждане Казахстана Касымжанова Маржан, Кудайбергенова Сабина и Ораз Бауыржан, магистранты Казахского национального технического университета имени К.И. Сатпаева (г. Алматы) приезжали на стажировку с 20 по 31 марта. 7. В июне 2017 г. Гульзады Кубашевна Умирова (Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, геологический институт, кафедра геофизики) защитила работу, представленную на соискание ученой степени доктора Ph.D. по направлению 6D070600 – "Геология и разведка месторождений полезных ископаемых", на тему "Выделение геоэлектрических неоднородностей в образованиях осадочного чехла в пределах блока Каратон-Саркамыс на основе технологии магнитотеллурических зондирований (МТЗ)". Соруководитель работы - проф. И.Н. Модин. В сентябре 2017 г. диссертация была утверждена в ВАК Казахстана.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты научно-исследовательской работы сотрудников кафедры геофизических методов исследования земной коры можно сформулировать следующим образом: 1. В лаборатории гравиразведки проведена объемная реконструкция тектонических элементов Енисей-Хатангской рифтовой системы по результатам комплексной геолого-геофизической интерпретации. Выполнено изучение строения коры и тектоносферы подводных поднятий южной части Индийского океана по геофизическим данным. Проанализированы временные вариации гравитационного поля, зарегистрированные спутниковой миссией GRACE над Аляскинской зоной субдукции. 2. Сотрудники лаборатории магниторазведки проводили исследования по разработке комплекса геофизических методов для изучения загрязненных почвенных разрезов. Выполнен лабораторный эксперимент по изучению электрических и магнитных свойств почвенных образцов. Другое направление деятельности – интерпретация данных потенциальных полей Северного Приладожья с использованием технология «КОСКАД 3D», предназначенной для обработки и интерпретации геолого-геофизической информации, организованной в одномерные, двухмерные и трехмерные регулярные сети, на основе вероятностно-статистического подхода. 3. Создание и совершенствование в геофизической обсерватории МГУ «Александровка» системы беспроводной передачи результатов измерения вариаций геомагнитного поля Земли обеспечивает возможность помехоподавляющей синхронной обработки магнитотеллурических данных, полученных в различных районах Восточно-Европейской платформы. 4. В лаборатории геоэлектрики выполнен обзор современного состояния методов электромагнитного зондирования земной коры, сформулирована методика анализа и интерпретации электромагнитных данных. Проведено обобщение результатов глубинных геоэлектрических исследований консолидированной земной коры и верхней мантии, а также результатов применения разведочной и малоглубинной геоэлектрики при поиске и разведке месторождений нефти и газа, рудных месторождений, при геотермальных и инженерно-гидрогеологических исследованиях. Также осуществлена разработка методики разделения приповерхностных аномалий вызванной поляризации разного типа на основе анализа частотных характеристик, полученных по данным метода СВП. 5. В лаборатории малоглубинной электроразведки осуществлен электрический мониторинг изменений удельного электрического сопротивления грунтов с помощью новой электроразведочной станции СЭМ-1 в районе г. Волоколамска. Проведены работы методом электрической томографии для поиска погребенных карстовых зон при проектировании линейных сооружений. Осуществлялось развитие технологии электротомографии с использованием многосегментных измерений. Выполнены работы по изучению тектонических нарушений в Южной Якутии с помощью электрической томографии. 6. В 2017 г. успешно прошла защита докторской диссертации доцента Пушкарева П.Ю. Тема диссертации – «Интерпретация низкочастотных электромагнитных зондирований неоднородных сред применительно к решению геологических задач». Также успешно прошла защита кандидатской диссертации аспирантки Соловьевой А.В. на тему: «Применение метода вызванной поляризации при изучении природы слабомагнитных объектов» (научный руководитель – проф. Куликов В.А.). 7. По результатам на-

учных исследований сотрудниками кафедры геофизических методов исследования земной коры написаны и изданы: 7 учебных пособий, 18 научных статей в журналах (из них – в российских журналах – 14, в РФ журналах из списка РИНЦ -13, в иностранных журналах – 4, из них в изданиях из списков RSCI WoS – 7, WoS или Scopus – 3). Опубликовано 18 статей в сборниках и 14 тезисов докладов, сделано 45 докладов на конференциях различного уровня. Выполнены научно-исследовательские работы по 8 хоздоговорам и 1 гранту РФФИ. Объем дополнительного финансирования составил 8752 т.р. Сотрудники подразделения организовали или приняли участие в организации 8 конференций различного уровня. Иностранные специалисты прошли стажировку в подразделении: 5 человек – из Франции, 3 – из Казахстана. 6 сотрудников кафедры являются членами зарубежных научных сообществ, 10 – членами редколлегий реферируемых журналов. Сотрудниками и аспирантами кафедры защищены 1 докторская и 1 кандидатская диссертации, под руководством сотрудников кафедры защищены 1 докторская и 2 кандидатских диссертации.

ПРИЛОЖЕНИЕ А  
Объем финансирования темы в 2017 году  
Таблица А.1

| Источник финанси-<br>рования  | Объем (руб.) |                             |
|---|--------------|-----------------------------|
|   | Получено     | Освоено собственными силами |
| Денежные сред-<br>ства в виде субси-<br>дии на выполнение<br>фундаментальных<br>научных исследо-<br>ваний в соответ-<br>ствии с госзадани-<br>ем МГУ, часть 2 (р.<br>01 10) | 4 239 000,0  | 4 239 000,0                 |