



РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

СЕРГЕЕВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Выпуск 4



ББК 26.323

С 32

УДК 624.131: 551.3.

**Сергеевские чтения. Выпуск 4 / Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (Москва, 21–22 марта 2002) – М.: ГЕОС, 2002. – 614 с.
ISBN 5-89118-249-1**

В сборнике опубликованы доклады, представленные на конференцию «Сергеевские чтения» памяти академика Е.М. Сергеева (г. Москва, 21–22 марта 2002). Обсуждение современных проблем геоэкологии, инженерной геологии, геокриологии и гидрогеологии проходило по следующим секциям: грунтоведение, механика и техническая мелиорация грунтов, природные и техноприродные геологические процессы и явления, геоэкологические и инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий и промышленных комплексов, загрязнение геологической среды, геоэкологические проблемы в гидрогеологии, геоэкологические проблемы криолитозоны, развитие методологии и методов исследований.

Sergeevskie chteniya. Vol. 4 / Proceedings of the annual session of Scientific council RAS on environmental geoscience, engineering geology, and hydrogeology (Moscow, March 21–22, 2002) – Moscow: GEOS, 2002. – 614 p.

This publication covers the articles submitted to the conference "Sergeevskie chteniya" in commemoration of academician E.M. Sergeev (Moscow, March 21–22, 2002). The discussion of the acute problems in environmental geoscience was organized under the following topics: soil and rock engineering, mechanics, and improvement methods; natural and human-induced geological processes; geoenvironmental and engineering geological problems in urban areas and industrial complexes; geoenvironment contamination; geoenvironmental problems in hydrogeology; geoenvironmental problems in the permafrost zone, and the development of research methods and techniques.

Редакционная коллегия:

В.И.Осипов (ответственный редактор), В.П.Зверев (зам. отв. редактора),
О.Н.Еремина (ответственный секретарь), А.Л. Рагозин, Н.А. Румянцева,
В.М. Кутепов

Издание осуществлено при финансовой поддержке:

НПЦ «Карст» (г. Дзержинск),

Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 02-05-740112).

ISBN 5-89118-249-1

©Научный совет РАН по проблемам
геоэкологии, инженерной геологии
и гидрогеологии. 2002
©ГЕОС. 2002

Мы уже коснулись особенностей использования коэффициента потенциальной просадочной устойчивости (по $e_{\text{пту}}$). Анализ его значений по таблице 2 показывает, что он изменяется от 0,70 до 1,03. В непросадочных грунтах он близок к 1,0. Это в определенной мере подтверждает правильность нашего подхода и позволяет использовать классификацию [1], определив категорию устойчивости геологической среды по потенциальной просадочности как среднюю для всех просадочных ИГЭ, как формально высокую для ИГЭ-4а, хотя он непросадочен изначально (см. табл. 1) и его, как и ИГЭ-5а, следует отнести к категории сверхустойчивой среды по потенциальной просадочности.

Коэффициент устойчивости по показателю степени влажности к категории сверхустойчивой среды позволяет отнести ИГЭ-5а, к высокоустойчивой – ИГЭ-2б и 4в, остальные – к среднеустойчивой.

Наиболее чувствительным к изменениям оказался модуль деформации, по которому лёссовая геологическая среда среднеустойчива и даже близка к низкоустойчивой (ИГЭ-2). Это лишний раз подчеркивает, что увеличение влажности, даже небольшое, приводит к существенному изменению типа контактов в лёссах: переходных контактов в коагуляционные [4].

Литература

1. Королёв В.А. Мониторинг геологической среды. М.: Изд-во МГУ, 1995. 272 с.
2. Коробкин В.И. Инженерно-геозкологические проблемы строительства на урбанизированных лёссовых территориях. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геозкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М.: ГЕОС, 2001. С. 224–227.
3. Коробкин В.И., Воляник Н.В. Некоторые теоретические представления о трансформации свойств и состояния просадочных лёссовых пород при обводнении. Труды международной конф. «Теоретические основы инженерной геологии». М.: Изд-во МГУ, 1999. С. 57–58.
4. Осипов В.И. Природа прочности и деформационных свойств глинистых пород. М.: Изд-во МГУ, 1979. 235 с.
5. Пахомов С.И., Монюшко А.М. Инженерно-геологические аспекты техногенного изменения свойств глин. М.: Наука, 1988. 120 с.

ВЗАИМОСВЯЗЬ ДИФфуЗИОННЫХ И МИКРОСТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

В.А. Королев, В.Н. Соколов, В.С. Савиновская

Геологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, 119899 Москва, Воробьевы горы,
тел. 939-35-87, e-mail: korolev@geol.msu.ru

Вопросы диффузионного переноса в дисперсных грунтах относительно хорошо освещены в научной литературе, однако проведенный анализ литературных данных позволяет заметить недостаточную изученность диффузионных процессов в связи с микроструктурными характеристиками грунтов. Исследователи отмечают зависимость коэффициента диффузии от сложения грунта [4], от текстурных особенностей и степени литификации, отражающейся в изменении пористости [3], от размеров поровых каналов [5]. Однако существует целый набор микроструктурных параметров, зависимость от которых коэффициента диффу-

зии пока не выяснена. Слабо изучен и характер изменения микроструктуры грунтов под влиянием диффузионного потока. Выяснение же взаимосвязи микроструктурных и диффузионных параметров чрезвычайно важно, например, с целью создания защитных непроницаемых грунтовых экранов, поскольку знание структурных особенностей глинистых грунтов позволило бы без проведения трудоемких опытов прогнозировать их диффузионную проницаемость.

Поэтому целью данной работы было выявление взаимосвязей диффузионных и микроструктурных параметров глинистых грунтов.

Опыты велись на образцах грунтов естественной структуры четвертичного возраста, отобранных на территории города Москвы в районе Крылатское и на улице Садовнической. В качестве диффундирующего агента использовался раствор 2Н концентрации хлористого калия. Исследуемые грунты имеют смешанный тип структурных связей и относятся к среднedisперсным среднеориентированным и крупнодисперсным среднеориентированным [2]; для них характерна средняя степень ориентации структурных элементов и преобладание в поровом пространстве крупных микропор. Данные грунты можно разделить на две группы, отличающиеся особенностями минерального и гранулометрического состава, а также физическими и физико-химическими свойствами.

В целях определения диффузионно-осмотических параметров исследуемых грунтов был выполнен комплекс лабораторных экспериментов в диффузионно-осмотической двухкамерной ячейке [1].

Определение микроструктурных характеристик проводилось с помощью РЭМ, при этом изучались образцы в естественном сложении и после диффузии через них раствора электролита. Исследовались два сечения образца - параллельное и перпендикулярное потоку диффузии. Анализ образцов после диффузии проводился в двух точках - у края, контактировавшего с раствором соли, и края, отдаленного от него.

Коэффициент извилистости, зависящий от размера, формы и взаимной ориентации структурных элементов грунта, определялся экспериментальным методом по электропроводности и с помощью специальной программы «СТИМАН» [5] для количественного анализа микроструктуры по РЭМ-изображениям. Для учета полидисперсности исследуемых грунтов анализ проводился по серии разномасштабных РЭМ-изображений при увеличениях от 250 до 32000 раз.

Кроме экспериментального определения коэффициента диффузии глинистых грунтов, проводился его расчет по формуле:

$$D_n = D_m \chi n,$$

где n - пористость, χ - коэффициент извилистости, D_m - коэффициент молекулярной диффузии.

Для выявления количественных взаимосвязей между диффузионно-осмотическими и микроструктурными характеристиками, а также показателями свойств грунтов был применен статистический анализ, включающий корреляционно-регрессионный и факторный анализ.

Корреляционно-регрессионный анализ применялся для сравнения коэффициентов извилистости, полученных экспериментальным и расчетным путем, выявления оптимального увеличения РЭМ-изображений для корректной оценки коэффициента извилистости, а также для получения зависимости диффузионно-осмотических параметров глинистых грунтов от их микроструктурных, физических и физико-химических характеристик. Для этого использовались программы Excel и TSP.

Целью факторного анализа было выявление взаимосвязи диффузионно-осмотических параметров исследуемых грунтов от комплекса их физических,

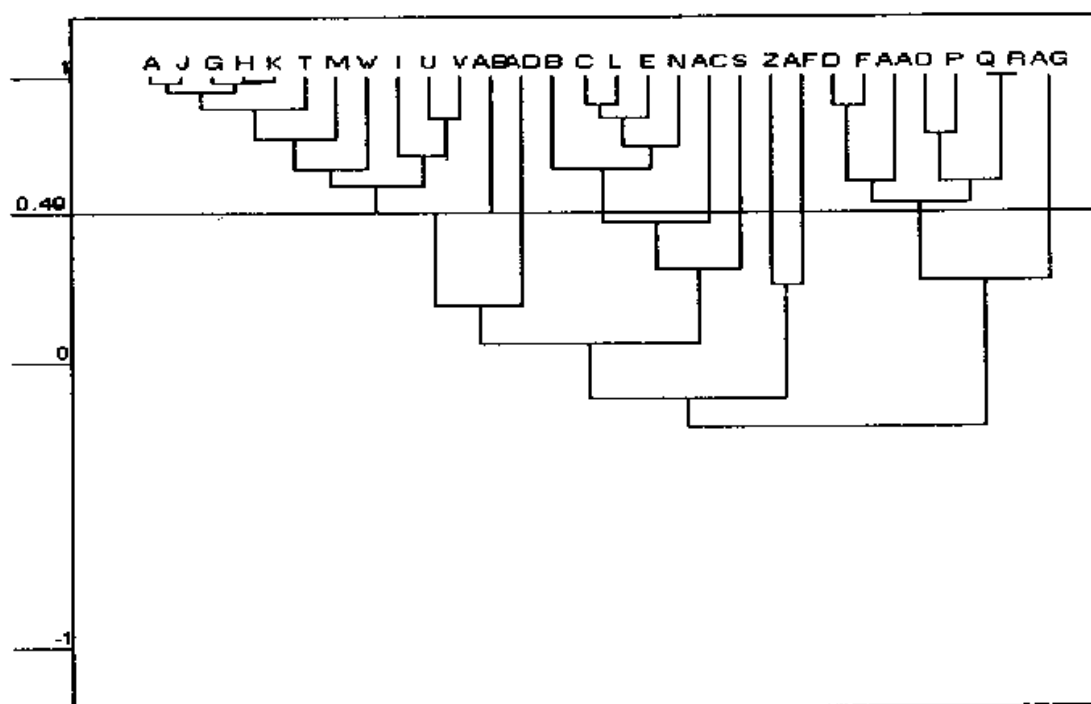


Рис. 1. Корреляционная диаграмма характеристик исследуемых грунтов

По вертикальной оси на диаграмме отложены величины коэффициента корреляции, горизонтальная линия - уровень значимости. Обозначения: А - естественная влажность; В - гигроскопическая влажность; С - максимальная молекулярная влагоемкость; D - плотность грунта; E - плотность твердой компоненты; F - плотность скелета; G - пористость; H - коэффициент пористости; I - степень влажности; J - объемная влажность; K - влажность полной влагоемкости; L - влажность предела текучести; M - влажность предела пластичности; N - число пластичности; O - модуль упругости; P - модуль общей деформации; Q - прочность на одноосное сжатие; R - предел текучести; S - коэффициент осмоса; T - экспериментальный коэффициент извилистости; U - приведенный коэффициент диффузии; V - эффективный коэффициент диффузии; W - влажность после опыта; Z - степень ориентации по ГИС; AA - сумма песчаных фракций; AB - сумма пылеватых фракций; AC - сумма частиц размером менее 0,001 мм; AD - параметр дисперсности; AF - рассчитанный поперек напластования коэффициент извилистости; AG - рассчитанный вдоль напластования коэффициент извилистости.

физико-химических и микроструктурных характеристик (рис. 1). Данный вид анализа был выполнен при помощи программы «Gold-геохимик», разработанной на кафедре геохимии геологического факультета МГУ С.А.Воробьевым. Коэффициент диффузии, коррелируя со степенью влажности, связан с комплексом параметров, включающим в себя влажностные и часть структурных (пористость, коэффициент пористости, коэффициент извилистости экспериментальный) характеристик. Весь указанный комплекс хорошо коррелирует с суммарным содержанием в грунтах пылеватых фракций. Коэффициент осмоса связан с плотностью твердой компоненты и группой влажностных показателей.

Корреляционно-регрессионный анализ показал единственный статистически значимый при уровне значимости $\alpha=0,05$ коэффициент корреляции между экспериментальными и рассчитанными по разномасштабным РЭМ-изображениям коэффициентами извилистости. Наилучшим оказалось увеличение $\times 250$. Величина коэффициента корреляции равна 0,54, что свидетельствует лишь об умеренной связи между оцениваемыми признаками. Таким образом, лучшим оказалось минимальное из использованных увеличений, поскольку при нем в исследуемом участке оказывается наибольшее количество поровых каналов, что позволяет повысить точность расчета.

Полученные при оптимальном увеличении коэффициенты извилистости дали

возможность рассчитать коэффициенты диффузии. Корреляционно-регрессионный анализ рассчитанных и экспериментально полученных коэффициентов диффузии позволил найти связывающее их уравнение:

$$D_{\text{эф}} = -3,08 \cdot 10^{-6} + 49,91 \cdot D; r = 0,69,$$

где r – коэффициент корреляции, $D_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент диффузии, определенный экспериментально; D – рассчитанный коэффициент диффузии.

В ходе работы была оценена парная корреляция всех показателей свойств грунтов с диффузионными параметрами (табл. 1).

Таблица 1. Корреляционная зависимость диффузионных параметров и показателей свойств исследуемых грунтов

Оцениваемые показатели свойств	Коэффициент парной корреляции, r
естеств. влажность	0,72*
влажность макс. молек. вл.	0,57
плотность твердой комп.	0,68
плотность скелета	-0,61
пористость	0,66
коэфф. пористости	0,64
степень влажности	0,79
объем. влажность	0,78
предел текучести	0,61
предел пластичности	0,67
прочность на одноос. сжатие	-0,52
коэфф. извилистости эксперим.	0,63
сумма пыли	0,68

Примечание: * жирным курсивом выделены статистически значимые на уровне значимости $\alpha=0,02$ коэффициенты парной корреляции.

Эффективный коэффициент диффузии весьма тесно коррелирует практически со всеми физическими и физико-химическими характеристиками грунтов. Однако его зависимость от показателей микроструктуры не менее значительна. Среди структурных показателей более всего коррелируют с коэффициентом диффузии величины пористости ($r=0,66$) и экспериментального коэффициента извилистости ($r=0,63$). Зависимость прямая, поскольку с увеличением пористости и уменьшением извилистости порового пространства диффузионная проницаемость возрастает. Высокая корреляция коэффициента диффузии и суммарного содержания пылеватых частиц (прямая зависимость), а также суммарного содержания песчаных фракций (обратная зависимость) объясняется уменьшением роли диффузионного переноса и увеличением роли фильтрационного переноса с уменьшением дисперсности грунтов.

Величины рассчитанных коэффициентов извилистости в целом уменьшаются в образцах после диффузии и по направлению диффузионного потока, что свидетельствует об уменьшении степени ориентированности микроструктуры грунтов в результате диффузии.

Пористость образцов в результате диффузии через них раствора соли уменьшилась. В структуре порового пространства грунтов после диффузии исчезли наиболее крупные микропоры. Повысился до 30–40% вклад в общую пористость мелких микропор с размерами порядка 10 мкм. Доля ультрамикропор размером менее 0,1 мкм невелика и редко превышает 5% около контакта с солью и 3% - у неконтактировавшего с солью края. Вклад ультрамикропор увеличивается по направлению диффузионного потока за счет выпадения микрокристаллов соли.

Степень изометричности пор в поровом пространстве, характеризуемая коэффициентом формы пор, выше в грунтах после диффузии соли. Изометричность

наиболее мелких ультрамикропор возрастает по направлению диффузионного потока. Степень изометричности микропор грунтов после диффузии не зависит от близости контакта с раствором соли.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Наибольшее влияние на параметры диффузии в грунтах оказывают такие показатели микроструктуры как коэффициент извилистости и пористость.

2. Оптимальным увеличением РЭМ-изображений для оценки коэффициентов извилистости и диффузионных параметров глинистых грунтов является 250 кратное.

3. Получено корреляционно-регрессионное уравнение взаимосвязи расчетных и экспериментально определяемых величин коэффициентов диффузии; оно позволяет без проведения трудоемких опытов оценивать диффузионную проницаемость глинистых грунтов по РЭМ-изображениям.

Литература

1. Галкин А.Н., Королев В.А. Методика исследований диффузии солей в глинистых породах // Проблемы инженерной и экологической геологии. Тезисы докладов конференции, М., МГУ, 1998, с. 13.
2. Королев В.А., Соколов В.Н., Шлыков В.Г. Исследования фундаментальной взаимосвязи состава, структуры и свойств глинистых грунтов на основе геоинформационных технологий // Известия РАЕН. Секции наук о Земле, 1999, вып. 2.
3. Окнина Н.А. Процессы диффузии и диффузионного выщелачивания солей в глинистых породах / В сб. «Глины, их минералогия, свойства и практическое значение». М., «Наука», 1970, с. 181–185.
4. Приклонский В.А., Окнина Н.А. Диффузионные процессы в глинистых породах и их значение в гидрогеологии и инженерной геологии / В сб. «Проблемы гидрогеологии». М., «Госгеолтехиздат», 1960, с. 330–335.
5. Соколов В.Н., Юрковец Д.И., Разгулина О.В. Определение коэффициента извилистости поровых каналов с помощью компьютерного анализа РЭМ-изображений // Известия РАН. Серия физическая, 1997, т. 61, № 10, с. 1898–1902.

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ ПОРОД МЯЧКОВСКОГО ГОРИЗОНТА СРЕДНЕГО КАРБОНА ПОДМОСКОВЬЯ

**З.А. Кривошеева, Т.А. Комова, М.В. Коптева-Дворникова,
Л.Л. Панасьян**

МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет, Москва 119899, Воробьевы горы,
тел. (095)939-49-15, e-mail: liyli@zmail.ru

Карбонатные породы, являясь одними из самых распространенных и сложных осадочных образований в земной коре, часто становятся объектом инженерно-геологических исследований. Широкий диапазон изменения свойств карбонатов (пористость – от первых до десятков %, прочность – от нескольких до сотен МПа) предполагает обусловленность этого явления петрогенетическими особенностями пород, что определяет актуальность проблемы изучения связи формирования свойств пород с их геологической историей.