Трофимов В.Т., Королёв В.А.

МГУ им. М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра инженерной и экологической геологии, г. Москва, trofimov@rector.msu.ru, va-korolev@bk.ru

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ПРАКТИКУМОВ ПО ГРУНТОВЕДЕНИЮ – ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ЗАДАЧА УЛУЧШЕНИЯ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕР-ГЕОЛОГОВ В ВУЗАХ РОССИИ

Введение

В подготовке кадров инженер-геологов в вузах значительное место уделяется практическому освоению различных методов лабораторных и полевых исследований грунтов, применяемых как в ходе инженерно-геологических изысканий, так и в ходе инженерно-геологических исследований. Для этих целей в программах учебных курсов предусмотрены и практические лабораторные работы, и полевые практики [15]. Не затрагивая вопрос о практиках, который, безусловно, является важным самостоятельным вопросом обучения, рассмотрим некоторые актуальные проблемы, связанные именно с практическими лабораторными работами по грунтоведению и механике грунтов.

Современное состояние проблемы

Уровень подготовки инженер-геологов в значительной степени зависит от оснащенности практикумов современным лабораторным оборудованием и обучения студентов новейшим методам исследования грунтов.

В крупнейших зарубежных вузах (США, Великобритании, Германии, Франции, Италии, Канады, Японии, а в последнее время и Китая), где в настоящее время ведется подготовка инженер-геологов, лабораторная база находится на высоком уровне и студенты обучаются всем новейшим методам исследования грунтов и работе на инновационном оборудовании. Это позволяет данным вузам готовить специалистов высокого мирового уровня и привлекать абитуриентов из различных стран.

Лабораторная база этих вузов постоянно обновляется и совершенствуется. Важнейшими ***мировыми тенденциями*** эволюционного развития этой базы, которые имеют важное значение и для России, являются:

1. внедрение автоматизированных устройств и новейших приборов для оценки состава, строения и свойств грунтов;
2. расширение спектра методов для изучения различных свойств грунтов, которые ранее не представляли инженерно-геологического интереса;
3. широкое использование компьютерных средств обработки получаемых данных на базе большого спектра специальных прикладных программ в области грунтоведения, механики грунтов и тому подобного.

Для совершенствования отечественной лабораторной базы в области инженерной геологии эти тенденции могут служить отправными точками роста и базой для целевого планирования лабораторных работ при подготовке инженер-геологов.

В различных российских вузах, осуществляющих подготовку инженер-геологов (каф. гидрогеологии и инженерной геологии СПбГУ (Горный), каф. гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии Саратовского гос. ун-та, каф. инженерной геологии Пермского гос. национального исследовательского ун-та; каф. общей геологии и гидрогеологии Казанского (Приволжского) федерального ун-та; каф. грунтоведения и инженерной геологии СПбГУ; каф. геологии Тюменского индустриального ун-та; каф. инженерной геологии МГРИ-РГГРУ им. С. Орджоникидзе и др.), уровень оснащенности грунтоведческих лабораторий существенно разный.

Наряду с МГУ им. М.В. Ломоносова необходимо отметить хорошую оснащённость лабораторным оборудованием кафедры гидрогеологии и инженерной геологии Санкт-Петербургского горного университета. Однако, стоит признать, что в большинстве российских вузов оснащённость грунтоведческих лабораторий оставляет желать лучшего. Более того, к сожалению, не все вузы располагают современной лабораторной техникой для грунтоведческих испытаний, а в ряде вузов полностью отсутствуют грунтоведческие лаборатории или лаборатории механики грунтов и, соответственно, отсутствуют практикумы. Последнее вообще не допустимо.

При аттестации и переаттестации вузов, открытии новых специальностей, кафедр и тому подобного одним из требований является наличие соответствующих лабораторий, с помощью которых может осуществляться требуемый уровень обучения студентов по той или иной специальности. Для подготовки инженер-геологов необходимым и обязательным условием является прохождение студентами серии практикумов по грунтоведению, по механике грунтов, по химическому анализу и технической мелиорации грунтов. В ходе этих лабораторных практикумов студенты овладевают основными методами и методиками анализа состава грунтов, их строения, а также различных свойств (химических, физических, физико-химических, физико-механических и др.). Среди этих методов основу, как правило, составляют методы, на которые имеются соответствующие ГОСТы, и которые наиболее широко применяются в ходе инженерно-геологических изысканий. Они дополняются методами и специальных исследований грунтов, которые пока не вошли в ГОСТы, но являются важными для инженерно-геологических исследований.

При этом следует иметь ввиду, что в лабораторные практикумы должны включаться учебные задачи двух типов: 1) задачи, проводимые на относительно простом (порой даже примитивном) оборудовании, позволяющие студенту своими руками получить результаты и «прочувствовать» их; 2) задачи, проводимые на сложном специальном оборудовании. Задачи первого типа позволяют освоить тот или иной метод, понять его принцип, и чем проще применяемое для этого оборудование, тем эффективнее проходит освоение

данного метода. Задачи второго типа позволяют приобрести навыки работы с промышленным инженерно-геологическим оборудованием и сложными, в том числе автоматизированными, установками, необходимые для работы на производстве и в научно-исследовательских организациях. В постановке задач этих типов должна соблюдаться очередность: сначала осваиваются задачи первого типа, затем второго.

Однако на сегодняшний день лишь часть вузов в полной мере реализует указанные практикумы, тогда как в целом ряде из них практикумы сводятся к сокращённой форме или даже заменяются расчётными задачами и тому подобное. В ряде вузов отсутствуют собственные грунтоведческие лаборатории, а прохождение практикумов студентами осуществляется на базе тех или иных производственных организаций, сотрудничающих с вузом.

С одной стороны, такая ситуация укрепляет связь вузов с производством, что, безусловно, является положительным, но с другой стороны эта ситуация усложняет обучение, выполнение курсовых и выпускных работ и самостоятельную исследовательскую работу студентов, которые в этом случае, фактически, имеют лишь ограниченный доступ к необходимому лабораторному оборудованию. Поэтому, безусловно, вузы должны обладать собственной лабораторной базой для практикумов. И не просто базой, обеспечивающей необходимый «грунтоведческий минимум», а базой, которая может обеспечить студентов всеми необходимыми в современных условиях новейшими методами исследований состава, строения и свойств грунтов.

Обеспеченность практикумов учебной литературой

Наряду с обеспеченностью в вузах практикумов оборудованием важный вопрос представляет их обеспеченность и соответствующей учебной литературой. Длительное время в вузах СССР в качестве основного учебного пособия по лабораторным работам по грунтоведению и механике грунтов использовалась работа Е.Г. Чаповского [18]. Затем появились учебно-методические пособия [10, 11], в которых излагался более широкий спектр различных лабораторных методов изучения состава и свойств грунтов.

В 1979–1990-е гг. издавалась различная учебно-методическая литература по лабораторному анализу отдельных свойств и характеристик грунтов, включая почвы. Многие книги из этой литературы использовались в вузах для проведения практикумов. Среди них была литература по анализу химических свойств грунтов [1, 2, 12, 14], исследованию химико-минерального состава грунтов [18], изучению физико-химических [3, 16] и физико-механических [6, 9] свойств грунтов.

В 1993 г. на замену учебного пособия Е.Г. Чаповского [18] в МГУ им. М.В.Ломоносова под редакцией В.Т. Трофимова и В.А. Королёва был издан «Практикум по грунтоведению» [13], в котором был собран наиболее полный на тот момент комплекс учебных задач по различным методам изучения химико-

минерального состава, строения и свойств грунтов. По этому пособию обучались студенты МГУ им. М.В.Ломоносова и других вузов более пятнадцати лет.

Важное значение имел выход в 2008 г. учебного пособия В.В. Дмитриева и Л.А. Ярг по методам и качеству лабораторного изучения грунтов [5], в котором наряду с лабораторными методами рассматривались вопросы повышения надежности и качества получаемых данных.

В 2008 г. на базе «Практикума по грунтоведению» [13] в МГУ им. М.В.Ломоносова было подготовлено новое издание – «Лабораторные работы по грунтоведению» [7], вышедшее в издательстве «Высшая школа» также под редакцией В.Т. Трофимова и В.А. Королёва и ставшее 2-м изданием практических работ по грунтоведению. В нем приводились многие новые методы исследований, появившиеся к тому времени и давалась их расширенная характеристика. Оно широко использовалось не только в учебном процессе в вузах, но и в различных производственных и изыскательских организациях при проведении инженерно-геологических изысканий. Важно подчеркнуть, что это пособие было подготовлено в полном соответствии с новым изданием учебника «Грунтоведение» [4].

Несмотря на значительный тираж, данное пособие уже через несколько лет стало библиографической редкостью. Поэтому в настоящее время на кафедре инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова подготовлено новое, 3-е издание этого пособия [8]. Пособие полностью соответствует перечню лабораторных работ по профильной дисциплине «Грунтоведение», входящей в вариативную часть учебного плана подготовки бакалавров по профилям «Гидрогеология, инженерная геология, геокриология» и «Экологическая геология», оно соответствует «Образовательному стандарту», самостоятельно устанавливаемому Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова для реализуемых образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология», а также ФГОС 3+ по направлению подготовки 05.03.01 Геология (уровень бакалавриата).

В новом издании учебного пособия охарактеризованы как общепринятые и апробированные (в том числе регламентируемые ГОСТами и др. нормативными документами), так и новые лабораторные методы изучения состава, состояния, строения и свойств различных грунтов. Работы в нём сгруппированы в три части. В первой из них рассматриваются методы изучения компонентного состава и строения грунтов, во второй описываются методы изучения химических, физико-химических, биотических, физических и физико-механических свойств грунтов, а в третьей – способы обработки результатов лабораторного изучения грунтов, включая статистические, в том числе, с использованием компьютеров. Среди новой аппаратуры в пособии приведены различные отечественные и зарубежные приборы, используемые в практикумах, в том числе автоматизированная система АСИС, широко применяемая в различных изыскательских организациях страны.

В отличие от предыдущего издания пособия [7], в новом, 3-м издании [8] существенно расширен круг лабораторных работ с учетом нового оборудования и появившихся новых методов исследований грунтов. Среди них следует назвать новые методы изучения биотических свойств грунтов, динамических свойств грунтов, изучение строения грунтов с помощью томографии и тому подобное. Кроме того, в пособии учтены новые и обновленные ГОСТы и другие нормативные документы по изучению грунтов, появившиеся в России за последние десять лет, в том числе в связи с актуализацией и обновлением ранее действовавших ГОСТов. Наиболее важные таблицы и классификации ГОСТов приведены в Приложении пособия.

Описание всех лабораторных работ в пособии даётся по единому плану: в начале приводится характеристика того или иного свойства (изучаемого показателя), затем – методы, используемые для изучения данного свойства, необходимое оборудование и аппаратура для проведения исследований и затем – последовательность проведения испытаний и порядок обработки получаемых результатов. В конце большинства работ рекомендована форма журнала или отчета по работе с соответствующим примером.

Необходимо отметить, что в 2015 г. также в МГУ им. М.В.Ломоносова вышло учебное пособие Ю.В. Фроловой по методам лабораторного изучения скальных грунтов [17], которое, по сути, стало первым изданием подобного рода, посвящённым скальным грунтам.

Таким образом, с выходом в 2017 г. нового издания пособия по лабораторным работам по грунтоведению появляется возможность дальнейшего совершенствования преподавания практических занятий по грунтоведению и механике грунтов. Ниже приводится характеристика практических работ, реализуемых на кафедре инженерной и экологической геологии МГУ им. М.В.Ломоносова, которая может быть полезной и для развития лабораторной базы других вузов при подготовке инженер-геологов. Следует отметить, что существенное обновление лабораторной базы кафедры в последние годы в значительной степени было реализовано за счет средств «Программы развития федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» до 2020 года», а также спонсорской поддержки ряда инженерно-геологических организаций (ООО «Геолоджикс», ООО «Петро Моделинг» и др.).

Лабораторные работы по грунтоведению

Методы изучения состава компонентов грунтов. Изучение грунтов должно начинаться с определения их химико-минерального состава. К сожалению, в ходе инженерных изысканий этот вид анализа не регламентируется нормативными документами в качестве обязательного и используется лишь в специальных случаях. Поэтому при инженерных изысканиях часто не обращается внимания на химико-минеральный состав

грунтов, что в ряде случаев приводит к нежелательным последствиям и ошибочным выводам.

В рамках химического анализа грунтов рекомендуется обучать студентов следующим практическим работам:

1. Приготовление водной вытяжки. Потенциометрическое определение pH водной вытяжки. Определение карбонатов и бикарбонатов в вытяжке методом кислотно-основного титрования.

2. Потенциометрическое определение Eh водной вытяжки.

3. Определение содержания хлорид-иона аргентометрическим методом по Мору. Определение сухого остатка весовым способом.

4. Определение содержания кальция и магния комплексонометрическим методом.

5. Определение содержания сульфатов гравиметрическим методом.

6. Определение содержания натрия и калия методом пламенной фотометрии.

7. Определение ёмкости катионного обмена по методу Антипова-Каратаева.

8. Определение содержания органического вещества методом мокрого сжигания по Тюрину.

9. Экспресс-определение карбонатов кислотно-основным титрованием по В.Е. Соколовичу.

11. Определение содержания тяжелых металлов в грунте рентгено-флюоресцентным методом.

12. Определение содержания тяжелых металлов в водной вытяжке атомно-адсорбционным методом.

Изучение химико-минерального состава твердого компонента грунта проводится прежде всего при исследовании содержания и состава в нём водорастворимых солей. Для этого студенты обучаются приготовлению водной вытяжки из грунта (по ГОСТ 26423-85) с анализом pH, содержания хлорид-, сульфат-ионов, ионов натрия, калия, кальция, магния, плотного остатка и последующим стандартным оформлением полученных результатов.

Для оценки засоленности грунтов студенты учатся определять содержание в них карбонатов, гипса и карбонатов из одной навески, а также подвижной кремнекислоты методом К.К. Гедройца и несиликатных аморфных форм полуторных окислов по Тамму. Определение общего содержания органического вещества студенты осваивают по методу мокрого сжигания (по ГОСТ 23740-79).

Определение валовых форм элементов в грунтах проводится спектроскопическим методом с помощью рентгенофлюорисцентного спектрографа «СПЕКТРОСКАН MAX-GV», позволяющего анализировать содержание широкого спектра макро- и микроэлементов в твердой фазе грунтов. Кроме того, определение химико-элементного состава отдельных твердых компонентов грунтов студенты изучают и микрозондовым методом с помощью электронного микроскопа LEO 1450VP высокого разрешения с микрозондом – энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 300. Кроме того, для

аналитических исследований поровых растворов и грунтов на кафедре используются: атомно-абсорбционный спектрометр ААС Квант-ZЭТА; пламенный фотометр ПФА 378, спектрофотометры ЮНИКО 2100; концентратомер КН-2м с экстрактором ЭЛ-1, кондуктометры WTW CONDI 3151, а также COM80 и MM34-04; стационарный кондуктометр WTW InoLab Cond 740; оксиметры WTW Oxi 315/SET ЭКОТЕСТ-120-ХПК-АВТОМАТ и ЭКОТЕСТ-2000-БПК; pH-метры и Eh-метры разных типов; а также микроволновая система пробоподготовки МС-6.

Большое значение придается установлению минерального состава твердого компонента грунта. Для этого студентов обучают изучению грунтов в шлифах под оптическим микроскопом. Детальное определение минерального состава проводится с помощью метода рентгеновской дифрактометрии. Для этого студенты выполняют учебные задачи на базе современных автоматизированных дифрактометров типа Ultima IV производства японской фирмы Rigaki. Кроме того, определение минерального состава грунтов студенты учатся выполнять и термическим методом на базе дериватографа типа Q-1500 D и термической установки «Термоскан-2» производства ООО «Аналитприбор». Данный вид анализа особенно важен для оценки состава аморфных минералов или иных твердых компонентов, находящихся в грунте в аморфной фазе.

Большое внимание уделяется методам изучения состава глинистых минералов грунтов. Для этого студенты обучаются выполнению анализа с помощью рентгеновской дифрактометрии, расшифровке дифрактограмм и интерпретации полученных результатов. Наряду с этим они проводят определение состава глинистых минералов грунтов электронно-микроскопическим методом, основанным на анализе морфологических особенностей их частиц.

Студенты обучаются различным методам оценки содержания и состава жидкого компонента грунтов, от которого существенно зависят многие их свойства. Для этого прежде всего изучаются методы количественной оценки содержания этого компонента: определение влажности грунтов весовым способом (по ГОСТ 5180-84) и с помощью влагомера-плотномера Н.П. Ковалёва, определение содержания связанной воды гигрометрическим способом.

Наряду с этим студенты осваивают определение влажности «максимальной молекулярной влагоемкости» грунтов методом влагоемких сред (по А.Ф. Лебедеву), нижнего предела пластичности методом раскатывания в шнур (по ГОСТ 5180-84), верхнего предела пластичности методом балансирного конуса (по ГОСТ 5180-84), а также полной влагоемкости ненабухающих грунтов. В последнее время все большее распространение получают автоматизированные приборы для определения границы пластичности методом раскатывания (рис. 1). Кроме того, выпускаются автоматизированные пенетрометры, пригодные для определения пластических свойств дисперсных грунтов (рис. 2).

Рис. 1. Автоматизированный прибор для определения границы пластичности методом раскатывания фирмы Wille Geotechnik

Рис. 2. Автоматизированный конусный пенетрометр фирмы ELE International

Изучение химического состава жидкого компонента студенты осваивают с целью оценки его влияния на состояние и свойства грунтов. Для этого они обучаются методам извлечения порового раствора и анализа его состава. Наиболее детальный анализ порового раствора грунта выполняется при определении содержащихся в нем подвижных форм элементов с помощью атомного адсорбера. На кафедре имеется установка марки «ААС Квант Z ЭТА», позволяющая проводить высокоточные определения состава растворов. Кроме того, для анализа состава растворов используются различного типа колориметры и спектрофотометры (рис. 3).

Рис. 3. Спектрофотометр типа DR 2800

Студентов обучают и не менее важным методам изучения газообразных компонентов, содержащихся в порах и трещинах грунтов.

В последнее время все бóльшее внимание при инженерно-геологических исследованиях и инженерных изысканиях уделяется изучению биотической (живой) составляющей грунтов. В этой связи студентов обучают специальному набору методов определения количественного содержания микроорганизмов в грунтах, биологической активности грунтов по газовыделению, характеристик их ферментативной активности, характеристик их микробного токсикоза. Так для определения биологического потребления кислорода (ХПК) применяют различные термореакторы (рис. 4).

В итоге студенты осваивают достаточно полный набор современных методов исследования химико-минерального состава грунтов, состава и содержания в них жидких и газовых компонентов, а также биотической составляющей.

Рис. 4. Термореактор для определения ХПК типа LT 200

Методы изучения строения грунтов. Ниже приведен перечень лабораторных работ по изучению строения грунтов.

1. Определение гранулометрического состава песчаных грунтов ситовым методом.
2. Определение гранулометрического и микроагрегатного составов глинистых грунтов пипеточным и ареометрическим методами.
3. Определение гранулометрического состава глинистых грунтов ареометрическим методом по ГОСТ 12536-79.
4. Определение микроагрегатного состава грунтов.
5. Изучение и описание макростроения грунтов в образце.
6. Изучение и описание микростроения грунтов в шлифах.
7. Определение параметров трещиноватости скальных грунтов.
8. Определение морфологических особенностей крупнообломочной и песчаной фракций грунтов.
9. Определение параметров микростроения дисперсных грунтов с помощью растрового электронного микроскопа.
10. Определение параметров строения грунтов с помощью рентгеновского компьютерного томографа.
11. Определение величины удельной поверхности тонкодисперсных грунтов адсорбционным способом.

Для изучения строения грунтов используются различные методы оценки их структурных и текстурных особенностей, включая определение гранулометрического и микроагрегатного состава, морфологических особенностей частиц и структурных элементов, структурных связей, типов контактов и др. Изучение размера и количественного содержания элементов твердого компонента студенты осваивают путем определения

гранулометрического состава песчаных грунтов ситовым методом и глинистых грунтов пипеточным и ареометрическим методами, а также микроагрегатного состава грунтов. В последнее время все большее распространение получают лазерные анализаторы размера частиц, применяемые для гранулометрического анализа (рис. 5, 6). На кафедре используется приборный комплекс по определению заряда и размера частиц – лазерный анализатор типа ПР107 HoribaSZ100.

Рис. 5. Лазерный анализатор размера и гранулометрического состава типа Malvern Master-ZS

Рис. 6. Лазерный анализатор размера и гранулометрического состава типа Malvern Nano-ZS

Методы оценки структуры и текстуры грунтов студенты начинают осваивать с описания их макростроения в образцах, затем знакомятся с

изучением и описанием их микростроения в шлифах, с определением количественных параметров трещиноватости скальных грунтов.

Изучение морфологических особенностей крупнообломочной и песчаной фракций грунтов проводится на базе автоматизированного анализатора изображений с помощью специальных компьютерных программ и технологий. Определение параметров микростроения дисперсных грунтов студенты осваивают с помощью растрового электронного микроскопа типа LEO 1450 VP (Германия). 3D-параметры строения грунтов студенты определяют с помощью комплекса для анализа пространственной структуры образцов горных пород с высоким разрешением – 3D сканера Yamato TDM1000, производства Yamato Scientific Co., Ltd., Япония, позволяющего изучать образцы различного размера. Кроме того, для микроструктурных исследований студенты на кафедре используют микроскопы МИН-9, стереоскопический микроскоп МБС-12, бинокулярные лупы.

В итоге использование на лабораторных занятиях перечисленного комплекса методов позволяет научить будущих инженер-геологов всем современным способам анализа строения грунтов, в том числе и применяемым при инженерных изысканиях.

Методы изучения химических и физических свойств грунтов. Изучение химических свойств грунтов важно для оценки их химической агрессивности и коррозионной активности. Поэтому студенты практически осваивают методы определения кислотности и щелочности грунтов, их химической агрессивности, а также электрохимического определения их химической коррозионной активности, в том числе в соответствии с действующими нормативными документами.

В ходе практических занятий студенты также осваивают методы изучения физических свойств грунтов, поскольку именно их показатели являются наиболее востребованными при инженерных изысканиях и проектировании и без их определения не обходится ни одно инженерно-геологическое исследование.

Студенты осваивают различные методы определения плотности и пористости грунтов, в том числе: плотности твердых частиц незасоленных и засоленных грунтов пикнометрическим методом (по ГОСТ 5180-15); плотности твердых частиц грунтов с помощью прибора В.Я. Калачёва; плотности грунтов методом режущего кольца (по ГОСТ 5180-15); плотности связных грунтов методом гидростатического взвешивания (по ГОСТ 5180-15); плотности скальных грунтов методом непосредственных измерений; плотности песков при рыхлом и плотном сложении; открытой пористости скальных грунтов методом насыщения; пористости песчаных грунтов методом насыщения. На основе результатов этих определений студенты затем проводят расчёты пористости и иных показателей физических свойств грунтов.

Студенты изучают современные методы оценки показателей гидрофизических свойств грунтов, характеризующих их гидрогеологические особенности. В ходе лабораторных занятий будущие инженер-геологи осваивают методы определения: коэффициента фильтрации песков с помощью

трубок Г.Н. Каменского, «Спецгео», А.В. Ковалёва; коэффициента фильтрации связных грунтов в компрессионно-фильтрационном приборе; коэффициента проницаемости скальных и полускальных грунтов.

Студенты обучаются также методам изучения электрических, теплофизических и магнитных свойств грунтов, многие из которых важны для проведения инженерно-геофизических исследований и иных видов изысканий. В ходе практических занятий они осваивают методы определения теплофизических свойств, магнитной восприимчивости, морозостойкости (по ГОСТ 30629-99) грунтов, удельной электропроводности грунтов и поровых растворов.

В итоге студенты практически осваивают все важнейшие методы определения показателей физических свойств грунтов, применяемые при инженерных изысканиях и научных исследованиях.

Методы изучения физико-химических свойств грунтов. Студенты обучаются также широкому комплексу методов изучения физико-химических свойств грунтов, не менее важных при инженерно-геологических исследованиях и изысканиях.

Среди них большое внимание уделяется методам изучения емкости обмена грунтов: по ГОСТ 17.4.4.01-84; по К.К. Гедройцу для бескарбонатных грунтов; по Пфефферу в модификации Н.И. Беляевой для карбонатных грунтов, по Л.И. Кульчицкому (по адсорбции красителя метиленового голубого). Наряду с этим студенты осваивают определение состава обменных катионов в карбонатных и бескарбонатных (методом К.К. Гедройца) грунтах.

Изучая адсорбционные, диффузионные и электроповерхностные свойства грунтов, студенты осваивают методы определения параметров адсорбции грунтами веществ из растворов, диффузии и осмоса в грунтах, двойного электрического слоя методом поверхностной проводимости, а также методы определения ζ-потенциала и электроосмотического переноса в глинистых грунтах, электрического потенциала тонкодисперсных частиц грунтов методом микроэлектрофореза.

Изучение капиллярных свойств и водопрочности грунтов происходит при освоении методов определения высоты и скорости капиллярного поднятия воды в песчаных грунтах, капиллярных свойств и водоудерживающей способности глинистых грунтов, параметров размокаемости и размягчаемости грунтов, параметров их суффозионной устойчивости.

Будущие инженер-геологи также осваивают методы определения параметров набухаемости (по ГОСТ 24143-80), усадочности, липкости (на приборах конструкции В.Я. Калачёва) грунтов.

Итогом является освоение студентами современных методов оценки всего многообразия физико-химических свойств грунтов, необходимых при инженерно-геологических исследованиях и изысканиях.

Лабораторные работы по механике грунтов

Методам изучения физико-механических свойств грунтов, которые занимают одно из важных мест при инженерно-геологических исследованиях и изысканиях как с практической, так и с теоретической точки зрения, на кафедре уделяется повышенное внимание.

В ходе практических занятий студентами осваивается широкий набор методов изучения физико-механических свойств дисперсных и скальных грунтов. Эти занятия на кафедре грунтоведения и инженерной геологии МГУ им. М.В. Ломоносова проходят в трёх лабораториях: механики грунтов, скальных грунтов и динамических свойств грунтов.

Ниже приведен перечень лабораторных работ по механике грунтов, выполняемых студентами в ходе практикумов.

1. Определение характеристик деформируемости грунтов методом компрессионного сжатия.
2. Определение параметров просадочности грунтов методом одной кривой (по ГОСТ 23161-2012).
3. Определение параметров просадочности грунтов методом двух кривых (по ГОСТ 23161-2012).
4. Определение деформационных характеристик грунтов при статическом одноосном сжатии.
5. Определение прочности при одноосном сжатии.
6. Определение прочности скальных грунтов на разрыв.
7. Определение прочности грунтов методом плоскостного среза.
8. Определение прочности на сдвиг с помощью микрокрыльчатки.
9. Определение угла внутреннего трения песков по углу естественного откоса.
10. Определение пластической прочности грунтов методом погружения конуса.
11. Определение трещиностойкости скальных грунтов.
12. Определение прочности дисперсных грунтов при трехосном сжатии.
13. Определение прочности скальных грунтов при трёхосном сжатии.
14. Определение параметров консолидации (объёмной ползучести) грунтов.
15. Определение параметров ползучести грунтов при сдвиге.
16. Определение коэффициента вязкости пластичных грунтов методом погружения шарика.
17. Определение деформационных характеристик грунтов по скорости распространения упругих волн.
18. Определение показателей динамических (квазитиксотропных) свойств глинистых грунтов на вибростенде.
19. Определение показателей динамических (квазитиксотропных) свойств глинистых грунтов методом вибрирующего индентора.

20. Определение динамической устойчивости грунтов методом динамического трехосного сжатия.

21. Определение динамического модуля сдвига и коэффициента поглощения дисперсных грунтов методом малоамплитудных динамических испытаний на резонансной колонке.

22. Определение динамических характеристик дисперсных грунтов методом динамического крутильного сдвига.

23. Оценка сейсмической разжижаемости песчаных грунтов методом динамического трехосного сжатия.

24. Определение деформационных свойств глинистых грунтов в условиях трехосного сжатия с использованием локальных датчиков деформации по консолидировано-недренированной схеме.

Для оценки физико-механических свойств дисперсных грунтов на кафедре применяются: компрессионные и сдвиговые приборы, разработанные институтом «Гидропроект» и ЦНИИ МПС, а также автоматизированная система для испытаний грунтов (АСИС) производства ООО «НПП «Геотек»; прибор для неразрушающего контроля УД-70; динамический прибор трехосного сжатия (динамический стабилометр); автоматическая установка трехосного сжатия, оснащенная системой неразрушающего контроля свойств грунтов на основе пьезоэлектрических изгибных элементов типа «бендер»; резонансная колонка ТСН-100 и др.

В последнее время появилось различное новое зарубежное оборудование для реологических испытаний грунтов (рис. 7, 8), позволяющее определять напряжение сдвига грунтов при различных скоростях деформирования, при наложении вибрации, а также оценивать динамическую вязкость грунтов.

Рис. 7. Ротационный реометр фирмы KINEXUS

Рис. 8. Вибрационный вискозиметр типа SV-10

Лабораторные работы по технической мелиорации грунтов

В рамках дисциплины «Техническая мелиорация грунтов» студентами изучаются теоретические принципы и основные технологические приемы целенаправленного улучшения состава, физического состояния и физико-механических свойств массивов грунтов в инженерно-строительной практике и геотехнике, в том числе, с использованием промышленных отходов.

Теоретическая часть курса дополняется специальным лабораторным практикумом. Ниже приведен перечень практических работ по технической мелиорации грунтов, выполняемых студентами в ходе практикума.

1. Определение оптимальной влажности уплотнения грунтов. Работа направлена на овладение студентами практических навыков изучения показателей уплотняемости дисперсных грунтов.

2. Улучшение грунтов гранулометрическими и химическими добавками. Работа направлена на овладение студентами навыков лабораторных исследований в области поверхностной обработки (стабилизации) грунтов химическими добавками.

3. Характеристика цементо-глинистых растворов. Работа направлена на овладение студентами навыков приготовления суспензионных инъекционных растворов.

4. Газовая силикатизация песчаных грунтов. Работа направлена на овладение студентами навыков лабораторного исследования эффективности обработки грунтов в инъекционной трубке.

5. Однорастворная силикатизация лёссовых грунтов. Работа направлена на овладение студентами навыков лабораторного исследования эффективности обработки грунтов методом капиллярного промачивания.

6. Смолизация песчаных грунтов. Работа направлена на овладение студентами навыков лабораторного исследования эффективности обработки грунтов синтетическими смолами.

7. Электроосмотическое осушение глинистых грунтов. Работа направлена на овладение студентами навыков лабораторного исследования эффективности электрохимической обработки глинистых грунтов.

Заключение

Таким образом, проведенный анализ позволяет заключить, что:

1. совершенствование лабораторной базы для практических занятий студентов, с учетом мировых тенденций ее развития, является важнейшим условием подготовки высококвалифицированных специалистов инженер-геологов;

2. практические занятия должны обеспечиваться соответствующей учебно-методической литературой, учитывающей новые технические средства и нормативные документы;

3. рассмотренный комплекс лабораторных методов исследований состава, строения, состояния и свойств грунтов, методов технической мелиорации грунтов, реализованный на кафедре инженерной и экологической геологии МГУ им. М.В. Ломоносова, является одним из наиболее полных и современных среди используемых в высших учебных заведениях России для подготовки инженер-геологов и может служить примером для других вузов.

Работа выполнена с использованием оборудования, приобретенного за счет средств «Программы развития Московского университета».

Список литературы

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Московского университета, 1970. 487 с.
2. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М., Изд-во Московского университета, 1998. 271 с.
3. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению / Под ред. Н.Ф. Ганжары. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.
4. Грунтоведение // Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-ва Московского университета и «Наука», 2005. 1024 с.
5. Дмитриев В.В., Ярг Л.А. Методы и качество лабораторного изучения грунтов: учебное пособие. М.: КДУ, 2008. 542 с.
6. Зиангиров Р.С., Роот П.Э., Филимонов С.Д. Практикум по механике грунтов. М.: Изд-во Московского университета, 1984. 152 с.
7. Лабораторные работы по грунтоведению / Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королёва. М.: Высш. шк., 2008. 519 с.

8. Лабораторные работы по грунтоведению / Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королёва. М.: Изд-во КДУ, 2017. 605 с.
9. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: учебное пособие для ВУЗов. Л.: Недра, 1990. 328 с.
10. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород: в двух томах. М.: Изд-во Московского университета, 1968. Т. 1. 347 с., Т. 2. 370 с.
11. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород / Под ред. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1984. Т. 1. 423 с., Т. 2. 438 с.
12. Огородникова Е.Н., Комиссарова Н.Н. Химический анализ грунтов. М.: Изд-во Московского университета, 1990. 160 стр.
13. Практикум по грунтоведению / Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королёва. М.: Изд-во Московского университета, 1993. 390 с.
14. Теория и практика химического анализа почв / Под ред. Л.А.Воробьевой. М.: «ГЕОС», 2006. 400 с.
15. Трофимов В.Т., Королёв В.А. Лабораторные и полевые методы исследований грунтов при подготовке инженеров-геологов в МГУ им. М.В. Ломоносова // Инженерные изыскания. 2014. № 5–6. С. 6–12.
16. Физико-химические методы исследования почв / Под ред. Н.Г. Зырина, Д.С. Орлова. М.: Изд-во Московского университета, 1980. 381 с.
17. Фролова Ю.В. Скальные грунты и методы их лабораторного изучения: уч. пособие. М.: Изд-во КДУ, 2015. 222 с.
18. Чаповский Е.Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов. М., 1975. 303 с.
19. Шлыков В.Г. Рентгеновские исследования грунтов: учебное пособие. М.: Изд-во Московского университета, 1991. 130 с.