

DOI 10.53278/2306-9139-2024-1-22-3-8
УДК 624.131.1

К 110-летию со дня рождения академика Е. М. Сергеева

РАЗВИТИЕ ИДЕЙ Е. М. СЕРГЕЕВА В СОВРЕМЕННОМ ГРУНТОВЕДЕНИИ

DEVELOPMENT OF E. M. SERGEEV'S IDEAS IN THE MODERN GROUND STUDIES

© 2024 г. В. А. Королёв
2024 V. A. Korolev

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, геологический факультет,
Ленинские горы, д. 1, ГСП-1, г. Москва, 119991, Россия
Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology,
bld.1, Leninskie Gory, GSP-1, Moscow, 119991, Russia*

va-korolev@bk.ru



Академик Е. М. Сергеев (1914–1997)

Аннотация. В статье рассматривается развитие научных идей, высказанных Е. М. Сергеевым в области грунтоведения в разные годы, и реализуемых к настоящему времени. Показано, что многие научные идеи Е. М. Сергеева не потеряли своей актуальности, нашли свое воплощение или продолжают активно разрабатываться в наши дни.

Abstract. The article examines the development of scientific ideas expressed by E. M. Sergeev in the field of soil science in different years, and being implemented to date. It is shown that many scientific ideas of E. M. Sergeev have not lost their relevance, have found their embodiment or continue to be actively developed at the present time.

Ключевые слова: грунтоведение, генетическое грунтоведение, методология грунтоведения, цифровизация, искусственный интеллект

Keywords: soil science, genetic soil science, soil science methodology, digitalization, artificial intelligence

Введение

23 марта этого года исполнилось сто десять лет со дня рождения академика Евгения Михайловича Сергеева (1914–1997) — выдающегося инженер-геолога, грунтоведа, талантливого педагога и крупного организатора инженерной геологии. Начиная свою научную деятельность как грунтовед, впоследствии Е. М. Сергеев внес огромный вклад в развитие и других научных направлений инженерной геологии — инженерной геодинамики и региональной инженерной геологии. Здесь же остановимся лишь на развитии научных идей Е. М. Сергеева в области грунтоведения — основного научного направления инженерной геологии, посвященного изучению состава, строения, свойств и закономерностей поведения грунтов в связи с инженерной деятельностью человека.

Среди них основными являются идеи Е. М. Сергеева, высказанные в области генетического грунтоведения, исследования грунтов от микро- до макроуровня (массива), изучения компонентов и свойств грунтов, а также теоретического грунтоведения.

Генетическое грунтоведение

Начиная с 40-х годов прошлого столетия, Е. М. Сергеев ставил в области грунтоведения различные задачи практического и теоретического характера [8,9,18–22]. Одной из задач, выдвинутых Е. М. Сергеевым в еще начале 1950-х годов, была реализация идеи о приоритете генезиса грунтов как основного фактора формирования их свойств. В предисловии к «Общему грунтоведению» в 1952 г. он писал, что «Основой настоящей работы является положение о том, что свойства грунтов зависят от их генезиса. В соответствии с этим рассматривается вначале генезис грунтов, затем состав и строение грунтовой толщи, которые формируются в процессе генезиса...» [22, с. 3]. И далее, во Введении к этой работе, он еще раз подчеркивает, что «В основе этого изучения [грунтов] должен лежать основной принцип советского грунтоведения — принцип, намеченный уже в работах гениального русского ученого М. В. Ломоносова: «свойства грунтов зависят от их генезиса» [22, с. 17].

В реализацию этой идеи в 1953 г. Е. М. Сергеев одной из основных теоретических задач общего грунтоведения считал «установление зависимости между различными свойствами типичных грунтов и их генезисом» [17]. Он полагал, что такая зависимость может быть выражена «генетической классификацией грунтов, позволяющей производить предварительную оценку строительных свойств грунтов по их генетическому типу». Последующие исследования, однако, показали, что,

несмотря на наличие зависимости свойств грунтов от их генезиса, подобная классификация не может учесть всего многообразия проявления инженерно-геологических особенностей грунтов, т.к. их происхождение не является единственным фактором формирования свойств.

Развивая эти идеи, Г. К. Бондарик в 1968 г. сформулировал основной закон грунтоведения, (в виде аксиомы теории изменчивости) и предложил назвать его «законом В. А. Приклонского»: «...состав и структура горной породы и физико-механические свойства грунта являются продуктом равнодействующей физических полей, обусловивших ее генезис и последующий литогенез» [1, с. 45]. Следовало бы добавить химические и геохимические поля, влияющие на формирование состава, структуры и свойств грунтов. Позже он несколько изменил формулировку этого закона: «Состав и структура горной породы, физико-механические свойства грунта есть продукт поля равнодействующей физических полей в области петро-, литогенеза» [3, с. 24].

Детальная характеристика петрогенетической обусловленности инженерно-геологических особенностей горных пород была дана Е. М. Сергеевым [21, 23], который более пространно и менее четко формулировал подобный принцип: «Основным положением советского грунтоведения служит тезис о том, что свойства грунтов зависят от их состава, структуры и текстуры... Так как качество грунта, т.е. его состав, структура и текстура, создается в процессе генезиса породы и дальнейшей ее геологической «жизни», то можно основной тезис советского грунтоведения сформулировать так: свойства грунтов зависят от их генезиса — понимая под генезисом не только процесс осадконакопления и превращения осадка в породу, но и совокупность всех дальнейших воздействий (эпигенетических, метаморфических, гипергенетических и др.) на эту породу. Поэтому советское грунтоведение часто называют генетическим грунтоведением. В этом его принципиальная методологическая особенность по сравнению с геотехнической наукой» [21, с. 6–7].

Последнее особенно необходимо подчеркнуть, поскольку и в наше время проявляется увлеченность геотехникой в ущерб генетическому анализу грунтов.

Тем не менее, генетический подход в грунтоведении реализовался в основном методологическом принципе этого направления, о чем уже более определенно Е. М. Сергеев писал в учебнике «Грунтоведение» в 1971 г.: «Генетический подход при изучении грунтов является методологической основой грунтоведения, благодаря которой оно относится

к наукам геологического цикла. Генетическое направление в грунтоведении должно выражаться, в первую очередь, в изучении процессов формирования прочности пород, так как это свойство ... является важнейшим как при строительстве, так и при других видах инженерного воздействия на земную кору» [7, с. 12].

В 5-м издании этого учебника 1983 года методологический принцип дается более расширенно, принимая во внимание то, что свойства грунтов формируются не только в результате их генезиса, но и вследствие постгенетических изменений разного характера с учетом литолого-петрографического состава грунтов.

Развивая далее это методологическое положение, в 6-м издании «Грунтоведения» [6] основной методологический принцип грунтоведения уже был изложен в форме основного закона грунтоведения — закона Приклонского-Сергеева-Ломтадзе¹: *«состав, строение, состояние и свойства грунтов определяются их генезисом, характером постгенетических процессов и современным пространственным (координатным) положением. Подчеркнем, что в данном случае пространственное положение, включая глубину залегания грунта, определяет тепло- и влагообеспеченность объекта, и характер техногенного воздействия»* [6, с.54]. Роль генезиса грунтов в данном законе вытекает из закона унаследованности и обуславливается результатами историко-геологического анализа грунтов.

Таким образом, идеи Е. М. Сергеева о генетическом подходе к оценке свойств грунтов к настоящему времени реализовались в форме основного закона грунтоведения.

Изучение грунтов от микро- до макроуровня (массива)

По Е. М. Сергееву [16], на втором этапе развития грунтоведения ставилась проблема изучения грунтов «от микроуровня до массива, с целью рационального использования геологической среды». В такой постановке основное внимание на том этапе уделялось решению морфологических (а по сути, описательных) задач в области грунтоведения. И это было вполне оправдано в тот период развития грунтоведения, поскольку тогда еще не были широко известны как многие закономерности микростроения различных грунтов (особенно дисперсных), так и их особенностей макростроения, проявляющиеся лишь в массиве. Тем не менее, такая формулировка задач явля-

ется довольно общей, расплывчатой и неконкретной, что затрудняет их решение. По Е. М. Сергееву необходимо было перейти от свойств образца к свойствам грунтовой толщи (массива). Впервые вопросы изучения микроструктуры дисперсных грунтов, особенно глинистых, были поставлены Е. М. Сергеевым еще в 1946 г., когда он разработал одну из первых классификаций типов и видов микроструктур грунтов [19].

В исследовании данной проблемы во второй половине XX века был достигнут огромный прогресс: было выяснено микростроение дисперсных, особенно глинистых, грунтов; разработаны классификации микроструктур и микротекстур грунтов; установлены типы контактов и структурных связей в них и их влияние на свойства грунтов, в том числе были выделены биотические структурные связи в грунтах, которые ранее не выделялись [6]; выявлены инженерно-геологические особенности различных грунтовых толщ (массивов); разработана их типизация и т.п. Многие из этих исследований направлялись и осуществлялись под руководством Е. М. Сергеева [23,24]. В них на кафедре участвовали Г. Г. Ильинская, В. Н. Соколов, В. И. Осипов, Н. А. Румянцева и др. В настоящее время продолжается изучение иерархичности строения грунтов, в том числе с использованием новейших технических средств, включая компьютерную томографию.

Однако для перехода от свойств образца к свойствам грунтового массива наиболее сложным оказался поиск *закона взаимосвязи* различных иерархических уровней грунтов. Стояла задача выявления закономерностей, позволяющих учесть структурные элементы разных масштабных (иерархических) уровней между собой. По сути эта задача сводилась к разработке *теории масштабного эффекта* в грунтах.

Многими авторами подчеркивалась большая роль неоднородности природных горных пород разного масштабного уровня, которые и обуславливали проявление масштабного эффекта [2,4,5,14–16]. Для реализации идеи Е. М. Сергеева о проявлении масштабного эффекта в грунтах было выполнено большое количество работ разными авторами. В итоге были выявлены способы оценки неоднородностей и пространственной изменчивости строения и свойств грунтов.

По своему характеру неоднородность грунтов может быть двух видов: случайно распределенная и закономерно изменяющаяся [4]. Первая обуслов-

¹ В монографии В. А. Королева и В. Т. Трофимова «Инженерная геология: история, методология и номологические основы» [13] этот закон предложено назвать «законом Ломоносова-Приклонского-Сергеева-Ломтадзе»

лена случайными колебаниями условий седиментации и диагенеза отложений, вторая — закономерными пространственными изменениями этих условий.

В. А. Королевым был сформулирован закон пространственной неоднородности грунтов: *грунты на разных масштабных (иерархических) уровнях от минералов до грунтовых массивов характеризуются случайной или закономерной пространственной неоднородностью их состава, структуры и свойств, что обусловлено случайными или закономерными изменениями пространственных условий их формирования* [13, с. 185].

Кроме того, была выполнена теоретическая оценка проявления масштабного эффекта в дисперсных грунтах при инженерно-геологическом изучении различных физических и физико-механических свойств, зависящих от структурной неоднородности грунта [12]. Предложены понятия и новые количественные показатели для оценки масштабного эффекта в дисперсных грунтах по отношению к физическим и физико-механическим свойствам и разработана классификация структурных неоднородностей в этих грунтах, влияющих на проявление в них масштабного эффекта. Также был охарактеризован метод его анализа на основе принципа суперпозиции, и обоснована теоретическая модель учета масштабного эффекта в дисперсных грунтах при инженерно-геологической оценке различных физических и физико-механических свойств.

Изучение компонентов грунтов

Е. М. Сергеев рассматривал грунт как сложную многокомпонентную систему. В этой связи им была поставлена задача исследования закономерностей изменения твердых, жидких и газообразных компонентов в грунтах под влиянием различных факторов. Его многочисленными учениками и другими грунтоведами в 1940–1980-е годы были выполнены исследования компонентного состава как скальных, так и дисперсных грунтов, как природных, так и техногенных грунтов.

В результате этого была разработана теория компонентного состава грунтов, базирующаяся на вспомогательных теориях твердого, жидкого и газового компонентов [13]. Среди последних необходимо отметить теорию (связанной) воды в грунтах и классификацию видов воды, а также теорию анализа компонентного состава грунтов с помощью треугольных диаграмм.

Е. М. Сергеев одним из первых поставил задачу изучения биотической (живой) составляющей грунтов. Хотя почвоведы и микробиологи с конца

ХІХ в. подчеркивали значение живых организмов для формирования свойств почв, в грунтоведение эти идеи долго не проникали. Так, например, в первых четырех изданиях учебников «Грунтоведение» о биотической составляющей грунтов вообще не было речи. Лишь в 5-м издании 1983 года в учебнике появился раздел «Живая компонента грунта».

За прошедшие с этого момента почти сорок лет многое кардинально изменилось, подтвердив верность идей Е. М. Сергеева о роли биотической составляющей в грунтах. Были выполнены многочисленные исследования в этой области И. Н. Болотиной, Р. Э. Дашко, Г. А. Заварзина, Д. Г. Звягинцева, Л. С. Кожевиной, И. Ю. Григорьевой и многих других, позволившие говорить не только о значении биоты в формировании состава, строения и свойств грунтов, но и выделить обусловленные ею особые свойства грунтов — биотические [13]. В 6-м издании учебника «Грунтоведение» впервые была дана характеристика этих свойств.

Изучение свойств грунтов

Одной из центральных задач грунтоведения Е. М. Сергеев считал изучение различных свойств грунтов и выявление закономерностей их изменения под влиянием внешних и внутренних факторов [22]. Но к середине XX века различные грунты были исследованы неравномерно: свойства многих типов грунтов вообще оказались не изучены в инженерно-геологическом отношении, поэтому Е. М. Сергеев организовал на кафедре систематическое их изучение. Среди них были кремнистые и лёссовые грунты, пресноводные и морские илы, отдельные типы скальных грунтов, в том числе вулканогенных.

Но Е. М. Сергеев не замыкался в этом вопросе только на усилиях кафедры. Будучи руководителем созданного им Научного совета РАН по инженерной геологии, эти исследования проводились, опираясь на решения комиссий этого совета, в том числе — комиссий по изучению отдельных типов грунтов. Благодаря этому координировалась работа по исследованию свойств различных типов грунтов во всех регионах территории СССР.

Как результат этого, в дальнейшем совершенствовалась и систематика самих свойств грунтов. Так, в 6-м издании «Грунтоведения» [6] была опубликована систематика свойств грунтов в инженерно-геологических целях В. А. Королева, в которой, наряду с общепринятыми до этого физическими, физико-химическими и физико-механическими, впервые были выделены химические и биотические свойства грунтов.

В итоге усилиями многих авторов были разработаны вспомогательные теории химических, физических, физико-химических и физико-механических свойств [13]. Среди последних необходимо отметить исследования *динамических свойств грунтов*, начатые еще по инициативе Е. М. Сергеева, и затем проводимые на кафедре инженерной и экологической геологии МГУ под руководством Е. А. Вознесенского. Применение новейшего оборудования позволило получить обширные данные по поведению различных грунтов в поле динамических напряжений. В результате были заложены основы общей теории динамических свойств грунтов, разработана классификация грунтов по механизму их динамической неустойчивости, классификация дисперсных грунтов по динамической устойчивости, классификация водонасыщенных песчаных грунтов по разжижаемости при сейсмических воздействиях, включенные в ГОСТ 56353-2015.

Теоретическое грунтоведение

Напомним, что *под теоретическим грунтоведением понимается раздел грунтоведения о наиболее общих законах, математически описывающих состав, строение, свойства грунтов и их формирование, процессы в них, а также изменения грунтов под влиянием внутренних и внешних факторов* [10].

Основная цель теоретического грунтоведения — изучение и математическое описание наиболее общих законов формирования состава, строения и свойств грунтов, законов их изменения под влиянием внутренних факторов и внешних воздействий, а также взаимодействия между грунтами, представляемых в математической форме. В качестве основного способа познания теоретического грунтоведения выступают не эмпирические методы исследований, как в классическом грунтоведении, а использование создаваемых теоретических, в первую очередь математических, моделей явлений в грунтах и их сопоставление с реальностью.

В такой трактовке теоретическое грунтоведение становится самостоятельным методом изучения грунтов несмотря на то, что его содержание формируется, естественно, с учетом результатов экспериментальных лабораторных и полевых исследований грунтов и инженерно-геологических изысканий. Подчеркнём, что основной целью теоретического грунтоведения является открытие и понимание (объяснение) наиболее общих законов формирования состава, строения и свойств грунтов и возможное предсказание еще неизвестных явлений в грунтах. Таким образом, теоретическое грунтоведение

выполняет и объяснительную, и предсказательную функции [10].

Е. М. Сергеев считал разработку вопросов теоретического грунтоведения важнейшей задачей. Среди них он выделял вычисление показателей свойств грунтов путем: а) выявления взаимосвязей между отдельными показателями грунтов; б) установления детерминированных (функциональных) зависимостей между отдельными показателями грунтов [19, 22]. На эти вопросы он впервые обратил внимание еще в 1946 г., поставив перед грунтоведами задачу выявления взаимосвязи между отдельными показателями [19].

Обосновывая свою точку зрения, Е. М. Сергеев писал, что «...между всеми рассмотренными свойствами [грунтов] существует определенная взаимосвязь. Изучение количественной корреляции (соотношения) между отдельными свойствами приобретает огромное значение, поскольку количественные взаимоотношения отражают и позволяют вскрыть причины, порождающие проявление тех или иных свойств».

Практическое значение этого вопроса заключается в том, что познание количественной зависимости между различными свойствами грунта позволяет определить ряд его свойств, относительно данных какого-либо свойства. В конечном итоге, при большом накоплении экспериментального и теоретического материала было бы возможно путем расчета давать достаточно точную характеристику грунтов, основываясь на знании лишь нескольких его свойств, определенных экспериментальным путем» [22, с. 361].

Исходя из этой позиции, в последующие годы под руководством Е. М. Сергеева был выполнен большой объем исследований по корреляционному анализу различных показателей свойств грунтов и были установлены соответствующие взаимосвязи. По сути, эти работы были первыми в области «математизации грунтоведения» или, как сейчас принято говорить, в области «цифровизации грунтоведения».

От этой начальной стадии, базирующейся в основном на статистических методах, с появлением с середины 1980-х годов компьютерной техники грунтоведение перешло к следующей стадии цифровизации — созданию баз грунтоведческих данных, геоинформационных и экспертных систем как элементов баз больших данных (Big data). Процесс цифровизации грунтоведения нарастает в настоящее время и одновременно начинает увеличиваться доля применения технологий искусственного интеллекта в грунтоведении [11].

Выводы

Многие научные идеи Е. М. Сергеева в области грунтоведения нашли свое воплощение или продолжают активно разрабатываться в настоящее время:

1. Генетический подход к изучению грунтов реализовался в форме основного закона грунтоведения.
2. Продолжается исследование грунтов от микро- до макроуровня, в том числе с использованием новейших технических средств, включая компьютерную томографию. Накопленный в этой области материал требует обобщения с целью выявления иерархического закона в строении грунтов и грунтовых массивов.
3. К настоящему времени достигнут большой прогресс в области изучения компонентов и свойств грунтов, построения их классификаций, а также

в разработке теорий компонентного состава грунтов и формирования их свойств.

4. Мировой тренд на цифровизацию затрагивает и грунтоведение. Накопленные большие объемы данных по составу, строению и свойствам грунтов позволяют на их основе подойти к решению вопросов теоретического грунтоведения. Внедрение возможностей искусственного интеллекта в грунтоведение позволит более эффективно решать многие задачи.

5. Дальнейшее развитие теоретического грунтоведения будет основываться на разработке и применении гибридных систем, сочетающих различные методы искусственного интеллекта, а также традиционные программирование и инженерно-геологические исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарик Г. К. Общая теория инженерной (физической) геологии. — М.: Недра, 1981. — 256 с.
2. Бондарик Г. К. Основы теории изменчивости инженерно-геологических свойств горных пород. — М.: Недра, 1971. — 272 с.
3. Бондарик Г. К., Ярг Л. А. Инженерная геология. Вопросы теории и практики. Философские и методологические основы геологии: уч. пособие. — М.: ИД КДУ, 2015. — 296 с.
4. Боровко Н. Н. Статистический анализ пространственных геологических закономерностей. — Л.: Недра, 1971.
5. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов (основные компоненты грунта и их взаимодействие). — М.: Стройиздат, 1973. — 375 с.
6. Грунтоведение: учебник под ред. В. Т. Трофимова. 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГУ, 2005. — 1024 с.
7. Грунтоведение: учебник под ред. Е. М. Сергеева. 3-е изд. — М.: Изд-во МГУ, 1971. — 595 с.
8. Королев В. А. Актуальные научные проблемы современного грунтоведения // Грунтоведение. — 2013. — № 1. — С. 4–10.
9. Королев В. А. Вклад Е. М. Сергеева в развитие грунтоведения // Грунтоведение. — 2014. — № 1. — С. 3–14.
10. Королев В. А. Проблематика и задачи теоретического грунтоведения. // Грунтоведение. — 2021. — № 2. — С. 38–44.
11. Королёв В. А. О задачах цифровизации и искусственного интеллекта в инженерной геологии // Инженерная геология. — 2021. — Т. 16. — № 1. — С. 10–23.
12. Королёв В. А. Теоретическая оценка масштабного эффекта в дисперсных грунтах // Вестник МГУ. Серия 4: Геология. — 2017. — № 6. — С. 77–86.
13. Королев В. А., Трофимов В. Т. Инженерная геология: история, методология и номологические основы. — М.: Изд-во КДУ, 2016. — 292 с.
14. Ломтадзе В. Д. Словарь по инженерной геологии. — СПб.: Санкт-Петербургский горный ин-т, 1999. — 360 с.
15. Рац М. В. Неоднородность горных пород и их физических свойств. — М.: Наука, 1968. — 107 с.
16. Рац М. В. Структурные модели в инженерной геологии. — М.: Недра, 1973. — 216 с.
17. Сергеев Е. М. Грануло-минералогическая классификация песков. // Вестник МГУ. Геология. — 1953 — № 12. — С. 101–109.
18. Сергеев Е. М. Еще раз об инженерной геологии // Пути дальнейшего развития инженерной геологии / Материалы 1-го Межд. конгресса по инженерной геологии. — М.: Изд-во МГУ, 1971. — С. 117–123.
19. Сергеев Е. М. Избранные главы общего грунтоведения. — М.: Изд-во МГУ, 1946. — 108 с.
20. Сергеев Е. М. Инженерная геология: учебник. 2-изд. — М.: Изд-во МГУ, 1982. — 248 с.
21. Сергеев Е. М. Методологические основы грунтоведения // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. — М.: Изд-во МГУ, 1968. — С. 5–16.
22. Сергеев Е. М. Общее грунтоведение / уч. пособие — М.: Изд-во МГУ, 1952. — 383 с.
23. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы / Под ред. Е. М. Сергеева. — М.: Недра, 1985. — 332 с.
24. Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы / Под ред. акад. Е. М. Сергеева. — М.: Недра, 1985. — 288 с.