

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНЫХ АНАЛИЗАТОРОВ

ТРОФИМОВ В.Т.

Заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., профессор, г. Москва

trofimov@rector.msu.ru

КОРОЛЕВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., г. Москва

korolev@geol.msu.ru

НИКОЛАЕВА С.К.

Доцент кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, к.г.-м.н., г. Москва

sk_niko@geol.msu.ru

Аннотация

В статье анализируются вопросы, связанные с методами гранулометрического анализа грунтов при помощи лазерных анализаторов. Обсуждаются общие актуальные проблемы гранулометрии грунтов на современном этапе. Показано, что прямое использование результатов гранулометрического анализа, полученных с применением лазерных анализаторов, неправомерно, так как при этом не учитываются способы подготовки грунтов к анализу, а следовательно, на них не распространяются действующие гранулометрические классификации грунтов, в том числе содержащиеся в ГОСТ 25100-2011 и других нормативных документах

Ключевые слова

Грунт; гранулометрический состав; гранулометрический анализ; лазерный анализатор; подготовка грунта; диспергирование

Введение

В последнее время все более широкое применение в практике лабораторных исследований грунтов для целей инженерно-геологических изысканий приобретают автоматизированные методы испытаний, основанные на инновационных и компьютерных технологиях. От этой тенденции не отстают и методы гранулометрического анализа грунтов, история которых насчитывает уже более ста пятидесяти лет. Тем не менее до сих пор не существует единой общепризнанной методики гранулометрического анализа грунтов, позволяющей сравнивать результаты, полученные в отечественных и зарубежных лабораториях. В этой связи следует указать, что обновленный ГОСТ 25100-2011 в части его гармонизации с зарубежными нормативами также не учитывает в полной мере это обстоятельство [7].

Сейчас все более широкое применение в практике гранулометрического анализа грунтов приобретают лазерные анализаторы, обеспечивающие высокоточное и быстрое определение гранулометрического состава. Особенно широко эти приборы применяются за рубежом, что подталкивает и отечественных изыскателей к их широкому внедрению в практику изысканий [4, 5, 9, 17]. Но правомерно ли их использование? Проведен ли всесторонний сравнительный анализ результатов, полученных с использованием как традиционных, в том числе гостированных, методов, так и лазерных анализаторов? Ответам на эти вопросы и посвящена настоящая статья.

Развитие методов гранулометрического анализа грунтов

Методы гранулометрии развиваются постоянно. Как отмечал в 1947 году Л.Б. Рухин, основы гранулометрического анализа были заложены еще древними греками. В конце XVII века появились первые гранулометрические классификации песков, а также первые описания гранулометрического анализа грунтов путем отмучивания. В 1805 году Дэви описал гранулометрический анализ с применением сит и отмучивания.

Однако рубежными для гранулометрии стали работы английского математика и гидродинамика Д.Г. Стокса (рис. 1), который в 1851 году вывел формулу для силы сопротивления F , действующей на твердый шар при его медленном равномерном движении в неограниченной вязкой жидкости:

$$F = 6\pi\eta r v,$$

где η - коэффициент динамической вязкости жидкости; r - радиус шара (частицы); v - его скорость; π - математическая постоянная (число «пи»).

Путем пересчета Д.Г. Стокс получил формулу скорости падения (V) шарообразных частиц в жидкости, получившую известность как формула Стокса:

$$V = \frac{2}{9} g r^2 \frac{(\rho_1 - \rho_0)}{\eta},$$

где g - ускорение силы тяжести; r - радиус частицы; ρ_1 - плотность частицы; ρ_0 - плотность жидкости.

Эта формула и стала основой для гранулометрического анализа методом седиментации - седиментометрии.

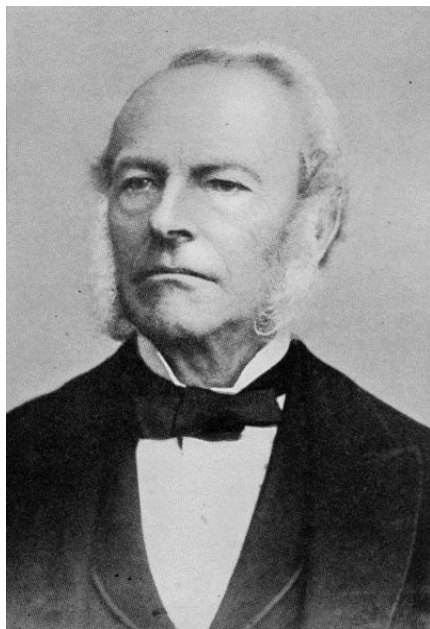


Рис. 1. Джордж Габриэль Стокс (1819-1903)

Методы седиментации стали активно разрабатываться и применяться на практике в XIX-XX веках для гранулометрического анализа грунтов [3, 6, 20, 24]. Существенный вклад в их разработку и обоснование внесли А.Н. Сабанин (рис. 2) [20], П.А. Земятченский [14], Н.А. Фигуровский [24], В.В. Охотин, Н.А. Качинский [10], П.Ф. Мельников [16], С.С. Морозов [14], В.П. Петелин [18] и др. Седиментационный анализ стал использоваться в разных модификациях, таких как собственно седиментационный анализ, метод центрифугирования, ареометрический

метод (основанный на законе Архимеда), метод пипетки (впервые предложенный В.Г. Глушковым в 1912 году), метод отмучивания и др. На базе седиментационного анализа был разработан и действующий ГОСТ 12536-79 [7].



Рис. 2. Алексей Николаевич Сабанин (1847-1935)

Существующие в настоящее время методы определения гранулометрического состава грунтов подразделяются на прямые и косвенные [6, 22, 30]. К прямым относятся методы, основанные на непосредственном (микрометрическом) измерении частиц в поле зрения оптических и электронных микроскопов [11] или с помощью других электронных и электронно-механических анализирующих устройств - анализаторов. В практике прямые (микрометрические) методы не получили широкого распространения, так как они дают оценку содержания частиц не по их массе (как это принято в стандартном гранулометрическом анализе), а по объему.

К косвенным относятся вышеупомянутые седиментационные методы, которые базируются на использовании различных зависимостей между размерами частиц, скоростью их осаждения (седиментацией) в жидкой и воздушной средах и свойствами суспензии. Это группа методов, основанных на использовании физических свойств суспензии (например, ареометрический, оптический и др.) или моделирующих природную седиментацию (пипеточный, отмучивания и др.).

В особую группу выделяют методы определения размеров частиц с помощью ситовых наборов. Они занимают промежуточное положение между прямыми и косвенными методами и широко используются в практике самостоятельно или в комбинации с другими методами [22].

Особенностью седиментационных методов является то, что определяемый с их помощью размер характеризует не только геометрические параметры частиц, но и учитывает их взаимодействие с дисперсионной средой через коэффициент сопротивления, что важно для многих процессов, связанных с получением и переработкой различных материалов в порошкообразном виде [1, 2]. Однако процесс седиментации в подавляющем большинстве случаев осуществляется из равномерно гомогенизированной суспензии, распределенной по всему объему осадительного сосуда, что делает начальный момент осаждения неопределенным и влияет на точность оценки содержания крупных фракций.

Поэтому в последнее время был разработан оригинальный метод седиментации частиц из так называемого стартового слоя [1]. Он обеспечивает осаждение всех частиц анализируемой пробы порошка с одной высоты. В результате фиксируются все частицы, даже самые крупные, которые при обычных методах седиментационного анализа успевают достигнуть дна кюветы до начала измерений. По сравнению с седиментацией из объема весовая седиментация из стартового слоя значительно расширяет диапазон измеряемых размеров частиц (0,001-0,5 мм).

Метод седиментации частиц из стартового слоя был впервые использован в практической гранулометрии в весовом седиментометре ВС-3. Затем он был модифицирован для применения в седиментографе ВС-4 и адаптирован в программно-измерительном комплексе SDM-4 [1, 2].

В настоящее время основное направление развития методов гранулометрии за рубежом - разработка и совершенствование лазерных компьютеризированных счетчиков частиц. Несмотря на универсальность применения таких счетчиков, широкий диапазон измеряемых в них размеров частиц и репрезентативность получаемых результатов анализа, они не лишены присущих любым косвенным методам измерений существенных недостатков, рассматриваемых ниже [1, 30].

Принцип работы лазерных анализаторов основан на так называемом малоугловом рассеянии. В соответствии с реализованным в приборе принципом измерения лазерный пучок освещает кювету, через которую прокачивается суспензия частиц. Рассеянное ими излучение регистрируется под разными углами с помощью высокочувствительного многоэлементного детектора - фотодиодной матрицы. По измеренной таким образом зависимости интенсивности рассеянного излучения от угла рассеяния рассчитывается распределение частиц по размерам. При проведении расчетов используются соотношения теории Фраунгофера или Ми [18, 19, 28-30].

В настоящее время выпускается большое количество лазерных анализаторов разных типов (табл. 1).

Табл. 1

Лазерные анализаторы размеров частиц

Марка ряда	Диапазон измеряемых радиусов частиц, мкм	Страна-изготовитель	Фирма
IG-1000, SALD	0,0005-3000	Япония	Shimadzu
Mastersizer	0,01-3500	Великобритания	Malvern
Morphologi	0,5-1000	Великобритания	Malvern
Analysette	0,08-2000	Великобритания	Gerhardt UK Ltd
Analysette 22	0,08-2000	Германия	Fritsch
Microsizer	0,2-600	Россия	ООО «ВА Инсталт»
ЛАСКА-Т	0,5-100	Россия	Спектроскопические системы
Zetasizer	0,0006-6	Великобритания	Malvern

Актуальные и пока нерешенные проблемы гранулометрии

Проблемы подготовки грунта к гранулометрическому анализу. Как хорошо известно [3, 6, 10, 14, 22], прежде чем тем или иным методом подсчитывать содержание частиц в грунте, его надо перевести в состояние первичной дисперсности, то есть разрушить содержащиеся в нем агрегаты и микроагрегаты на первичные составляющие их частицы. Операция эта (*дезагрегация*¹) не так уж проста. От того, насколько правильно и обоснованно она выполнена, будет зависеть и конечный результат анализа. Здесь возможны два крайних варианта: (1) неполная дезагрегация, при которой грунт не полностью дезагрегирован и часть агрегатов сохраняется (при этом будет занижено содержание более мелких фракций и, наоборот, завышено содержание крупных); (2) чрезмерная дезагрегация, при которой дезагрегирование грунта проводится чрезмерно и сопровождается *диспергированием*², когда уже сами первичные частицы разрушаются на еще более мелкие (при этом будет завышаться доля мелких фракций и занижаться доля крупных).

¹ *Дезагрегация* (от лат. *de* - устранение, *aggregatio* - присоединение) - процесс распада агрегатов на составляющие части, отдельные первичные частицы.

² *Диспергирование* (от лат. *dispersio* - рассеяние) - процесс измельчения твердых тел или жидкостей. При диспергировании твердых тел происходит их механическое разрушение.

Именно поэтому в грунтоведении и почвоведении способам подготовки грунта к гранулометрическому анализу уделяется такое большое внимание. В настоящее время среди них выделяют [3, 6, 8, 10, 12, 22]: *механические* (растирание резиновым пестиком, кипячение, взбалтывание); *физические* (воздействие физических полей - ультразвуковое диспергирование и др.); *физико-химические* (воздействие на грунт веществ-диспергаторов - пирофосфатов, оксалатов и др.); *химические* (обработка кислотами и щелочами), *комбинированные*.

Ни один из перечисленных методов дезагрегации не является универсальным - каждый из них имеет свои определенные ограничения. Поэтому существующие в настоящее время способы подготовки в большинстве своем основаны на комплексах методов, то есть являются комбинированными (механическими, физическими и физико-химическими). Среди них в настоящее время наиболее распространены:

- 1) *метод П.Ф.Мельникова* [16] - растирание грунта с пирофосфатом натрия;
- 2) *метод ГОСТ 12536-79* [7] - кипячение грунта с пирофосфатом натрия;
- 3) *метод П.А. Земятченского* [14] - кипячение грунта с аммиаком;
- 4) *метод С.С. Морозова* [14] - обработка грунта хлористым натрием;
- 5) *метод В.П. Петелина* [21] - обработка грунта триполифосфатом натрия, кипячение и последующая декантация дистиллированной водой;
- 6) *метод Аттерберга* [21] - обработка грунта пероксидом водорода, взбалтывание в шейкере с последующей декантацией дистиллированной водой.

Особняком стоит *метод Н.А. Качинского* (обработка грунта дистиллированной водой с последующим взбалтыванием), применяемый для микроагрегатного анализа, отражающего «естественную дисперсность и агрегированность» - содержание в грунте агрегированных и неагрегированных частиц.

По названиям этих способов подготовки часто стали называть и сами методы гранулометрического анализа. Однако проблема состоит в том, что ни один из вышеперечисленных способов не может считаться универсальным и общепризнанным.

Особо следует обсудить вопрос об *ультразвуковой дезагрегации*, тем более что именно этот метод подготовки часто применяется в комплексе с лазерными анализаторами [4, 5, 9, 15, 23]. Но уже тот факт, что его часто называют «ультразвуковым диспергированием», говорит о том, что при его использовании может происходить чрезмерная дезагрегация - диспергирование первичных частиц грунта. Однако это, к сожалению, не настораживает грунтоведов.

Между тем ультразвуковое диспергирование твердых тел в жидкой среде является довольно сложным и пока еще плохо изученным процессом [15]. Оно осуществляется за счет явления кавитации, при которой измельчение твердой фазы происходит под действием возбуждаемых ударных ультразвуковых волн, возникающих при захлопывании кавитационных полостей (микрокаверн, микропор, микротрещин и т.п.), и начинается при интенсивности I ультразвука, превышающей некоторое пороговое значение I_{th} . Величина I_{th} составляет обычно несколько Вт/см² и зависит от кавитационной прочности жидкости, состояния поверхности твердой фазы, а также от характера и величины сил взаимодействия между отдельными частицами самой твердой фазы. С ростом I скорость диспергирования возрастает; она увеличивается также с ростом хрупкости и с уменьшением твердости и спайности частиц диспергируемого материала.

Уже этого достаточно для того, чтобы понять следующее: поскольку грунты представляют собой полиминеральные и полидисперсные системы, к тому же характеризующиеся наличием структурных связей разной природы, эффекты кавитации и величины I_{th} в них будут существенно различными. Поэтому в принципе нельзя подобрать какой-либо один универсальный режим ультразвукового дезагрегирования (длину волны, интенсивность I , длительность обработки ультразвуком t_u и пр.), применимый абсолютно для всех грунтов. Более того, чрезмерная ультразвуковая обработка (по величине I или длительности t_u) приводит не к дезагрегации, а к

диспергации самой твердой фазы - дроблению и измельчению первичных частиц. Недаром метод ультразвуковой обработки является основным способом диспергирования для получения сверхтонких частиц различных твердых веществ и материалов. Таким образом, получается, что в каждом конкретном случае надо проводить специальное предварительное исследование грунта для того, чтобы надежно обосновать параметры его ультразвукового диспергирования. Однако на практике это не делается - применяют те параметры обработки, которые регламентированы разработчиком данного ультразвукового диспергатора.

Однако подготовка грунта к гранулометрическому анализу не сводится только к дезагрегированию. Если грунт является засоленным, то возникают проблемы иного характера, связанные с устранением влияния солей на гранулометрический анализ. Такие проблемы возникают и при анализе современных морских осадков и отложений Мирового океана [21]. Обессоливание грунта чаще всего проводится путем его многократной декантации в дистиллированной воде. При наличии в грунтах карбонатных или иных солей, а также органических соединений, способных вызывать агрегацию и частичную цементацию первичных частиц, их разрушение проводится химическими способами [22, 27].

Способ подготовки (деагрегирования) глинистого грунта влияет на результаты гранулометрического анализа. Это давно и хорошо известно для седиментационных методов анализа, предваряющихся различными способами дезагрегирования.

В ходе отработки методики проведения гранулометрического анализа с помощью лазерного анализатора Analysette 22 MicroTec plus авторами также были протестированы разные способы подготовки глинистых грунтов. Во всех использованных вариантах подготовка была комбинированной. Были проведены анализы проб грунта в виде *порошка* (в воздушно-сухом состоянии) и *проб, взятых из взмученной суспензии, с предварительной дезагрегацией грунта пиррофосфатом натрия*. Однако сохранялись опасения, что в последнем случае из-за быстрой седиментации крупные частицы не попадают в анализируемую пробу, поэтому следующий гранулометрический анализ был проведен на *пробах грунтовой пасты, которая предварительно прошла обработку пиррофосфатом натрия*. Следующим шагом было использование в анализе *проб, взятых из взмученной суспензии, полученной в ходе подготовки образца к гранулометрическому пипеточному анализу и содержащей частицы диаметром менее 0,1 мм*.

Во всех описанных выше способах подготовки грунта пробы, помещенные в лазерный анализатор, дополнительно обрабатывались ультразвуком (путем использования стандартной для данного прибора мощности до 100 Вт). Чтобы убедиться в том, что воздействие ультразвука в анализаторе не оказывает разрушающего действия на частицы грунта, был проведен анализ пробы грунта, подготовленной путем растирания с пиррофосфатом натрия, но *без дополнительной обработки ультразвуком*.

Результаты гранулометрического анализа аллювиального суглинка, отобранного в пойме р. Москвы в районе г. Звенигорода и подготовленного указанными выше способами, представлены в табл. 2. Сравнительный анализ полученных данных свидетельствует о следующем:

- 1) способ подготовки глинистого грунта к гранулометрическому анализу методом лазерной дифракции влияет на получаемые результаты;
- 2) ультразвуковая обработка в используемом режиме не приводит к разрушению самих минеральных частиц;
- 3) наиболее близкие результаты, обеспечивающие наибольший выход частиц размером менее 0,005 мм, получены при использовании проб грунта, предварительно растиравшихся с пиррофосфатом натрия, прошедших процедуру «мокрого» просеивания (с удалением частиц крупнее 0,1 мм), отобранных из суспензии, и практически независимо от применения ультразвуковой обработки;
- 4) кроме того, из двух последних строк табл. 2 следует, что при обработке ультразвуком диспергации не происходит - следовательно, необходимо строго регламентировать режим этой обработки.

Табл. 2

Влияние способов подготовки грунта на результаты гранулометрического анализа современного аллювиального суглинка методом лазерной дифракции

Вид пробы	Содержание фракций, %, с размером частиц, мм							
	> 0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	< 0,01	0,01-0,005	< 0,005	0,005-0,001	< 0,001
Воздушно-сухая с обработкой ультразвуком	0	6	57	37	15	22	18	4
Суспензия с пирофосфатом натрия и обработкой ультразвуком	0	7	44	49	15	34	27	7
Паста с пирофосфатом натрия и обработкой ультразвуком	0	3	42	55	19	36	29	7
Суспензия, взятая при пипеточном анализе с пирофосфатом натрия и обработкой ультразвуком	0	1	34	65	22	43	35	8
Суспензия с пирофосфатом натрия без обработки ультразвуком	0	4	37	59	17	42	32	10

Проблема оценки размера частиц и учета их формы. Пока нерешенной проблемой является и оценка размеров частиц неправильной формы. Как хорошо известно, форма твердых частиц грунтов чрезвычайно разнообразна и далека от шарообразной. В этом случае не ясно, какой параметр частицы неправильной формы принимать за ее размер. Эта проблема возникает даже при ситовом анализе: через круглую ячейку известного диаметра может «проскочить» вытянутая частица, если она продольно входит в ячейку, но такая же частица может застрять в этой же ячейке, попадая в нее в поперечном направлении. Какой размер присваивать частице в этом случае - не ясно.

Одним числом можно охарактеризовать только шарообразные частицы. Однако размер частиц неправильной формы можно также охарактеризовать одним числом, применяя так называемую теорию эквивалентной сферы. Это иллюстрирует рис. 3, на котором представлены разные так называемые «эквивалентные параметры» частицы неправильной формы [19].



Рис. 3. Разные варианты эквивалентных размеров частиц неправильной формы [19]

В лазерных анализаторах измеряется средний диаметр сферы эквивалентного объема (d_w) или массы (d_v) - так называемый средний диаметр Де Брукера или Хардена (De Brouckere / Harden Mean Diameter) [19]. Это идентично среднему размеру сферы с эквивалентной массой или объемом при условии постоянства плотности. Как видим, такой подход в оценке размера частицы

все же является условным. Отсюда вывод: для оценки размера частиц необходимо использовать одинаковый подход (одинаковый эквивалентный размер) во всех методах независимо от способа определения гранулометрического состава. Только в этом случае все результаты его определения будут сопоставимыми.

Проблемы определения гранулометрического состава грунтов сводятся к обоснованности применения того или иного метода или способа количественного учета твердых составляющих. Применение лазерных анализаторов подкупает изыскателей своей высокой производительностью (3-5 минут на одно измерение) в отличие от использования седиментационных методов и высокой точностью и воспроизводимостью данных. Как правило, относительное среднее отклонение (%) для полученных диаметров частиц для одного конкретного анализатора составляет не более 0,5%. А «от прибора к прибору» одной модели оно составляет до 3%. Погрешность измерений лазерными анализаторами разных моделей достигает 10%. Однако при выборе предпочтительного метода (или прибора) необходимо принимать во внимание весь комплекс проблем.

Современные импортные автоматизированные приборы, использующие новые методы измерений, в том числе лазерные анализаторы, оснащенные микропроцессорами или персональными компьютерами, для большинства изыскателей недоступны из-за высокой стоимости. Но надо понимать и другое, более важное, обстоятельство: эти приборы при современном уровне обоснования способов гранулометрического анализа грунтов являются не только дорогими, но и бесполезными для изыскателей, так как их работа основана на использовании таких способов подготовки грунтов к анализу, которым не соответствует ни одна из действующих гранулометрических классификаций грунтов в России. Кроме того, получаемые с помощью лазерных анализаторов данные по гранулометрическому составу выражаются в *объемных*, а не в весовых процентах, что делает невозможным как корректное сопоставление полученных результатов с данными традиционных методов гранулометрии, так и классифицирование. Именно эти факты и не могут понять многие наши изыскатели [5, 25], которые ратуют за внедрение лазерных анализаторов в практику инженерно-геологических изысканий и, по существу, впустую тратят огромные деньги на их приобретение.

Сравнение лазерных и традиционных методов анализа

Центральным вопросом в гранулометрии является сопоставимость результатов, полученных разными методами. Сравнение результатов определения гранулометрического состава традиционными методами (седиментометрией и др.) и методами, основанными на использовании лазерных анализаторов, позволяет оценить применимость этих методов на практике.

Однако во многих опубликованных по этому важному методическому вопросу работах [4, 5, 13, 17, 25-27, 31 и др.] сопоставление результатов часто проводится методически абсолютно неверно. А именно: сравнивать можно лишь результаты, полученные на разных приборах (или разными методами), но **при одинаковом способе подготовки грунта** к гранулометрическому анализу. На практике же на этот вопрос часто закрывают глаза. В итоге, естественно, на разных приборах получаются совершенно разные результаты анализа одного и того же грунта.

Например, в работе [9] сравнивались результаты традиционной седиментометрии и лазерной дифрактометрии при изучении гранулометрического состава различных почв. При этом подготовка почв к гранулометрическому анализу традиционным методом седиментометрии проводилась физико-химическим способом (по ГОСТ), а к анализу лазерным методом - с помощью ультразвукового диспергатора УЗДН-А в течение 2 мин. Естественно, результаты получились существенно различными: для разных типов почв содержание глинистой и пылевой фракций, определяемое этими двумя этими способами, различалось в несколько раз. При этом для большинства образцов лазерный метод давал меньший выход частиц глинистой и пылевой фракций.

Наряду с этим существуют и иные причины ошибочных данных, получаемых лазерными методами. Основными причинами систематических ошибок при использовании лазерных анализаторов в гранулометрии являются следующие [31]. Во-первых, при расчете диаметра

условно принимается, что все частицы имеют сферическую форму, то есть диаметр усредняется при сканировании лазером под разными углами. В таком случае элементарные частицы, имеющие плоскую форму, оказываются больше, чем сферические того же объема. А поскольку «илистые отдельности» часто имеют плоскую форму, то они воспринимаются лазером как более крупные. Во-вторых, очень мелкие частицы дают очень большой угол преломления луча лазера, который может выйти за область, контролируемую датчиками. Частицы размером менее 0,3 мкм не фиксируются стандартными лазерными анализаторами, а «рассчитываются» по энергетическому балансу пучка лазера. Следовательно, самые мелкие «илистые отдельности» представляют сложность для регистрации и ограничивают возможность прямого учета с использованием лазерного анализатора. В-третьих, разная минералогия частиц (прозрачность, цвет) влияет на индекс преломления луча света, что сказывается на результатах расчета их эквивалентного диаметра.

Проведенные авторами собственные исследования и сопоставление результатов применения лазерных и традиционных методов анализа можно проиллюстрировать на примере образца суглинка тяжелого песчанистого (gQ_{1dns}) (табл. 3).

Табл. 3

Результаты гранулометрического анализа моренного суглинка с использованием лазерной дифракции и пипеточного метода

Метод анализа	Вид пробы грунта, способ ее подготовки	Содержание фракций, %, с размером частиц, мм								
		> 0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	< 0,01	0,01-0,005	< 0,005	0,005-0,001	< 0,001
Лазерная дифракция, % объемные	Паста (навеска ~2 г) с пирофосфатом натрия и обработкой ультразвуком	0	0	0	12	88	22	66	52	14
	Суспензия, взятая при пипеточном анализе с пирофосфатом натрия и обработкой ультразвуком	0	0	0	15	85	20	65	51	14
	Песчаные частицы, выделенные при «мокром» просеивании с обработкой ультразвуком	0	1	55	23	21	4	17	8	9
Пипеточный анализ, % весовые	Паста (навеска 12 г) с пирофосфатом натрия	19	33	15	9	24	5	19	8	11

Приведенные выше и другие имеющиеся фактические данные свидетельствуют о слишком большой разнице между получаемыми разными методами результатами. Отметим следующее:

- 1) возможна некоторая коагуляция глинистых частиц пробы грунта (после дополнительной дезагрегации ультразвуком) за время проведения измерений методом лазерной дифракции, что приводит к увеличению содержания частиц размером 1-5 мкм;
- 2) возможное перекрытие интерференционных картин мелких частиц (с большими углами отражения света) и крупных частиц (с малыми углами) дает на выходе практическое отсутствие крупных (песчаных) частиц, а содержание пылеватых

- частиц (особенно размером 1-5 мкм) в глинистом грунте по данным анализатора оказывается завышенным;
- 3) на результаты анализа пробы, состоящей только из выделенных из грунта песчаных фракций, полагаться нельзя;
 - 4) слишком малая навеска при гранулометрическом анализе методом лазерной дифракции может несильно сказываться на результатах анализа однородного грунта, но для неоднородных (абсолютного большинства глинистых и пылеватых) грунтов это дает существенную ошибку в определении гранулометрического состава;
 - 5) результаты гранулометрического анализа глинистого грунта пипеточным методом и с помощью лазерного анализатора несопоставимы.

Заключение

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы.

1. Лазерные анализаторы гранулометрического состава грунтов являются перспективными, однако их применение в практике инженерно-геологических изысканий в настоящее время является во многом необоснованным, поскольку результаты, получаемые с их помощью, не могут быть использованы для классифицирования грунтов, так как действующие в РФ гранулометрические классификации основаны на иных методах подготовки образцов к гранулометрическому анализу и учитывают весовые проценты при распределении частиц по стандартным фракциям.

2. Для широкого внедрения лазерных анализаторов в практику инженерно-геологических изысканий с целью определения гранулометрического состава грунтов необходимы фундаментальные методологические и методические грунтоведческие исследования, которые позволили бы решить вопрос о способах подготовки образцов к гранулометрическому анализу и сопоставимости получаемых в разных лабораториях результатов. В частности, под эти методы, очевидно, должны быть разработаны собственные классификации грунтов, но предварительно сами лазерные методы и получаемые с их помощью параметры должны быть унифицированы для широкого применения в любых грунтоведческих лабораториях.

3. Действующие гранулометрические классификации являются своего рода «договоренностями», применяемыми в настоящее время среди изыскателей и исследователей для обозначения номенклатуры грунтов. Эти «договоренности» успешно работали и работают до настоящего времени в РФ. И следует ли подвергать их сомнению - это вопрос, который требует особого обсуждения.

Список литературы

1. *Алексеев Е.В.* Программно-измерительный комплекс анализа гранулометрического состава осадочных пород на основе седиментации частиц из стартового слоя // Материалы 10-го Международного симпозиума студентов и молодых ученых им. акад. М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр». Томск, 2006. С. 385-386.
2. *Алексеев Е.В.* Совершенствование прибора и метода анализа гранулометрического состава порошков на основе слоевой седиментации частиц: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Томск, 2006. 17 с.
3. *Березин П.Н.* Гранулометрия почв и почвообразующих пород. Современные физические и химические методы исследования почв. М.: Изд-во Московского ун-та, 1987. С. 56-73.
4. *Блохин А.Н., Кулижский С.П.* Оценка применения метода лазерной дифрактометрии в определении гранулометрического состава почв // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2009. № 1. С. 37-43.
5. *Буданова Т.Е., Озмидов О.Р., Озмидов И.О.* Современные методы изучения гранулометрического состава грунтов // Инженерные изыскания. 2013. № 8. С. 66-70.

6. Горбачев Б.Ф., Харитонова Р.Ш., Нугманова З.З. Современные методы гранулометрического анализа горных пород: обзор. М.: ОНТИ ВИЭМС, 1975. 86 с.
7. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Госстрой СССР, 1979.
8. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: МНТКС, 2013.
9. Готлиб В.А., Комаров Н.Н. Лазерные анализаторы размеров частиц «Микросайзер 201». СПб.: Изд-во ЗАО «Научные приборы», 2002.
10. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его определения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 192 с.
11. Конончук П.Ю. Адаптация метода оптической счетной микроскопии для определения гранулометрического состава почв: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. СПб., 2009, 23 с.
12. Корневская В.Е. О методах подготовки почв к механическому анализу // Вестник МГУ, Сер. Почвоведение. 1953. № 8. С. 72-79.
13. Кулижский С.П., Корнатов Н.Г., Артымук С.Ю. и др. Сравнение методов седиментометрии и лазерной дифрактометрии при определении гранулометрического состава почв естественных и техногенных ландшафтов // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2010. № 4 (12). С. 21-31.
14. Лабораторные работы по грунтоведению: учебное пособие / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. М.: Высшая школа, 2008. 519 с.
15. Личманова А.И. Применение ультразвука в подготовке почв к механическому анализу // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 1972. Вып. 4. С. 42-47.
16. Мельников П.Ф. Исследования по разработке метода подготовки засоленных и карбонатных грунтов к гранулометрическому анализу // Ученые записки МГУ. 1956. Вып. 177. Кн. 4. С. 81-94.
17. Наумов С.В. Современные методы определения гранулометрического состава порошкообразных компонентов сварочных материалов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. 2012. Т. 14. № 1. С. 76-84.
18. Петелин В.П. Гранулометрический анализ донных осадков. М.: Наука, 1967. 128 с.
19. Роул А. Основные принципы анализа размеров частиц // Веб-сайт RNN. Technical note. Malvern Instruments Limited, 2009. URL: http://www.rusnanonet.ru/download/equipment/mrk0034r_01.pdf.
20. Сабанин А.Н. Различные способы механического анализа почв и способ двойного отмучивания с малой навеской // Почвоведение. 1903. № 1. С. 59-64; № 2. С. 121-128.
21. Свальнов В.Н., Алексеева Т.Н. Гранулометрический состав осадков Мирового океана. М.: Наука, 2005. 297 с.
22. Трофимов В.Т., Фадеев П.И. Изучение гранулометрического состава грунтов: методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород: в 2 томах. Т 2. Лабораторные методы / под ред. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1984. С. 148-162.
23. Федотов Г.Н., Шеин Е.В., Путляев В.И. и др. Физико-химические основы различий седиментометрического и лазерно-дифракционного методов определения гранулометрического состава почв // Почвоведение. 2007. № 3. С. 310-317.
24. Фигуровский Н.А. Седиментометрический анализ. М.: Изд-во АН СССР, 1948. 332 с.
25. Хлебникова Т.П. Восьмая студенческая научно-практическая конференция геологического факультета Кубанского государственного университета «Инженерная защита территорий и безопасность населения: роль и задачи инженерной геологии, гидрогеологии и геоэкологии» // Инженерные изыскания. 2013. № 6. С. 68-69.
26. Шеин Е.В. Гранулометрический состав почв: проблемы методов исследования, интерпретации результатов и классификации // Почвоведение. 2009. № 3. С. 309-317.
27. Шеин Е.В., Милановский Е.Ю., Молов А.З. Гранулометрический состав: роль органического вещества в различиях данных седиментометрического и лазерно-дифракционного методов // Доклады по экологическому почвоведению. 2006. № 1. № 1. С. 17-30.
28. Allen T. Particle size measurement. Chapman & Hall, 1997.

29. *Ranucci J.* Dynamic plume-particle size analysis using laser diffraction // *Pharmaceutical Technology*. 1992. № 16. P. 108-114.
30. *Syvitski J.P.M.* Principles, methods and application of particle size analysis. Cambridge: Cambridge University Press, 1991. P. 332-345.
31. *Taubner H., Roth B., Tippkötter R.* Determination of soil texture: comparison of the sedimentation method and the laser-diffraction analysis // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2009. № 172. P. 161-171.

Выходные данные: Журнал «Инженерные изыскания», №5-6/2014, С. 29-37