

УДК 631.425.5

DOI: 10.31774/2222-1816-2019-1-184-194

**В. Э. Болдырева, О. С. Безуглова, И. В. Морозов**

Академия биологии и биотехнологии имени Д. И. Ивановского Южного федерального университета, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

## **К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ЛАЗЕРНОЙ ДИФРАКЦИИ**

Цель исследований – проанализировать возможности и особенности использования метода лазерной дифракции для изучения гранулометрического состава почв. Данный метод сравнительно новый и имеет ряд преимуществ по сравнению с классическим пипет-методом, а именно: высокая скорость, точность и автоматизация выполнения анализа, возможность использования микроколичеств образца, определение фракционного состава частиц в широком диапазоне размеров, в т. ч. с использованием любых классификационных шкал. Для правильного понимания получаемых методом лазерной дифракции результатов необходимо быть уверенными в том, что они соответствуют природе вещества и точно отражают фракционный состав элементарных почвенных частиц (ЭПЧ), формирующих твердую часть почвы. Гранулометрический состав чернозема обыкновенного карбонатного, природного песка речного кварцевого, стандартных образцов, используемых для калибровки анализатора, а также порошков оксидов титана и цинка определяли на анализаторе Analysette 22 NanoТес. Представлены данные, полученные с использованием метода лазерной дифрактометрии, в сравнении с пипет-методом и результатами, полученными методом электронной микроскопии. Определение фракционного состава суточной пробы, полученной из образца чернозема по методу Качинского, показало, что даже после применения ультразвукового воздействия количество собственно илистых частиц не превышает 15,2 %, тогда как по результатам использования метода пипетки содержание частиц менее 0,001 мм составляет 36,84 %. Таким образом, результаты оценки фракционного состава ЭПЧ, полученные методом лазерной дифракции и пипет-методом, имеют существенные различия. При этом обнаружена высокая сходимость данных, полученных с использованием методов лазерной дифракции и электронной микроскопии.

Ключевые слова: лазерная дифрактометрия, гранулометрический состав, седиментация, метод пипетки, чернозем, элементарные почвенные частицы.

**V. E. Boldyreva, O. S. Bezuglova, I. V. Morozov**

Academy of Biology and Biotechnology named after D. I. Ivanovskiy of Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

## **ON THE QUESTION ON DETERMINATION OF PARTICLE-SIZE DISTRIBUTION OF SOIL USING THE LASER DIFFRACTION METHOD**

The purpose of the research is to analyze the possibilities and features of using the laser diffraction method for studying the particle-size distribution of soils. This method is relatively new and has several advantages compared with the classical pipette method, namely: high velocity, accuracy and automation of the analysis, the ability to use trace

amounts of the sample, the determination of the particles fractional composition in a wide range of sizes, including using any classification scales. To understand correctly the results obtained by laser diffraction, it is necessary to be convinced that they correspond to the substance nature and reflect accurately the fractional composition of elementary soil particles (ESP) that form the soil solid. The particle-size distribution of ordinary carbonate chernozem, natural river quartz sand, standard samples used to calibrate the analyzer, as well as powders of titanium and zinc oxides was identified on an Analysette 22 NanoTec analyzer. The data obtained with the laser diffraction method are presented in comparison with the pipette method and the results obtained by electron microscopy. Determination of the fractional composition of the daily sample obtained from a sample of chernozem by the Kachinsky method showed that even after applying ultrasonic exposure, the amount of silt particles does not exceed 15.2 %, whereas by using the pipette method, the content of particles less than 0.001 mm is 36.84 %. Thus, the results of the assessment of the fractional composition of the ESP obtained by laser diffraction and the pipette method have significant differences. At the same time, a high convergence of the data obtained using the methods of laser diffraction and electron microscopy was found.

Keywords: laser diffraction analyses, particle-size distribution, sedimentation, pipette method, chernozem, elementary soil particles.

**Введение.** В практике изучения свойств почв и индивидуальных почвенных образцов метод лазерной дифракции сравнительно новый, он имеет существенные преимущества, но и не лишен некоторых недостатков.

Метод лазерной дифракции обладает следующими преимуществами<sup>1</sup>:

- значительное сокращение времени проведения анализа – до 1–3 мин;
- высокая информативность метода, которая обеспечивается широким диапазоном размеров частиц (от 1000 до 0,05 мкм);
- возможность определения фракционного состава как частиц, так и микроагрегатов;
- устройство прибора и программное обеспечение позволяют рассчитать (построить модель) форму частиц, определить расчетные величины  $d_{90}$ ,  $d_{60}$ ,  $d_{50}$  и  $d_{10}$ , отношение которых, вероятно, может быть использовано для идентификации образцов и т. д.;
- высокая точность и воспроизводимость результатов анализа за счет 110 каналов измерения;

---

<sup>1</sup> Analysette 22 NanoTec. Руководство пользователя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fritsch-international.com/particle-sizing/static-light-scattering/details/product/laser-particle-sizer-analysette-22-nanotec-measuring-unit/downloads/>, 2018.

- возможность использования микроколичеств образца (от 1 г для сухих образцов и около 3–5 мл – для суспензии);

- расширенные возможности для интерпретации полученных данных: графики, таблицы, модели, наличие встроенного программного пакета для статистической обработки результатов измерений и др.

Главное преимущество – быстрота, высокая точность и воспроизводимость получаемых результатов, что сделало метод лазерной дифракции наиболее часто используемым в качестве сопутствующего, позволяющего получить важнейшую генетическую характеристику почвы, от которой зависят практически все свойства почвы в целом [1, 2].

Однако в настоящее время фактическая база исследований сформирована слабо, что не позволяет уверенно судить о сходимости результатов, полученных при использовании метода лазерной дифракции, с существующими классификационными и методическими подходами, разработанными на основе методов седиментометрии. Ранее нами было установлено, что для систематизации результатов исследований, полученных методами, в основе которых лежат разные принципы и механизмы определения фракционного состава частиц, некорректно использовать единую классификацию [1].

Иными словами, в основе классификации почв и грунтов по гранулометрическому составу Н. А. Качинского лежит принцип седиментации, что, соответственно, позволяет интерпретировать результаты, полученные исключительно методом пипетки. Следствием этого является необходимость построения новой классификационной шкалы, которая основывалась бы на систематизации результатов, полученных методом лазерной дифрактометрии.

Также важным преимуществом метода называют «исключение субъективного фактора», однако отсутствие общепринятой методологии и рекомендаций, на наш взгляд, приводит к несводимости результатов, получаемых в разных лабораториях, так как авторами используются разные схе-

мы проведения анализа, способы пробоподготовки и интерпретации результатов. Обусловлено это тем, что исследователи подбирают необходимые параметры и тактику для достижения желаемых целей, что как раз и накладывает отпечаток субъективности на полученные результаты.

Такой подход формирует важнейший недостаток метода – невозможность сравнения и сопоставления данных, полученных в разных исследованиях, а именно отсутствие стандарта на проведение гранулометрического анализа методом лазерной дифракции, особенно на стадии пробоподготовки. Ведь именно она является главным фактором, определяющим выход элементарных почвенных частиц (ЭПЧ).

Кроме того, в ходе наших исследований нами была выявлена и применена возможность исследовать размываемость микроагрегатов суспензии, проводя многократное (до 3–5 измерений) сканирование образца, поскольку суспензия пропускается через систему призм под высоким давлением (4 бар), неизбежно происходит разделение (размывание) части почвенных агрегатов на составляющие их ЭПЧ.

Обзор научной литературы, посвященной сравнительному анализу методов лазерной дифракции и пипет-метода, показал наличие существенных отличий в результатах оценки относительного содержания ила ( $< 0,001$  и  $< 0,002$  мм для отечественных и зарубежных исследований соответственно). Так, для результатов, полученных методом лазерной дифракции, характерно пониженное содержание фракции ила (в несколько раз) по сравнению с результатами, получаемыми методом пипетки [2–5]. И для этого есть ряд причин, описываемых различными авторами:

- при определении гранулометрического состава почв в водной среде методом пипетки возможно образование на микрочастицах почвы оболочки из органоминерального геля, способствующей формированию устойчивых «ядер» микроагрегатов. Это увеличивает их диаметр, но уменьшает плотность, а следовательно, замедляет скорость оседания частиц и соответственно повышает выход илистой фракции [3];

- существенные различия обусловлены различной формой частиц, например пластинчатой, игольчатой и др. [6, 7];

- плотность частиц может широко варьировать, что вызывает ошибки при исследовании гранулометрического состава пипет-методом, так как плотность в этом анализе принимается за константу [8];

- метод пипетки дает представление об эффективном диаметре гидратированных комплексов, в то время как метод лазерной дифракции – об «истинном» эффективном диаметре частиц [1];

- выбор алгоритма расчета фракционного состава (теории рассеивания Фраунгофера или Ми, для последней необходимо знать коэффициенты преломления и поглощения материала пробы, хотя в отличие от первой она подходит для слишком малых диаметров частиц) [9];

- изменение границ фракций в соответствии с требованиями классификаций, а также с задачами исследования [10];

- конфигурация прибора такова, что детектор насыщения срабатывает при определенном, достаточном для анализа количестве образца (выставляется оператором), содержащего большое количество фракций, а комбинация ЭПЧ в них может быть чрезвычайно разнообразна, в результате чего доля одних частиц может быть недооценена, а других переоценена [11];

- выбор других настроек, заложенных в возможностях оборудования, таких как возможность изменения процесса и длительности диспергирования, числа измерений и временных интервалов, настраиваемые варианты воздействия ультразвука на исследуемые суспензии, изменение которых, так или иначе, влияет на результат гранулометрического анализа.

От всех этих факторов, а также от многих других, выяснение которых является актуальной задачей физики почв на сегодняшний день, зависят конечные результаты определения гранулометрического состава методом лазерной дифракции.

Таким образом, появление принципиально нового оборудования и,

соответственно, метода изучения дисперсности почв и грунтов на основе лазерной дифракции предопределяет необходимость исследований, посвященных выяснению области ограничений в применении этого метода именно к почвенным объектам, и ставит перед исследователями ряд вопросов, которые предполагают коррекцию многих устоявшихся представлений о строении, составе и свойствах твердой части почв и грунтов.

**Цель исследований** – проанализировать возможности и особенности использования метода лазерной дифракции для изучения гранулометрического состава почв.

**Материалы и методы.** Для правильного понимания получаемых методом лазерной дифракции результатов анализа необходимо быть уверенными в том, что они соответствуют природе вещества и точно отражают фракционный состав ЭПЧ, формирующих его твердую часть. Иными словами, необходимо ответить на один из основных вопросов: каков «истинный» размер фракций ЭПЧ и соответствуют ли эти размеры тем, которые определяются данным методом?

Для решения данной задачи нами исследованы различные по природе и степени дисперсности образцы порошков:

- порошки стандартные (производство Fritsch, Германия), используемые для калибровки и поверки прибора;
- мономинеральные порошки известного состава и степени дисперсности (ZnO и TiO<sub>2</sub>);
- природный речной песок кварцевый;
- «суточная» проба (фракция ЭПЧ с диаметром частиц по Стоксу < 0,001 мм), отобранная при анализе методом пипетки из гор. Ад чернозема обыкновенного карбонатного (Ботсад ЮФУ).

Для определения гранулометрического состава использовали блок мокрого диспергирования лазерного анализатора размера частиц Analysette 22 NanoTec (ISO 13320-1:1999).

Программное обеспечение прибора имеет стандартные операционные процедуры (СОП), которые также можно изменять согласно целям исследования. Выбрав подходящую, оборудование проводит автоматическую настройку процесса и длительности диспергирования, числа измерений, временных интервалов и другие необходимые настройки. Одна из таких процедур и была использована нами для калибровки и поверки прибора.

Гранулометрический состав песка речного кварцевого определяли следующим образом. Воздушно-сухой образец помещали в блок мокрого диспергирования до срабатывания детектора насыщения, порог которого установлен на 15 %. Для оценки рассеивания выбрана теория Фраунгофера, установлены следующие границы фракций: 1–0,25; 0,5–0,25; 0,25–0,05; 0,05–0,01; 0,01–0,005; 0,005–0,001; < 0,001. Диспергирование образца происходило в период добавления пробы, длительность установлена автоматически (СОП). Дополнительного ультразвукового воздействия не проводилось.

Анализ размера частиц мономинеральных порошков проводили также с использованием блока мокрого диспергирования, куда помещали воздушно-сухие образцы при установленных настройках прибора: теория Фраунгофера, порог насыщения 15 %. Проводили однократное сканирование с постоянной обработкой ультразвуком и дополнительной в течение 99 с для обеспечения полной дезагрегации и дисперсии порошка.

Суспензии для гранулометрического анализа подготовлены нами в полном соответствии с общепринятой методикой [12]. Затем через строго заданный интервал времени была отобрана «суточная» проба, в ней определяли фракционный состав ЭПЧ с использованием лазерного дифрактометра. При этом каждую пробу загружали в блок мокрого диспергирования анализатора, затем проводили последовательное сканирование (сканирование № 1). Далее пробу, оставленную в аппарате, повторно сканировали (сканирование № 2). Аналогичным образом выполнили сканирование № 3, и далее сканирование № 4–6 (та же самая проба) проводили с включением ультразвука по тому же принципу.

**Результаты и обсуждение.** Результаты (таблица 1) свидетельствуют о том, что используемый анализатор Analysette 22 NanoТес откалиброван и работает корректно.

**Таблица 1 – Гранулометрический состав стандартного порошка F-500 (Fritsch, Германия) (метод лазерной дифракции)**  
В мкм

№ измерения	Эффективный диаметр частиц					
	$D_{10}$		$D_{50}$		$D_{90}$	
	стандарт	образец	стандарт	образец	стандарт	образец
1	8,200	8,328	16,664	16,692	30,109	30,095
2	8,201	8,344	16,698	16,623	30,303	30,174
3	8,184	8,249	16,654	16,646	30,133	30,297
4	8,184	8,253	16,635	16,638	30,067	30,224
5	8,180	8,345	16,639	16,670	30,081	30,088
Ошибка средней	0,004	0,022	0,011	0,012	0,043	0,039

Испытания стандартного образца показали, что полученные данные соответствуют паспорту образца, а ошибка не превышает установленные стандартом величины. Таким образом, используемый анализатор дисперсности порошковых сред позволяет определять заявленные производителем эффективные диаметры частиц стандартного порошка F-500.

В качестве образца известной природы нами использован речной песок кварцевый, который ситовым методом разделили на фракции (таблица 2):

- образец № 1, общий песок (< 1 мм);
- образец № 2, фракция среднего песка (0,5–0,25 мм);
- образец № 3, мелкозернистый песок с преобладанием фракции мелкого песка (< 0,25 мм).

**Таблица 2 – Гранулометрический состав песка речного кварцевого (метод лазерной дифракции)**

Образец	Гранулометрический состав в %, размер фракций ЭПЧ в мм							Сумма фракций в %	
	1–0,5	0,5–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	> 0,01	< 0,01
№ 1, < 1 мм	0,15	32,65	45,32	12,09	4,86	4,01	0,92	90,21	9,79
№ 2, 0,5–0,25 мм	3,82	77,16	11,88	3,79	1,48	1,45	0,42	96,65	3,35
№ 3, < 0,25 мм	0	9,72	82,67	4,19	1,29	0,53	1,6	96,58	3,42

Полученные результаты показали, что преобладающими фракциями в исследуемом общем образце являются фракции среднего и мелкого пес-



ка, на долю которых приходится 77,97 %. Всего сумма фракций физического песка достигает 90,21 %, что позволяет характеризовать данный объект как песок связный мелкозернистый.

Интерес вызывают два других образца природного песка (№ 2 и 3). Для анализа нами были получены две фракции 0,5–0,25 и < 0,25 мм методом просеивания. В полученных таким образом образцах определили фракционный состав частиц. Основная цель эксперимента – определить, насколько будут совпадать результаты, полученные методом дифракции и методом просеивания. Результаты эксперимента показали, что полученные данные практически полностью соответствуют друг другу.

В таблице 3 приведены результаты определения состава фракции, извлеченной из суточной пробы пипет-метода, на анализаторе Analysette 22 NanoТес. И здесь наблюдаются существенные различия между результатами, полученными методом пипетки и методом лазерной дифракции. По условиям метода пипетки в эту пробу попадают фракции ЭПЧ с диаметром < 0,001 мм, т. е. количество «суточной» пробы полностью соответствует содержанию в почве илистых частиц, а массовая доля «суточной» пробы точно соответствует массовой доле илистой фракции в исследуемом образце.

**Таблица 3 – Фракционный состав ЭПЧ «суточной» пробы почвы чернозема обыкновенного карбонатного**

В %

Название пробы	Размер фракции в мм и ее содержание					
	сканирование	ультразвук	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
Метод пипетки						
Суточная	–	–	–	–	–	36,84
Метод лазерной дифракции						
Суточная	1	Выкл.	11,7	41,2	41,5	5,5
	2	Выкл.	23,4	47,2	16,8	12,7
	3	Выкл.	24,0	46,8	16,7	13,0
	4	Вкл.	22,2	44,2	19,0	14,7
	5	Вкл.	22,7	44,1	19,5	14,8
	6	Вкл.	22,5	42,7	34,9	15,2

Однако проведенные измерения показали, что в «суточной» пробе количество собственно илистых частиц после первого сканирования не превышает 5,5 %.

Последовательное сканирование с использованием ультразвука приводит к их постепенному увеличению, хотя и не столь высокому, как предполагалось, – после сканирования № 6 (ультразвук) их содержание составило всего лишь 15,2 %.

Следует отметить, что по мере увеличения количества сканирований и интенсивности воздействия ультразвука возрастает содержание илистой фракции, т. е. последовательное сканирование почвенной суспензии позволяет определить степень устойчивости исследуемого образца к размывающему действию воды (при использовании блока мокрого диспергирования). Можно предположить, что за счет разрушения микроагрегатов (органоминеральных или гидратированных комплексов) многократное измерение одной и той же пробы сопровождается увеличением выхода тонких фракций почвенных частиц.

Проведенные исследования позволяют нам сделать предположение о том, что использование метода лазерной дифракции дает представление об «истинном» эффективном диаметре частиц, в то время как метод пипетки – об эффективном диаметре гидратированных комплексов [1].

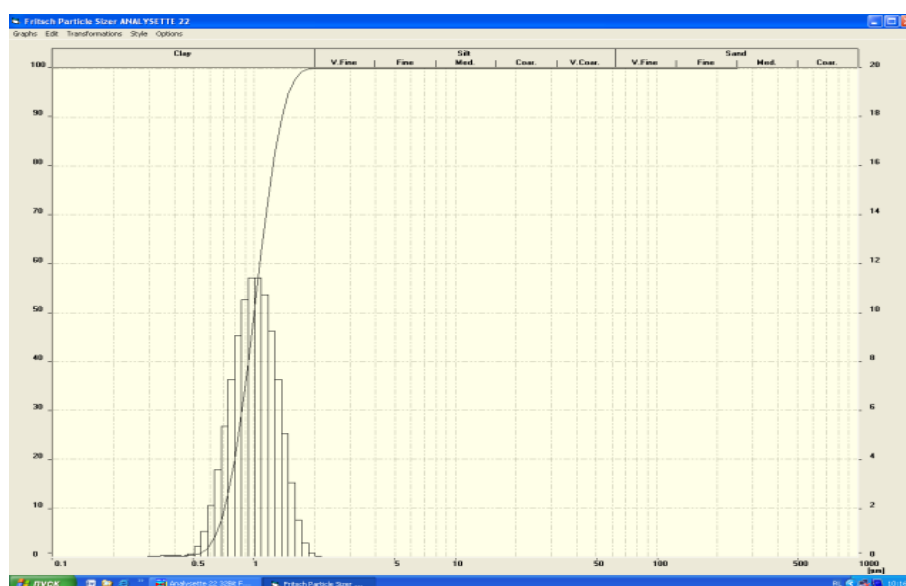
Для проверки данного предположения мы провели сравнительные исследования с порошками оксидов  $TiO_2$  и  $ZnO$ , для которых методом электронной микроскопии (растровой и просвечивающей соответственно) были точно установлены эффективные диаметры частиц ( $< 50$  и  $< 2$  мкм соответственно), что позволило нам использовать их в качестве объекта моделирования в данном эксперименте.

Нами проведен анализ дисперсности данных образцов с использованием лазерной дифракции, и результаты измерений показали, что 100 % частиц  $ZnO$  имеют эффективный диаметр  $< 2$  мкм, а по данным электрон-

ной просвечивающей микроскопии содержание частиц данного диаметра составляет 99,98 %. Результаты исследований дисперсности практически совпадают (рисунки 1, 2).



**Рисунок 1 – Изображение частиц ZnO, полученное методом электронной просвечивающей микроскопии<sup>2</sup>**

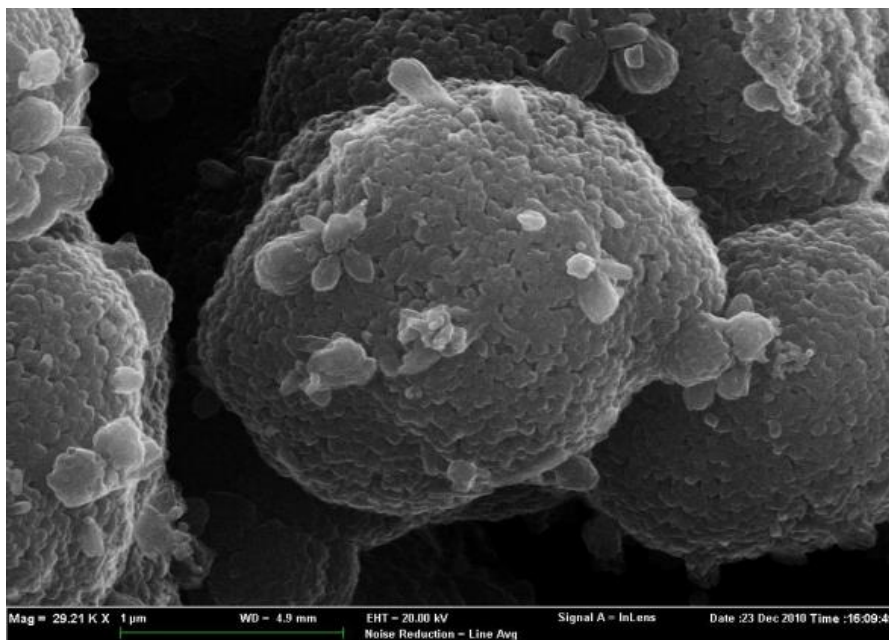


**Рисунок 2 – Кумулятивная кривая результатов определения дисперсности ZnO методом лазерной дифракции**

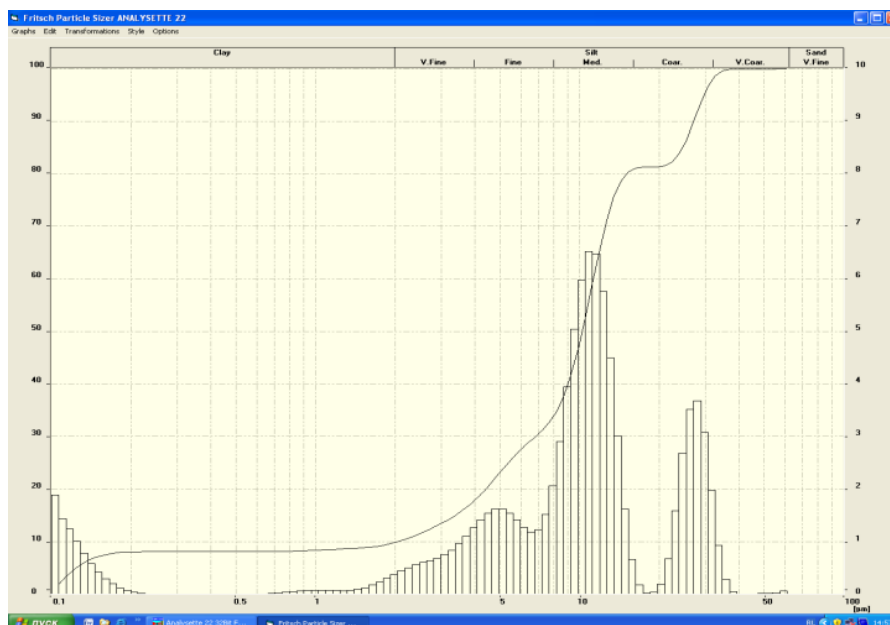
Полученные данные свидетельствуют, что лазерная дифракция дает практически полное совпадение с результатами, получаемыми с использованием электронной микроскопии, и позволяет определить «истинный»

<sup>2</sup> Фото предоставлено ОТК ЗАО «Эмпилс», г. Ростов-на-Дону.

размер частиц. В данном случае на рисунках 3, 4 приведены результаты исследования частиц  $TiO_2$  с эффективным диаметром  $< 50$  мкм. По результатам лазерной дифракции получается, что 100 % оксида титана имеют размер частиц от 50 мкм и меньше.



**Рисунок 3 – Изображение частиц  $TiO_2$ , полученное методом растровой электронной микроскопии<sup>3</sup>**



**Рисунок 4 – Кумулятивная кривая результатов определения дисперсности  $TiO_2$  методом лазерной дифракции**

<sup>3</sup> Фото любезно предоставлено Л. М. Кацнельсоном, генеральным директором НПП «Технологика», г. Ростов-на-Дону.

## **Выводы**

1 При отсутствии стандарта на проведение исследования гранулометрического состава почв и грунтов методом лазерной дифракции результаты будут зависеть от большого количества переменных, начиная от возможностей самого применяемого оборудования, заканчивая параметрами, установленными исследователем.

2 Проведенный нами эксперимент с образцами природного песка позволил определить, что результаты, полученные методом дифракции и методом просеивания, практически полностью соответствуют друг другу.

3 Данные, полученные в результате модельного эксперимента с порошками оксидов, свидетельствуют, что лазерная дифракция дает практически полное совпадение с результатами, получаемыми с использованием электронной микроскопии, и позволяет определить «истинный» размер частиц.

4 Результаты определения гранулометрического состава почвы методом лазерной дифракции в значительной степени отличаются от данных, получаемых методом пипетки. Так, по результатам лазерной дифракции размер определяемых частиц превышает заявленный размер ЭПЧ «суточной» пробы, а содержание самих частиц диаметром  $< 0,001$  мм на порядок ниже, чем определено методом пипетки. Такие различия могут быть обусловлены как одной из рассматриваемых причин, так и их совокупностью.

5 Выход той или иной фракции ЭПЧ, т. е. степень дисперсности одного и того же исследуемого образца, будет зависеть от выбираемой схемы измерения. Результаты измерений, во-первых, существенно зависят от продолжительности воздействия воды на почвенные микроагрегаты, которые в виде суспензии пропускают через систему линз лазерного дифрактометра под высоким давлением (4 бар) и на большой скорости. Во-вторых, степень дисперсности исследуемого образца будет зависеть от его предварительной подготовки. В-третьих, существенным фактором является использование ультразвуковой установки, которая позволяет регулировать длительность (интенсивность) этого воздействия на суспензию. Все эти факторы в своей

совокупности влияют на устойчивость почвенных микроагрегатов, а следовательно, и на результаты, получаемые методом лазерной дифракции.

### Список использованных источников

1 Болдырева, В. Э. Опыт использования метода лазерной дифракции для определения гранулометрического состава порошковых сред / В. Э. Болдырева, К. В. Шкуропадская, И. В. Морозов // Живые и биокосные системы [Электронный ресурс]. – 2015. – № 12. – Режим доступа: <http://jbks.ru/archive/issue-12/article-7>.

2 Хазарьян, В. Э. Сравнительный анализ методов пипетки и лазерной дифракции / В. Э. Хазарьян // Ломоносов-2013: XX Междунар. науч. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. Секция «Почвоведение», г. Москва, 8–12 апр. 2013 г. / МГУ им. М. В. Ломоносова, фак. почвоведения. – М.: МАКС Пресс, 2013. – С. 218–219.

3 Шеин, Е. В. Гранулометрический состав: роль органического вещества в различиях данных седиментометрического и лазерно-дифрактометрического методов / Е. В. Шеин, Е. Ю. Милановский, А. З. Молов // Доклады по экологическому почвоведению. – 2006. – Вып. 1, № 1. – С. 17–29.

4 Сравнение методов седиментометрии и лазерной дифрактометрии при определении гранулометрического состава почв естественных и техногенных ландшафтов / С. П. Кулижский, Н. Г. Коронатова, С. Ю. Артымук, Д. А. Соколов, Т. А. Новокрещенных // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2010. – № 4(12). – С. 21–31.

5 Блохин, А. Н. Оценка применения метода лазерной дифрактометрии в определении гранулометрического состава почв / А. Н. Блохин, С. П. Кулижский // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2009. – № 1(5). – С. 37–43.

6 Vuurman, P. Laser grain-size determination in soil genetic studies. 1. Practical problems / P. Vuurman, Th. Pape, C. C. Muggler // Soil Sci. – 1997. – Vol. 162. – P. 211–218.

7 Сравнение методов седиментометрии и лазерной дифракции в анализе гранулометрического состава глинистой фракции почв / А. А. Шинкарев, А. Г. Корнилова, Ф. А. Трофимова, А. С. Гордеев, К. Г. Гиниятуллин, Т. З. Лыгина // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2010. – Т. 152, № 2. – С. 251–260.

8 Konert, M. Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction / M. Konert, J. Vandenberghe // Sedimentol. – 1997. – Vol. 44. – P. 523–535.

9 Ryzak, M. Methodological aspects of determining soil particle-size distribution using the laser-diffraction method / M. Ryzak, A. Bieganski // Journal of Plant Nutrition and Soil Science. – 2011. – № 174. – P. 624–633.

10 Pedotransfer functions for converting laser diffraction particle-size data to conventional values / A. Mako, G. Toth, M. Weynants, K. Rajkai, T. Hermann, B. Toth // European Journal of Soil Science. – 2017. – Vol. 68. – P. 769–782.

11 Kowalenko, C. G. Inherent factors limiting the use of laser diffraction for determining particle size distributions of soil and related samples / C. G. Kowalenko, D. Babuin // Geoderma. – 2013. – № 193–194. – P. 22–28.

12 Вадюнина, А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.

### References

1 Boldyreva V.E., Shkuropadskaya K.V., Morozov I.V., 2015. *Opyt ispol'zovaniya metoda lazernoy difraktsii dlya opredeleniya granulometricheskogo sostava poroshkovykh sred* [Experience of using the method of laser diffraction to determine the particle size distri-

bution of powder medium]. *Zhivye i biokosnye sistemy* [Live and Biosy Systems], no. 12, available: <http://jbks.ru/archive/issue-12/article-7>. (In Russian).

2 Khazar'yan V.E., 2013. *Sravnitel'nyy analiz metodov pipetki i lazernoy difraktsii* [Comparative analysis of the pipette method and laser diffraction method]. *Lomonosov-2013: XX Mezhdunarjdnyaya nauchnaya konferentsiya studentov, aspirantov i molodykh uchennykh. Sektsiya «Pochvovedenie», Moskva, 8–12 April' 2013* [Lomonosov-2013: XX International scientific conference of students, graduate students and young scientists. Section “Soil Science”, Moscow, 8-12 April 2013]. Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Faculty of Soil Science. Moscow, MAKS Press Publ., pp. 218-219. (In Russian).

3 Shein E.V., Milanovskiy E.Yu., Molov A.Z., 2006. *Granulometricheskyy sostav: rol' organicheskogo veshchestva v razlichnykh dannykh sedimentometricheskogo i lazernodifraktometricheskogo metodov* [Particle-size distribution: the role of organic matter in the differences between the data of sedimentometric and laser-diffractometric methods]. *Doklady po ekologicheskomu pochvovedeniyu* [Reports on Environmental Soil Science], vol. 1, no. 1, pp. 17-29. (In Russian).

4 Kulizhskiy S.P., Koronotova N.G., Artymuk S.Yu., Sokolov D.A., Novokreshchenykh T.A., 2010. *Sravnienie metodov sedimentometrii i lazernoy difraktometrii pri opredelenii granulometricheskogo sostava pochv estestvennykh i tekhnogennykh landshaftov* [Comparison of the sedimentation method and laser diffraction analyses during determining the soil particle-size distribution of natural and technogenic landscapes]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Bull. of Tomsk State University. Biology], no. 4(12), pp. 21-31. (In Russian).

5 Blokhin A.N., Kulizhskiy S.P., 2009. *Otsenka primeneniya metoda lazernoy difraktometrii v opredelenii granulometricheskogo sostava pochv* [Evaluation of application of a laser diffractometry method in determining particle-size distribution of soils]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Tomsk State University Bull. Biology], no. 1(5), pp. 37-43. (In Russian).

6 Buurman P., Pape Th., Muggler C.C., 1997. Laser Studies. 1. Practical problems. *Soil Sci.*, vol. 162, pp. 211-218. (In English).

7 Shinkarev A.A., Kornilova A.G., Trofimova F.A., Gordeev A.S., Giniyatullin K.G., Lygina T.Z., 2010. *Sravnienie metodov sedimentometrii i lazernoy difraktsii v analize granulometricheskogo sostava glinistoy fraktsii pochv* [Comparison of sedimentometric analysis with laser grain size analysis for the determination of particle-size distribution of soil clay fraction]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki* [Proceed. of Kazan University. Series: Natural Sciences], vol. 152, no. 2, pp. 251-260. (In Russian).

8 Konert M., Vandenberghe J., 1997. Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction. *Sedimentol.*, vol. 44, pp. 523-535. (In English).

9 Ryzak M., Bieganski A., 2011. Methodological aspects of soil-size distribution using the laser-diffraction method. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, no. 174, pp. 624-633. (In English).

10 Mako A., Toth G., Weynants M., Rajkai K., Hermann T., Toth B., 2017. Pedotransfer functions for converting laser diffraction of particle-size data to conventional values. *European Journal of Soil Science*, vol. 68, pp. 769-782. (In English).

11 Kowalenko C.G., Babuin D., 2013. Inherent factors limiting the use of laser diffraction for determining particle size distributions of soil and related samples. *Geoderma*, no. 193-194, pp. 22-28. (In English).

12 Vadyunina A.F., Korchagina Z.A., 1986. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods for studying the physical properties of soils]. Moscow, Agropromizdat Publ., 416 p. (In Russian).

---

**Болдырева Вероника Эдуардовна**

Должность: старший лаборант кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов

Место работы: Академия биологии и биотехнологии имени Д. И. Ивановского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»

Адрес организации: пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344090

E-mail: maskow@mail.ru

**Boldyreva Veronika Eduardovna**

Position: Senior Laboratory Assistant, Department of Soil Science and Land Resources Assessment

Affiliation: Academy of Biology and Biotechnology named after D. I. Ivanovskiy of Southern Federal University

Affiliation address: ave. Stachki, 194/1, Rostov-on-Don, Russian Federation, 344090

E-mail: maskow@mail.ru

**Безуглова Ольга Степановна**

Ученая степень: доктор биологических наук

Ученое звание: профессор

Должность: профессор кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов

Место работы: Академия биологии и биотехнологии имени Д. И. Ивановского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»

Адрес организации: пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344090

E-mail: lola314@mail.ru

**Bezuglova Olga Stepanovna**

Degree: Doctor of Biological Sciences

Title: Professor

Position: Professor of Soil Science and Land Resources Assessment

Affiliation: Academy of Biology and Biotechnology named after D. I. Ivanovskiy of Southern Federal University

Affiliation address: ave. Stachki, 194/1, Rostov-on-Don, Russian Federation, 344090

E-mail: lola314@mail.ru

**Морозов Игорь Вадимович**

Ученая степень: кандидат биологических наук

Ученое звание: доцент

Должность: доцент кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов

Место работы: Академия биологии и биотехнологии имени Д. И. Ивановского федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет»

Адрес организации: пр. Стачки, 194/1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344090

E-mail: migovad@sfedu.ru

**Morozov Igor Vadimovich**

Degree: Candidate of Biological Sciences

Title: Associate Professor

Position: Associate Professor of Soil Science and Land Resources Assessment

Affiliation: Academy of Biology and Biotechnology named after D. I. Ivanovskiy of Southern Federal University

Affiliation address: ave. Stachki, 194/1, Rostov-on-Don, Russian Federation, 344090

E-mail: migovad@sfedu.ru