

УДК 631.43

МИКРОАГРЕГАТНЫЙ АНАЛИЗ ПОЧВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ДИФРАКЦИИ: ОСОБЕННОСТИ ПРОБОПОДГОТОВКИ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ

© 2017 г. А. В. Юдина^{1,*}, Е. Ю. Милановский²

¹*Почвенный институт им. В.В. Докучаева,
Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2*

²*МГУ им. М.В. Ломоносова,
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1*

**e-mail: anna.v.yudina@gmail.com*

На примере гумусовых горизонтов почв (агродерново-подзолистой, Московская область; серой, Тульские засеки; чернозема миграционно-мицеллярного мощного, Курская область; ферраллитной, о. Норфолк) показаны возможности метода лазерной дифракции в оценке микро-структурного состояния почвы. Рассмотрены различные способы пробоподготовки почв к микроагрегатному анализу: кипячение, взбалтывание (80 мин⁻¹) разбавленных водных суспензий, интенсивное встряхивание (2500 мин⁻¹) водных суспензий, перемешивание суспензий стеклянной палочкой. Дана оценка предварительному насыщению дистиллированной водой образцов почв перед проведением этапа пробоподготовки. Сделана оценка возможности применения показателей микроструктурности почв, разработанных на основе седиментационных методов. Показана невозможность применения коэффициента дисперсности по Качинскому к результатам, полученным методом лазерной дифракции. Интенсивное встряхивание (2500 мин⁻¹) водных суспензий в течение 10 мин рекомендуется в качестве стандартного метода пробоподготовки почв к микроагрегатному анализу методом лазерной дифракции. Такой способ не приводит к модификации свойств твердой фазы и обеспечивает стабильность результатов. Результаты микроагрегатного анализа методом лазерной дифракции, представленные непрерывным распределением частиц по размерам, обладают высокой информативностью. Сочетание различных способов пробоподготовки в совокупности с высокой точностью метода позволяют выявить специфичные особенности микро-структурной организации почв.

Ключевые слова: микроструктура, элементарные почвенные частицы

DOI: 10.19047/0136-1694-2017-89-3-20

ВВЕДЕНИЕ

Для каждого из структурных уровней почв характерны свои механизмы стабилизации ([Amezketta et al., 2003](#)). Элементарные почвенные частицы (ЭПЧ) – обломки горных пород и минералов, а также аморфные соединения, все элементы которых находятся в химической взаимосвязи и не поддаются разрушению общепринятыми методами пептизации ([Шейн, 2005](#)). ЭПЧ являются первичными и наиболее стабильными структурными единицами почвы. Агрегат – группа частиц, связанных между собой прочнее, чем с соседними почвенными частицами ([Kemper et al., 1984](#); [Шейн, 2005](#)). К микроагрегатам относят агрегаты размерами <0.25 мм ([Гедройц, 1926](#); [Edwards et al., 1967](#); [Шейн, 2005](#)), от 0.002 до 0.25 мм ([Tisdall et al., 1982](#)) или меньше 0.05 мм ([Васильев, 1952](#)). Микроагрегаты – устойчивые совокупности частиц, насыщенных основаниями минеральных почв, состоящие в основном из частиц ила и гумифицированного органического вещества (ОВ) и связанные между собой поливалентными ионами металлов ([Edwards et al., 1967](#)). Водоустойчивость микроагрегатов связывают с ОВ почв, выступающим в роли клеящих веществ ([Tisdall et al., 1982](#)). При этом взаимосвязь между ОВ и микроагрегацией почв не всегда однозначна, т.к. только определенная форма ОВ может быть ответственной за водоустойчивость ([Tisdall et al., 1982](#)). Кроме того, почвенные частицы размерами <2 мкм часто представляют собой микроагрегаты, а не индивидуальные частицы ([Chenu, et al., 2006](#)).

Границы между структурными уровнями почвы опираются в первую очередь на способ пробоподготовки и поэтому являются условными. Так, микроагрегат по Эдвардсу ([Edwards, et al., 1967](#)) и ЭПЧ по Шейну ([2005](#)) для некоторых объектов могут совпадать. Кроме того, методы пробоподготовки к анализу сильно отличаются в зависимости от школы почвоведения или поставленной задачи. В настоящей статье рассмотрим способы пробоподготовки почв к микроагрегатному анализу.

Для определения гранулометрического и микроагрегатного составов почв чаще всего используются методы, основанные на явлении седиментации. В последние годы возрастает популярность метода лазерной дифракции (ЛД), как наиболее быстрого и

требующего небольшого количества образца для анализа (десятьки–несколько сотен миллиграмм). Существенным преимуществом метода является форма предоставления результатов в виде непрерывного распределения частиц по размерам.

По ГОСТ 12536-2014¹ пробоподготовкой к микроагрегатному анализу служит кипячение почвенной суспензии (при соотношении почвы и дистиллированной воды от 1 : 25 для глин до 1 : 12.5 для супесей) в течение 1 ч. По Н.А. Качинскому (1958) необходимо интенсивное механическое взбалтывание (200 уд./мин) пробы в дистиллированной воде (1 : 20) в течение 2 ч. Кроме того, перед диспергацией проводят размачивание проб в воде в течение 24 ч. Известно, что почвы, содержащие значительное количество фракции песка, диспергируются в процессе взбалтывания в жидкой среде лучше, чем более тяжелые по гранулометрическому составу (Edwards et al., 19676).

Другая группа методов предполагает химическое воздействие на почву в процессе пробоподготовки. Так, по Шеину, Початковой (2007a) используются пирофосфат натрия (0.4% $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$). В Международном методе В (цит. по Н.А. Качинскому, 1958) предполагается кипячение в растворе водного аммиака (NH_4OH), что эквивалентно пробоподготовке к гранулометрическому анализу почв по ГОСТ 12536-2014.

Некоторые исследователи, использующие метод ЛД, добавляют пробу в сухом виде непосредственно в блок пробоподготовки при отключенном ультразвуке. И регистрируют динамику изменения распределения частиц по размерам до момента стабилизации суспензии. Амескета и др. (Amezqueta et al., 2003) для широкого ряда почв (36 почв, в основном верхние горизонты 0–20 см, средняя часть бассейна р. Эбро, Испания) установили следующее. Для характеристики микроагрегатного состава почв методом ЛД достаточно перемешивания пробы в течение 90 с. При 100% скорости вращения мешалки и циркуляции суспензии образца в течение 450 с увеличение содержания частиц <5 мкм составляет толь-

¹ ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 2015.

ко 2–4%, что по мнению авторов можно считать незначительным. Чтобы избежать разницы в результатах, вызванной первичной подготовкой образцов к анализу, проводят предварительное взбалтывание суспензии на горизонтальном шейкере (20 мин, 43 мин⁻¹) ([Pini, et al., 1998](#)).

Большое число работ посвящено изменению содержания фракций микроагрегатов и их размеров в зависимости от энергии ультразвукового воздействия на водные суспензии ([Edwards et al., 1967a](#); [Gregorich et al., 1988](#); [Fristensky et al., 2008](#); [Kaiser et al., 2014](#)). Перспективность этих исследований обуславливает возможность количественной (Дж/мл) оценки оказываемого воздействия на почвенные агрегаты ([North, 1976](#)) и наблюдения динамики процесса дезинтеграции микроагрегатов до ЭПЧ.

Однако до настоящего времени нет работ, которые бы предлагали определенный уровень воздействия с помощью ультразвука в качестве стандартного метода пробоподготовки почв к микроагрегатному анализу.

Цель исследования – сравнение различных методов пробоподготовки образцов почв к микроагрегатному анализу с регистрацией результатов методом ЛД. Требующаяся в этом случае малая навеска образца является, с одной стороны, достоинством данного метода, а, с другой стороны, обуславливает ряд проблем, не позволяющих использовать существующие методы пробоподготовки без их предварительной адаптации к ЛД окончанию. Рассмотрена возможность применения характеристических показателей микроагрегатного состояния почв, разработанных на основе результатов седиментационных методов, к результатам, полученным методом ЛД.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были гумусовые горизонты трех основных типов почв европейской части России: Р (0–10 см) агродерново-подзолистой почвы, Зеленоградский опорный пункт Почвенного института им. В.В. Докучаева, Московская область), АУ (0–15 см) серой лесной почвы (Тульские засеки), АУ (0–10 см) чернозема миграционно-мицеллярный мощный (Курский НИИ АПП), расположенного под лесополосой 1962 г. посадки (трехрядная, непродуваемой конструкции, основная порода – дуб че-

решчатый). Также проанализирован гор. А12 (10–20 см) ферралитной почвы (о. Норфолк, Ю–З Океания).

Образцы почв предварительно растерты пестиком с резиновым наконечником и пропущены через сито с ячейкой 1 мм. Выбрано 6 способов пробоподготовки к микроагрегатному анализу:

1. Взбалтывание водной суспензии (почва : вода 1 : 300) в течение 1 ч на мультиротаторе Multi Bio RS-24 (Biosan, Латвия), скорость в вращения 80 мин⁻¹.

2. Кипячение суспензии почвы (почва : вода 1 : 300) в течение 1 ч.

3. Перемешивание в течение 3 мин навески почвы с 1 мл H₂O_{дист} (25 мг почвы в 600 мкл воды, после 10 мин насыщения) стеклянной палочкой.

4. Встряхивание водной суспензии (1.5 мл в пробирках типа Eppendorf на 2 мл, концентрация суспензии – от 1.7 до 2.7% в зависимости от дисперсности образца) с помощью вортекса Reax Top (Heidolph, Германия) в течение 1 мин при 1000 мин⁻¹, в течение 1, 3, 5, 7, 10, 12, 15, 20, 30 мин при 2500 мин⁻¹. Амплитуда колебаний 5 мм.

5. Термостатирование образца (1.5 мл в пробирках Eppendorf на 2 мл, концентрация суспензии – от 1.7 до 2.7% в зависимости от дисперсности образца), 16 ч, 80°C с последующим встряхиванием при 2 500 мин⁻¹ в течение 10 мин.

6. Насыщение образца в течение 14 ч H₂O_{дист} (концентрация суспензии – от 1.7 до 2.7% в зависимости от дисперсности образца), с последующим встряхиванием в течение 20 мин при 2 500 мин⁻¹.

Определен гранулометрический состав почв. Диспергацию суспензии образца (15–25 мг в 15 мл H₂O) проводили на ультразвуковом диспергаторе зондового типа Digital Sonifier S-250D (Branson Ultrasonics, США) со стандартным наконечником (standard horn tip) в течение 5 мин. Энергия диспергации достигала 645 Дж/мл и обеспечивала наибольший выход физической глины.

Все определения распределений частиц по размерам проводили на лазерном анализаторе размеров частиц Microtrac Bluewave (Microtrac, США) в трехкратной повторности. Используемые при вычислениях параметры твердой фазы – частицы абсорбирующие, изометричной формы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Каждый из методов пробоподготовки несет свою долю информации о состоянии твердой фазы исследованных почв. Основным условием стандартизации методов определения агрегатного состава служит согласование между оказываемым на образец воздействием и соответствием состоянию почвенных частиц природным условиям (Kemper et al., 1984). Поэтому так важно понимание того, что происходит в процессе пробоподготовки.

Для образца агродерново-подзолистой почвы в целом стоит отметить малую разницу между используемыми способами пробоподготовки (рис. 1). Этот результат можно объяснить слабой агрегированностью и отсутствием разнообразия в механизмах агрегации. Минимальное физическое воздействие на агрегаты оказывает взбалтывание (80 мин^{-1} , 1 ч) разбавленной (1 : 300) водной суспензии. Данный способ позволяет идентифицировать в образцах все водоустойчивые микроагрегаты почв. Как видно из рис. 2а, образец агродерново-подзолистой почвы сразу распадается на наиболее стабильные микроагрегаты. По сравнению с други-

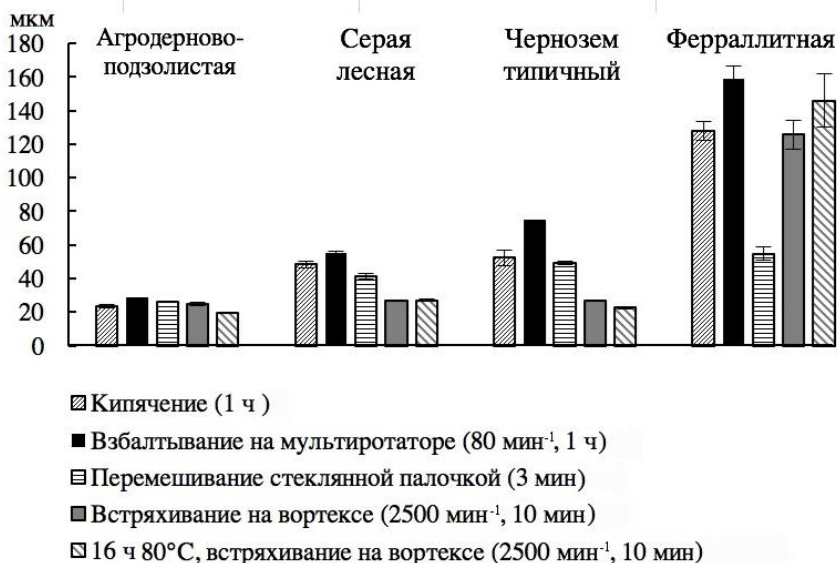


Рис. 1. Средний диаметр микроагрегатов (D_{50} , мкм) после различных способов пробоподготовки.

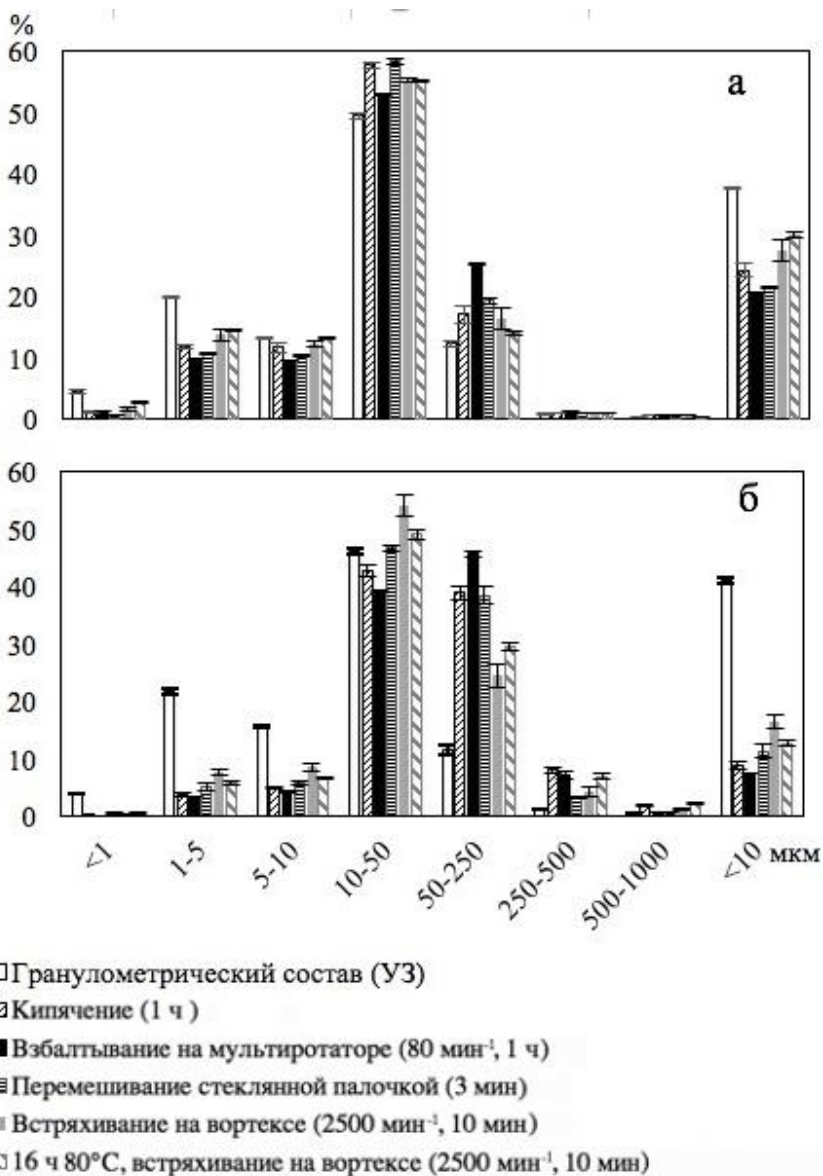


Рис. 2. Содержание фракций ЭПЧ и микроагрегатов после различных способов пробоподготовки в образцах почв: агродерново-подзолистой (а); серой лесной (б).

ми способами пробоподготовки отмечается небольшое увеличение содержания микроагрегатов размерами 50–250 мкм. Отдельно стоит отметить, что по сравнению с другими почвами (рис. 3в, 3г) отсутствуют микроагрегаты >250 мкм, о чем свидетельствуют различия в гранулометрическом и микроагрегатном составах. Способ с кипячением суспензии не позволяет использовать массу навески образца, применяемую в микроагрегатном анализе с седиментационным окончанием. Считается, что за 1 ч кипячения происходит удаление заземленного воздуха ([Шеин, Початкова, 2007б](#)). При используемом разбавлении (1 : 300) разрушение микроагрегатов в основном происходит за счет выхода адсорбированного воздуха, солей и, возможно, в результате растворения органических «клеев». При этом также может происходить растворение карбонатов, которые являются одним из факторов агрегации мелкозема.

Процедура перемешивания водных суспензий пробы стеклянной палочкой стандартизации не поддается. В результате субъективного фактора происходит неконтролируемое механическое разрушение части водоустойчивых микроагрегатов почв, например, как в образце ферраллитной почвы.

Термостатирование водной суспензии образца почвы в течение 16 ч при 80°C применяют для экстракции фракции водорастворимого органического вещества ([Chan et al., 1999](#)). Анализ данных микроагрегатного состава, полученных после пробоподготовки способами 1 и 5 дает информацию о роли водорастворимого ОБ в процессе микроагрегации почв. Согласно Эдвардсу ([Edwards et al., 1967б](#)), для некоторых почв удаление водорастворимого ОБ не влияет на их микроагрегатный состав. Это условие выполняется для образца серой лесной почвы, в то время как для образцов агродерново-подзолистой почвы и чернозема отмечено некоторое уменьшение величины D_{50} .

Независимо от способа пробоподготовки для образца ферраллитной почвы характерен большой разброс между повторностями. Почва обладает высокой микроагрегированностью и представлена частицами размерами 40–350 мкм. Изменение D_{50} наблюдается в пределах данного диапазона частиц, при этом почти не происходит выхода частиц ила и мелкой пыли.

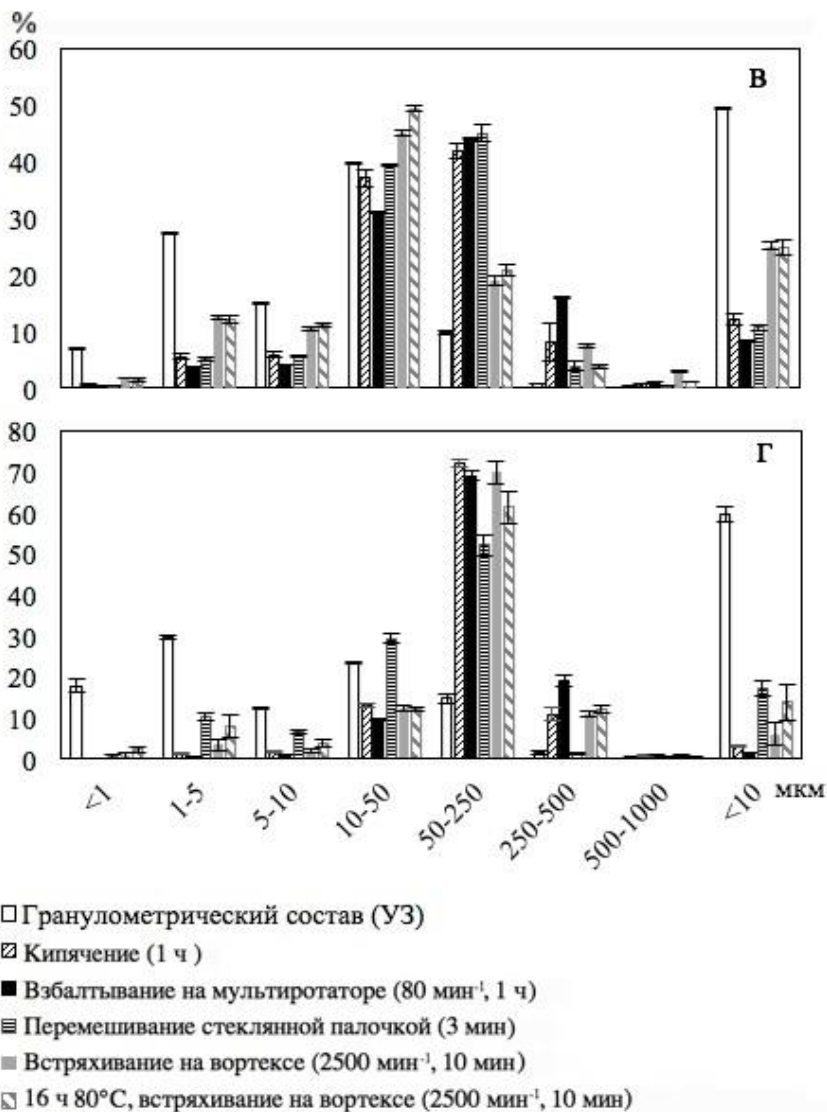


Рис. 3. Содержание фракций ЭПЧ и микроагрегатов после различных способов пробоподготовки в образцах почв: чернозема типичного (в); ферралитной (г).

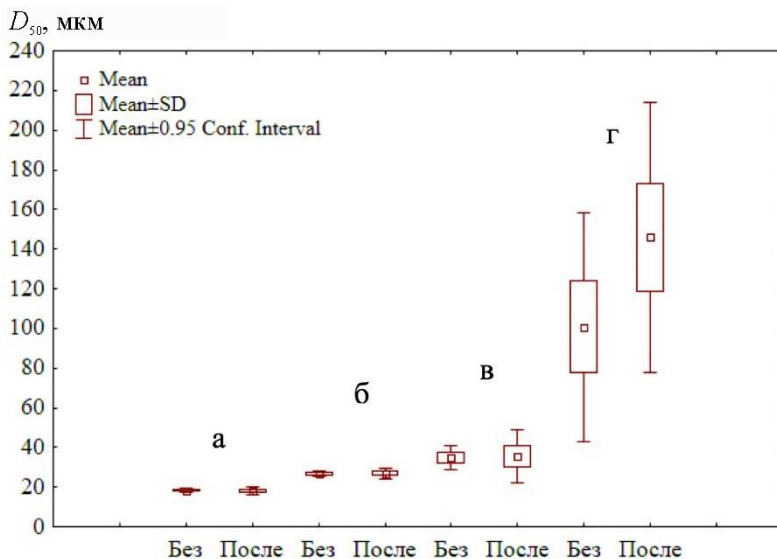


Рис. 4. Сравнение результатов микроагрегатного анализа (20 мин, 2500 мин^{-1}) без предварительного насыщения суспензии и после насыщения: агродерново-подзолистая (а); серая лесная (б), чернозем типичный (в), ферраллитная почва (г).

Насыщение водных суспензий в течение 14 ч перед встряхиванием (20 мин, 2500 мин^{-1}) не оказывает значимого ($\alpha = 0.95$, $F_a = 3.606$, $p_a = 0.423$, $F_b = 2.594$, $p_b = 0.902$, $F_v = 4.767$, $p_v = 0.837$, $F_r = 1.383$, $p_r = 0.095$), воздействия на результаты микроагрегатного анализа (рис. 4).

Применение интенсивного встряхивания водных суспензий с увеличением времени воздействия позволяет определить распределение по размерам микроагрегатов почв различной степени водоустойчивости. Поэтому проследили, через какое время происходит стабилизация суспензии для образцов различных типов почв (рис. 5). Встряхивание водных суспензий в течение различных периодов времени показало, что постепенно происходит уменьшение среднего диаметра частиц (D_{50} , мкм). После 10 мин происходит стабилизация суспензий, D_{50} уже значимо ($\alpha = 0.95$) не изменяется.

Для чернозема типичного отмечено разрушение значительной части микроагрегатов в течение 3 мин (D_{50} уменьшается с 70

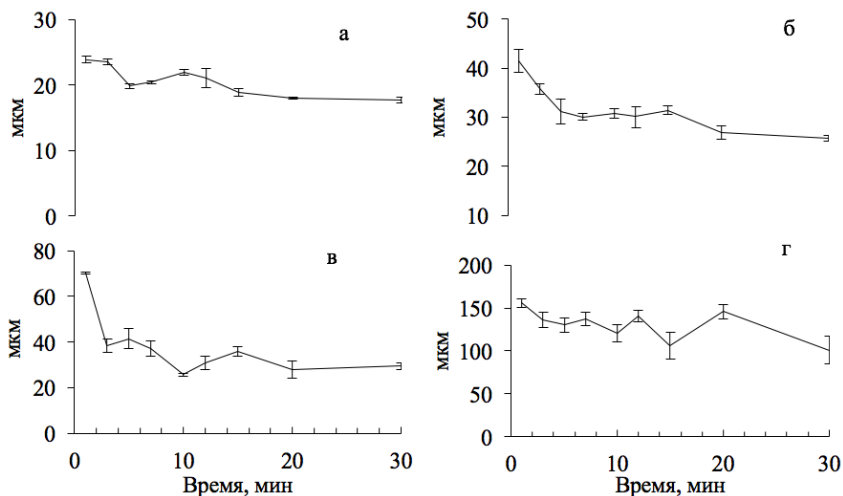


Рис. 5. Изменение среднего диаметра частиц (D_{50} , мкм) по мере увеличения времени встряхивания водных суспензий образцов почв: агродерново-подзолистой (а); серой лесной (б); чернозема типичного (в); ферраллитной (г).

до 38 мкм, и происходит увеличение содержания частиц <10 мкм с 8.6 до 17%). Интересно проследить, с чем связано изменение среднего диаметра микроагрегатов. Так, в дерново-подзолистой почве происходит разрушение микроагрегатов размерами 500–32 мкм и наблюдается соответственное обогащение фракций ила, мелкой и средней пыли (рис. 6а). В серой лесной почве происходит разрушение микроагрегатов с преимущественными диаметрами 250 и 80 мкм и соответственное накопление частиц меньше 45 мкм, среди которых преобладают частицы размером 25 мкм (рис. 6б). Похожие изменения происходят в образце чернозема (рис. 7в). В ферраллитной почве происходит разрушение двух фракций микроагрегатов с преимущественными диаметрами 250 и 74 мкм (рис. 7г) с отчетливым накоплением частиц размерами 0.35–0.14 мкм.

В качестве характеристических показателей микроструктуры почв используют коэффициент дисперсности по Качинскому (1958), степень агрегированности по Бэйверу (Шеин, Початкова, 2007а) и выводимый из данных гранулометрического анализа фактор

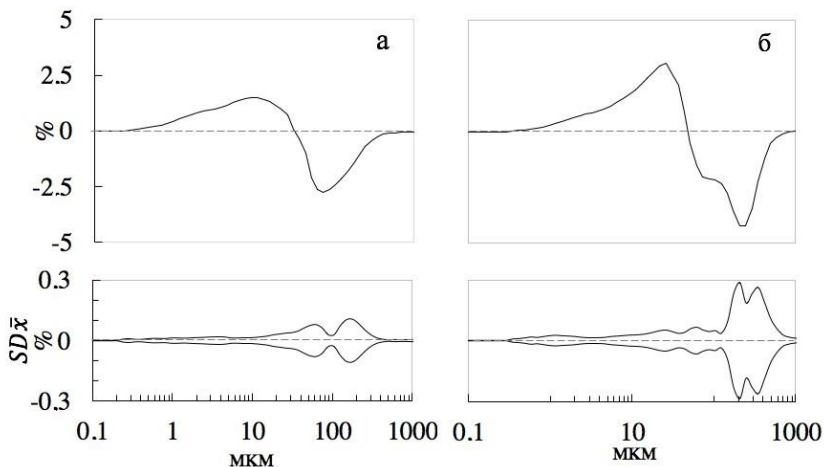


Рис. 6. Разница между распределениями микроагрегатов по размерам после 1 мин взбалтывания (1000 мин^{-1}) и 30 мин взбалтывания (2500 мин^{-1}) в образцах почв: агродерново-подзолистой (а); серой лесной (б).

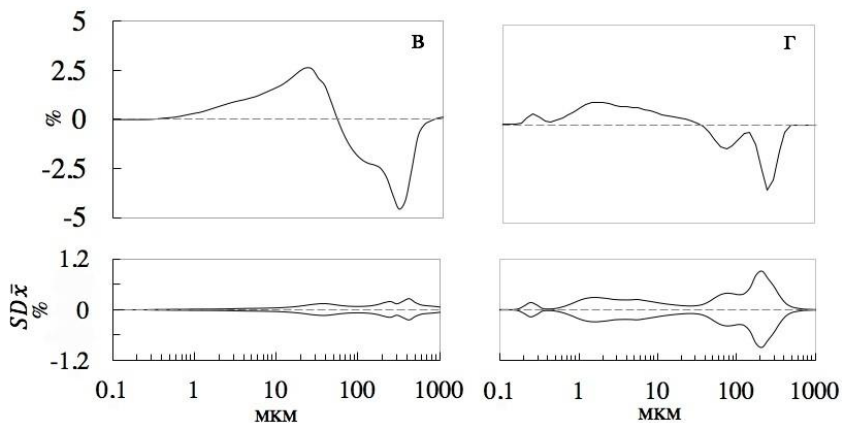


Рис. 7. Разница между распределениями микроагрегатов по размерам после 1 мин взбалтывания (1000 мин^{-1}) и 30 мин взбалтывания (2500 мин^{-1}) в образцах почв: черноземе типичном (в); ферраллитной (г).

структурности по [Качинскому \(1958\)](#). Значения данных показателей для исследованных образцов почв приведены в таблице.

Основные отличия результатов, полученных методом ЛД, заключаются в значительно меньшем количестве илистых частиц

Показатели микроструктурного состояния исследованных образцов почв

Почва	Способ пробоподготовки				
	1	2	3	4	5
Коэффициент дисперсности по Качинскому (K_d , %)					
Агродерново-подзолистая	28	12	12	36	57
Серая лесная	0	13	11	9	12
Чернозем типичный	9	6	10	27	21
Ферраллитная	0	3	12	4	12
Степень агрегированности по Бэйверу (A_r , %)					
Агродерново-подзолистая	50	27	35	25	12
Серая лесная	76	73	69	56	66
Чернозем типичный	82	78	78	63	63
Ферраллитная	81	80	69	79	77
Фактор структурности по Вадюниной (P)					
Агродерново-подзолистая	32.0				
Серая лесная	34.1				
Чернозем типичный	52.3				
Ферраллитная	90.0				

(<1 или <2 мкм) по сравнению с методами, основанными на явлении седиментации ([Loizeau et al., 1994](#); [Buurman et al., 1997](#); [Beuselinck et al., 1998](#); [Eshel et al., 2004](#); [Шинкарев и др., 2010](#)). Кроме того, для микроагрегированных почв выход ила при анализе методом ЛД может быть равен 0. Это приводит к искажению коэффициента дисперсности по Качинскому (K_d , %). Исследованные образцы почв после различных пробоподготовок почти целиком попадают в градацию почв с высокой микроструктурностью, что не соответствует действительности. Увеличение диспергирующего воздействия на микроагрегаты почв по K_d слабо выражено.

В то же время степень агрегированности по Бэйверу (A_r , %) позволяет оценить различия в микроструктурном состоянии почв с помощью результатов метода ЛД, так как в этом случае учитывает сумму частиц крупнее 50 мкм.

Фактор структурности по Вадюниной (P , %) характеризует потенциальную способность почв к микроагрегации. Для исследованных образцов почв значения P увеличиваются в ряду агродерново-подзолистая–серая лесная–чернозем типичный–ферраллитная.

В ферраллитной почве после растворения части ОВ (16 ч, 80°C) с одной стороны происходит увеличение D_{50} , с другой, увеличивается выход физической глины и уменьшается величина A_f с 79 до 77%. Происходит разрушение части микроагрегатов размерами 50–250 мкм (рис. 3г).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Встряхивание в течение 10 мин (2500 мин⁻¹) водных суспензий почв позволяет получить распределение водоустойчивых микроагрегатов почв по размерам. Такой способ пробоподготовки не приводит к модификации свойств твердой фазы, и его можно рекомендовать в качестве стандартного для оценки микроструктуры почв.

Высокая точность метода ЛД допускает сравнение результатов между различными способами пробоподготовки почв к анализу. Это обстоятельство в совокупности с результатом в виде непрерывных кривых распределения частиц по размерам позволяет выявить специфические для каждого из объектов особенности структурной организации почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Качинский Н.А.* Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 191 с.
2. *Гедройц К.К.* Почва как культурная среда для сельскохозяйственных растений. Носовская сельскохозяйственная опытная станция, 1926. 42 с.
3. *Васильев А.М.* Исследования физических свойств почвы. Кишинев: Государственное издательство Молдавии, 1952. 300 с.
4. *Шеин Е.В.* Курс физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 432 с.
5. *Шеин Е.В., Початкова Т.Н.* IV.1. Микроагрегатный анализ почв // Теории и методы физики почв. М.: Гриф и К, 2007а. С. 93–95. ISBN 978-5-8125-0921-7
6. *Шеин Е.В., Початкова Т.Н.* II.3. Методы определения плотности твердой фазы почв // Теория и методы физики почв: коллективная монография. М.: Гриф и К, 2007б. С. 40–42. ISBN 978-5-8125-0921-7
7. *Шинкарев А.А., Корнилова А.Г., Трофимова Ф.А., Гордеев А.С., Гиниятуллин К.Г., Лыгина Т.З.* Сравнение методов седиментометрии и лазерной дифракции в анализе гранулометрического состава глинистой фракции почв // Ученые записки Казанского университета. 2010. Сер. Естественные науки. Т. 152. Кн. 2. С. 251–260.

8. *Amezqueta E., Aragüés R., Carranza R., Urgel B.* Macro-and micro-aggregate stability of soils determined by a combination of wet-sieving and laser-ray diffraction // *Spanish J. Agricultural Res.* 2003. T. 1. № 4. P. 83-94. doi: [10.5424/sjar/2003014-50](https://doi.org/10.5424/sjar/2003014-50)
9. *Beuselinck L., Govers G., Poesen J., Degraer G., Froyen L.* Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method // *Catena.* 1998. T. 32. № 3. P. 193–208. doi: 10.1016/S0341-8162(98)00051-4
10. *Buurman P., Pape T., Muggler C.C.* Laser grain-size determination in soil genetic studies 1. Practical problems // *Soil Science.* 1997. T. 162. № 3. P. 211–218. doi: 10.1097/00010694-199703000-00007.
11. *Chan K.Y., Heenan D.P.* Microbial-induced soil aggregate stability under different crop rotations // *Biol. Fertil. Soils.* 1999. T. 30. № 1. P. 29–32. doi: 10.1007/s003740050583
12. *Chenu C., Plante A.F.* Clay-sized organo-mineral complexes in a cultivation chronosequence: revisiting the concept of the 'primary organo-mineral complex' // *European J. Soil Science.* 2006. T. 57. № 4. P. 596–607. doi: 10.1111/j.1365-2389.2006.00834.x
13. *Edwards A.P., Bremner J.M.* Dispersion of soil particles by sonic vibration // *J. Soil Sci.* T. 18- № 1. 1967a. P. 47–63. doi: 10.1111/j.1365-2389.1967.tb01487.x
14. *Edwards A.P., Bremner J.M.* Microaggregates in soils // *J. Soil Sci.* T. 18 № 1. 1967b. P. 64–73. doi: 10.1111/j.1365-2389.1967.tb01488.x
15. *Eshel G., Levy G.J., Mingelgrin U., Singer M.J.* Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2004. T. 68. № 3. P. 736–743. doi: 10.2136/sssaj2004.7360
16. *Fristensky A., Grismer M.E.* A simultaneous model for ultrasonic aggregate stability assessment // *Catena.* 2008. T. 74. № 2. P. 153–164. doi: 10.1016/j.catena.2008.04.013
17. *Gregorich E.G., Kachanoski R.G., Voroney R.P.* Ultrasonic dispersion of aggregates: distribution of organic matter in size fractions // *Can. J. Soil Sci.* 1988. T. 68. № 2. P. 395–403. doi: 10.4141/cjss88-036
18. *Kaiser M., Berhe A.A., Sommer M., Kleber M.* Application of ultrasound to disperse soil aggregates of high mechanical stability // *J. Plant Nutrition Soil Sci.* 2012. T. 175. № 4. p. 521–526. doi: 10.1002/jpln.201300339
19. *Kemper W.D., Rosenau R.C.* Aggregate stability and size distribution // *Methods of Soil Analysis.* 1984. ISBN 978-0891188414.
20. *Loizeau J.L., Arbouille D., Santiago S., Vernet J.P.* Evaluation of a wide range laser diffraction grain size analyser for use with sediments // *Sedimentology.* 1994. T. 41. № 2. P. 353–361. doi: 10.1111/j.1365-3091.1994.tb01410.x

21. *North P.F.* Towards an absolute measurement of soil structural stability using ultrasound // *J. Soil Science*. 1976. Т. 27. № 4. P. 451–459. doi: 10.1111/j.1365-2389.1976.tb02014.x
22. *Pini R., Guidi G.* Determination of soil microaggregates with laser light scattering// *Commun. Soil Science Plant Analysis*. 1989. Т. 20. № 1–2. P. 47–59. doi: 10.1080/00103628909368067
23. *Tisdall J.M., Oades J.M.* Organic matter and water-stable aggregates in soils // *J. Soil Science*. 1982. Т. 33. № 2. P. 141–163. doi: 10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x

THE MICROAGREGATE ANALYSIS OF SOILS BY THE METHOD OF LASER DIFRACTION: THE SPECIFICITIES OF SAMPLE PREPARATION AND RESULT INTERPRETATION

A.V. Yudina¹, Ye.Yu. Milanovskiy²

*¹V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Russia, 119017, Moscow, Pyzhevskii per. 7-2*

*²Lomonosov Moscow State University,
Russia, 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1
e-mail: vvklyueva@gmail.com*

The opportunities of the laser diffraction method in the assessment of the microstructure condition of the soil are shown on the samples of humus layers of the following soils (agro soddy-podzolic (Eutric Albic Retisol (Loamic, Aric, Cutanic, Ochric)), Moscow oblast; gray (Luvic Greyzemic Phaeozem), Tulskie zaseky; migration micellar chernozem (Haplic Chernozem (Loamic, Pachic)), Kursk oblast; ferralitic (Rhodic Ferralsol), Norfolk island). The ways of samples preparation to the analysis are considered: boiling, stirring (80 min⁻¹) of the attenuated water suspensions, intense stirring (2500 min⁻¹) of the water suspensions, mixing of the suspension by the glass stick. The assessment of the preliminary saturation of samples by the distilled water before the samples preparation is given. The assessment of possibility of the implementation of soil micro structure indices, developed on the basis of sedimentation methods was made. The impossibility of the implementation of Kachinskiy dispersion coefficient to the results obtained by the method of laser diffraction was shown. The intense stirring (2500 min⁻¹) of the water suspensions during the 10 minutes is recommended as the standard method of the soil samples preparation for the further microaggregate analysis by the method of laser diffraction. Such a way of soil samples preparation doesn't lead to the modification of the properties of the solid body and provides the stability of the results. The results of the microaggregate analysis by the method of laser

diffraction, presented by the even distribution of particles by the size are characterized by the high informativity. The correlation of different ways of soil samples preparation along with the high accuracy of the method allow us to reveal the specificities of microstructure soil organization.

Keywords: soil, microstructure, samples preparation, laser diffraction

REFERENCES

1. Amezketa E., Aragüés R., Carranza R., Urgel B. Macro-and micro-aggregate stability of soils determined by a combination of wet-sieving and laser-ray diffraction, *Spanish J. Agricultural Res.*, 2003, V. 1, No. 4, pp. 83-94. doi: 10.5424/sjar/2003014-50.
2. Beuselinck L., Govers G., Poesen J., Degraer G., Froyen L. Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method, *Catena*. 1998, V. 32, No. 3, pp. 193-208. doi: 10.1016/S0341-8162(98)00051-4
3. Buurman P., Pape T., Muggler C.C. Laser grain-size determination in soil genetic studies 1. Practical problems// *Soil science*, 1997, V. 162, No. 3, pp. 211-218. doi: 10.1097/00010694-199703000-00007
4. Chan K.Y., Heenan D.P. Microbial-induced soil aggregate stability under different crop rotations, *Biol. Fertil. Soils*, 1999, V. 30, No. 1, pp. 29-32. doi: 10.1007/s003740050583
5. Chenu C., Plante A.F. Clay-sized organo-mineral complexes in a cultivation chronosequence: revisiting the concept of the 'primary organo-mineral complex', *Eur. J. Soil Sci.* 2006, V. 57, No. 4, pp. 596-607. doi: 10.1111/j.1365-2389.2006.00834.x
6. Edwards A.P., Bremner J.M. Dispersion of soil particles by sonic vibration, *J. Soil Sci.* 1967a, V. 18, No. 1, pp.47-63. doi: 10.1111/j.1365-2389.1967.tb01487.x
7. Edwards A.P., Bremner J.M. Microaggregates in soils, *J. Soil Sci.*, 1967b, V. 18, No. 1, pp.64-73. doi: 10.1111/j.1365-2389.1967.tb01488.x
8. Eshel G., Levy G.J., Mingelgrin U., Singer M.J. Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis, *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2004, V. 68, No. 3, pp. 736-743. doi: 10.2136/sssaj2004.7360
9. Fristensky A., Grismer M.E. A simultaneous model for ultrasonic aggregate stability assessment, *Catena*. 2008, V. 74, No. 2, pp.153. doi: 10.1016/j.catena.2008.04.013
10. Gedrojc K.K. *Pochva kak kulturnaya sreda dlya sel'sko-hozyajstvennykh rastenij* (Soil as cultural environment for crops), Nosovskaya sel'skohozyajstvennaya opyt'naya stanciya, 1926, 42 p.
11. Kachanoski R.G., Voroney R.P., Gregorich E.G. Ultrasonic dispersion of aggregates: distribution of organic matter in size fractions, *Can. J. Soil Sci.*, 1988, V. 68, No. 2, pp. 395-403. doi: 10.4141/cjss88-036
12. Kachinskiy N. A. *Mekhanicheskiy i mikroagregatnyy sostav pochvy, metody yego izucheniya* (The Particle-Size and Microaggregate Composition of Soil and Methods of Studying It), Moscow, USSR Academy of Sciences Press, Publ., 1958, 199 p.

13. Kaiser M., Berhe A. A., Sommer M., Kleber M. Application of ultra-sound to disperse soil aggregates of high mechanical stability // *J. Plant Nutrition Soil Sci.*, 2012, V. 175, No. 4, pp. 521-526. doi: 10.1002/jpln.201300339.
14. Kemper W.D., Rosenau R.C. Aggregate stability and size distribution, *Methods of Soil Analysis* / Ed. Klute A. 1984. ISBN 978-0891188414.
15. Loizeau J. L., Arbouille D., Santiago S., Vernet J.P. Evaluation of a wide range laser diffraction grain size analyser for use with sediments, *Sedimentology*. 1994, V. 41, No. 2, pp. 353-361. doi: 10.1111/j.1365-3091.1994.tb01410.x
16. North P.F. Towards an absolute measurement of soil structural stability using ultrasound, *J. Soil Sci.* 1976. V. 27, No. 4, pp. 451-459. - 10.1111/j.1365-2389.1976.tb02014.x
17. Pini R., Guidi G. Determination of soil microaggregates with laser light scattering, *Commun. Soil Sci. Plant Analysis*. 1989, V. 20, No. 1-2, pp. 47-59. doi: 10.1080/00103628909368067
18. Shein E.V. *Kurs fiziki pochv* (Course of soil physics), Moscow, Mosk. Gos. Univ. Publ., 2005, 432 p.
19. Shein E.V., Pochatkova T.N. II.3. Metody opredeleniya plotnosti tverdoj fazy pochv (Methods for determining soil particle density), *Teorii i metody fiziki pochv* (Theory and methods of soil physics). Moscow, Grif i K, Publ., 20076, pp. 40-42. ISBN 978-5-8125-0921-7
20. Shein E.V., Pochatkova T.N. IV.1. Mikroagregatnyj analiz pochv (Soil microaggregate analysis, *Teorii i metody fiziki pochv* (Theory and methods of soil physics). Moscow, Grif i K, Publ., 20076, pp. 40-42. ISBN 978-5-8125-0921-7
21. Shinkarev A.A., Kornilova A.G., Trofimova F.A., Gordeev A.S., Giniyatullin K.G., Lygina T.Z. Comparison of Sedimentometric Analysis with Laser Grain Size Analysis for the Determination of Particle-Size Distribution of the Soil Clay Fraction, *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2010, V. 152, No. 2, pp. 251-260.
22. Tisdall J.M., Oades J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils, *J. Soil Sci.*, 1982, V. 33, No. 2, pp. 141-163. 10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x
23. Vasilev A.M. *Issledovaniya fizicheskikh svoystv pochvy* (Investigations of soil physical properties), Kishinev, Gosudarstvennoe izdatelstvo Moldavia, Publ., 1952, 300 p.

Ссылки для цитирования

- Юдина А. В., Милановский Е. Ю. Микроагрегатный анализ почв методом лазерной дифракции: особенности пробоподготовки и интерпретации результатов // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 89. С. 3-20. doi: 10.19047/0136-1694-89-3-20
- Yudina A.V., Milanovskiy E.Y. The microaggregate analysis of soils by the method of laser diffraction: the specificities of sample preparation and result interpretation, *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2017, Vol. 89, pp. 3-20. doi: 10.19047/0136-1694-89-3-20