

## ОЦЕНКА МЕТОДИКИ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЕРИФЕРИЙНОЙ И ВНУТРЕННЕЙ ЧАСТЕЙ ПОЧВЕННЫХ АГРЕГАТОВ МЕХАНИЧЕСКИМ ИСТИРАНИЕМ

© 2018 г. В. А. Холодов<sup>1,2\*</sup>, С. А. Гарбуз<sup>3</sup>,  
Н. В. Ярославцева<sup>1</sup>, Е. Ю. Милановский<sup>1,2</sup>, М. А. Яшин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Почвенный институт им. В.В. Докучаева,  
Россия, 119017 Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2

<sup>2</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

<sup>3</sup>Институт сельского хозяйства и окружающей среды,  
Университет Мэсси,

Новая Зеландия, Палмерстон-Норт

\*<http://orcid.org/0000-0002-6896-7897>, e-mail: [vkholod@mail.ru](mailto:vkholod@mail.ru)

Для разделения агрегатов на внутреннюю часть (ядро) и периферию (кору) использовали истирание агрегатов друг о друга. Для этой цели агрегаты 5–3 мм встряхивали на обратном ротаторе, их кора стачивалась, переходя до фракции <0.25 мм. Для контроля процесса, периодически оценивали эффективность истирания по изменению распределения размерных фракций. В конце эксперимента в полученных фракциях определяли содержание углерода и азота. Распределение получаемых размерных фракций стабилизировалось через 16 ч эксперимента, в случае типичного чернозема под степью, и через 24 ч в случае дерново-подзолистой почвы под лесом. В дерново-подзолистой почве истирание наблюдали в течение всего эксперимента. В типичном черноземе после первого часа обработки преобладало дробление агрегатов, затем в последующие 10 ч доминировало истирание, затем снова дробление. Определение содержания углерода и азота показывает анизотропность агрегатов по этому параметру. Внутри агрегатов содержание углерода выше, чем на периферии. Причем эти отличия больше выражены в ненарушенных почвах, а также в дерново-подзолистых почвах по сравнению с черноземами. В целом показана перспективность предложенного подхода. Однако он требует дальнейшего развития для эффективного приложения.

*Ключевые слова:* структура почв, органическое вещество, ядро и кора агрегата, дерново-подзолистые почвы, типичные черноземы

**DOI:** 10.19047/0136-1694-2018-93-94-104

## ВВЕДЕНИЕ

При изучении гумусовых горизонтов на уровне структурных отделностей в первую очередь рассматриваются макроагрегаты как основная иерархическая единица почвенной структуры. Именно в них происходит трансформация наибольшей доли поступающих в почву растительных остатков. Особая среда, возникающая в макроагрегатах, способствует замедлению разложения растительных остатков и их гумификации ([Six et al., 2004](#)). В связи с этим допустимо рассматривать их как отдельную систему или микрокосм.

При рассмотрении почвенного агрегата как отдельного микрокосма, в первую очередь, следует выделить неоднородность условий от периферии к центру, т.е. от “коры” к “ядру”. Например, ранее показано, что внутри агрегатов длительное время могут наблюдаться анаэробные условия, тогда как снаружи – чаще аэробные ([Шеин, 2005](#)).

Однако в силу относительно небольших размеров, отделение внешней поверхности агрегатов от внутренней достаточно трудоемко или для решения узкого круга задач. Применяют ручное разделение, когда под бинокулярной лупой лезвием счищают кору с ядра ([Chenu et al., 2001](#); [Reichel et al., 2014](#)). Основной недостаток этого метода – высокая трудоемкость и как, следствие небольшие количества получаемых образцов, что затрудняет получение представительной выборки. Помимо трудоемкости, недостатком этого подхода является то, что исследователи вынуждены работать с крупными агрегатами, а мелкие выпадают из поля зрения. Известны работы, в которых выделяли (вымывали) микроорганизмы из внутренней части агрегатов, либо стерилизовали поверхность агрегатов и определяли состав микробного сообщества внутри ([Ranjard et al., 1997](#); [Mummey et al., 2004](#); [Ranjard et al., 2000](#)). Однако такие подходы не годятся для решения других задач, например, распределения веществ внутри агрегата. Предложен подход для определения ферментативной активности внутри и снаружи водоустойчивых агрегатов, основанный на скорости проникновения веществ внутрь педов ([Гарбуз и др., 2016](#)). Однако он подходит только для водоустойчивых агрегатов и для определения относительно узкого круга показателей, для которых возможны

количественные характеристичные реакции (например, реакции субстрат-фермент для определения ферментативной активности).

В связи с этим в актуальна разработка простых подходов для разделения почвенных макроагрегатов на кору и ядро, которые позволяют получать большие (граммы) количества образцов и не зависеть от размеров исходных агрегатов.

Цель работы – оценка возможности использования взаимного истирания друг о друга почвенных макроагрегатов для разделения их на кору и ядро. Для оценки качества и перспективности этого подхода в полученных фракциях определяли содержание органического углерода и азота.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В работе использовали образцы дерново-подзолистой почвы и типичного чернозема. Образцы дерново-подзолистой среднесуглинистой пахотной почвы ([Классификация..., 1977](#)), согласно международной классификации ([WRB, 2014](#)) Retisol, отбирали на территории Московской области в пахотном горизонте многолетнего опыта Центральной опытной станции ВНИИ удобрений им. Д.Н. Прянишникова зерно-пропашной севооборот, координаты 55°17.652 N; 037°49.885 E и залежной дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы (55°17.683 N; 037°50.045 E) в рядом расположенном лесном массиве (ельник с примесью березы, возраст прироста 80–100 лет).

Образцы типичного чернозема ([Классификация..., 1977](#)), согласно международной классификации Chernozem ([WRB, 2014](#)) отбирали в многолетнем опыте (51°34.207 N; 36°05.444 E) Центрально-черноземного государственного биосферного заповедника им. В.В. Алехина “Ежегодно косимая степь” и в длительном многолетнем полевом опыте на территории Курского НИИ АПП по многолетнему использованию монокультур “бессменный картофель без удобрений с 1964 г.”. Из образцов сухим просеиванием были выделены агрегаты фракции 5–3 мм.

Истирание почвенных агрегатов проводили в воздушной среде в стандартных герметично закрывающихся пластиковых пробирках на 50 мл (типа Falcon). Навеску 5 г сухих агрегатов помещали на ротационный встряхиватель RM-1M (Elmi, Латвия) и встряхивали, оборачивая пробирки на 360° 48 ч со скоростью

40 об./мин. При таком режиме агрегаты пересыпаются со дна к крышке и обратно; попутно трутся друг о друга и кора истирается (за размер истертой коры принята была фракция 0.25 мм).

Через 1, 2.5, 5, 10, 16, 24 и 48 ч в образцах определяли распределение структурных отдельностей, пропуская их через набор сит с диаметром ячеек 3, 2, 1 и 0.25 мм. Полученные данные использовали для оценки скорости и доли истирания.

В выделенных фракциях определяли содержание органических С и N каталитическим сжиганием в токе кислорода на анализаторе Vario Macro Cube.

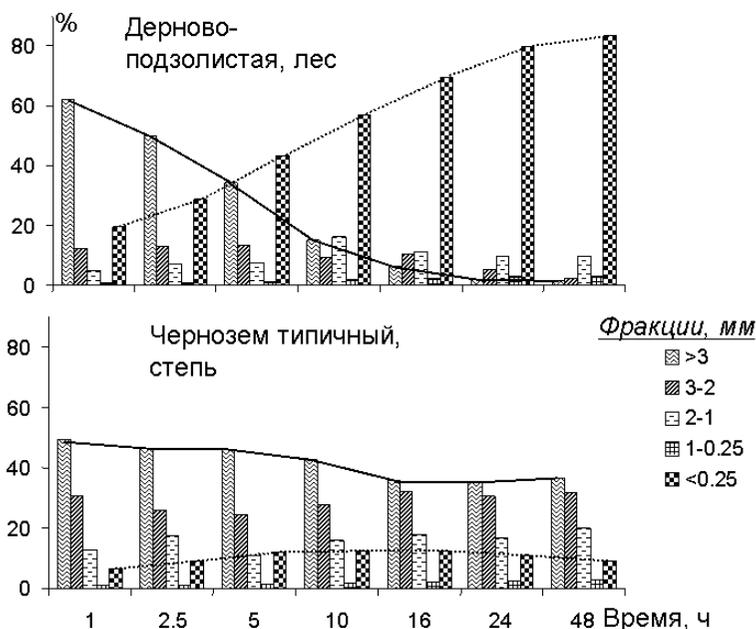
Для оценки отличий использовали попарное сравнение,  $t$  – тест при  $n = 3$ ,  $\alpha = 0.05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В выбранном экспериментальном режиме распределение получаемых размерных фракций стабилизировалось через 16 ч истирания в случае чернозема и через 24 ч в случае дерново-подзолистой почвы (рис. 1).

При истирании дерново-подзолистой почвы под лесом после первого часа обработки из 5 г агрегатов 5–3 мм образуется 20% частиц <0.25 мм и 18% всех остальных, более крупных частиц. Таким образом, при истирании в выбранном режиме большая часть разрушающихся агрегатов переходит во фракцию <0.25 мм, что указывает на то, что доминирует процесс истирания, а не раскалывание агрегатов на более мелкие. Т.е. в ходе эксперимента выделялись именно ядро и кора агрегатов. Через 48 ч более 80% от массы исходного образца перешло во фракцию <0.25 мм. Количество фракции >3 мм было менее 2%. Примерно такие же результаты демонстрировали фракции 3–2 и 1–0.25 мм, фракции 2–1 мм осталось после разрушения около 10 %.

Истирание агрегатов типичного чернозема под степью иное. После первого часа обработки частиц <0.25 мм образуется 6%, остальных – 44%. Таким образом, наблюдается доминирование дробления агрегатов. Однако в последующие 10 ч содержание образовавшихся за первый час агрегатов от 3 до 0.25 мм практически не меняется. Возрастает содержание частиц <0.25 мм и снижается доля агрегатов >3 мм. Справедливо предположить, что в указанный



**Рис. 1.** Изменение содержания (мас. %) размерных фракций в зависимости от времени истирания; содержание агрегатов >3 мм показано сплошной линией, частиц <0.25 мм – пунктирной.

временной промежуток наблюдается истирание агрегатов >3 мм. При дальнейшей обработке доли фракций 2–1, 1–0.25 и <0.25 мм значительно не изменялись, трансформировалось только содержание <3 и 3–2 мм: доля первой фракции снижалась, второй увеличивалась, очевидно наблюдался переход из фракции <3 в 3–2 мм. По окончании эксперимента фракции >3 мм было 36%, 3–2 мм – 32%, 2–1 мм – 20%, 1–0.25 мм – 3% и <0.25 мм – 9%.

Как видно, в дерново-подзолистой почве наблюдается равномерное истирание агрегатов с небольшой долей раскалывания. Это позволяет получать ядро и кору уже после часа встряхивания. Однако экспозиция встряхивания требует уточнения.

В черноземе в начальный период наблюдается раскалывание агрегатов на более мелкие, затем истирание, а впоследствии разрушение оставшихся исходных агрегатов до размеров 3–2 мм. При этом в черноземе через 48 ч сохраняется достаточно устойчивая и

многочисленная фракция 3–1 мм (52% от изначального количества). Возможно, это свидетельствует о комплексности строения агрегатов 5–3 мм, в их состав могут входить агрегаты 3–1 мм, и при встряхивании крупные агрегаты разрушаются на более мелкие. Однако это требует дальнейшего изучения. В целом, оптимальный режим истирания для агрегатов черноземов – 10 ч, время, за которое происходит выход подавляющей части фракции <0.25, а в дальнейшем наблюдается в основном дробление агрегатов.

Следующим этапом исследования было определение содержания органических С и N в агрегатах. Помимо ненарушенных дерново-подзолистой почвы под лесом и чернозема под степью, выборка почв была дополнена обрабатываемыми аналогами: дерново-подзолистой почвой из севооборота и типичным черноземом под монокультурой картофеля. Почвы также встряхивали 48 ч, во фракциях >3 и <0.25 мм определяли содержание С и N. Кроме того, из-за доминирования в черноземах фракции 3–1 мм, в ней тоже определяли содержание элементов (табл. 1).

При анализе таблицы в первую очередь следует выделить аномально высокое содержание углерода во фракции >3 мм в дерново-подзолистой почве. Вероятно, в этой фракции доминируют

**Таблица 1.** Содержание углерода, азота и их атомное отношение во фракциях дерново-подзолистых (П<sup>Д</sup>) и типичных черноземов (Ч<sup>Т</sup>) различного землепользования в исходных агрегатах и после эксперимента

Почва	Фракция, мм	С, %	N, %	С : N
П <sup>Д</sup> лес	Исходные, 5–3	<b>3.14</b>	<b>0.26</b>	<b>14</b>
	>3	9.91	0.45	26
	<0.25	2.23	0.20	13
П <sup>Д</sup> севооборот	Исходные, 5–3	<b>1.27</b>	<b>0.14</b>	<b>11</b>
	>3	2.50	0.23	13
	<0.25	0.89	0.13	8
Ч <sup>Т</sup> степь	Исходные, 5–3	<b>5.03</b>	<b>0.45</b>	<b>12</b>
	>3	4.64	0.42	13
	1–3	4.96	0.43	13
	<0.25	4.50	0.37	14
Ч <sup>Т</sup> картофель	Исходные, 5–3	<b>2.90</b>	<b>0.32</b>	<b>13</b>
	>3	3.00	0.25	14
	1–3	3.09	0.27	13
	<0.25	3.04	0.27	13

\* Жирным шрифтом выделены значения для исходных агрегатов.

слаборазложившиеся растительные остатки, что косвенно подтверждает высокое отношение  $C : N$  (26), характерное для свободного или окклюдированного органического вещества ([Дымов и др., 2015](#); [Golchin et al., 1995](#)). Полученные результаты указывают на теоретическую возможность выделения окклюдированного внутриагрегатного органического вещества предлагаемым методом, что открывает новые возможности для исследования этой фракции. Однако для применения этого подхода требуется дополнительная методическая работа. Во фракции  $<0.25$  мм содержание углерода было ниже значения, определенного для агрегатов 5–3 мм (3.14%) этой почвы.

Для пахотной дерново-подзолистой почвы была отмечена та же четкая тенденция, но с меньшей разницей: во фракции  $>3$  мм содержание  $C$  было 2.50,  $<0.25$  мм – 0.89, тогда как в исходных агрегатах углерода – 1.27 %. Аналогично варианту под лесом, в ядре агрегатов пахотной дерново-подзолистой почвы углерода больше, в коре меньше, причем значение этой величины в исходном агрегате 5–3 мм занимает промежуточное значение: оно меньше чем в ядре и больше по сравнению с корой. Большая величина  $C : N$  в ядре указывает на меньшую разложенность органического вещества агрегата. Меньшая разница значений по сравнению с почвой под лесом, вероятно, объясняется периодической обработкой, в ходе которой агрегаты разрушаются и перемешиваются.

При истирании типичного чернозема под степью также наблюдаются значимые различия по содержанию  $C$  в полученных размерных фракциях. Максимум (4.96%) наблюдали во фракции 3–1 мм, эта величина значимо не отличалась от содержания  $C$  в целом в агрегатах 5–3 мм. Вероятно, в выбранных условиях эксперимента именно эту фракцию следует относить к ядру агрегата, так как в более крупной фракции содержание углерода было значимо меньше (4.64%). Во фракции  $< 0.25$  мм (коре) отмечалось минимальное содержание  $C$  (4.50%).

Вариант типичного чернозема с монокультурой картофеля не демонстрировал отличия по содержанию  $C$  или  $N$  во всех фракциях. Отсутствие отличий объясняется, по-видимому, особенностями вида использования чернозема. В результате возделывания картофеля с 1964 г. как монокультуры, структура почвы существенно

деградировала ([Холодов и др., 2016](#)). Эта деградация отражается и на уровне агрегатов – они теряют анизотропность по углероду.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение истирания для изучения агрегатов – перспективное направление. Как показала проделанная работа, требуются дальнейшие исследования для оптимизации подхода. Возможно, для каждой почвы следует подбирать свой режим истирания, исходя из ее особенностей и целей исследования. Однако простота метода и перспективность оправдывают трудозатраты на его развитие.

Применение истирания позволяет получать новые данные о строении агрегата, распределения в нем вещества, оценки его анизотропности. Кроме того, перспективно его использование для изучения распределения микробного сообщества и микрон зон биохимической активности. Еще одна область применения – совершенствование технологий детектирования данных дистанционного зондирования почвенного покрова с учетом того, что состав и свойства поверхности агрегатов часто не соответствуют свойствам агрегата или горизонта в целом.

### БЛАГОДАРНОСТЬ

Работа выполнена с привлечением оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием “Функции и свойства почв и почвенного покрова” Почвенного института им. В.В. Докучаева. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-04-01503.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гарбуз С.А., Ярославцева Н.В., Холодов В.А.* Ферментативная активность внутри и снаружи водоустойчивых агрегатов в почвах разного вида использования // Почвоведение. 2016. № 3. С. 398–407. doi: 10.7868/S0032180X16030035
2. *Дымов А.А., Милановский Е.Ю., Холодов В.А.* Состав и гидрофобные свойства органического вещества денсиметрических фракций почв приполярного Урала // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1335–1345. doi: 10.7868/S0032180X15110052
3. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
4. *Шеин Е.В.* Курс физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 432 с.

5. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Лазарев В.И., Фрид А.С. Интерпретация данных агрегатного состава типичных черноземов разного вида использования методами кластерного анализа и главных компонент // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1093–1100. doi: 10.7868/S0032180X16090070
6. *Chenu C., Hassink J., Bloem J.* Short-term changes in the spatial distribution of microorganisms in soil aggregates as affected by glucose addition // *Biology and Fertility of Soils*. 2001. V. 34. P. 349–356. doi:10.1007/s003740100419
7. *Golchin A., Oades J.M., Skjemstad J.O., Clarke P.* Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by <sup>13</sup>C natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid-state <sup>13</sup>C NMR spectroscopy in density fractions of an Oxisol under forest and pasture // *Austr. J. Soil Res.* 1995. V. 33. P. 59–76.
8. *Mummey D.L., Stahl P.D.* Analysis of Soil Whole- and Inner-Microaggregate Bacterial Communities // *Microb. Ecol.* 2004. V. 48. P. 41–50. doi:10.1007/s00248-003-1000-4
9. *Ranjard L., Poly F., Combrisson J., Richaume A., Gourbiere F., Thioulouse J., Nazaret S.* Heterogeneous cell density and genetic structure of bacterial pools associated with various soil microenvironments as determined by enumeration and DNA fingerprinting approach (RISA) // *Microb. Ecol.* 2000. V. 39. P. 263–272. doi: 10.1007/s002480000032
10. *Ranjard L., Richaume A., Jocteur-Monrozier L., Nazaret S.* Response of soil bacteria to Hg(II) in relation to soil characteristics and cell location // *FEMS Microbiol. Ecol.* 1997. V. 24. P. 321–331. doi: 10.1111/j.1574-6941.1997.tb00449.x
11. *Reichel R., Patzelt D., Barleben C., Rosendahl I., Ellerbrock R.H., Thiele-Bruhn S.* Soil microbial community responses to sulfadiazine-contaminated manure in different soil microhabitats // *Appl. Soil Ecology*. 2014. V. 80. P. 15–25.
12. *Six J., Bossuyt H., Degryze S., Denef K.* A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics // *Soil Tillage Res.* 2004. V. 79 P. 7–31.
13. World reference base for soil resources 2014. A framework for international classification, correlation and communication, Word Soil Resource Report 106. FAO. Rome. 2014. 181 p.

## SEPARATION OF PERIPHERY AND INNER PARTS OF SOIL AGGREGATES BY MECHANICAL ABRASION

V. A. Kholodov<sup>1,2</sup>, S. A. Garbuz<sup>3</sup>, N. V. Yaroslavtseva<sup>1</sup>,  
E. Yu. Milanovskiy<sup>1,2</sup>, M. A. Yashin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,  
Russia, 119017, Moscow, Pyzhevskii per. 7-2

To separate the aggregates into the inner part (core) and the periphery (bark), the aggregates were rubbed against one another. For this purpose, aggregates of 5–3 mm were shaken 48 hours on a over head shaker, they rubbed against each other, and gradually their bark was grinded, passing into the fraction <0.25 mm. To monitor the process, the abrasion efficiency from the change in the size distribution of the size fractions was periodically evaluated. At the end of the experiment, the carbon and nitrogen contents were determined in the fractions obtained. The distribution of the resulting size fractions was stabilized after 16 hours of the experiment, in the case of Chernozem under the steppe, and after 24 hours in the case of Retisol under forest. In the Retisol abrasion (from the large aggregates, the peripheral part separates and particles <0.25 mm are formed) were observed throughout the entire experiment. In Chernozem, after the first hour of treatment, fragmentation of the aggregates predominated, then in the next 10 hours abrasion prevailed, then again crushing dominated. Determination of the carbon and nitrogen content shows the anisotropy of aggregates in this parameter. Inside the aggregates, the carbon content is higher than at the periphery, with the C/N ratio indicating the predominance of poorly-decomposed plant residues. Moreover, these differences are more expressed in uncultivated soils, and when comparing types, in Retisols in comparison with Chernozems. In general, the proposed approach is promising. However, it requires further development for an effective application

*Key words:* soil structure, soil organic matter, core of aggregate, Retisols, Chernozems

## REFERENCES

1. Garbuz S.A., Yaroslavtseva N.V., Kholodov V.A. Enzymatic activity inside and outside of water-stable aggregates in soil under different land use, *Eurasian Soil Science*, 2016, V. 49 (3), pp. 367–375. doi: 10.1134/S1064229316030030
2. Dymov A.A., Milanovskiy E.Yu., Kholodov V.A. Composition and Hydrophobic Properties of Organic Matter in the Densimetric Fractions of Soils from the Subpolar Urals, *Eurasian Soil Science*, 2015, V. 48 (11), pp. 1212–1221 doi: 10.1134/S1064229315110058
3. *Classification and Diagnostics of Soils of the Soviet Union*, Moscow, Kolos Publ, 1977. 223 p. (in Russian).
4. Shein E.V. *Lectures on Soil Physics*. Moscow,. Moscow State University Publ., 2005, 432 p. (in Russian).
5. Kholodov V. A., Yaroslavtseva N. V., Lazarev V. I., Frid A. S. Interpretation of data on the aggregate composition of typical chernozems under different land use

by cluster and principal component analyses, *Eurasian Soil Science*, 2016, V. 49 (9), pp. 1026–1032. doi: 10.1134/S1064229316090076

6. Chenu C., Hassink J., Bloem J. Short-term changes in the spatial distribution of microorganisms in soil aggregates as affected by glucose addition, *Biol. Fertil. Soils*, 2001, V. 34, pp. 349–356. doi:10.1007,s003740100419

7. Golchin A., Oades J.M., Skjemstad J.O., Clarke P. Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by  $^{13}\text{C}$  natural abundance, pyrolysis mass spectrometry and solid-state  $^{13}\text{C}$  NMR spectroscopy in density fractions of an Oxisol under forest and pasture, *Australian J. Soil Res.*, 1995, V. 33, pp. 59–76.

8. Mummey D.L., Stahl P.D. Analysis of Soil Whole- and Inner-Microaggregate Bacterial Communities, *Microb. Ecol.*, 2004, V. 48, pp. 41–50. doi:10.1007,s00248-003-1000-4

9. Ranjard L., Poly F., Combrisson J., Richaume A., Gourbiere F., Thioulouse J., Nazaret S. Heterogeneous cell density and genetic structure of bacterial pools associated with various soil microenvironments as determined by enumeration and DNA fingerprinting approach (RISA), *Microb. Ecol.* 2000, V. 39, pp. 263–272. doi:10.1007,s002480000032

10. Ranjard L., Richaume A., Jocteur-Monrozier L., Nazaret S. Response of soil bacteria to Hg(II) in relation to soil characteristics and cell location, *FEMS Microbiol. Ecol.*, 1997, V. 24, pp. 321–331. doi:10.1111,j.1574-6941.1997.tb00449.x

11. Reichel R., Patzelt D., Barleben C., Rosendahl I., Ellerbrock R.H., Thiele-Bruhn S. Soil microbial community responses to sulfadiazine-contaminated manure in different soil microhabitats, *Appl. Soil Ecology*, 2014, V. 80, pp. 15–25.

12. Six J., Bossuyt H., Degryze S., Deneff K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics, *Soil Tillage Res.*, 2004, V. 79, pp. 7–31.

13. *World reference base for soil resources 2014*. A framework for international classification, correlation and communication, World Soil Resource Report 106, FAO, Rome, 2014, 181 p.

### Ссылки для цитирования

Холодов В.А., Гарбуз С.А., Ярославцева Н.В., Милановский Е.Ю., Яшин М.А. Выделение периферийной и внутренней частей почвенных агрегатов механическим истиранием // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 93. С. 94-104. doi: 10.19047/0136-1694-2018-93-94-104

Kholodov V.A., Garbuz S.A., Yaroslavtsev A.V., Milanovskiy E.Yu., Yashin M.A. Estimation of method of Separation of Periphery and Inner Parts of Soil Aggregates by Mechanical Abrasion, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, V. 93, pp. 94-104. doi:10.19047/0136-1694-2018-93-94-104