



ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

Научная статья

УДК 631.4

doi: 10.17308/sorpchrom.2023.23/11730

Сорбция гумуса и его распределений в профиле черноземов в зависимости от гранулометрического состава

Аркадий Игоревич Громовик[✉],

Надежда Сергеевна Горбунова, Татьяна Анатольевна Девятова

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия, agrom.ps@mail.ru[✉]

Аннотация. Гранулометрический состав является фундаментальной характеристикой, оказывающей существенное влияние на многие свойства и режимы почв, в том числе сорбцию и закрепление гумуса элементарными почвенными частицами (ЭПЧ). Главная роль в повышении гумусированности почв принадлежит ЭПЧ размером <0.01 мм. Рассмотрены особенности строения гумусовых профилей черноземов выщелоченных, сформированных на различных по гранулометрическому составу почвообразующих породах. Для этого была проанализирована большая выборка данных по количественному содержанию гумуса в черноземах разного гранулометрического состава.

Цель исследований – выявление зависимости сорбции гумуса от гранулометрического состава черноземов, а также выявить особенности профильного распределения гумуса в них. В задачи входило: проведение полевых исследований черноземов разного гранулометрического состава; отбор почвенных образцов и проведение лабораторных исследований по выявлению сорбционных свойств ЭПЧ в отношении гумуса; выявление особенностей распределения гумуса в почвах разного гранулометрического состава.

Показано, что с увеличением в гранулометрическом составе содержания ЭПЧ, относящихся к физической глине (<0.01 мм), усиливается сорбционная способность почвы в отношении гумуса. Так от супесчаных (ЭПЧ <0.01 мм=14-20%) до глинистых разновидностей (ЭПЧ <0.01 мм=61-64%) черноземов возрастает содержание гумуса соответственно с 3.88 до 7.09%. В этом же направлении нарастает мощность гумусовой толщи с 22 до 100 см. Поэтому в разных по гранулометрическому составу почвах отмечаются свои особенности строения органофила, заключающиеся в характере распределения гумуса.

Ключевые слова: сорбция, гранулометрический состав, гумус, черноземы.

Для цитирования: Громовик А.И., Горбунова Н.С., Девятова Т.А. Сорбция гумуса и его распределение в профиле черноземов в зависимости от гранулометрического состава // *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2023. Т. 23, № 5. С. 958-964. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11730>

Original article

Sorption of humus and its distribution in the profile of chernozems depending on the granulometric composition

Arkady I. Gromovik[✉], Nadezhda S. Gorbunova, Tatyana A. Devyatova

Voronezh State University, Voronezh, Russia, agrom.ps@mail.ru[✉]

Abstract. Particle-size composition is a fundamental characteristic that has a significant impact on many properties and regimes of soils, including sorption and fixation of humus by elementary soil particles (ESP). The main role in increasing the humus content of soils belongs to ESP with sizes <0.01 mm.

We examined the structural features of humus profiles of leached chernozems formed on soil-forming rocks of different granulometric compositions. For this purpose, a large sample of data on the quantitative content of humus in chernozems of different granulometric compositions was analysed.



The goal of the research was to identify the dependence of humus sorption on the granulometric composition of chernozems, and also to reveal the features of the profile distribution of humus in them.

Objectives: conduct field research of chernozems of different granulometric composition; select soil samples and conduct a series of laboratory studies of these samples for the identification of the sorption properties of ESP in relation to humus; identify the features of humus distribution in soils of different granulometric compositions.

It has been shown that with an increase in the granulometric composition of the content of ESP related to physical clay (<0.01 mm), the sorption capacity of the soil for humus increased. Thus, from sandy loam (ESP <0.01 mm=14-20%) to clayey varieties (ESP <0.01 mm = 61-64%) of chernozems, the humus content increased, respectively, from 3.88 to 7.09%. The thickness of the humus layer increased in the same direction from 22 to 100 cm. Therefore, soils of different granulometric compositions have their own structural features of the organoprofile, consisting in the nature of the humus distribution.

Keywords: sorption, granulometric composition, humus, chernozems.

For citation: Gromovik A.I., Gorbunova N.S., Devyatova T.A. Sorption of humus and its distribution in the profile of chernozems depending on the granulometric composition. *Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy*. 2023. 23(5): 958-964. (In Russ.). <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2023.23/11730>

Введение

Черноземы Русской равнины сформировались на разных по гранулометрическому составу почвообразующих породах, среди которых преобладают лессы, покровные суглинки и глины [1]. Гранулометрический состав является фундаментальной характеристикой, оказывающей существенное влияние на многие свойства и режимы почв, в том числе сорбцию и закрепление гумуса элементарными почвенными частицами (ЭПЧ). Под ЭПЧ понимают обломки горных пород и минералов, а также аморфные соединения, все элементы которых находятся в химической взаимосвязи и не поддаются общепринятым методам пептизации [2]. Главная роль в повышении гумусированности почв принадлежит ЭПЧ размером <0,01 мм, что отмечают в своих работах многие ученые [3-10]. Взаимодействие органического вещества почв с минеральными поверхностями зависят от свойств органических молекул и минеральной составляющей твердой фазы почвы. Например число ОН-групп гидроксидов железа и алюминия, силикатов, потенциально способных принять участие в лигандном обмене, можно рассматривать как меру, определяющую количество органического вещества, которое почва может стабилизировать в виде органоминеральных комплексов [11]. По-

глощение гумусовых веществ различными минералами, а, следовательно, разными по гранулометрическому составу почвами, носит избирательный характер. Исследования некоторых авторов на чистых минералах показали, что каолинит и монтмориллонит сорбируют преимущественно алифатические компоненты гуминовых кислот, а гетит (гидроксид Fe) – компоненты содержащие карбоксильные группы [12-14]. Исследования отечественных ученых [15] на подзолах показали, что наиболее обогащенные тонкими ЭПЧ горизонты подзола способны к дополнительной сорбции органических веществ, по сравнению с горизонтами обогащенными крупными ЭПЧ. При этом, преимущественно поглощаются более гидрофобные компоненты, с большей степенью ароматичности, высокими и средними молекулярными массами.

Проблема связи гранулометрического состава черноземов с содержанием гумуса исследовалась многими учеными в течение долгого времени [16, 17]. В работах вышеперечисленных авторов рассматриваются зависимости количественного содержания гумуса от разных по гранулометрическому составу почвообразующих пород. При этом в них отсутствует детальная характеристика типов строения органопротилей почв, сформированных на разных по гранулометрическому составу почвообразующих породах.

Нами были рассмотрены особенности строения гумусовых профилей черноземов выщелоченных, сформированных на различных по гранулометрическому составу почвообразующих породах. Для этого была проанализирована большая выборка данных по количественному содержанию гумуса в черноземах разного гранулометрического состава.

Целью исследований было выявить зависимость сорбции гумуса от гранулометрического состава черноземов, а также выявить особенности профильного распределения гумуса в них.

Задачи: провести полевые исследования черноземов разного гранулометрического состава; отобрать почвенные образцы провести в них ряд лабораторных исследований по выявлению сорбционных свойств ЭПЧ в отношении гумуса; выявить особенности распределения гумуса в почвах разного гранулометрического состава.

Экспериментальная часть

Полевые исследования проводились на водораздельных хорошо дренированных пространствах территории Среднерусской возвышенности и Окско-Донской низменной равнины. Классификационную принадлежность почв определяли по классификации почв СССР (1977) [18] и WRB (2014) [19]. Объектами исследований послужили черноземы выщелоченные (Vronic Chernozems Pachic по WRB-2014) разного гранулометрического состава (от супесчаного до глинистого). Из каждой почвенной разности в шестикратной повторности ($n=6$) были отобраны почвенные образцы сплошной колонкой (каждые 10 см) до глубины залегания почвообразующих пород.

В образцах определялись $S_{орг}$ методом Тюрина в модификации Симакова; гумус расчетным методом с использованием коэффициента 1.724; гранулометрический состав пипет-методом Качинского с обработкой почвы пирофосфатом натрия, в качестве диспергатора ЭПЧ. Результаты

были обработаны статистически с использованием пакета анализа программы Microsoft Excel 2010.

Обсуждение результатов

Черноземы выщелоченные глинистого гранулометрического состава (ЭПЧ < 0.01 мм = 61-64%) относятся среднегумусным (7.09% гумуса) и мощным видам (мощность гумусовой толщи = 100 см). По мере облегчения гранулометрического состава отмечается постепенное снижение, как содержания гумуса, так и мощности гумусовой толщи. Среднесуглинистые разновидности (ЭПЧ < 0.01 мм = 35-38%) относятся уже к малогумусным (4.67%) и среднемощным видам (80 см). В легкосуглинистых и супесчаных черноземах содержание гумуса составляет соответственно 4.48 и 3.88%, что позволяет их отнести к малогумусным и слабогумусированным видам. По мощности гумусовой толщи они относятся к маломощным и очень маломощным видам соответственно. Отмеченные закономерности связаны с тем, что при облегчении гранулометрического состава снижается содержание в почвах фракции физической глины (ЭПЧ < 0.01 мм) способной активно сорбировать, закреплять и аккумулировать гумусовые вещества.

Различия в гранулометрическом составе рассматриваемых почв находят свое отражение не только в количественном содержании гумуса и мощности гумусовой толщи, но и в характере распределения гумуса в нем. Эти различия хорошо иллюстрируются рисунками 1 и 2.

В глинистых, тяжело- и среднесуглинистых разновидностях максимальные градиенты падения гумуса с глубиной проявляются во втором полуметре почв и с глубины около 100 см они постепенно снижаются. В легкосуглинистых и супесчаных разновидностях кривые распределения градиентов падения гумуса с глубиной в почвенном профиле иные. В них максимальные пики градиентов отмеча

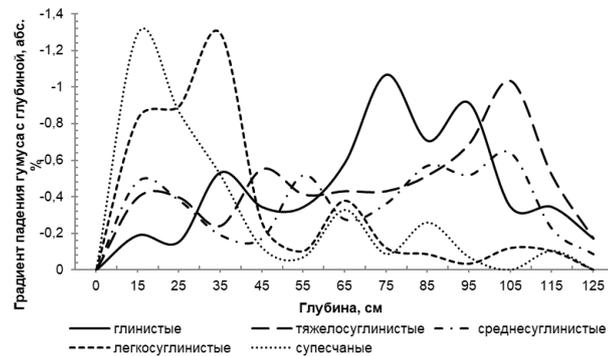


Рис. 1. Распределение градиента падения гумуса с глубиной в почвенном профиле черноземов выщелоченных разного гранулометрического состава ($n = 6$)
 Fig. 1. Distribution of the gradient of humus fall with depth in the soil profile of leached chernozems of different granulometric composition ($n = 6$)

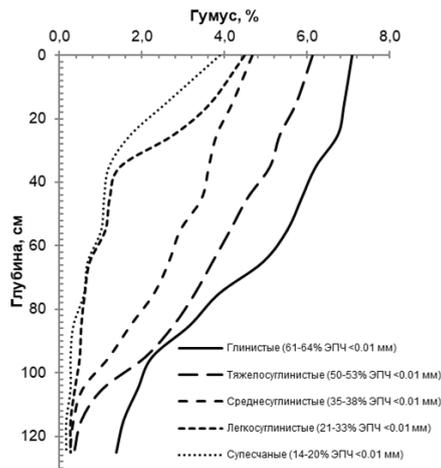


Рис. 2. Профильное распределение гумуса в черноземах выщелоченных разного гранулометрического состава ($n=6$; $HCP_{05} - 0.3\%$, $Sx - 4.9\%$)
 Fig. 2. Profile distribution of humus in leached chernozems of different granulometric composition ($n = 6$; $HCP_{05} - 0.3\%$, $Sx - 4.9\%$)

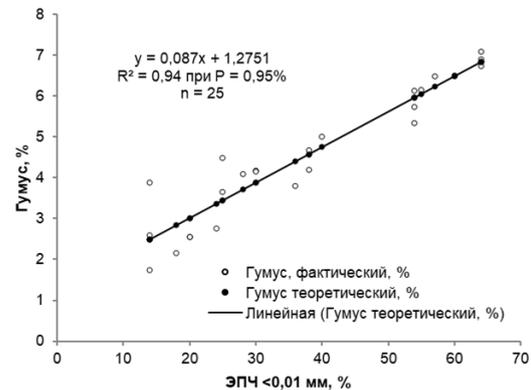


Рис. 3. Зависимость сорбции гумуса от содержания в почве ЭПЧ < 0.01 мм
 Fig. 3. Dependence of humus sorption on the content of ESP in the soil < 0.01 mm

ются в первом полуметре почв на глубинах 15 см (супесчаные) и 35 см (легкосуглинистые), ниже этих глубин градиенты постепенно уменьшаются и кривые приобретают волнообразный характер (рис. 1), что связано с невозможностью интенсивной сорбции гумусовых веществ в верхней части органо профиля в связи с низким содержанием тяжелых гранулометрических фракций. В черноземах более тяжелого гранулометрического состава волнообразный вид кривые гради-

ента падения гумуса приобретают, наоборот, в первом полуметре почв, где наблюдается максимальное накопление гумуса. То есть, вид кривых в легкосуглинистых и супесчаных разновидностях, по сути, является зеркальным отображением кривых градиентов для черноземов выщелоченных более тяжелого гранулометрического состава. Отмеченные особенности хорошо видны на графиках профильного распределения гумуса (рис. 2).

В целом общей чертой для всех разновидностей является аккумулятивный тип

распределения гумуса с глубиной. Черноземы глинистые имеет прогрессивно-аккумулятивный характер профильного распределения гумуса до глубины 100 см, а ниже он сменяется на равномерно-аккумулятивный (рис. 2). В тяжелосуглинистых разновидностях кривая несколько иная, она имеет аккумулятивный вид со слабым прогрессивным характером до глубины около 40 см. Ниже распределение гумуса приобретает равномерно-аккумулятивный характер, а глубже 100 см – приобретает черты регрессивности. В среднесуглинистых почвах распределение гумуса в целом равномерно-аккумулятивное.

В легкосуглинистых и супесчаных разновидностях черноземов выщелоченный характер распределения гумуса с глубиной кардинально отличается от почв более тяжелого гранулометрического состава. Здесь он носит регрессивно-аккумулятивный характер до глубины около 35-40 см, а ниже подчиняется равномерно-аккумулятивному типу. При этом градиенты снижения содержания гумуса с глубиной не значительные, из-за чего кривые практически перпендикулярны оси ОХ, несмотря на то, что здесь содержание гумуса очень низкое (рис. 2). Эту особенность можно объяснить возможной мобилизацией и миграцией с нисходящими токами влаги компонентов гумуса в легких по гранулометрическому составу почвах, поскольку крупные ЭПЧ не способны должным образом сорбировать продукты гумусового синтеза.

Таким образом, выявлены генетические особенности в профильном распределении гумуса черноземов выщелоченных разного гранулометрического состава. По мере уменьшения содержания физической глины в черноземах выщелоченных также уменьшается количество гумуса и как следствие укорачивается мощность гумусовой толщи. При указанной закономерности, прогрессивно-акку-

мулятивный тип строения органофилия постепенно сменяется на регрессивно-аккумулятивный.

Для выявления подтверждения зависимости сорбции гумуса разными ЭПЧ нами был проделан модельный эксперимент (объем выборки $n = 25$). В почвенных образцах с разным содержанием физической глины (ЭПЧ размером <0.01 мм) определяли содержание гумуса. В ходе проделанного эксперимента была выявлена тесная корреляционная зависимость количественного содержания гумуса ($R^2=0.94$ при $P=95.0\%$) с физической глиной (рис. 3).

Модельный эксперимент подтверждает высокую зависимость сорбции гумуса элементарными почвенными частицами размером <0.01 мм. Полученная зависимость позволяет сделать вывод, что с увеличением в гранулометрическом составе доли тонких фракций, увеличивается сорбционная способность почвы в отношении гумуса.

Выявленную закономерность можно объяснить тем, что при облегчении гранулометрического состава происходит уменьшение тонкодисперсных фракций, в которых преобладают гидрослюдистые и вторичные глинистые минералы, способные аккумулировать продукты синтеза гумусовых веществ. Тонкие фракции в способны образовывать в почвах органо-минеральные комплексы. В связи с этим, в тонкодисперсных фракциях количество закрепленных гуминовых кислот, фульвокислот и алкильного углерода возрастает [20]. Все это находит отражение и в характере профильного распределения гумуса в черноземах. Общим для всех разновидностей является аккумулятивный тип профильного распределения гумуса, когда максимальное его количество обнаруживается с поверхности и постепенно снижается вниз с глубиной почвы.

Заключение

С увеличением в гранулометрическом составе содержания ЭПЧ, относящихся к



физической глине (<0.01 мм), усиливается сорбционная способность почвы в отношении гумуса. Поэтому в разных по гранулометрическому составу почвах отмечаются свои особенности строения органофилия, заключающиеся в характере распределения гумуса. В тяжелосуглинистых и глинистых разновидностях выщелоченных черноземов тип строения органофилия имеет прогрессивно-аккумулятивный характер. По мере уменьшения в гранулометрическом составе доли фракций <0.01 мм, профильное распределение гумуса в среднесуглинистых черноземах сменяется на равномерно-аккумулятивное. Однако в них в ряде случаев, можно наблюдать слабые черты прогрессивности. С уменьшением количества ЭПЧ <0.01 мм тип строения органофилия в верхней части соответствует

Список литературы/References

1. Ahtyrcev B.P., Ahtyrcev A.B. Pochvennyj pokrov Srednerusskogo Chernozem'ya. M., Nauka, 1993; 222. (In Russ.)
2. SHein E.V. Kurs fiziki pochv. M., MGU, 2005; 432. (In Russ.)
3. Piccolo A., Mbagwu J.S.C. Effects of different organic waste amendments of soil microaggregates stability and molecule sizes of humic substances. *Plant Soil*. 1990; 123: 27-37.
4. Blair G.J., Lefroy R.D.B., Singh B.P., Till A.R. Development and use of a carbon management index to monitor changes in soil C pool size and turnover rate. *Driven by nature: Plant litter quality and decomposition*. 1997; 273-282.
5. Tarchitzky J., Hatcher P.G., Chen J. Properties and distribution of humic substances and inorganic structure stabilizing components in particle-size fractions of cultivated Mediterranean soils. *Soil Sci*. 2000; 165: 328-342.
6. Laird D.A., Martens D.A., Kingery W.L. Nature of clayhumic complexes in an agricultural soil: chemical, biochemical and spectroscopic analysis. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 2001; 65(5): 1413-1418.

регрессивно-аккумулятивному, а в нижней – равномерно-аккумулятивному. Особенностью легкосуглинистых и супесчаных черноземов является равномерно-аккумулятивный тип строения органофилия, начиная со второго полуметра. Это связано с возможной мобилизацией и миграцией с нисходящими токами влаги компонентов гумуса в легких по гранулометрическому составу почвах, поскольку крупные ЭПЧ не способны должным образом сорбировать продукты гумусового синтеза.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет известных финансовых конфликтов интересов или личных отношений, которые могли бы повлиять на работу, представленную в этой статье.

7. Chefetz B., Tarchitzcy J., Deshmukh A.P. Structural characterization of humic acids in particle-size fraction an agricultural soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2002; 66(1): 129-141.
8. Arthur E., de Jonge L.W., Tuller M., Moldrup P. Clay content and mineralogy, organic carbon and cation exchange capacity affect water vapour sorption hysteresis of soil. *European Journal of Soil Science*. 2020; 71(2): 204-214. <https://doi.org/10.1111/ejss.12853>
9. Olayemi O.P., Wallenstein M.D., Kaltenbach C.M. Distribution of soil organic matter fractions are altered with soil priming. *Soil Biology and Biochemistry*. 2022; 164: 108494. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108494>
10. Startsev V.V., Khaydapova D.D., Degteva S.V., Dymov A.A. Soils on the southern border of the cryolithozone of European part of Russia (the Subpolar Urals) and their soil organic matter fractions and rheological behavior. *Geoderma*. 2020; 361. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.114006>
11. Kleber M., Sollins P., Sutton R. A conceptual model of organo_mineral interactions in soils: self-assembly of organic



molecules fragments into zonal structures on mineral surfaces. *Biogeochemistry*. 2007; 85: 9-24.

12. Feng X., Simpson A.J., Simpson M.J. Chemical and mineralogical controls on humic acid sorption to clay mineral surfaces. *Organic Geochemistry*. 2005; 36: 1553-1566.

13. Ghosh S., Wang Z.Y., Kang S., Bhowmik P.C., Xing B.S. Sorption and fractionation of a peat derived humic acid by kaolinite, montmorillonite, and goethite. *Pedosphere*. 2009; 19(1): 21-30.

14. Simpson A.J., Simpson M.J. Nuclear magnetic resonance analysis of natural organic matter. *Biophysicochemical processes involving natural nonliving organic matter in environmental systems*. John Wiley & Sons. 2009; 876.

15. Zolovkina D.F., Karavanova E.I., Stepanov A.A. Sorption of water-soluble organic substances by mineral horizons of podzol. *Eurasian Soil Science*. 2018;

51(10): 1154-1163.
<https://doi.org/10.1134/S1064229318100162>

16. Milanovskii E.Yu., Shein E.V. Functional role of amphiphilic humus components in humus structure formation and soil genesis. *Eurasian Soil Science*. 2002; 10(35): 1064-1075.

17. Semyonov V.M., Kogut B.M. Pochvennoe organicheskoe veshchestvo. M. GEOS, 2015; 233. (In Russ.)

18. Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR. M., Kolos, 1977; 221. (In Russ.)

19. World reference base for soil resources 2014. International soil classification Schulten H.R., Leinweber P. New insights into organic-mineral particles: composition, properties and models of molecular structure. *Biology Fertility Soils*. 2000; 30: 399-432.

Информация об авторах / Information about the authors

А.И. Громовик – к.б.н., доцент кафедры экологии и земельных ресурсов Воронежского государственного университета, Воронеж, Россия

Н.С. Горбунова – к.б.н., доцент кафедры экологии и земельных ресурсов Воронежского государственного университета, Воронеж, Россия

Т.А. Девятова – д.б.н., профессор, заведующая кафедрой экологии и земельных ресурсов Воронежского государственного университета, Воронеж, Россия

A.I. Gromovik – PhD, associate professor, Department of ecology and land resources, Voronezh State University, Voronezh, Russia, e-mail: agrom.ps@mail.ru

N.S. Gorbunova – PhD, associate professor, Department of ecology and land resources, Voronezh State University, Voronezh, Russia, e-mail: vilian@list.ru

T.A. Devyatova – Doctor of biological sciences, professor, head of the Department of ecology and land resources, Voronezh State University, Voronezh, Russia, e-mail: devyatova.eco@gmail.com

Статья поступила в редакцию 17.07.2023; одобрена после рецензирования 15.08.2023; принята к публикации 23.08.2023.

The article was submitted 17.07.2023; approved after reviewing 15.08.2023; accepted for publication 23.08.2023.