





DOI 10.22363/2312-797X-2022-17-3-315-330  
УДК 631.459.2:631.417.2:631.445.4


Научная статья / Research article

## Влияние водной эрозии на структуру и содержание лабильных гумусовых веществ в структурно-агрегатных фракциях черноземов выщелоченных Центрально-Черноземного региона

И.И. Васнев<sup>1</sup>  , Н.С. Горбунова<sup>2</sup> ,  
А.И. Громовик<sup>2</sup> , Т.А. Девятова<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Воронежский государственный университет, г. Воронеж, Российская Федерация

vasenev@rgau-msha.ru

**Аннотация.** Исследованы структурно-агрегатный состав черноземов выщелоченных (Voronich Chernozems Pachic по WRB-2014), распределение в структурно-агрегатных фракциях углерода органических соединений  $C_{\text{орг}}$  и лабильных гумусовых веществ (ЛГВ) в условиях склонового типа местности при развитии эрозии. Работы проводились в северной части Воронежской области на катене, которая включала в себя участок водораздела, плавно переходящий в склон юго-западной экспозиции длиной около 1500 м и крутизной 5°. Исследованы почвы следующих участков катены: 1) водораздельная часть; 2) верхняя часть склона; 3) средняя часть склона. Показано, что в эродированных черноземах происходит деградация структурно-агрегатного состояния, сопровождающаяся ухудшением микроструктурности, снижением количества мезоагрегатов и коэффициента структурности, а также утратой водопрочной структуры. Показано, что ЛГВ играют существенную роль в сохранении водопрочной структуры черноземов. Наиболее весомый вклад в содержание  $C_{\text{орг}}$  вносят мезоагрегаты размером 5—1 мм, которые активно утрачиваются при развитии эрозии.

**Ключевые слова:** деградация черноземов, смыв, микроагрегатный состав, гранулометрический состав, коэффициент структурности, углерод органических соединений, углерод лабильных гумусовых веществ

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**История статьи:** поступила в редакцию 3 марта 2022 г.; принята к публикации 9 мая 2022 г.

**Для цитирования:** Васнев И.И., Горбунова Н.С., Громовик А.И., Девятова Т.А. Влияние водной эрозии на структуру и содержание лабильных гумусовых веществ в структурно-агрегатных фракциях






© Васнев И.И., Горбунова Н.С., Громовик А.И., Девятова Т.А., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

черноземов выщелоченных Центрально-Черноземного региона // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022. Т. 17. № 3. С. 315–330. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-3-315-330

## Influence of water erosion on the structure and content of labile humic substances in the structural-aggregate fractions of leached chernozems of the Central Chernozem region

Ivan I. Vasenev<sup>1</sup>  , Nadezhda S. Gorbunova<sup>2</sup> ,  
Arkady I. Gromovik<sup>2</sup> , Tatyana A. Devyatova<sup>2</sup> 

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University—Moscow Timiryazev Agricultural Academy  
Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation

\*vasenev@rgau-msha.ru

**Abstract.** The structural-aggregate composition of leached chernozems (Voronich Chernozems Pacific according to WRB-2014), the distribution of organic compounds  $C_{org}$  and labile humic substances (LHS) in the structural-aggregate fractions of carbon in the conditions of a slope type of terrain during the development of erosion were studied. The work was carried out in the northern part of the Voronezh region on the catena, which included a section of the watershed, smoothly turning into a southwestern slope about 1500 m long and 5° steep. The soils of the following sections of the catena were studied: 1) the watershed part; 2) the upper part of the slope; 3) the middle part of the slope. It was shown that degradation of the structural-aggregate state occurs in eroded chernozems, accompanied by a deterioration in microstructurality, a decrease in the number of mesoaggregates and a structural coefficient, as well as a loss of a water-resistant structure. According to the results, LHS play a very important role in maintaining the water-stable structure of chernozems. The most significant contribution to the content of  $C_{org}$  contribute mesoaggregates 5—1 mm in size, which are actively lost during the development of erosion.

**Key words:** degradation of chernozems, washout, microaggregate composition, granulometric composition, structural coefficient, carbon of organic compounds, carbon of labile humic substances

**Conflicts of interest.** The authors declared no conflicts of interest.

**Article history:** Received 3 March 2022. Accepted 9 May 2022.

**For citation:** Vasenev II, Gorbunova NS, Gromovik AI, Devyatova TA. Influence of water erosion on the structure and content of labile humic substances in the structural-aggregate fractions of leached chernozems of the Central Chernozem region. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2022; 17(3): 315—330. doi: 10.22363/2312-797X-2022-17-3-315-330

### Введение

Черноземы во всем мире признаны почвенным эталоном, это ценнейшие в сельскохозяйственном отношении почвы и главное национальное достояние России. Вовлечение черноземов в сельскохозяйственное производство приводит

к неизбежной трансформации их состава и свойств. При несоблюдении оптимальных и научно обоснованных агротехнических приемов, особенно в условиях склонового типа местности, наряду с агрогенной деградацией могут возникать эрозионно-дефляционные явления, которые наносят огромный ущерб как черноземам, так и сельскому хозяйству в целом [1—4]. Поэтому поиск инновационных подходов к выявлению, предотвращению и восстановлению эродированных почв является актуальным [5—7]. Деградированные земли в Центральном федеральном округе (ЦФО) занимают около 165,7 тыс. га [8]. Из них на долю эродированных (в той или иной степени) почв приходится около 30 % сельскохозяйственных угодий [9]. Как следствие вопрос противоэрозионной защиты почв является актуальным.

Деградация черноземов (в результате эрозионных процессов) в значительной степени обусловлена потерей органического вещества и ухудшением структурного состояния почв. Наиболее быстро утрата водопрочной почвенной структуры происходит на фоне снижения содержания органического вещества. В настоящее время вопрос о взаимосвязи структурного состояния почв с органическим веществом остается дискуссионным.

По мнению зарубежных исследователей, основная часть органического углерода  $C_{\text{орг}}$  сосредоточена в макроагрегатах [10, 11]. Отсюда вполне очевидно, что агрегаторазрушающее действие является ведущей причиной потерь  $C_{\text{орг}}$  в результате сельскохозяйственного использования почв и особенно при развитии эрозионных процессов. При сокращении доли крупных структурно-агрегатных отдельностей в распахиваемых почвах происходит их обеднение потенциально-минерализуемыми формами гумусовых веществ. Следует подчеркнуть, что образование крупных агрегатов является необходимым условием секвестрации углерода в почвах [12]. С увеличением размеров водопрочных агрегатов в них возрастает содержание  $C_{\text{орг}}$  [13, 14]. Потери  $C_{\text{орг}}$  почвой больше связаны с разрушением макроагрегатов, нежели микроагрегатов [15]. В процессе деградации почвенной структуры макроагрегаты распадаются на микроагрегаты, а последние в свою очередь диспергируются до элементарных почвенных частиц (ЭПЧ) [16].

На агрегатном уровне структурной организации почв их свойство сохранять водопрочную структуру обусловлено гумусовыми веществами, обладающими амфифильными характеристиками [17]. При взаимодействии глинистых ЭПЧ, соединенных между собой силами гидрофобного связывания, из амфифильных гумусовых веществ формируются водоустойчивые почвенные агрегаты [10, 16, 18, 19]. Преимущественно гидрофобными свойствами обладает свежееобразованное органическое вещество, представленное лабильными гумусовыми веществами. Большая доля новообразованных лабильных гумусовых веществ (ЛГВ) содержится в макроагрегатах почвы, нежели чем в микроагрегатах [20]. В связи с этим уровень содержания ЛГВ в определенной степени обуславливает формирование водопрочных почвенных агрегатов и способность их противостоять водному и механическому агрегаторазрушающим действиям.

**Цель исследования** — оценить степень изменения структурно-агрегатного состава черноземов выщелоченных и содержания в структурных фракциях  $C_{\text{орг}}$

и ЛГВ в условиях склонового типа местности Центрально-Черноземного региона (ЦЧР) при развитии эрозионных процессов, а также оценить роль ЛГВ в сохранении водопрочной почвенной структуры.

## Материалы и методы исследования

Исследования проводились на территории Воронежской области (N 51,9997°, E 39,2812°). Почвенные разрезы закладывались на катене, представленной водораздельным участком, постепенно переходящим в склон юго-западной экспозиции длиной около 1500 м и крутизной 5°. Почвенные разрезы закладывались в пятикратной повторности на трех участках: 1) водораздел; 2) верхняя часть склона; 3) средняя часть склона. Классификационную принадлежность почв определяли по классификации почв СССР (1977) [21] и WRB (2014) [22].

Объектами исследований послужили черноземы выщелоченные (Voronian Chernozems Pachic по WRB-2014): на первом участке представлены черноземы выщелоченные малогумусные среднemocные среднесуглинистые; на втором — черноземы выщелоченные малогумусные среднесуглинистые слабосмытые; на третьем — черноземы выщелоченные слабогумусированные среднесуглинистые среднесмытые. В качестве почвообразующих пород выступают покровные карбонатные суглинки, подстилаемые отложениями древнего аллювия.

Из разрезов отбирались образцы почв через каждые 10 см до глубины 120...130 см. В отобранных образцах с целью общей характеристики почв по общепринятым методам [23] определялись следующие химические и физико-химические показатели:  $C_{\text{орг}}$  методом Тюрина в модификации Симакова; гумус расчетным методом с использованием коэффициента 1,724; рН водной суспензии рН<sub>водн</sub> потенциометрически; обменные  $Ca^{2+}$  и  $Mg^{2+}$  комплексонометрическим методом в некарбонатных образцах и методом Тюрина в карбонатных образцах; гидролитическая кислотность  $H_T$  методом Каппена; степень насыщенности почв обменными основаниями  $V$  расчетным методом.

Физические свойства определялись по [24] в почвенных образцах, отобранных с глубин 0—10 и 20—30 см: гранулометрический состав пипет-методом Н.А. Качинского; микроагрегатный состав по Н.А. Качинскому; структурно-агрегатный состав (в образцах ненарушенного сложения) методом Н.И. Саввинова (сухое и мокрое просеивание). Расчетным методом [24] определяли фактор дисперсности (по Н.А. Качинскому), фактор структурности (по А.Ф. Вадюниной), коэффициент структурности  $K_{\text{стр}}$  и критерий водопрочности АФИ. В структурно-агрегатных фракциях (более 10, 10—5, 5—1, 1—0,25 и менее 0,25 мм), полученных сухим просеиванием, определяли содержание  $C_{\text{орг}}$  и углерод лабильных гумусовых веществ  $C_{\text{ЛГВ}}$ . ЛГВ извлекали из почвы 0,1 М  $Na_2P_2O_7$  (при рН 7,0) с последующим определением  $C_{\text{ЛГВ}}$  в пирофосфатной вытяжке методом Тюрина [23]. Полученные аналитические данные обрабатывались статистически с использованием программы Microsoft Excel 2010.

## Результаты исследования и обсуждение

Черноземы выщелоченные смытые отличаются неблагоприятными морфологическими признаками по отношению к несмытым разновидностям, что прежде всего проявляется укорачиванием гумусовой толщи. Наибольшее сокращение мощности (на 40 см) гумусового профиля (А+АВ) отмечено в среднесмытых почвах. В смытых разновидностях отмечается подтягивание к поверхности карбонатных горизонтов и ухудшение структурно-агрегатного состояния. В пахотном горизонте (АР) имеются глыбистые отдельности, и он обогащен пылевой фракцией, а горизонт А характеризуется зернисто-комковатой структурой. Исследуемые черноземы по гранулометрическому составу среднесуглинистые, однако в их профиле отмечается наличие песчаной фракции. Явление обусловлено особенностями подстилающих пород, которые имеют флювиогляциальное происхождение. Поэтому структурные отдельности в профиле исследуемых почв непрочные, за исключением горизонта Вt. В иллювиальном горизонте структурные отдельности более плотные за счет накопления коллоидных фракций, о чем свидетельствуют коллоидные налеты по граням структурных отдельностей.

Развитие эрозии способствовало снижению содержания гумуса в почвах на 13 и 30 % в слабо- и среднесмытых разновидностях соответственно (табл. 1). Среди физико-химических особенностей следует отметить, что величины актуальной и гидролитической кислотности не имеют существенных различий в исследуемых почвах. Исключением являются среднесмытые разновидности, в которых в результате смыва карбонаты залегают ближе к дневной поверхности, в результате чего происходит повышение  $pH_{\text{водн}}$  к нейтральным значениям и более низкие значения гидролитической кислотности.

Таблица 1

### Химические и физико-химические свойства черноземов выщелоченных в условиях склонового типа местности (среднее значение $\pm$ ошибка среднего арифметического, при $n = 5$ )

Глубина, см	$C_{\text{орг}}$	Гумус	$pH_{\text{водн}}$	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы		
	%			$H^+$	$Ca^{2+}$	$Mg^{2+}$
Черноземы выщелоченные малогумусные среднесуглинистые						
0–10	2,99 $\pm$ 0,09	5,16 $\pm$ 0,17	6,5 $\pm$ 0,14	2,1 $\pm$ 0,12	24,1 $\pm$ 0,90	5,3 $\pm$ 0,12
20–30	2,43 $\pm$ 0,07	4,19 $\pm$ 0,11	6,9 $\pm$ 0,09	3,8 $\pm$ 0,08	24,7 $\pm$ 0,61	5,0 $\pm$ 0,11
40–50	1,66 $\pm$ 0,08	2,86 $\pm$ 0,11	7,1 $\pm$ 0,12	1,1 $\pm$ 0,10	20,4 $\pm$ 0,91	4,3 $\pm$ 0,11
60–70	1,23 $\pm$ 0,04	2,12 $\pm$ 0,10	7,2 $\pm$ 0,10	0,8 $\pm$ 0,05	19,4 $\pm$ 0,74	4,3 $\pm$ 0,09
80–90	0,73 $\pm$ 0,03	1,25 $\pm$ 0,09	7,5 $\pm$ 0,11	–	18,5 $\pm$ 0,93	4,0 $\pm$ 0,13
100–100	0,60 $\pm$ 0,03	1,04 $\pm$ 0,05	7,9 $\pm$ 0,08	–	18,0 $\pm$ 0,65	3,8 $\pm$ 0,09
120–130	0,35 $\pm$ 0,03	0,60 $\pm$ 0,04	8,0 $\pm$ 0,09	–	17,8 $\pm$ 0,95	3,5 $\pm$ 0,12
Черноземы выщелоченные малогумусные среднесуглинистые слабосмытые						
0–10	2,60 $\pm$ 0,08	4,49 $\pm$ 0,15	6,5 $\pm$ 0,11	2,3 $\pm$ 0,10	23,7 $\pm$ 1,10	5,1 $\pm$ 0,11

Окончание табл. 1

Глубина, см	C <sub>орг</sub>	Гумус	рН <sub>водн</sub>	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы		
	%			H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
20–30	1,74±0,07	3,00±0,13	6,8±0,10	1,3±0,09	21,3±0,10	4,5±0,08
40–50	0,96±0,06	1,66±0,08	7,1±0,09	1,0±0,10	19,1±0,99	4,0±0,09
60–70	0,77±0,06	1,32±0,07	7,4±0,07	–	18,6±0,52	3,9±0,08
80–90	0,58±0,04	1,00±0,03	7,9±0,10	–	18,0±0,84	3,8±0,09
100–100	0,43±0,03	0,74±0,02	8,0±0,05	–	17,6±0,63	3,7±0,06
120–130	0,30±0,02	0,51±0,03	8,1±0,06	–	17,3±0,89	3,6±0,08
<b>Черноземы выщелоченные слабогумусированные среднесуглинистые среднесмытые</b>						
0–10	2,12±0,08	3,66±0,18	6,9±0,13	1,8±0,09	22,3±0,98	4,8±0,11
20–30	1,42±0,06	2,44±0,11	7,4±0,09	–	20,4±0,71	4,3±0,09
40–50	0,81±0,05	1,40±0,10	7,6±0,11	–	18,7±1,01	3,9±0,10
60–70	0,67±0,05	1,15±0,08	7,8±0,09	–	18,3±0,78	3,8±0,07
80–90	0,53±0,03	0,92±0,05	7,9±0,08	–	17,9±0,96	3,7±0,10
100–100	0,36±0,01	0,62±0,04	8,2±0,08	–	17,4±0,83	3,6±0,07
120–130	0,19±0,01	0,32±0,03	8,2±0,09	–	16,9±0,89	3,5±0,09

Table 1

**Chemical and physicochemical properties of leached chernozems in conditions of a slope type of terrain (mean value ± error of the arithmetic mean, for n = 5)**

Depth, cm	C <sub>орг</sub>	Humus	рН <sub>wat.</sub>	Exchangeable cations, cmol (eq)/kg soil		
	%			H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
<b>Leached chernozems low-humus medium-thick medium-loamy</b>						
0–10	2.99±0.09	5.16±0.17	6.5±0.14	2.1±0.12	24.1±0.90	5.3±0.12
20–30	2.43±0.07	4.19±0.11	6.9±0.09	3.8±0.08	24.7±0.61	5.0±0.11
40–50	1.66±0.08	2.86±0.11	7.1±0.12	1.1±0.10	20.4±0.91	4.3±0.11
60–70	1.23±0.04	2.12±0.10	7.2±0.10	0.8±0.05	19.4±0.74	4.3±0.09
80–90	0.73±0.03	1.25±0.09	7.5±0.11	–	18.5±0.93	4.0±0.13
100–100	0.60±0.03	1.04±0.05	7.9±0.08	–	18.0±0.65	3.8±0.09
120–130	0.35±0.03	0.60±0.04	8.0±0.09	–	17.8±0.95	3.5±0.12
<b>Leached chernozems low-humus medium loamy weakly washed away</b>						
0–10	2.60±0.08	4.49±0.15	6.5±0.11	2.3±0.10	23.7±1.10	5.1±0.11
20–30	1.74±0.07	3.00±0.13	6.8±0.10	1.3±0.09	21.3±0.10	4.5±0.08
40–50	0.96±0.06	1.66±0.08	7.1±0.09	1.0±0.10	19.1±0.99	4.0±0.09
60–70	0.77±0.06	1.32±0.07	7.4±0.07	–	18.6±0.52	3.9±0.08
80–90	0.58±0.04	1.00±0.03	7.9±0.10	–	18.0±0.84	3.8±0.09
100–100	0.43±0.03	0.74±0.02	8.0±0.05	–	17.6±0.63	3.7±0.06
120–130	0.30±0.02	0.51±0.03	8.1±0.06	–	17.3±0.89	3.6±0.08
<b>Leached chernozems slightly humus medium loamy medium washed away</b>						
0–10	2.12±0.08	3.66±0.18	6.9±0.13	1.8±0.09	22.3±0.98	4.8±0.11

Depth, cm	C <sub>org</sub>	Humus	pH <sub>wat.</sub>	Exchangeable cations, cmol (eq)/kg soil		
	%			H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>
20–30	1.42±0.06	2.44±0.11	7.4±0.09	–	20.4±0.71	4.3±0.09
40–50	0.81±0.05	1.40±0.10	7.6±0.11	–	18.7±1.01	3.9±0.10
60–70	0.67±0.05	1.15±0.08	7.8±0.09	–	18.3±0.78	3.8±0.07
80–90	0.53±0.03	0.92±0.05	7.9±0.08	–	17.9±0.96	3.7±0.10
100–100	0.36±0.01	0.62±0.04	8.2±0.08	–	17.4±0.83	3.6±0.07
120–130	0.19±0.01	0.32±0.03	8.2±0.09	–	16.9±0.89	3.5±0.09

Содержание обменных катионов (Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>) тесно взаимосвязано с профильным распределением гумуса. Поэтому аналогично гумусу в черноземах подверженных эрозии количество обменных катионов (Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>) меньше, чем у несмытых аналогов. Все почвы достаточно хорошо насыщены обменными основаниями.

По гранулометрическому составу почвы среднесуглинистые с преобладанием фракции среднего песка (ЭПЧ 1—0,25 мм). В черноземах катены выявлены различия в распределении гранулометрических фракций, несмотря на сходства их гранулометрического состава. В черноземах водораздела в гранулометрическом составе преобладающими является фракции крупного и среднего песка (27,7 %), а сопутствующими фракциями являются средне- и мелкопылеватая, на долю которых приходится соответственно 9,2 и 13,2 % (табл. 2).

Таблица 2

**Гранулометрический (числитель) и микроагрегатный (знаменатель) составы, факторы дисперсности и структурности черноземов выщелоченных в условиях склонового типа местности (n = 5)**

Глубина, см	Содержание фракций различного размера, %							Фактор дисперсности	Фактор структурности
	1–0,25 мм	0,25–0,05 мм	0,05–0,01 мм	0,01–0,005 мм	0,005–0,001 мм	< 0,001 мм	< 0,01 мм		
<b>Черноземы выщелоченные малогумусные среднесуглинистые</b>									
0–10	27,7 13,2	8,4 41,1	21,2 23,9	9,2 9,9	13,5 6,4	20,0 5,5	42,7 21,1	28	50
20–30	24,4 13,6	8,2 39,5	23,5 27,0	9,7 10,8	12,0 3,3	22,2 5,8	43,9 19,9	26	52
<b>Черноземы выщелоченные малогумусные среднесуглинистые слабосмытые</b>									
0–10	43,8 23,4	8,1 35,8	14,6 17,8	6,7 6,5	8,6 8,8	18,2 7,7	33,5 23,0	42	37
20–30	43,3 26,1	8,0 40,4	14,3 10,3	6,4 5,4	8,3 10,1	19,7 7,7	34,4 23,2	39	39
<b>Черноземы выщелоченные слабогумусированные среднесуглинистые среднесмытые</b>									
0–10	41,0 22,1	11,5 41,0	17,3 19,2	4,9 3,5	3,8 3,8	21,5 10,4	30,2 17,7	48	34
20–30	40,9 20,4	10,5 39,0	15,8 18,7	6,6 6,4	4,8 7,0	21,4 8,5	32,8 21,9	40	36

**Granulometric (above the line) and micro-aggregate (below the line) composition, factors of dispersion and structure of chernozems leached in conditions of a slope type of terrain (n = 5)**

Depth, cm	The content of fractions of various sizes,%							Dispersion factor	Structural factor
	1–0.25 mm	0.25–0.05 mm	0.05–0.01 mm	0.01–0.005 mm	0.005–0.001 mm	< 0.001 mm	< 0.01 mm		
<b>Leached chernozems low-humus medium-thick medium-loamy</b>									
0–10	<u>27.7</u> 13.2	<u>8.4</u> 41.1	<u>21.2</u> 23.9	<u>9.2</u> 9.9	<u>13.5</u> 6.4	<u>20.0</u> 5.5	<u>42.7</u> 21.1	28	50
20–30	<u>24.4</u> 13.6	<u>8.2</u> 39.5	<u>23.5</u> 27.0	<u>9.7</u> 10.8	<u>12.0</u> 3.3	<u>22.2</u> 5.8	<u>43.9</u> 19.9	26	52
<b>Leached chernozems low-humus medium loamy weakly washed away</b>									
0–10	<u>43.8</u> 23.4	<u>8.1</u> 35.8	<u>14.6</u> 17.8	<u>6.7</u> 6.5	<u>8.6</u> 8.8	<u>18.2</u> 7.7	<u>33.5</u> 23.0	42	37
20–30	<u>43.3</u> 26.1	<u>8.0</u> 40.4	<u>14.3</u> 10.3	<u>6.4</u> 5.4	<u>8.3</u> 10.1	<u>19.7</u> 7.7	<u>34.4</u> 23.2	39	39
<b>Leached chernozems slightly humus medium loamy medium washed away</b>									
0–10	<u>41.0</u> 22.1	<u>11.5</u> 41.0	<u>17.3</u> 19.2	<u>4.9</u> 3.5	<u>3.8</u> 3.8	<u>21.5</u> 10.4	<u>30.2</u> 17.7	48	34
20–30	<u>40.9</u> 20.4	<u>10.5</u> 39.0	<u>15.8</u> 18.7	<u>6.6</u> 6.4	<u>4.8</u> 7.0	<u>21.4</u> 8.5	<u>32.8</u> 21.9	40	36

В эродированных почвах также преобладают фракции крупного и среднего песка, на долю которых приходится от 43,3 до 43,8 % в слабосмытых и от 40,9 до 41,0 % — в среднесмытых разновидностях. На втором месте в качестве сопутствующей фракции выступает илистая фракция (ЭПЧ < 0,001 мм), количество которой в слабосмытых почвах составляет 18,2...19,7 %, а в среднесмытых — 21,4...1,5 %. Обогащенность песчаными фракциями и в целом среднесуглинистый гранулометрический состав почв связаны с тем, что в качестве подстилающих пород для покровных карбонатных суглинков выступают древнеаллювиальные песчаные отложения.

Почва водораздельного участка на основании выхода илистых частиц при микроагрегатном анализе обладает хорошей микроструктурностью. В них фактор дисперсности составляет 28 %. В эродированных черноземах, особенно среднесмытых, выход илистой фракции при микроагрегатном анализе увеличивается до 42...48 %, соответственно эти почвы теряют микроструктуру.

Наилучшими показателями структурного состояния характеризуется чернозем выщелоченный на водоразделе, где он составляет 50 %. Эродированные черноземы отличаются более низким фактором структурности, т.е. они в меньшей степени имеют возможность к оструктуриванию. От слабосмытых к среднесмытым разновидностям фактор структурности уменьшается от 37 до 34 % в слое почвы 0—10 см и от 39 до 36 % — в слое 20—30 см.



Нашими исследованиями установлено, что все рассматриваемые почвы отличаются невысоким фактором структурности в виду их облегченного гранулометрического состава. Однако эродированные черноземы практически утратили потенциальную способность к оструктуриванию, так как значения фактора структурности в них низкие. Поскольку в результате эрозии эти почвы теряют наиболее активные (в клеющем отношении) ЭПЧ размером менее 0,005 мм, поэтому чем больше степень смыва, тем хуже почва потенциально способна к оструктуриванию.

Лучший структурно-агрегатный состав имеют черноземы, расположенные на водораздельном участке. Здесь оструктуренность оценивается как хорошая, так как выход мезоагрегатных фракций в слоях 0—10 и 20—30 см составляет соответственно 65 и 60 % (табл. 3). При этом коэффициенты структурности в вышеуказанных слоях самые высокие и составляют соответственно 1,82 и 1,50. Доминирующей структурно-агрегатной фракцией в структурном составе являются агрегаты размером 5—1 мм. На их долю приходится 34,4...45,5 %. Почва водораздела отличается высокой водопрочностью агрегатов (450...466 %), рассчитанной по Кузнецовой. Здесь доля агрегатов размером более 0,25 мм, определенная в результате мокрого просеивания, изменяется от 67 % в слое 0—10 см до 75 % в слое 20—30 см.

Развитие эрозионных процессов на склоновых почвах способствует ухудшению всего комплекса физических свойств. В пахотном горизонте АР эродированных черноземов на макроструктурном уровне возрастает доля глыбистой фракции, количество которой в слабосмытых разновидностях составляет 54,2 %, а в среднесмытых — 58,0 %. Кроме того, при средней степени смытости отмечается возрастание доли пылевой фракции (до 12 %) в структурно-агрегатном составе. При увеличении степени эродированности черноземы теряют значительное количество мезоагрегатов (агрономически ценных) по сравнению с несмытым аналогом. Так, в слое 0—10 см количество мезоагрегатов в слабосмытых и среднесмытых разновидностях снижается соответственно до 39 и 30 %.  $K_{стр}$  в смытых черноземах в слое 0—10 см оценивается как неудовлетворительный. В слабосмытых и среднесмытых разновидностях этот показатель составляет соответственно 0,64 и 0,43. В нижележащем слое  $K_{стр}$  оценивается как удовлетворительный и составляет 1,29 в слабосмытых и 0,98 — среднесмытых почвах.

Таблица 3

**Структурно-агрегатный состав (сухое просеивание – числитель, мокрое – знаменатель) черноземов выщелоченных в условиях склонового типа местности (n = 5)**

Глубина, см	Содержание фракций различного размера, %					$K_{стр}$	Мезоагрегаты (0,25–10 мм) %	АФИ
	> 10 мм	10–5 мм	5–1 мм	1–0,25 мм	< 0,25 мм			
Черноземы выщелоченные малогумусные среднесуглинистые								
0–10	28,0 –	15,0 –	42,5 34,4	7,0 32,6	7,5 33,0	1,82	65	466
20–30	35,9 –	18,0 –	34,4 40,6	7,6 34,2	4,1 25,2	1,50	60	450
Черноземы выщелоченные малогумусные среднесуглинистые слабосмытые								

Глубина, см	Содержание фракций различного размера, %					K <sub>стр</sub>	Мезоагрегаты (0,25–10 мм) %	АФИ
	> 10 мм	10–5 мм	5–1 мм	1–0,25 мм	< 0,25 мм			
0–10	54,2 —	14,4 —	16,7 16,0	7,8 28,4	6,9 55,6	0,64	39	364
20–30	35,4 —	14,6 —	32,3 17,6	9,5 37,0	8,2 45,4	1,29	56	389
Черноземы выщелоченные слабогумусированные среднесуглинистые среднесмытые								
0–10	58,0 —	5,0 —	14,3 7,0	10,7 27,6	12,0 65,4	0,43	30	258
20–30	46,9 —	20,4 —	19,1 7,0	10,1 31,6	3,5 61,4	0,98	50	313

Table 3

**Structural and aggregate composition (dry sieving – above the line, wet – below the line) leached chernozems in conditions of a slope type of terrain (n = 5)**

Depth, cm	The content of fractions of various sizes, %					C <sub>стр</sub>	Mesoaggregates (0.25–10 mm) %	AFI
	> 10 mm	10–5 mm	5–1 mm	1–0.25 mm	< 0.25 mm			
Leached chernozems low-humus medium-thick medium-loamy								
0–10	28.0 —	15.0 —	42.5 34.4	7.0 32.6	7.5 33.0	1.82	65	466
20–30	35.9 —	18.0 —	34.4 40.6	7.6 34.2	4.1 25.2	1.50	60	450
Leached chernozems low-humus medium loamy weakly washed away								
0–10	54.2 —	14.4 —	16.7 16.0	7.8 28.4	6.9 55.6	0.64	39	364
20–30	35.4 —	14.6 —	32.3 17.6	9.5 37.0	8.2 45.4	1.29	56	389
Leached chernozems slightly humus medium loamy medium washed away								
0–10	58.0 —	5.0 —	14.3 7.0	10.7 27.6	12.0 65.4	0.43	30	258
20–30	46.9 —	20.4 —	19.1 7.0	10.1 31.6	3.5 61.4	0.98	50	313

В слабосмытых черноземах ухудшаются показатели водоустойчивости почвенных агрегатов. Так их количество снижается до 44 % в слое 0–10 см и до 55 % в слое 20–30 см. По сравнению с черноземом, расположенным на водораздельном участке, в эродированных разновидностях существенно снижается показатель АФИ, который в слабосмытых почвах равен 364...389 % и 258...313 % — в среднесмытых.

Таким образом, эрозионные процессы способствуют деградации структурно-агрегатного состава черноземов. Основным признаком деградации уровней структурной организации рассматриваемых почв является снижение коэффициента структурности за счет увеличения в структурно-агрегатном составе макро- и микроагрегатов, а также уменьшение количества водоустойчивых почвенных агрегатов, что делает эти почвы более уязвимыми к эрозии.

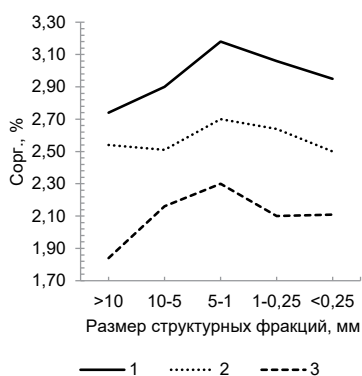
Максимальное количество C<sub>орг</sub> (3,18 %) отмечено в структурно-агрегатных фракциях размером 5–1 мм в почве водораздельного участка (рис., А). В слабо- и среднесмытых черноземах количество C<sub>орг</sub> в этой фракции было меньше почвы

водораздельного участка и составляло соответственно 2,70 и 2,30 %. Минимальное содержание  $C_{\text{орг}}$  наблюдалось в структурно-агрегатных фракциях размером более 10 и менее 0,25 мм. Статистическая обработка данных (при  $P = 0,95$ ) не показала достоверных различий в содержании  $C_{\text{орг}}$  в макро- (>10 мм) и микроагрегатах (<0,25 мм).

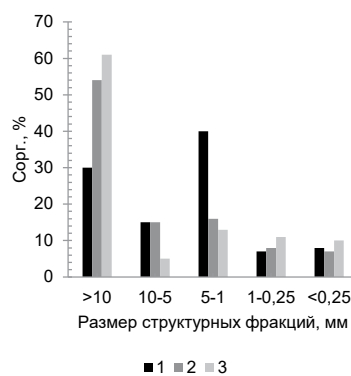
По данным структурно-агрегатного анализа и содержанию в структурно-агрегатных фракциях  $C_{\text{орг}}$  рассчитывался вклад всех отдельностей в общий органический углерод почвы — путем вычисления процента распределения  $C_{\text{орг}}$  для каждой структурно-агрегатной фракции от общего содержания  $C_{\text{орг}}$  в смешанном образце почвы (рис., Б). В результате чего были установлены различия по вкладу в общее органическое вещество углерода структурно-агрегатных фракций при развитии эрозии на черноземах. В почве водораздельного участка наибольший вклад (40 %) в общий углерод почвы вносят фракции 5—1 мм. На втором месте стоят макроагрегаты (>10 мм) — 30 %, а меньше всего приходится на фракции 1—0,25 и <0,25 мм. В черноземах слабо- и среднесмытых на первом месте по доле вклада в общий органический углерод находятся макроагрегаты (54 и 61 % соответственно). В слабосмытых почвах микроагрегаты в меньшей степени (7 %) принимают участие в общем органическом углероде почвы, а в среднесмытых — фракция 10—5 мм (5 %).

Как уже отмечалось нами ранее, содержание в почвах ЛГВ обуславливает формирование водопрочных почвенных агрегатов и способность их противостоять водному и механическому агрегаторазрушающим действиям.

Наибольшая обогащенность структурно-агрегатных фракций углеродом лабильных гумусовых веществ отмечалась в почвах водораздельного участка, а наименьшая — в среднесмытых черноземах выщелоченных (рис., В, Г). Распределение  $C_{\text{ЛГВ}}$  по структурно-агрегатным фракциям не одинаково. На черноземах водораздельного участка максимальное содержание  $C_{\text{ЛГВ}}$  отмечалось во фракции мезоагрегатов размером 5—1 мм и составляло 0,24 % (7,5 % от  $C_{\text{орг}}$ ). По мере увеличения или уменьшения размерности фракций содержание  $C_{\text{ЛГВ}}$  снижалось, так в макро- и микроагрегатах его количество составляло 0,14 % (соответственно 5,1 и 4,7 % от  $C_{\text{орг}}$ ).

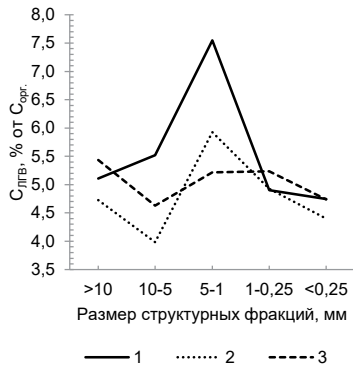


А

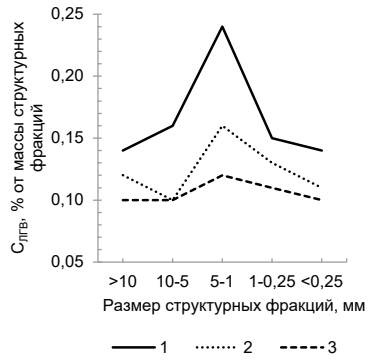


Б

Распределение Сор<sub>г</sub> и СЛГВ в структурно-агрегатных фракциях черноземов выщелоченных в условиях склонового типа местности: 1 — водораздел; 2 — верхняя часть склона; 3 — нижняя часть склона (начало)

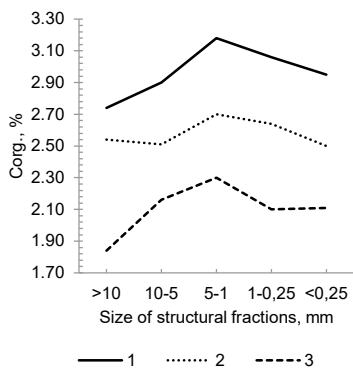


B

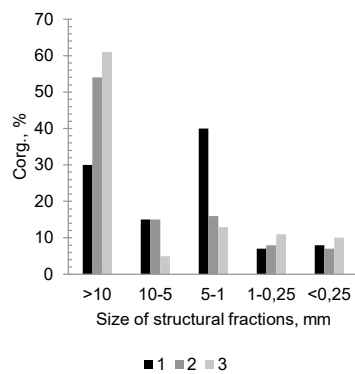


Г

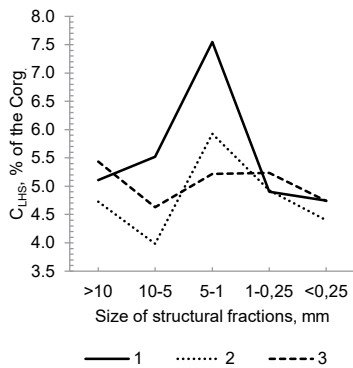
Распределение  $C_{org}$  и  $C_{LPB}$  в структурно-агрегатных фракциях черноземов выщелоченных в условиях склонового типа местности: 1 – водораздел; 2 – верхняя часть склона; 3 – нижняя часть склона (окончание)



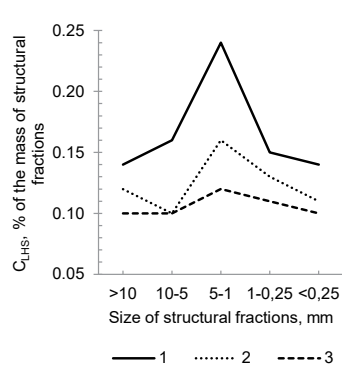
A



Б



B



Г

Distribution of  $C_{org}$  and  $C_{LHS}$  in the structural-aggregate fractions of chernozems leached in the conditions of the slope type of terrain: 1 – watershed; 2 – the upper part of the slope; 3 – the lower part of the slope

В слабосмытых разновидностях черноземов максимальное содержание  $C_{\text{ЛГВ}}$  отмечалось во фракции 5—1 мм и составляло 0,16 % (5,9 % от  $C_{\text{орг}}$ ). Остальные структурно-агрегатные фракции не имели статистически достоверных различий (при  $P = 0,95$ ) по содержанию в них  $C_{\text{ЛГВ}}$ , количество которого составляет 0,11...0,12 % (4,0...4,9 % от  $C_{\text{орг}}$ ).

Распределение  $C_{\text{ЛГВ}}$  в среднесмытых разновидностях черноземов по структурно-агрегатным фракциям не имеет статистически достоверных различий (при  $P = 0,95$ ). Оно изменяется в пределах от 0,10 до 0,12 % (4,6...5,4 % от  $C_{\text{орг}}$ ).

В результате исследований была установлена тесная корреляционная зависимость ( $R^2 = 0,81$ ) между содержанием ЛГВ и количеством мезоагрегатов почвы. Чем больше в почвах содержится ЛГВ, тем лучшим коэффициентом структурности и критерием водопрочности агрегатов они характеризуются. Так в почвах водораздельного участка водопрочные структурно-агрегатные отдельности сформированы в условиях большего содержания  $C_{\text{орг}}$  и  $C_{\text{ЛГВ}}$  в составе агрегатов. В смытых разновидностях на фоне снижения содержания  $C_{\text{орг}}$  и низкой обогащенности структурно-агрегатных фракций ЛГВ утрачивается водопрочная структура и ухудшаются показатели структурно-агрегатного состояния.

## Заключение

Развитие эрозионных процессов на черноземах выщелоченных сопровождается деградацией их структурно-агрегатного состояния. Наиболее весомый вклад в содержание  $C_{\text{орг}}$  вносят мезоагрегаты размером 5—1 мм, которые активно утрачиваются при развитии эрозии. От степени смытости зависит потенциальная возможность черноземов к оструктуриванию. Микроструктурность смытых в разной степени почв ухудшается от слабосмытых к сильносмытым разновидностям, где фактор дисперсности в пахотном горизонте увеличивается практически в два раза по сравнению с черноземами водораздела. По мере усиления степени смытости черноземов происходит снижение количества агрономически ценных мезоагрегатов на 29...61 %, что соответственно приводит к уменьшению коэффициента структурности до 0,27...0,63. Ухудшаются водоустойчивость почвенных агрегатов и критерий их водопрочности. От обогащенности почв ЛГВ зависят коэффициент структурности и критерий водопрочности агрегатов. На фоне снижения содержания  $C_{\text{орг}}$  и низкой обогащенности структурно-агрегатных фракций ЛГВ в эродированных черноземах отмечаются утрата водопрочной структуры и в целом ухудшение показателей структурно-агрегатного состояния. Следовательно, ЛГВ осуществляет весомый вклад в образование водопрочной структуры черноземов.

## Библиографический список

1. Гусаров А.В., Голосов В.Н., Шарифуллин А.Г., Гуфаров А.М. Современный тренд эрозии пахотных черноземов южных на западе Оренбургской области // Почвоведение. 2018. № 5. С. 601—616. doi: 10.1134/S 1064229318050046

2. *Плотникова О.О., Демидов В.В., Лебедева М.П.* Действие мелководных потоков на поверхностные горизонты чернозема типичного различной степени смывости // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 2018. № 91. С. 85—109. doi:10.19047/0136-1694-2018-91-85-109
3. *Солдат И.Е.* Снижение негативного влияния эрозии почв в Белгородской области внедрением адаптивно-ландшафтной системы земледелия // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020. Т. 15. № 2. С. 182—190. doi: 10.22363/2312-797X-2020-15-2-182-190
4. *Шпедт А.А., Трубников Ю.Н., Жаринова Н.Ю.* Агрогенная деградация почв и почвенного покрова Красноярской лесостепи // Почвоведение. 2017. № 10. С. 1253—1261. doi: 10.1134/S106422931710012X
5. *Зайдельман Ф.Р.* Защита почв от деградации // Вестник Российской академии наук. 2008. Т. 78. № 8. С. 693—703.
6. *Козут Б.М.* Оценка уровней эродированности черноземов по относительной степени их гумусированности // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 78. С. 59—69.
7. *Молчанов Э.Н., Савин И.Ю., Яковлев А.С., Булгаков Д.С., Макаров О.А.* Отечественные подходы к оценке степени деградации почв и земель // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1394—1406. doi: 10.1134/S1064229315110113
8. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2017 году. М., 2018. 197 с.
9. *Кузнецов М.С., Глазунов Г.П.* Эрозия и охрана почв. М.: МГУ, КолосС, 2004. 352 с.
10. *Jastrow J.D., Miller R.M., Boutton T.W.* Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance // Soil Sci. Soc. Am. J. 1996. Vol. 60. P. 801—807. doi: 10.2136/sssaj1996.03615995006000030017x
11. *Six J., Paustian K., Elliott E.T., Combrink C.* Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon // Soil Sci. Soc. Am. J. 2000. Vol. 64. P. 681—689. doi: 10.2136/sssaj2000.642681x
12. *Семёнов В.М., Иванникова Л.А., Семёнова Н.А., Ходжаева А.К., Удальцов С.Н.* Минерализация органического вещества в разных по размеру агрегатных фракциях почвы // Почвоведение. 2010. № 2. С. 157—165. doi: 10.1134/S1064229310020031
13. *Козут Б.М., Сысуев С.А., Холодов В.А.* Водопрочность и лабильные гумусовые вещества типичного чернозема при разном землепользовании // Почвоведение. 2012. № 5. С. 555—561.
14. *Семёнов В.М., Козут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
15. *John B., Yamashita T., Ludwig B., Flessa H.* Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use // Geoderma. 2005. Vol. 128. P. 63—79. doi: 10.1016/j.geoderma.2004.12.013
16. *Oades J.M., Waters A.G.* Aggregate hierarchy in soils // Australian J. Soil Res. 1991. Vol. 29. № 6. P. 815—828. doi: 10.1071/SR9910815
17. *Милановский Е.Ю.* Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М.: ГЕОС, 2009. 186 с.
18. *Милановский Е.Ю., Шеин Е.В.* Функциональная роль амфифильных компонентов гумусовых веществ в процессах гумусо-структурообразования и в генезисе почв // Почвоведение. 2002. № 10. С. 1201—1213.
19. *Шеин Е.В., Милановский Е.Ю.* Роль и значение органического вещества в образовании и устойчивости почвенных агрегатов // Почвоведение. 2003. № 1. С. 53—61.
20. *Jastrow J.D.* Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter // Soil Biol. and Biochem. 1996. Vol. 28. № 4—5. P. 656—676. doi: 10.1016/0038-0717(95)00159-X
21. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
22. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO. Rome.
23. *Щеглов Д.И., Громовик А.И., Горбунова Н.С.* Основы химического анализа почв. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2019. 332 с.
24. *Шеин Е.В., Карпачевский Л.О.* Теория и методы физики почв. М.: ГрифиК, 2007. 616 с.

## References

1. Gusarov AV, Golosov VN, Sharifullin AG, Gafurov AM. Contemporary trend in erosion of arable southern chernozems (haplic chernozems pachic) in the west of Orenburg region (Russia). *Pochvovedenie*. 2018; (5):601—616. (In Russ.). doi: 10.7868/S 0032180X1805009X
2. Plotnikova OO, Demidov VV, Lebedeva MP. The impact of shallow streams on the surface horizons of typical chernozem with different erosion degree. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2018; (91):85—109. (In Russ.). doi: 10.19047/0136-1694-2018-91-85-109.
3. Soldat IE. Reducing the negative impact of soil erosion in the Belgorod region through adaptive landscape farming system. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2020; 15(2):182—190. (In Russ.). doi: 10.22363/2312—797X-2020-15-2-182-190.
4. Shpedt AA, Trubnikov YN, Zharinova NY. Agrogenic degradation of soils in Krasnoyarsk forest-steppe. *Pochvovedenie*. 2017; (10):1253—1261. (In Russ.). doi: 10.7868/S 0032180X17100124
5. Seidelman FR. Protection of soil from degradation. *Vestnik Rossijskoj akademii nauk*. 2008; 78(8):693—703. (In Russ.).
6. Kogut BM. Estimate of chernozem erodibility level according to the humification degree. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2015; (78):59—69. (In Russ.).
7. Molchanov EN, Savin IY, Yakovlev AS, Bulgakov DS, Makarov OA. National approaches to evaluation of the degree of soil degradation. *Pochvovedenie*. 2015; (11):1394—1406. (In Russ.). doi: 10.7868/S 0032180X15110118
8. *Gosudarstvennyi (natsional'nyi) doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Rossiiskoi federatsii v 2017 godu* [State (national) report on the state and use of land in the Russian Federation in 2017]. Moscow; 2018. (In Russ.).
9. Kuznetsov MS, Glazunov GP. *Eroziya i okhrana pochv* [Erosion and soil protection]. Moscow: MGU, KoloSS publ.; 2004. (In Russ.).
10. Jastrow JD, Miller RM, Boutton TW. Carbon dynamics of aggregate-associated organic matter estimated by carbon-13 natural abundance. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1996; 60(3):801—807. doi: 10.2136/sssaj1996.03615995006000030017x
11. Six J, Paustian K, Elliott ET, Combrink C. Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2000; 64(2):681—689. doi: 10.2136/sssaj2000.642681x
12. Semyonov VM, Ivannikova LA, Semyonova NA, Khodzhaeva AK, Udaltsov SN. Organic matter mineralization in different soil aggregate fractions. *Pochvovedenie*. 2010; (2):157—165. (In Russ.). doi: 10.1134/S 1064229310020031
13. Kogut BM, Sysuev SA, Kholodov VA. Water stability and labile humic substances of typical chernozems under different land uses. *Pochvovedenie*. 2012; (5):555—561. (In Russ.).
14. Semyonov VM, Kogut BM. *Pochvennoe organicheskoe veshchestvo* [Soil organic matter]. Moscow: GEOS publ.; 2015. (In Russ.).
15. John B, Yamashita T, Ludwig B, Flessa H. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma*. 2005; 128(1—2):63—79. doi: 10.1016/j.geoderma.2004.12.013
16. Oades JM, Waters AG. Aggregate hierarchy in soils. *Australian J. Soil Res.* 1991; 29(6):815—828. doi: 10.1071/SR9910815
17. Milanovskii EY. *Gumusovye veshchestva pochv kak prirodnye gidrofobno-gidrofil'nye soedineniya* [Humic substances of soils as natural hydrophobic-hydrophilic compounds]. Moscow: GEOS publ.; 2009. (In Russ.).
18. Milanovskii EY, Shein EV. Functional role of amphiphilic humus components in humus structure formation and soil genesis. *Pochvovedenie*. 2002; (10):1201—1213. (In Russ.).
19. Shein EV, Milanovskii EY. The role of organic matter in the formation and stability of soil aggregates. *Pochvovedenie*. 2003; (1):53—61. (In Russ.).
20. Jastrow JD. Soil aggregate formation and the accrual of particulate and mineral-associated organic matter. *Soil Biol. and Biochem.* 1996; 28(4—5):665—676. doi: 10.1016/0038-0717(95)00159-X

21. *Klassifikatsiya i diagnostika pochv SSSR* [Classification and diagnostics of soils in the USSR]. Moscow: Koloss publ.; 1977. (In Russ.).

22. FAO. *World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*. World Soil Resources Reports. Report number: 106. 2015

23. Shcheglov DI, Gromovik AI, Gorbunova NS. *Osnovy khimicheskogo analiza pochv* [Fundamentals of soil chemical analysis]. Voronezh: VGU publ.; 2019. (In Russ.).

24. Shein EV, Karpachevsky LO. *Teoriya i metody fiziki pochv* [Theory and methods of soil physics]. Moscow: GrifIK publ.; 2007. (In Russ.).

#### Об авторах:

*Васенев Иван Иванович* — доктор биологических наук профессор, заведующий кафедрой экологии, РГАУ — МСХА им. К.А. Тимирязева, Российская Федерация, 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49; e-mail: [vasenev@rgau-msha.ru](mailto:vasenev@rgau-msha.ru)  
ORCID: 0000-0001-9127-9569

*Горбунова Надежда Сергеевна* — кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и земельных ресурсов, Воронежский государственный университет, Российская Федерация, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1; e-mail: [vilian@list.ru](mailto:vilian@list.ru)  
ORCID: 0000-0002-7986-8106

*Громовик Аркадий Игоревич* — кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и земельных ресурсов, Воронежский государственный университет, Российская Федерация, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1; e-mail: [agrom.ps@mail.ru](mailto:agrom.ps@mail.ru)  
ORCID: 0000-0002-2340-6404

*Девятлова Татьяна Анатольевна* — доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой экологии и земельных ресурсов, Воронежский государственный университет, Российская Федерация, 394018, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1; e-mail: [devyatova.eco@gmail.com](mailto:devyatova.eco@gmail.com)  
ORCID: 0000-0002-4756-9005

#### About authors:

*Vasenev Ivan Ivanovich* — Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of Department of Ecology, Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, 127550, Russian Federation; e-mail: [vasenev@rgau-msha.ru](mailto:vasenev@rgau-msha.ru)  
ORCID: 0000-0001-9127-9569

*Gorbunova Nadezhda Sergeevna* — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Ecology and Land Resources, Voronezh State University, 1 Universitetskaya sq., Voronezh, 394018, Russian Federation; e-mail: [vilian@list.ru](mailto:vilian@list.ru)  
ORCID: 0000-0002-7986-8106

*Gromovik Arkady Igorevich* — Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Ecology and Land Resources, Voronezh State University, 1 Universitetskaya sq., Voronezh, 394018, Russian Federation; e-mail: [agrom.ps@mail.ru](mailto:agrom.ps@mail.ru)  
ORCID: 0000-0002-2340-6404

*Devyatova Tatyana Anatolyevna* — Doctor of Biological Sciences, Professor, Head. Department of Ecology and Land Resources, Voronezh State University, 1 Universitetskaya sq., Voronezh, 394018, Russian Federation; e-mail: [devyatova.eco@gmail.com](mailto:devyatova.eco@gmail.com)  
ORCID: 0000-0002-4756-9005