

- Perfil'ev N.V., V'iushina O.A., Konishchev A.A., Garifullin I.I. Issledovanie vzaimosvazi «optimal'noi plotnosti» pochvy s urozhainost'iu zernovykh kul'tur [The interaction of soil «optimum density» with grain productivity] // *Agrofizika*, 2017, no. 4, pp. 16–24.
- Pleskachev Iu.N., Koshcheev I.A., Kandybin S.S. Vliianie sposobov osnovnoi obrabotki pochvy na urozhainost' zernovykh kul'tur [The influence of primary tillage methods on the yield of grain crops] // *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, no. 1(99), pp. 23-26.
- Rzaeva V.V. Zasorennost' iarovoi pshenitsy pri razlichnykh sposobakh obrabotki pochvy v Severnom Zaural'e [Contamination of spring wheat under various tillage methods in the Northern Ural] // *Zemledelie*, 2013, no. 8, pp. 25–27.
- Shein E.V., Mazirov M.A., Zinchenko S.I. *Agrofizika: uchebnoe posobie*. Vladimir, FGBNU «Vladimirskii NIISKh» [Agrophysics: a training manual. Vladimir, Vladimir Scientific Research Institute of Agriculture]. Ivanovo: «PresSto», 2016. 124 p.
- Cherkasov G.N. Kombinirovannye sistemy osnovnoi obrabotki naibolee effektivny i obosnovany [Combined main processing systems are the most effective and justified] // *Zemledelie*, 2006, no. 6. pp. 20–22.

УДК 631.434.2

DOI: 10.25695/AGRPH.2020.02.03

МИКРОАГРЕГАТНЫЙ СОСТАВ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ В УСЛОВИЯХ РАЗЛИЧНОЙ ОСНОВНОЙ ОБРАБОТКИ

Н. Л. Кураченко, А. А. Колесник, Е. С. Парченко

*Красноярский государственный аграрный университет
660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90
E-mail: kurachenko@mail.ru*

Поступила в редакцию 27 апреля 2020 г., принята к печати 28 мая 2020 г.

В полевом опыте изучено влияние способов основной обработки на содержание и пространственное распределение микроагрегатов в агрочерноземах Красноярской лесостепи. Исследование проведено в агроценозе пшеницы, возделываемой с применением вспашки, а также минимальной и нулевой обработки почвы. Установлено, что легкоглинистые крупно-пылевато-иловатые агрочерноземы с содержанием физической глины 60–65% характеризуются стабильностью минеральной массы в пространстве. В составе почвы, обрабатываемой по различным технологиям, доминируют микроагрегаты размером >0,01 мм (84–89%). Отвальная обработка определила преобладание крупных микроагрегатов размером 0,25–0,05 мм (53–51%), дифференциацию пахотного слоя по содержанию микроагрегатов крупной и средней пыли и очень высокую изменчивость в пространстве микроструктурных отдельностей размером 1–0,25 мм ($C_v = 0–100\%$). Ресурсосберегающие технологии обработки обусловили однородность слоя почвы 0–20 см по микроагрегатному составу и увеличение пространственной вариабельности микроагрегатов по мере уменьшения их размера. Минимальная обработка способствовала формированию микроагрегатов крупной пыли (44–45%), нулевая – мелкого песка (48%). По потенциальной способности почвы к структурированию, определяемой по содержанию истинных микроагрегатов размером >0,05 мм, изучаемые технологии обработки можно расположить в следующий убывающий ряд: отвальная (46–47%) – нулевая (41–44%) – минимальная (31–32%).

Ключевые слова: агрочернозем, вспашка, минимальная обработка, нулевая обработка, гранулометрический состав, микроагрегатный состав.

MICROAGGREGATE COMPOSITION OF KRASNOYARSK FOREST-STEPPE AGROCHERNOZEMS UNDER DIFFERENT TILLAGE

N. L. Kurachenko, A. A. Kolesnik, E. S. Parchenko

*Krasnoyarsk State Agrarian University,
90 Mira pr., Krasnoyarsk, 660049
E-mail: kurachenko@mail.ru*

In the field experiment, the influence of the main tillage methods on the content and spatial distribution of microaggregates in agrochernozems of the Krasnoyarsk forest-steppe was studied. The study was conducted in a grain-crop rotation in the agrocnosis of wheat with conventional ploughing, minimum and

zero tillage. It was established, that light-clay agrochernozems with physical clay content of 60-65% were characterized by the stability of the mineral mass. The composition of the differently tilled soils was dominated by microaggregates with the size > 0.01 mm (84–89%). Conventional ploughing resulted in the dominance of large microaggregates 0.25–0.05 mm (53–51%), in the differentiation of the tilled layer in the content of microaggregates of coarse and medium dust, and in a very high variability in microstructural aggregates with the size of 1–0.25 mm ($C_v = 70–100\%$). Energy-saving minimum and zero tillage resulted in the uniformity of the 0–20 cm soil layer in microaggregate composition and in an increase in the spatial variability of microaggregates with their size decreasing. Minimum tillage resulted mainly in formation of coarse dust microaggregates (44–45%) while zero tillage – of fine sand (48%). It was revealed that the potential ability to form structure particles was determined by the content of microaggregates > 0.05 mm and was decreasing from conventional ploughing (46–47%) and zero tillage (41–44%) to minimum tillage (31–32%).

Key words: agrochernozem, conventional ploughing, minimum tillage, zero tillage, texture, microaggregate composition.

ВВЕДЕНИЕ

Интенсивная распашка относится к числу наиболее активных факторов преобразования почвенного покрова, приводящих к нарушению строения, структуры и состава верхней части профиля. Основными агрогенными процессами, происходящими при распашке почв, являются дегумификация, дезагрегация и метаструктуризация почвенной массы (Артемьева, 2010). Восстановление и сохранение структурно-функциональных физических свойств и плодородия обрабатываемых почв зависят от состава и свойств элементарных почвенных частиц и микроагрегатов. Элементарные почвенные частицы при определенных условиях могут слипаться, склеиваться и коагулировать, формируя микроагрегатный состав почв. По мнению Т. В. Алексеевой (2007), вся совокупность почвенных процессов находит своё отражение в микроструктурной организации почв. Это качественно новый уровень организации твердой фазы почв, т.к. у микроагрегатов появляется очень важное в агротехническом отношении свойство – дополнительная внутриагрегатная пористость (Кураченко, 2013). Данные о микроагрегатном составе почвы, а также других её характеристиках (содержание гумуса, состав обменных оснований и др.) позволяют решать ряд важных вопросов генезиса почв и определять условия их наиболее продуктивного использования. Неоднозначность оценок изменения структурного состояния пахотных почв на микроагрегатном уровне (Медведев, 1982; Королев, 2004; Артемьева, 2005; Травникова, 2006; Бевзова, 2007; Мягкий, 2007; Кураченко, 2010) определила цель настоящего исследования, которая заключалась в изучении особенностей содержания и пространственного распределения микроагрегатов в агроchernоземе при применении вспашки и ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2016 г. в зернопарокормовом севообороте на полевом стационаре «Миндерлинское» Красноярского государственного аграрного университета, расположенном в Красноярской лесостепи ($56^{\circ}25'N$, $92^{\circ}53'E$) на юго-западной окраине Средней Сибири. На данной территории выпадает 350–450 мм осадков в

год. Среднегодовая температура воздуха в регионе изменяется от $0,5$ до $3,0^{\circ}C$, иногда понижаясь до $-2^{\circ}C$. Продолжительность периода биологической активности варьируется в пределах 90–155 сут. Сумма активных температур составляет $1550–1800^{\circ}C$. Почвы промерзают на глубину 1,5–3,0 м.

Объектом исследования являлся комплекс агроchernоземов глинисто-иллювиальных (типичных, оподзоленных, гидрометаморфизированных) и агроchernозёмов криогенно-мицеллярных. Структура почвенного покрова характеризовалась сочетанием пятнистостей и элементарных почвенных ареалов. Фоновые почвы во всех комбинациях – агроchernозёмы глинисто-иллювиальные маломощные, доминирующие на участке. Контрастность элементарных почвенных структур слабая. Почва опытного участка в слое 0–20 см отличалась высоким и очень высоким содержанием гумуса (6,1–11,1%), очень высокой суммой обменных оснований ($53,2–62,0$ ммоль 100 г^{-1}), нейтральной, слабокислой и слабощелочной реакцией почвенного раствора (pH_{H_2O} 6,5–7,9).

Оценка влияния ресурсосберегающих технологий основной обработки почвы на содержание и пространственное распределение микроагрегатов проводилась в агроценозе пшеницы по следующей схеме: I – отвальная обработка ПН-5-35 на глубину 20–22 см; II – минимальная обработка дискатором БДШ-5,6 на глубину 8–10 см; III – нулевая обработка (прямой посев при помощи сеялки Агратор 4,8). Пшеница сорта Новосибирская 15 возделывалась по зерновому предшественнику в севообороте пар – пшеница — пшеница на фоне применения аммиачной селитры (1 ц га^{-1} в физическом весе). Общая площадь опытных делянок составляла 1500 м^2 , учетная – 500 м^2 . Отбор почвенных образцов проводился по трансекте с шагом в 10 метров по 10-ти пробным площадям в фазу начала кущения пшеницы. Повторность отбора образцов – 3-кратная, глубина отбора образцов – 0–10 и 10–20 см. В почвенных образцах определялись гранулометрический состав пипет-методом и микроагрегатный состав по Н. А. Качинскому (1965). Для характеристики распределений изучаемых почвенных свойств в пространстве вычислялись среднее (X_{cp}), коэффициенты асимметрии (А), эксцесса (Е) и вариации (C_v) (Дмитриев, 1995).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Гранулометрический состав почв, определяющий соотношение содержания элементарных почвенных частиц, является основой для формирования микроагрегатов. Согласно концепции иерархии уровней структурной организации почв (Корнблом, 1975; Розанов, 1983; Воронин, 1986), уровень элементарных почвенных частиц является тем исходным уровнем, который в основном обуславливает особенности структуры и её функции на следующих, более высоких уровнях организации почвы. Агрочерноземы опытного поля характеризуются легкоглинистым гранулометрическим составом с содержанием физической глины 60–65%. Преобладающими фракциями в гранулометрическом составе почвы на всех фонах основной обработки являлись крупная пыль (25–32%) и ил (30–33%) (рис. 1). Наличие

значительного количества крупной пыли подтверждает лессовидный характер почвообразующих пород. При одинаковом гранулометрическом составе почвы закономерных и существенных изменений в содержании фракций элементарных почвенных частиц в зависимости от фона основной обработки не выявлено. Незначительные различия (1–5%) обусловлены почвенной пестротой опытного поля. По мнению Д. И. Ерёмкина (2017), только многолетняя обработка почвы может привести к изменениям в содержании фракций гранулометрического состава почв. В условиях склоновых полей применение многолетней отвальной системы основной обработки почвы способствует поверхностному смыву элементарных почвенных частиц размером менее 0,01 мм. Минимальные изменения гранулометрического состава проявляются на вершинах холмов, грив и увалов.

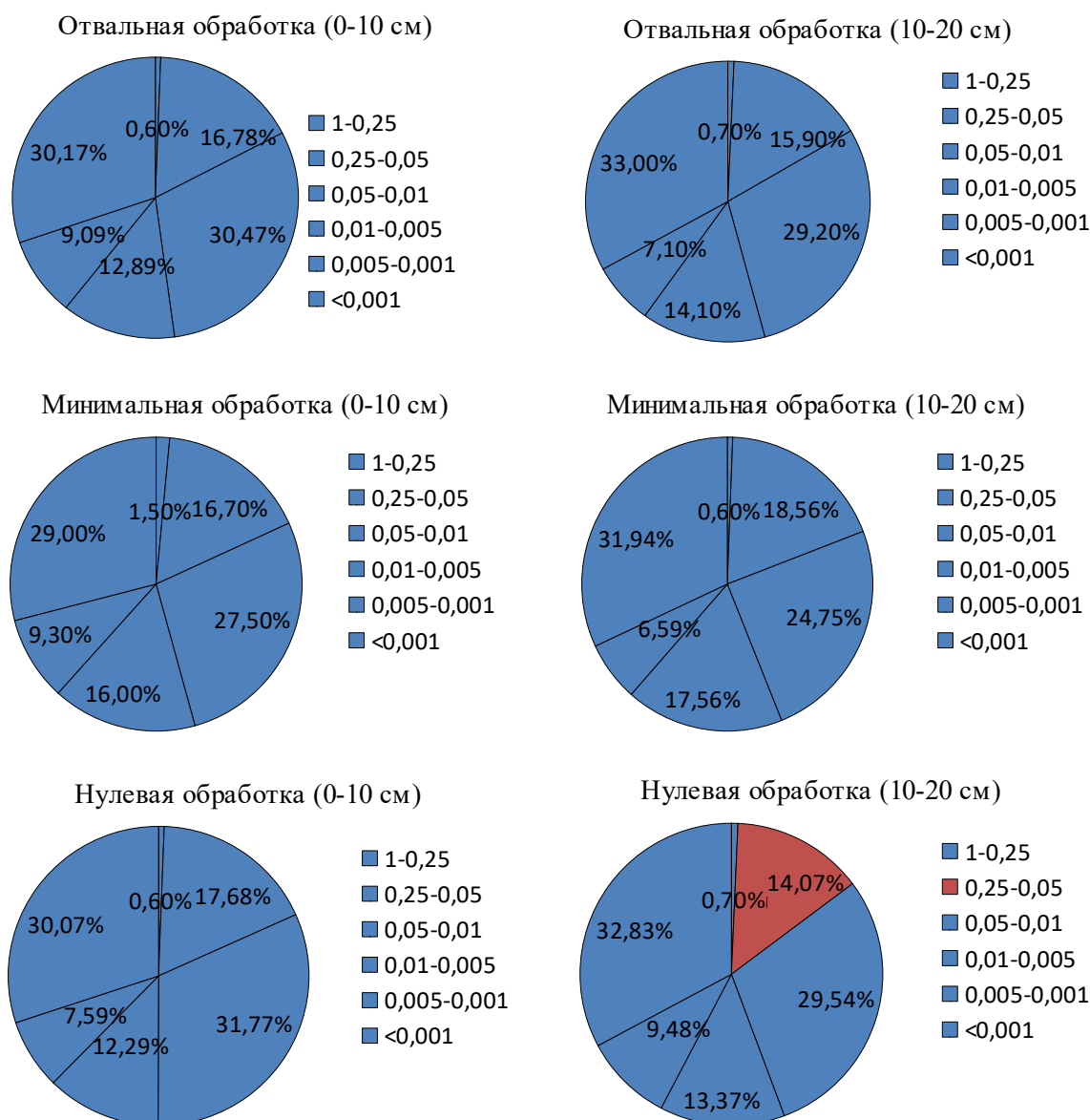


Рис. 1. Циклограммы гранулометрического состава агрочерноземов по фонам основной обработки (n = 10)

Ресурсосберегающие технологии основной обработки почвы, сохраняющие высокую микроагрегированность агрочерноземов и однородность распределения микроагрегатов в слое 0–20 см, обусловили изменение фракций микроагрегатного состава. Поверхностная минимальная обработка почвы дискатором способствовала уменьшению доли крупных микроагрегатов размером 0,25–0,05 мм на 11–15% и

увеличению количества микроагрегатов крупной пыли на 8–15% по сравнению со вспашкой, что является следствием распыления обрабатываемого слоя. Нулевая обработка почвы определила формирование микроагрегатов мелкого песка (48%) и крупной пыли (39–40%). Особенностью данной технологии обработки является увеличение доли микроагрегированного ила до 3%.

Таблица 1. Статистические характеристики пространственного распределения фракций микроагрегатного состава агрочерноземов (n = 10), %

Статистический показатель	Фракции, мм					
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
<i>отвальная обработка (0–10 см)</i>						
<i>X_{ср}</i>	1,3	53,0	29,6	11,5	3,2	1,5
<i>A</i>	2,43*	0,82	0,06	1,94	3,40*	0,07
<i>E</i>	6,56*	–0,96	–0,39	3,45	1,06	–1,14
<i>C_v</i>	100	28	45	36	31	12
<i>отвальная обработка (10–20 см)</i>						
<i>X_{ср}</i>	1,6	50,9	36,0	7,2	2,6	1,7
<i>A</i>	1,42	–0,22	0,31	0,14	0,4	0,78
<i>E</i>	2,49	–0,91	–1,09	–1,84	0,69	2,46
<i>C_v</i>	75	13	14	31	54	35
<i>минимальная обработка (0–10 см)</i>						
<i>X_{ср}</i>	1,2	38,2	45,1	8,4	5,2	1,9
<i>A</i>	–0,44	1,04	–0,84	1,26	0,18	1,70
<i>E</i>	–1,33	1,01	0,13	0,41	–0,50	4,63*
<i>C_v</i>	33	18	21	82	58	42
<i>минимальная обработка (10–20 см)</i>						
<i>X_{ср}</i>	1,2	39,6	43,6	7,5	6,2	1,8
<i>A</i>	–0,17	0,31	–1,63	1,54	1,04	0,28
<i>E</i>	–0,17	–1,51	3,21	1,82	0,50	–0,88
<i>C_v</i>	17	19	24	85	48	22
<i>нулевая обработка (0–10 см)</i>						
<i>X_{ср}</i>	0,9	48,1	39,0	6,3	3,2	2,6
<i>A</i>	1,12	–0,31	0,35	–0,97	0,93	–0,29
<i>E</i>	2,87	–1,80	–1,58	0,75	0,62	–0,37
<i>C_v</i>	44	12	11	32	69	54
<i>нулевая обработка (10–20 см)</i>						
<i>X_{ср}</i>	0,8	48,1	40,1	5,1	3,8	2,1
<i>A</i>	0,38	–0,21	0,44	–0,03	0,87	1,15
<i>E</i>	–0,56	–1,89	–0,42	–0,56	0,91	2,44
<i>C_v</i>	38	15	18	45	39	57

Примечание: *X_{ср}* – среднее значение; *A* – коэффициент асимметрии; *E* – коэффициент эксцесса; *C_v* – коэффициент варьирования.

Неоднородность распределения микроагрегатов в пространстве подтверждается варьированием содержания отдельных фракций. Обработка почвы плугом обусловила среднюю и низкую изменчивость микроагрегатов. Исключением являются крупные микроагрегаты размером 1–0,25 мм, отличающиеся очень высокой изменчивостью в пространстве ($C_v = 70–100\%$). В слое 0–10 см для них характерны достоверная правая асимметрия ($A = 2,4$) и положительный эксцесс ($E = 6,6$), что свидетельствует о достаточном резком увеличении количества данных микроагрегатов в выборке. Характер статистического распределения фракций микроагрегатного состава в условиях минимальной обработки свидетельствует об увеличении вариабельности с уменьшением размера микроагрегатов. Высоко и очень высоко варьирующимися оказались тонкие микроагрегаты размером менее 0,01 мм ($C_v = 42–82\%$). Статистическое распределение структурных

микроагрегатов на нулевом фоне обработки симметрично. Микроагрегаты размером 1–0,25 и менее 0,005 мм в слое почвы 0–10 см характеризуются нестабильным распределением в пространстве ($C_v = 44–69\%$).

Общее количество микроагрегатов недостаточно точно позволяет установить степень микроагрегированности почв, так как в составе относительно крупных фракций присутствуют также элементарные почвенные частицы соответствующих размеров, которые появились не в результате агрегирования. Поэтому для выявления потенциальной способности агрочерноземов к оструктурированию определены такие показатели, как содержание истинных микроагрегатов и коэффициент дисперсности, расчет которых произведен с использованием данных гранулометрического и микроагрегатного анализов (табл. 2).

Таблица 2. Микроагрегатный состав агрочерноземов, %

Способ обработки	Слой, см	Размер частиц, мм			Кд
		>0,05	<0,001	Им >0,05	
Отвальная	0–10	54,3	1,5	46,9	5,0
	10–20	52,5	1,7	46,2	5,2
Минимальная	0–10	39,4	1,9	31,2	6,6
	10–20	40,8	1,8	31,8	5,6
Нулевая	0–10	49,0	2,6	40,7	8,7
	10–20	48,9	2,1	43,8	6,4
p_{05}	0–10	0,002*	0,233	0,003*	0,050*
	10–20	0,004*	0,362	0,004*	0,148

Примечание: Им – истинные микроагрегаты; Кд – коэффициент дисперсности; * – статистически значимые величины с доверительной вероятностью p_{05} .

Наиболее благоприятные условия для формирования микроагрегатов и повышения их прочности сложились при вспашке, что подтверждается высоким содержанием истинных микроагрегатов размером более 0,05 мм (46–47%; $p = 0,0020,004$) и низким коэффициентом дисперсности (5%). Поверхностная и нулевая обработки почвы способствовали разрушению микроструктурных агрегатов. Крупные микроагрегаты в наибольшей степени подверглись разрушению при обработке агрочерноземов дискатором. По мнению З. С. Артемьевой (2010), соотношение процессов образования и разложения органического вещества и его взаимодействие с элементарными почвенными частицами во многом определяют степень агрегированности почвы. В предыдущих исследованиях авторов установлено (Кураченко, Колесник, 2017), что при минимальной обработке почвы интенсивное взаимодействие рабочих органов дисковых батарей с обрабатываемым пластом способствует усилению минерализационных процессов и снижению концентрации подвижных гумусовых веществ. По содержанию истинных

микроагрегатов технологии обработки почвы образуют следующий убывающий ряд: отвальная (46–47%) – нулевая (41–44%) – минимальная (31–21%). Полученные данные согласуются с результатами исследования В. Е. Синещекова (2017), установившего, что в условиях длительной минимизации основной обработки почвы вплоть до отказа от неё содержание истинных микроагрегатов размером 0,25–0,01 мм в слое 0–30 см составило в среднем 17%. Несколько лучшее микроагрегатное состояние (21%) отмечено при систематической вспашке. О возможности разрушения микроагрегатов под влиянием обработок свидетельствуют результаты исследования Н. В. Семендяевой с соавт. (2015), в котором выявлено разрушение микроагрегатной структуры в паровых полях севооборотов. По мнению А. И. Беленкова с соавт. (2011), обработка почвы, проведенная на полную глубину, приводит к образованию комковатой структуры, обладающей водоустойчивыми связями между почвенными частицами, что оказывает благоприятное влияние на другие агрофизические свойства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, агрочерноземы Красноярской лесостепи, имеющие легкоглинистый гранулометрический состав, характеризуются высокой устойчивостью агрегирующих связей микроструктуры и преобладанием микроагрегатов размером более 0,01 мм (84–89%). Способ основной обработки определяет фракционный состав микроагрегатов, их пространственную изменчивость и характер распределения в слое почвы 0–20 см. На фоне вспашки отмечены наибольшая устойчивость микроструктурных агрегатов ($I_m = 46\text{--}47\%$, $K_d = 5\%$),

дифференциация слоя 0–20 см по содержанию микроагрегатов, а также средняя и очень высокая изменчивость в пространстве микроагрегатов размером 1–0,25 мм ($C_v = 100\text{--}75\%$). Изменение микроструктурного уровня организации твердой фазы при минимизации основной обработки агрочерноземов сопровождалось отсутствием дифференциации слоя почвы 0–20 см, формированием тонких микроагрегатов размером $<0,05$ мм, а также абсолютным снижением доли истинных микроагрегатов размером $>0,05$ мм на 14–16% при минимальной обработке и на 6–2% – при нулевой.

Список литературы

- Алексеева Т.В. Микроструктурная организация почв и факторы её формирования // Почвоведение. 2007. № 6. С. 721–732.
- Артемьева З.С., Силева Л.С., Моргун Е.Г., Каплина О.В. Особенности микроструктуры гумусовых горизонтов чернозема обыкновенного разных ценозов // Вестник МГУ. 2005. Сер. 17. С. 31–34.
- Артемьева З.С. Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. М.: ГЕОС, 2010. 240 с.
- Беззова М. С. Изменение основных показателей свойств зональных почв юга Западной Сибири под влиянием эрозионных и дефляционных процессов (на примере Омской области): автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Тюмень, 2007.
- Беленков А.И., Николаев В.А., Шитикова А.В. Агроэкологическая концепция исследований и агрофизические свойства почвы в посадках картофеля полевого опыта центра точного земледелия // Агрофизика. 2011. № 3. С. 1–5.
- Воронин А.Д. Основы физики почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 244 с.
- Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 319 с.
- Ерёмин Д.И. Гранулометрия пахотного чернозема на различных участках склона в северном Зауралье // АПК России. 2017. Т. 24. № 5. С. 1082–1086.
- Качинский Н.А. Физика почвы. М.: Высшая школа, 1965. 322 с.
- Королев В.А. Оценка показателей физического состояния черноземов степной зоны центральных областей России // Почвы – национальное достояние России. Новосибирск, 2004. Кн. 1. С. 434.
- Корнблум Э.А. Основные уровни морфологической организации почвенной массы // Почвоведение. 1975. № 9. С. 36–48.
- Кураченко Н.Л. Оценка и динамика агрофизического состояния черноземов и серых лесных почв Красноярской лесостепи: дисс. ... д-ра биол. наук. Томск, 2010.
- Кураченко Н.Л. Агрофизическое состояние почв Красноярской лесостепи. Красноярск, 2013. 194 с.
- Кураченко Н.Л., Колесник А.А. Структура и запасы гумусовых веществ агрочернозема в условиях основной обработки // Вестник КрасГАУ. 2017. № 9. С. 149–157.
- Медведев В.В. Изменение агрофизических свойств черноземов в условиях интенсивного земледелия // Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1982. С. 21–25.
- Мягкий П.А. Физическое состояние агропочв лесостепной зоны Предалтайской провинции и его изменение под влиянием эрозии: автореф. дисс. ... канд. с.-х. наук. Барнаул, 2007.
- Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 244 с.
- Семендяева Н.В., Карловец Л.А., Крупская Т.Н. Влияние севооборотов на гранулометрический и микроагрегатный состав чернозема выщелоченного Новосибирского Приобья в длительных опытах // Агрохимия. 2015. № 1. С. 23–24.
- Синешкоков В.Е. Агрофизические свойства черноземов выщелоченных при минимизации основной обработки // Агрохимия. 2017. № 7. С. 19–25.
- Травникова Л.С., Силева Т.М., Рыжова И.М., Артемьева З.С. Микроагрегирование и устойчивость органического вещества черноземов Приволжской лесостепи // Почвоведение. 2006. № 6. С. 712–720.

References

- Alekseeva T.V. Mikrostrukturnaya organizatsiya pochv i faktory yeyo formirovaniya [Soil microstructure and factors of its formation] // *Pochvovedeniye*, 2007, no. 6, pp. 721–732.
- Artem'eva Z.S., Sileva L.S., Morgun E.G., Kaplina O.V. Osobennosti mikrostrukтуры gumusovykh gorizontov chernozema obyknovennogo raznykh cenozov [The features of microstructure of the ordinary chernozem under the various kind of vegetation] // *Vestnik MGU*, 2005, ser. 17, pp. 31–34.
- Artem'eva Z.S. Organicheskoye veshchestvo i granulometricheskaya sistema pochvy [Organic matter and particle size distribution system of the soil]. Moscow: GEOS, 2010, 240 p.

- Bezvova M.S. *Izmeneniye osnovnykh pokazateley svoystv zonal'nykh pochv yuga Zapadnoy Sibiri pod vliyaniem erozionnykh i deflyatsionnykh processov (na primere Omskoy oblasti)*. Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk [Change in the main indicators of the properties of zonal soils in the south of Western Siberia under the influence of erosion and deflation processes (on the example of the Omsk region). Abst. diss. ... cand. biol. sciences]. Tyumen, 2007.
- Belenkov A.I., Nikolaev V.A., Shitikova A.V. Agroekologicheskaya konceptsiya issledovaniy i agrofizicheskiye svoystva pochvy v posadkakh kartofelya polevogo opyta centra tochnogo zemledeliya [Agroecological research conception and agrophysical properties of soil of potato crops in field study at the precision agriculture center] // *Agrofizika*, 2011, no. 3, pp. 6–14.
- Voronin A.D. *Osnovy fiziki pochv* [Fundamentals of soil physics]. Moscow: Moscow University Publishing, 1986, 244 p.
- Dmitriyev E.A. *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii* [Mathematical statistics in soil science]. Moscow: Moscow University Publishing, 1995, 319 p.
- Eryomin D.I. Granulometriya pakhotnogo chernozema na razlichnykh uchastkakh sklona v severnom Zaural'ye [Arable chernozem granulometry on various slope parts in the Northern Trans-Urals] // *APK Rossii*, 2017, vol. 24, no. 5, pp. 1082–1086.
- Kachinskiy N.A. *Fizika pochvy* [Soil physics]. Moscow: Higher Skool, 1965, 322 p.
- Korolev V.A. Otsenka pokazateley fizicheskogo sostoyaniya chernozemov stepnoy zony central'nykh oblastey Rossii [Assessment of indicators of the chernozems physical state in the steppe zone of the central regions of Russia] // *Pochvy – natsional'noye dostoyaniye Rossii*, Novosibirsk, 2004, book 1, p. 434.
- Kornblyum E.A. Osnovnye urovni morfologicheskoy organizatsii pochvennoy massy [The main levels of morphological organization of soil mass] // *Pochvovedeniye*, 1975, no. 9, pp. 36–48.
- Kurachenko N.L. *Otsenka i dinamika agrofizicheskogo sostoyaniya chernozemov i serykh lesnykh pochv Krasnoyarskoy lesostepi*. Diss. ... dokt. biol. nauk [Assessment and dynamics of the agrophysical state of chernozems and gray forest soils of the Krasnoyarsk forest-steppe. Diss. ... Doct. biol. sciences]. Tomsk, 2010, 358 p.
- Kurachenko N.L. *Agrofizicheskoye sostoyaniye pochv Krasnoyarskoy lesostepi* [Agrophysical state of soils of the Krasnoyarsk forest-steppe]. Krasnoyarsk, 2013, 194 p.
- Kurachenko N.L., Kolesnik A.A. Struktura i zapasy gumusovykh veshchestv agrochernozema v usloviyakh osnovnoy obrabotki [The structure and reserves of humic substances of agrochernozem in the conditions of the main tillage] // *Vestnik KrasGAU*, 2017, no. 9, pp. 149–157.
- Medvedev V.V. Izmeneniye agrofizicheskikh svoystv chernozemov v usloviyakh intensivnogo zemledeliya [Change in the agrophysical properties of chernozems in the conditions of intensive farming] // *Problemy pochvovedeniya*, Moscow: Nauka, 1982, pp. 21–25.
- Myagkiy P.A. *Fizicheskoye sostoyaniye agropochv lesostepnoy zony Predaltayskoy provintsii i yego izmeneniye pod vliyaniem erozii*. Avtoref. diss. ... kand. s.-kh. nauk [Physical state of agricultural soils in the forest-steppe zone of the Pre-Altay province and its change under the influence of erosion. Abst. diss. ... kand. agr. sciences]. Barnaul, 2007, 22 p.
- Rozanov B.G. *Morfologiya pochv* [Soil morphology]. Moscow: Moscow University Publishing, 1986, 244 p.
- Semendyaeva N.V., Karlovets L.A., Krupskaya T.N. Vliyanie sevooborotov na granulometricheskii i mikroagregatnyy sostav chernozema vyshchelochennogo Novosibirskogo Priob'ya v dlitel'nykh opytakh [Texture and microaggregate composition of leached chernozem in long-term experiments in the Novosibirsk Preobye region] // *Agrokimiya*, 2015, no. 1, pp. 23–24.
- Sineshchekov V.E. Agrofizicheskiye svoystva chernozemov vyshchelochennykh pri minimizatsii osnovnoy obrabotki [Agrophysical properties of leached chernozem under main tillage minimization] // *Agrokimiya*, 2017, no. 7, pp. 19–25.
- Travnikova L.S., Sileva T.M., Ryzhova I.M., Artemyeva Z.S. Mikroagregirovaniye i ustoychivost' organicheskogo veshchestva chernozemov Privolzhskoy lesostepi [Microaggregation and stability of organic matter in the forest-steppe chernozems of the Privolzhye region] // *Pochvovedeniye*, 2006, no. 6, pp. 712–720.