УДК 631.434.4 DOI: 10.25695/AGRPH.2021.03.01

ОЦЕНКА АГРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМА В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА НА ПОЧВОЗАЩИТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

Е. Н. Белоусова, А. А. Белоусов

ФГБОУ ВО Красноярский государственный аграрный университет
660049, г. Красноярск, пр. Мира, 90
E-mail: svobodalist571301858@mail.ru

Поступила в редакцию 26 апреля 2021 г., принята к печати 30 августа 2021 г.

Рассмотрены агрофизические свойства чернозема в условиях перехода на почвозащитные технологии обработки почвы. Выявлена высокая микроструктуренность почвы. Применение отвальной вспашки и поверхностного рыхления дисковыми орудиями определило отличное структурное состояние исследуемых слоев почвы. Плоскорезная обработка почвы сопровождалась глыбообразованием в надсеменном и подсеменном слоях. В начальный период после механического воздействия исследуемые слои почвы существенно не различались по содержанию агрономически ценных агрегатов. Технологии обработки почвы не оказали существенного уплотняющего эффекта. Показатели плотности почвы в вариантах опыта соответствовали оптимальным значениям, а в условиях отвальной вспашки в отдельные периоды почва характеризовалась как избыточно рыхлая. Плотность сложения черноземов при обработке с помощью дисковых орудий и культиваторов была выше, чем при отвальной вспашке. Дифференциации корнеобитаемой толщи почвы по плотности сложения не выявлено. Величины общей пористости свидетельствуют об избыточной рыхлости чернозема. Показатели воздухосодержания почвы в необрабатываемом слое 10–20 см существенно снижались в вариантах с использованием безотвальной технологии. В первые два месяца после применения дискаторов и культиваторов отмечено достоверное увеличение сопротивления пенетрации в слое 0–10 см. Существенного влияния влажности почвы на варьирование твердости не выявлено (r = –0,1–0,4).

Ключевые слова: структура почвы, плотность сложения, пористость, воздухосодержание, твердость почвы.

ASSESSMENT OF AGROPHYSICAL PROPERTIES OF CHERNOZEM IN THE CONDITIONS OF TRANSITION TO SOIL PROTECTION TILLAGE TECHNOLOGIES

E. N. Belousova, A. A. Belousov

Krasnoyarsk State Agrarian University
90, pr. Mira, Krasnoyarsk, Russia, 660049
E-mail: svobodalist571301858@mail.ru

The article considers the agrophysical properties of a chernozem in the conditions of the transition to soil protection tillage technologies. High-quality microstructure formation of the soil was revealed. The use of moldboard plowing and surface loosening with disc harrows resulted in the excellent structural composition of the studied soil layers. Flat-cut soil cultivation resulted in lump formation in the over-seed and under-seed layers. In the initial period after mechanical impact, the studied soil layers did not differ significantly in the content of agronomically valuable aggregates. The studied tillage technologies did not have any significant compacting effect. The indices of soil density in the treatments of the experiment corresponded to the optimal values, and in the conditions of moldboard plowing the soil was characterized as excessively loose in some periods. The bulk density of the chernozems after disk harrowing and cultivators was higher than after moldboard plowing. There was no difference in the soil bulk density in the root-inhabited soil layer under different treatments. The values of the total porosity indicate the excessive looseness of the chernozem. The air content of the soil in the untreated layer (10–20 cm) significantly decreased in the treatments with the use of all the studied technologies but moldboard plowing. A significant increase in the penetration resistance in the topsoil (0–10 cm) was noted in the first two months after the use of the minimum tillage treatments. No significant influence of soil moisture on the penetration resistance was revealed (r = –0.1–0.4).

Keywords: soil structure, bulk density, porosity, air content, soil penetration resistance.

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития земледелия система основной обработки черноземов претерпела существенные изменения (Медведев, 2008; Кирюшин, 2013; Казеев и др., 2019). Широко применяемая отвальная обработка уступила место почвозащитным безотвальным технологиям. В связи с этим для корректировки и разработки новых агротехнологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур необходима оценка трансформации физических показателей (Кузнецова и

др., 2014; Королев и др., 2016; Чевердин и др., 2018). Процессы формирования агрегатного состава посевного слоя, плотности, пористости и твердости при использовании технологий, исключающих механическое перемешивание почвы, в условиях Красноярского региона изучены недостаточно, что определяет необходимость дальнейшего научного поиска (Белоусова, Белоусов, 2017; Кураченко, Картавых, 2017). Цель работы – исследовать влияние почвозащитных способов обработки почвы на агрофизические свойства чернозема. Для достижения данной цели потребовалось решить следующие задачи: 1. Изучить изменение структурного состава, плотности сложения, общей пористости, воздухосодержания и твердости в зависимости от технологии обработки почвы. 2. Сравнить агрофизическое состояние почвы в слоях 0–10 и 10–20 см.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в рамках производственного опыта ООО «ОПХ «Дары Малиновки» (Сухобузимский район) в Красноярской лесостепи, расположенной в пределах Чулымо-Енисейского денудационного плато юго-западной окраины Средней Сибири (56°10' с.ш., 91°47' в.д).

Объектом исследований являлся чернозем обыкновенный среднегумусный среднемощный тяжелосуглинистый на красно-бурой глине. В пахотном слое почвы содержалось 6,3–6,5% гумуса, pH водной суспензии был близок к нейтральному (pH_{H2O} = 6,7), содержание подвижного фосфора составляло 295–320 мг кг$^{-1}$, обменного калия – 127–138 мг кг$^{-1}$. В структуре фракций элементарных почвенных частиц отмечено преобладание крупно-пылеватой (30,4–37,8%) и илистой (17,3–30,3%) фракций. Доминирование крупных пылеватых фракций над частицами средней и мелкой пыли указывает на лессовидный характер почвообразующих пород. Высокая гумусированность и тяжелый гранулометрический состав обуславливают относительную устойчивость структурного состава черноземов Красноярской лесостепи и их высокую микроагрегированность. Значения равновесной плотности варьируются в пределах 0,95–0,97 г см$^{-3}$, общей пористости – 56–60%.

В границах производственных посевов были заложены реперные участки прямоугольной формы (общая площадь – 1200 м^2, учетная площадь – 600 м^2). В пределах каждого участка выделялись три повторности площадью 200 м^2. Почвенные образцы отбирались из слоев 0–10 и 10–20 см методом змейки в сроки, приуроченные к фазам развития сельскохозяйственных культур. Объем выборки, рассчитанный исходя из уровня варьирования плодородия почвы на участке, составлял (n = 12). Схема опыта предусматривала исследование влияния почвозащитных минимальных технологий обработки почвы. Предполагалось, что их применение обеспечит благоприятное для растений состояние корнеобитаемого слоя, близкое к естественному сложению ненарушенной почвы, оптимальную плотность и пористость, увеличит амортизационную способность почвы, уменьшит непродуктивное испарение почвенной влаги, а также повысит противоэрозионную устойчивость, в том числе за счет растительной мульчи. Исследования проводились в звене севооборота пар – яровая пшеница. Для изучения были выбраны следующие варианты: 1. Отвальная (st) – вспашка на глубину 25–27 см плугом Gregoire Besson SPLM B9. В вегетационный сезон 2017 г. почва обрабатывалась в первую декаду июня по типу раннего пара с последующими культивациями на глубину 5–7 см по мере отрастания сорных растений, в 2018 г. проводилась вспашка на глубину 25–27 см с предпосевной культивацией на глубину 5–7 см АПК-7,2+БЗТС-1. 2. Минимальная (поверхностное дискование) – дискатором БДМ-Агро БДМ 6х4П на глубину 10–12 см. В 2017 г. почва обрабатывалась по типу стерневого пара, в 2018 г. проводилось боронование с предпосевной культивацией на глубину 5–7 см АПК-7,2+БЗТС-1. 3. Плоскорезная (культивация) – культиватором Ярославич КБМ-10,8 ПС-4 на глубину 10–12 см. В 2017 г. почва обрабатывалась по типу стерневого пара, на следующий год проводилось боронование с предпосевной культивацией на глубину 5–7 см АПК-7,2+БЗТС-1. В 2018 г. на опытном участке возделывалась яровая пшеница сорта Новосибирская-31.

Агрометеорологические условия вегетационных сезонов 2017–2018 гг. были различными (табл. 1). Сумма активных температур была значительно выше среднемноголетних значений, а количество осадков, напротив, существенно ниже нормы. Вторая половина лета первого года исследований (2017 г.) характеризовалась более значительным количеством осадков по сравнению с 2018 г.

Химические и физико-химические показатели определены по Л.А. Воробьевой (2006). Структурный состав почвы определялся при естественной влажности по методу Н.И. Саввинова, влажность – термостатно-весовым методом, гранулометрический состав почвы – методом пипетки, плотность сложения – буровым методом, общая пористость ($P_{общ}$) и воздухосодержание – расчетным методом по Н.А. Качинскому, плотность твердой фазы – пикнометрически (Вадюнина, Корчагина, 1986), твердость почвы (кгс см$^{-2}$) – пенетрометром Eijkelkamp с площадью сечения плунжера 1 см^2. Статистический анализ данных проводился с использованием пакета программ MS Excel.

Таблица 1. **Метеорологические показатели в годы наблюдений**

Год	Месяц					Сумма активных температур
	май	июнь	июль	август	сентябрь	
средняя температура воздуха, °С						
2017	11,0	20,3	19,5	16,8	8,5	2074
2018	8,1	20,5	18,6	18,3	10,1	2061
Норма (1980–2010 гг.)	8,7	15,2	17,6	14,8	8,8	1833
осадки, мм						
2017	28,0	30,0	79,0	81,0	81,0	299,0
2018	29,0	29,0	33,0	21,0	58,0	170,0
Норма (1980–2010 гг.)	50,0	61,0	95,0	78,0	48,0	332,0

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Физические свойства почв являются отражением сущности протекающих в них процессов, а также критерием их плодородия или деградации. Механические элементы, структурные отдельности почв являются матрицей, на которой протекают все физико-химические процессы, происходит развитие корневых систем растений и поглощение ими элементов питания (Савич и др., 2002). В ходе микроагрегатного анализа установлена высокая устойчивость агрегирующих связей микроструктуры почвы изучаемых вариантов по отношению к воде. В составе почвенной массы преобладала доля водопрочных фракций микроагрегатов (37,2%) размером от 0,25 до 0,01 мм. Содержание ила во всех вариантах опыта было незначительным и колебалось в диапозоне 0,8–6,5%. Вследствие этого степень агрегированности чернозема обыкновенного была не ниже 85%.

Воздействие рабочих органов почвообрабатывающих орудий на пахотный слой приводит к нарушению связи между структурными элементами твердой фазы почвы, в результате чего последние приобретают способность перемещаться друг относительно друга и по поверхности рабочего органа орудия (Потапов, 1973). В течение периода парования исследуемые слои почвы, обрабатываемой по минимальной технологии, характеризовались более существенным преобладанием агрономически ценных фракций (АЦФ) в сравнении с почвой, на которой применялась отвальная вспашка, что определило ее противоэрозионную устойчивость (табл. 2, 4). Максимальное увеличение их содержания (на 19,1–20,4% относительно стандарта) отмечено в середине лета при обработке черноземов дискаторами и плоскорезными орудиями.

Значимые изменения в содержании АЦФ наблюдались в слое 10–20 см почвы, обрабатываемой плугом и дисковыми орудиями, в течение второго года исследований (табл. 3). Достоверные максимумы отмечены в подсеменной толще (10–20 см) в фазу кущения яровой пшеницы (табл. 5), что обусловлено различиями механизмов крошения почвенной массы в анализируемых вариантах. Использование дисковой бороны на глубину 0–10 см обеспечило близкое к естественному сложению состояние нижележащего слоя с пустотами, ходами червей и глянцем на поверхности педов. Применение плоскорезной обработки привело к достоверному снижению доли ценных отдельностей на 6–11% и отсутствию значимых различий по содержанию АЦФ в летний период. Особенностью слоя почвы 10–20 см в данном варианте опыта являлась умеренная зависимость структурообразования от полевой влажности (r = 0,6–0,7). Таким образом, использование поверхностного дискования в целом способствовало оптимизации структурного состава, что свидетельствует о высокой почвозащитной роли данного приема обработки почвы.

Таблица 2. **Влияние способов обработки на содержание в черноземе АЦФ (%), 2017 г.**

Сроки	Июль		Сентябрь	
Варианты	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
1. Отвальная вспашка (st)	68	68	90	88
2. Минимальная обработка (дискование)	88	81	75	72
3. Плоскорезная обработка (культивация)	81	81	86	85
$НСР_{05}$	6	7	6	6

Таблица 3. **Влияние способов обработки на содержание в черноземе АЦФ (%), 2018 г.**

Сроки	Июнь		Июль		Сентябрь	
Варианты	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
1. Отвальная вспашка (st)	69	75	74	61	74	73
2. Минимальная обработка (дискование)	70	82	81	80	75	78
3. Плоскорезная обработка (культивация)	69	66	61	57	70	60
$НСР_{05}$	Fф<Fт	7	9	8	Fф<Fт	10

Таблица 4. **Достоверность различий между слоями по содержанию АЦФ, t_{05} = 2,2 (2017 г.)**

Варианты	Сроки	Слои, см	АЦФ	$t_ф$
Отвальная вспашка	июль	0–10	68	–0,12
		10–20	68	
	сентябрь	0–10	89	0,77
		10–20	87	
Минимальная обработка (дискование)	июль	0–10	88	**4,98**
		10–20	81	
	сентябрь	0–10	75	0,69
		10–20	72	
Плоскорезная обработка (культивация)	июль	0–10	81	0,01
		10–20	81	
	сентябрь	0–10	86	0,54
		10–20	85	

Примечание: жирным шрифтом выделены достоверные различия.

Таблица 5. **Достоверность различий между слоями по содержанию АЦФ, t_{05} = 2,2 (2018 г.)**

Варианты	Сроки	Слои, см	АЦФ	$t_ф$
Отвальная вспашка	июнь	0–10	68	**–3,73**
		10–20	75	
	июль	0–10	73	**4,34**
		10–20	61	
	сентябрь	0–10	74	0,13
		10–20	73	
Минимальная обработка (дискование)	июнь	0–10	69	**–6,15**
		10–20	82	
	июль	0–10	81	1,44
		10–20	80	
	сентябрь	0–10	75	–1,13
		10–20	78	
Плоскорезная обработка (культивация)	июнь	0–10	69	0,71
		10–20	66	
	июль	0–10	61	1,38
		10–20	57	
	сентябрь	0–10	69	**2,8**
		10–20	60	

Обработка почвы с оборотом пласта способствовала формированию посевного и обрабатываемого слоя с минимальными величинами плотности сложения. В вегетационный сезон 2017 г. величина данного показателя соответствовала рыхлому сложению (рис. 1). В указанный период различия между изучаемыми слоями по плотности сложения были несущественными. В осеннее время отмечено значительное уплотнение нижележащего слоя, однако показатели плотности не достигали уровня 1 г см$^{-3}$.

При применении дискаторов значимые различия в плотности обнаружились уже в первоначальный период после их использования, что связано с активным перемешиванием почвенной массы в поверхностном слое. Здесь, так же как и при использовании плуга, наблюдалось относительное уплотнение (на 6%) к осеннему периоду, что весьма закономерно в связи с повышенным уровнем влажности.

В вегетационный сезон, когда влияние сравниваемых способов обработки должно было усилиться при одновременном влиянии корневой системы яровой пшеницы, плотность сложения почвы существенно не изменялась. Согласно оценочной шкале Н.А. Качинского, плотность сложения почвы в вариантах опыта не превышала границы 1 г см$^{-3}$. На пониженную плотность почв земледельческой части Красноярского края указывали П.С. Бугаков с соавт. (1981), связывая рыхлое сложение черноземов со способностью к саморазуплотнению и относя его к провинциальным особенностям.

Значения общей пористости, отмеченные за период наблюдений, свидетельствуют о высокой вероятности протекания в исследуемой почве процессов физического испарения и минерализации органического вещества. Примечательно, что использование минимальных приемов обработки в первые два месяца не привело к существенному снижению общей пористости (рис. 2, 3), тогда как показатели воздухосодержания в необрабатываемом слое 10–20 см существенно снизились (на 10–21%). В следующий вегетационный сезон существенных изменений общей пористости не было обнаружено как при отвальных, так и безотвальных обработках. Однако применение поверхностного дискования привело к ее достоверному снижению на 10,4% в первой половине лета. В то же время доля пор, занятых воздухом, существенно сократилась на фоне двух безплужных рыхлений.

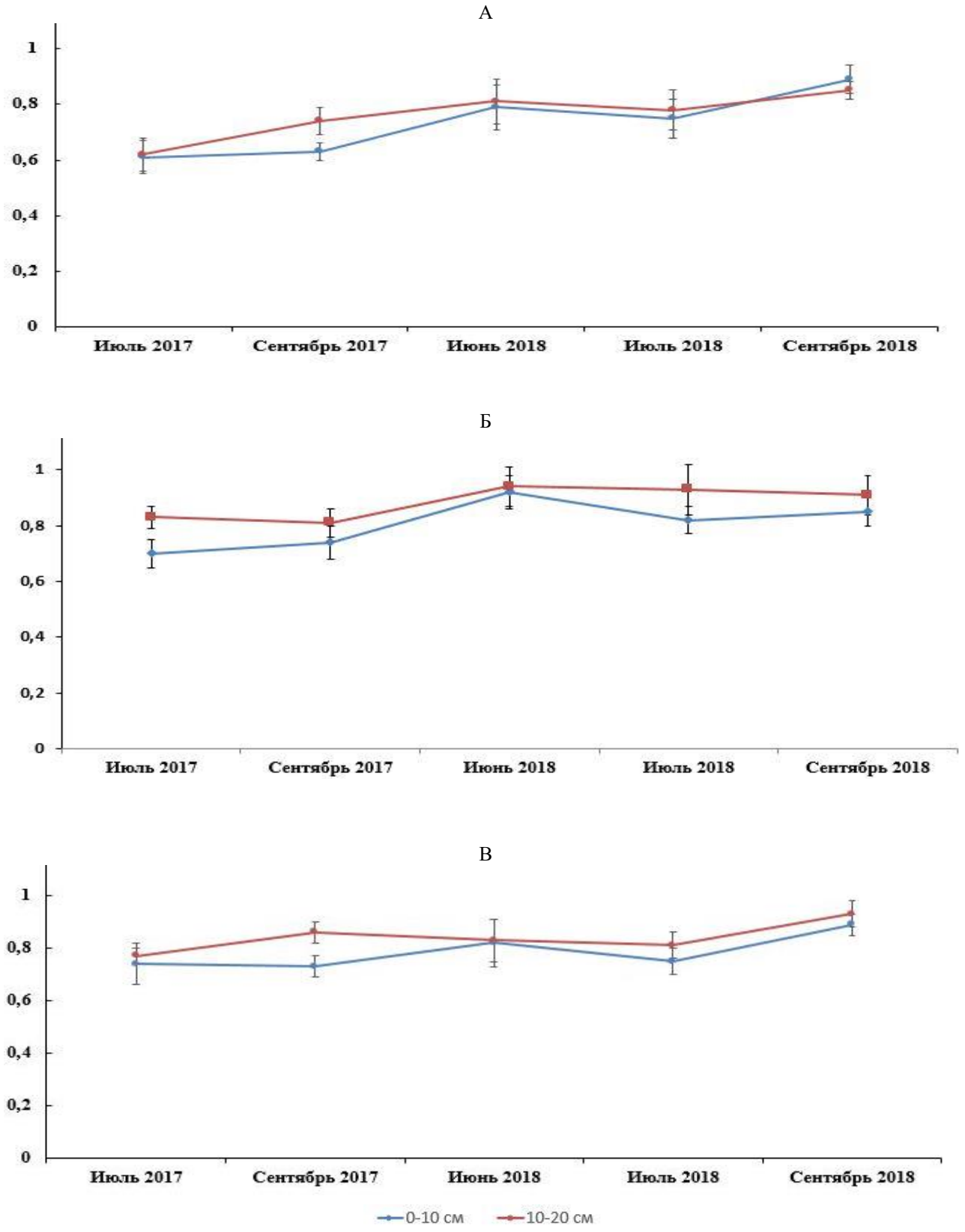

Рис. 1. Динамика плотности сложения чернозема (г см$^{-3}$):
А – отвальная; Б – минимальная; В – плоскорезная

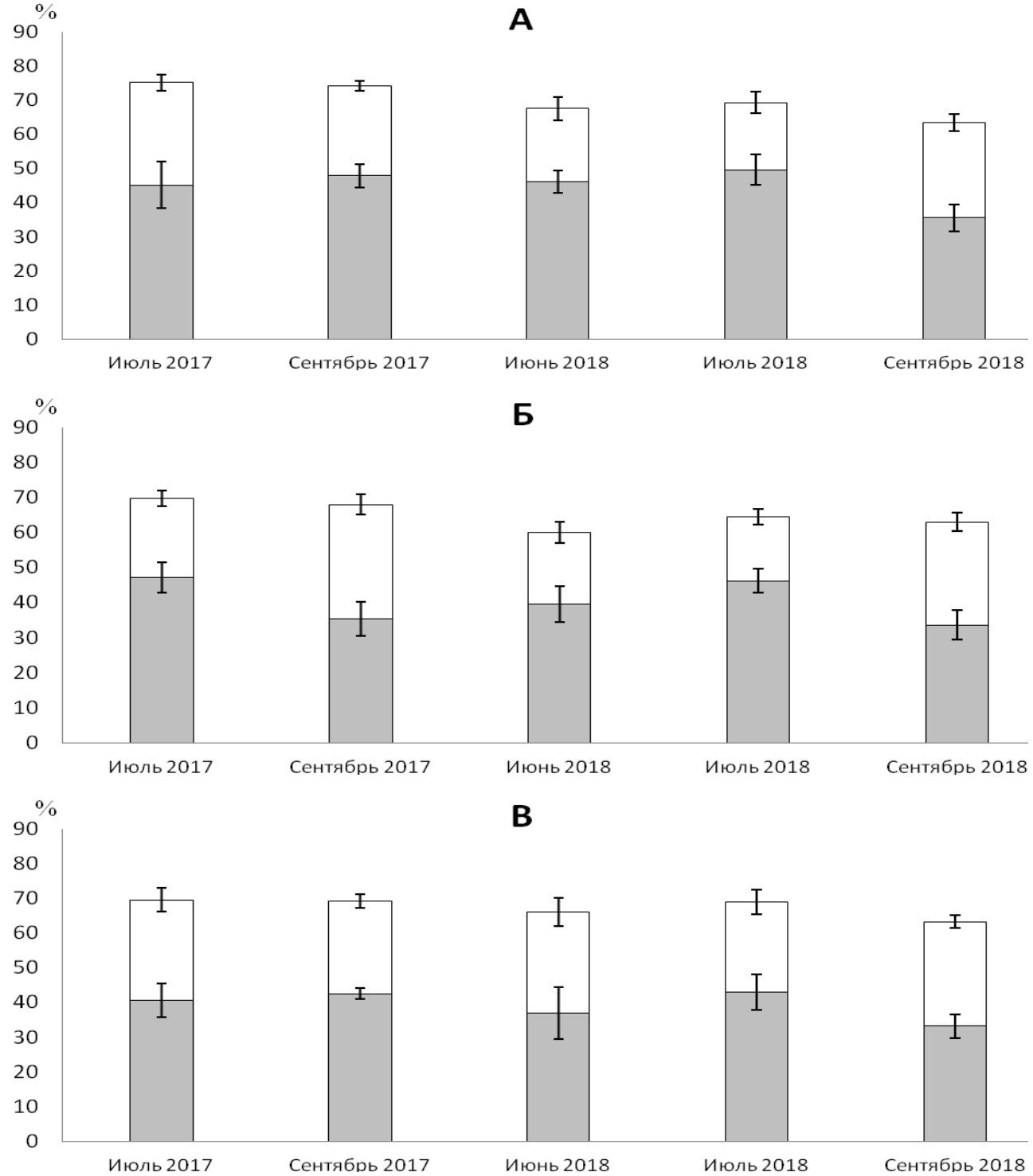

Рис. 2. Динамика общей пористости и воздухосодержания чернозема (0–10 см):
А – отвальная; Б – минимальная; В – плоскорезная.

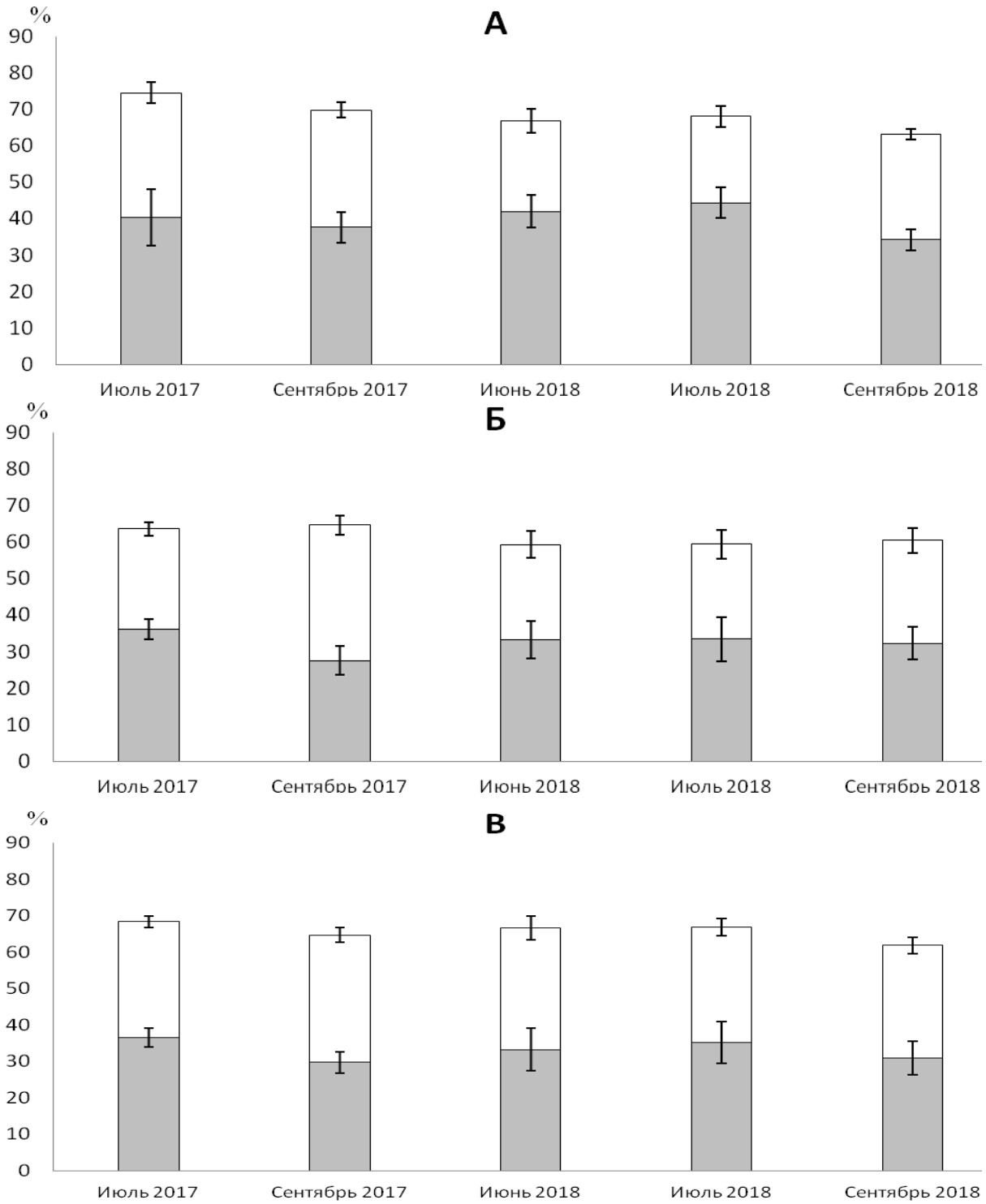

Рис. 3. Динамика общей пористости и воздухосодержания чернозема (10–20 см):
А – отвальная; Б – минимальная; В – плоскорезная

В отличие от плотности сложения, являющейся весовой характеристикой почвы, твердость характеризует сопротивление почвы вертикально приложенной нагрузке при раздавливании, расклинивании или сдавливании (Медведев, 2009). Согласно шкале Н.А. Качинского, значения твердости, отмеченные в верхнем слое почвы, соответствовали рыхлому состоянию, в слое 10–20 см – рыхловатому и являлись оптимальными для прорастания корней большинства сельскохозяйственных культур (табл. 6). В первые два месяца после применения безотвальных обработок в слое 10–20 см наблюдалось усиление сопротивления пенетрации. В фазу кущения яровой пшеницы следующего вегетационного сезона твердость поверхностного слоя чернозема при безотвальном рыхлении была существенно выше, чем на отвальном фоне. В целом за весь период наблюдений наиболее высокие показатели твердости отмечены при плоскорезной обработке почвы. Существенного влияния влажности почвы на варьирование твердости не выявлено (r = –0,1–0,4).

Таблица 6. **Влияние способов обработки на твердость чернозема (кгс см$^{-2}$) (числитель) и влажность (%) (знаменатель)**

Сроки	Сентябрь 2017 г.		Июнь 2018 г.		Июль 2018 г.		Сентябрь 2018 г.	
Варианты	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см	0–10 см	10–20 см
1. Отвальная вспашка (st)	6,7 / 41,8	14,4 / 43,8	6,8 / 27,8	13,5 / 30,6	5,3 / 26,6	11,9 / 31,0	7,0 / 31,6	11,1 / 35,9
2. Минимальная обработка (дискование)	5,7 / 31,9	20,2 / 32,9	10,3 / 22,2	20,1 / 28,0	6,7 / 22,2	12,7 / 28,0	8,4 / 34,7	12,0 / 31,1
3. Плоскорезная обработка (культивация)	4,2 / 39,7	17,0 / 41,6	11,9 / 35,5	21,6 / 38,8	6,2 / 34,5	17,0 / 37,8	10,4 / 33,7	15,8 / 33,7
$НСР_{05}$*	Fф<Fт	2,8	1,5	2,2	Fф<Fт	3,9	1,7	1,9

Примечание: * – для числителя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во всех сравниваемых вариантах опыта вне зависимости от способа основной обработки в целом отмечено отличное структурное состояние исследуемых слоев почвы. Поверхностное дискование способствовало крошению почвы до максимального количества агрономически ценных агрегатов. Технологии обработки почвы не оказали существенного уплотняющего эффекта. Плотность почвы в вариантах опыта соответствовала оптимальным значениям, а в условиях отвальной вспашки в отдельные периоды почва характеризовалась как излишне рыхлая. Величины общей пористости свидетельствуют об избыточной рыхлости почвы. Показатели воздухосодержания почвы в необрабатываемом слое 10–20 см существенно снижались в вариантах с использованием безотвальной технологии. В первые два месяца после применения дискаторов и культиваторов наблюдалось достоверное увеличение сопротивления пенетрации в слое 0–10 см.

Список литературы

Белоусова Е.Н., Белоусов А.А. Агрофизические свойства чернозема выщелоченного в условиях нулевой технологии // Агрофизика. 2017. № 1. С. 1–10.

Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. С. 400.

Бугаков П.С., Горбачева С.М., Чупрова В.В. Почвы Красноярского края. Красноярск, 1981. 128 с.

Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.

Казеев К.Ш., Минникова Т.В., Мясникова М.А., Мокриков Г.В., Колесников С.И. Оценка воздействия технологии прямого посева на физические свойства черноземов Ростовской области // Агрофизика. 2019. № 2. С. 15–24.

Кирюшин В.И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследования // Земледелие. 2013. № 7. С. 3–6.

Королев В.А., Громовик А.И., Боронтов О.К. Изменение основных показателей плодородия чернозема выщелоченного при разных способах основной обработки // Почвоведение. 2016. № 1. С. 107–114.

Кузнецова И.В., Уткаева В.Ф., Бондарев А.Г. Нормативы изменения физических свойств пахотных черноземов лесостепной зоны европейской России в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования // Почвоведение. 2014. № 1. С. 71–81.

Кураченко Н.Л., Картавых А.А. Агрофизическое состояние черноземов Красноярской лесостепи в условиях ресурсосберегающих технологий основной обработки // Земледелие. 2017. № 2. С. 17–18.

Медведев В.В. Структура почвы (методы, генезис, классификация, эволюция, география, мониторинг, охрана). Харьков, 2008. 406 с.

Медведев В.В. Твердость почвы. Харьков, «Городская типография», 2009. 152 с.

Потапов Б.И. О трении в почве и его зависимости от сил различной природы // Почвоведение. 1973. № 9. С. 120–128.

Савич В.И., Байбеков Р.Ф., Банников В.Н. Физические свойства почв как матрица их плодородия // Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям. М., 2002. С. 85.

Чевердин Ю.И., Сапрыкин С.В., Пшеничная И.А. Влияние минимизации приемов основной обработки почвы на плотность сложения чернозема сегрегационного и урожайность озимой пшеницы // Агрохимия. 2018. № 10. С. 12–26.

References

Belousova E.N., Belousov A.A. Agrofizicheskiye svoystva chernozema vyshchelochennogo v usloviyakh nulevoy tekhnologii [Agrophysical properties of leached chernozem under zero technology conditions] // *Agrofizika*, 2017, no. 1, pp. 1–10.

Vorob'yeva L.A. *Teoriya i praktika khimicheskogo analiza pochv* [Theory and practice of chemical analysis of soils]. Moscow: GEOS, 2006, 400 p.

Bugakov P.S., Gorbacheva S.M., Chuprova V.V. *Pochvy Krasnoyarskogo kraya* [Soils of the Krasnoyarsk Territory]. Krasnoyarsk, 1981, 128 p.

Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods for studying the physical properties of soils]. Moscow: Agropromizdat, 1986, 416 p.

Kazeyev K.Sh., Minnikova T.V., Myasnikova M.A., Mokrikov G.V., Kolesnikov S.I. Otsenka vozdeystviya tekhnologii pryamogo poseva na fizicheskiye svoystva chernozemov Rostovskoy oblasti [Assesment of direct drilling impact on agrophysical properties of chernozems in Rostov region] // *Agrofizika*, 2019, no. 2, pp. 15–24.

Kiryushin V.I. Problema minimizatsii obrabotki pochvy: perspektivy razvitiya i zadachi issledovaniya [The problem of minimizing soil cultivation: development prospects and research objectives] // *Zemledeliye*, 2013, no. 7, pp. 3–6.

Korolev V.A., Gromovik A.I., Borontov O.K. Izmeneniye osnovnykh pokazateley plodorodiya chernozema vyshchelochennogo pri raznykh sposobakh osnovnoy obrabotki [Changes in the main indicators of the fertility of leached chernozem with different methods of basic tillage] // *Pochvovedeniye*, 2016, no. 1, pp. 107–114.

Kuznetsova I.V., Utkayeva V.F, Bondarev A.G. Normativy izmeneniya fizicheskikh svoystv pakhotnykh chernozemov lesostepnoy zony yevropeyskoy Rossii v usloviyakh intensivnogo sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya [Standards for changing the physical properties of arable chernozems in the forest-steppe zone of European Russia under conditions of intensive agricultural use] // *Pochvovedeniye*, 2014, no. 1, pp. 71–81.

Kurachenko N.L., Kartavykh A.A. Agrofizicheskoye sostoyanye chernozemov Krasnoyarskoy lesostepi v usloviyakh resursosberegayushchikh tekhnologiy osnovnoy obrabotki [Agrophysical state of chernozems of the Krasnoyarsk forest-steppe in the conditions of resource-saving technologies of basic tillage] // *Zemledeliye*, 2017, no. 2, pp. 17–18.

Medvedev V.V. Struktura pochvy (metody, genezis, klassifikatsiya, evolyutsiya, geografiya, monitoring, okhrana) [Soil structure (methods, genesis, classification, evolution, geography, monitoring, conservation)]. Khar'kov, 2008, 406 p.

Medvedev V.V. *Tverdost' pochvy* [Soil hardness]. Khar'kov: KG «Gorodskaya tipografiya», 2009, 152 p.

Potapov B.I. O trenii v pochve i yego zavisimosti ot sil razlichnoy prirody [On friction in the soil and its dependence on forces of different nature] // *Pochvovedenye*, 1973, no. 9, pp. 120–128.

Savich V.I., Baybekov R.F., Bannikov V.N. *Fizicheskiye svoystva pochv kak matritsa ikh plodorodiya* [Physical properties of soils as a matrix of their fertility] // *Ustoychivost' pochv k yestestvennym i antropogennym vozdeystviyam* [Resistance of soils to natural and anthropogenic influences]. Moscow, 2002, 85 p.

Cheverdin Yu.I., Saprykin S.V., Pshenichnaya I.A. Vliyaniye minimizatsii priyemov osnovnoy obrabotki pochvy na plotnost' slozheniya chernozema segregatsionnogo i urozhaynost' ozimoy pshenitsy [The influence of minimizing the methods of basic tillage on the bulk density of segregated chernozem and the yield of winter wheat] // *Agrokhimiya*, 2018, no. 10, pp. 12–26.

УДК 631.51:631.82 DOI: 10.25695/AGRPH.2021.03.02

ВЛИЯНИЕ СИСТЕМ ОБРАБОТКИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ В СЕВООБОРОТЕ НА СТРОЕНИЕ ПАХОТНОГО СЛОЯ ПОЧВЫ И УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУР

А. А. Борин, А. Э. Лощинина

ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА
153012, Россия, г. Иваново, ул. Советская, 45
E-mail: alinalowinina@gmail.com

Поступила в редакцию 18 января 2021 г., принята к печати 30 августа 2021 г.

Исследования проводились в течение четырех ротаций (1989–2016 гг.) в стационарном полевом севообороте на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, типичной для многих хозяйств Верхневолжья. В севообороте культур изучались три системы обработки с различной интенсивностью воздействия на почву – ежегодная отвальная (контроль), ежегодная плоскорезная и ежегодная отвально-плоскорезная. Цель исследований заключалась в изучении влияния систем обработки при длительном применении в севообороте на строение пахотного слоя почвы и урожайность культур. Существенных различий в строении пахотного слоя под культурами севооборота в зависимости от систем обработки почвы не выявлено. При отвальной системе обработки почвы распределение гумуса по пахотному слою было сравнительно равномерным (2,18% в слое 0–10 см и 2,28% в слое 10–20 см), а при плоскорезной отмечено его преобладание в поверхностном слое (2,46% и 2,06% соответственно). Наибольшее содержание нитратного азота под культурами севооборота отмечено при отвальной системе обработки почвы. Максимальная густота стояния, сохранность и выживаемость растений озимых культур зафиксированы при плоскорезной системе обработки почвы за счет их лучшего развития в осенний период, яровых зерновых культур – при отвально-плоскорезной. Плоскорезная система обработки почвы в среднем за четыре ротации севооборот обеспечила максимальный сбор урожая (2,87 т га$^{-1}$ зерновых единиц), отвально-плоскорезная и отвальная – несколько меньший (2,83 т га$^{-1}$ и 2,77 т га$^{-1}$ соответственно).

Ключевые слова: системы обработки почвы, строение пахотного слоя, урожайность.