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.

INFLUENCE OF LONG-TERM TILLAGE USE IN CROP ROTATION ON STRUCTURE OF TILLED SOIL LAYER AND CROP YIELD

A. A. Borin, A. E. Loshchinina

Ivanovo State Agricultural Academy
45, Sovetskaya St., Ivanovo, 153012, Russia
E-mail: alinalowinina@gmail.com

The studies were carried out during four rotations (1989–2016) in a stationary field crop rotation on sod-podzolic loamy sand soil, typical for many farms in the Upper Volga region. Three tillage systems with different intensity of impact on the soil (annual moldboard (control), annual flat-cutting and annual moldboard-flat-cutting) were studied in the crop rotation. The purpose of the research was to study the effect of the tillage systems on the structure of the tilled soil layer and crop yield. There were no significant differences in the structure of the tilled soil layers depending on the tillage systems. When the moldboard plowing was used, the distribution of humus over the tilled layer was relatively uniform (2.18% in the 0–10 cm layer and 2.28% in the 10–20 cm layer), while for the flat-cutting system, the humus content was higher in the top 10-cm layer compared to the lower layer (2.46% and 2.06%, respectively). The highest content of nitrate nitrogen was measured in the soil with the moldboard plowing. The maximum plant density, safety and survival of winter crops were recorded on the soil under the flat-cutting system of soil cultivation (due to their better development in the autumn period), for spring grain crops – under the moldboard-flat-cutting system. The flat-cutting tillage ensured the maximum average yield for four crop rotations (2.87 t ha^{-1} of grain units), the moldboard-flat-cutting and the moldboard systems – slightly less (2.83 t ha^{-1} and 2.77 t ha^{-1}, respectively).

Key words: tillage, tilled layer structure, crop yield.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время обработка почвы не рассматривается как неизбежно затратное и слабо прогрессирующее звено системы земледелия. На сегодняшний день оно характеризуется мобильностью и динамичным развитием. Теория и практика обработки почвы под отдельные культуры и в севооборотах позволяют определить новые пути решения сложных задач экономии материальных и денежных средств, что, в свою очередь, приводит к увеличению продуктивности культур и стабилизации почвенного плодородия (Беленков и др., 2015; Зинченко, Щукин, 2020).

Рациональная система обработки почвы способствует сохранению и повышению почвенного плодородия. При этом предметом дискуссий и исследований продолжает оставаться множество вопросов обработки почвы: глубокая или мелкая обработка, с оборачиваем или без оборота пласта, какие орудия обработки предпочтительнее (Воронов и др., 2020; Митрофанов и др., 2020). Наиболее часто изучается обработка почвы под отдельную культуру и сравнительно редко – в севообороте (Рзаева, 2013).

Одним из главных направлений ведения растениеводства в последние годы является разработка и применение ресурсосберегающих технологий при возделывании сельскохозяйственных культур. Отвальная обработка – это энергоемкий процесс, поэтому в целях снижения затрат в настоящее время применяются альтернативные способы обработки почвы: плоскорезная, чизельная, поверхностная, мелкая и их сочетания. Результаты исследований свидетельствуют, что сохранение на поверхности поля растительных остатков и стерни способствует улучшению агрофизических и агрохимических свойств и водного режима почвы (Борин, Лощинина, 2020; Горянин и др., 2020).

Задача обработки почвы – создание пахотного слоя определенной плотности и сложения, являющихся оптимальными для возделываемых культур. Строение пахотного слоя зависит от размеров почвенных агрегатов, а также соотношения капиллярной и некапиллярной порозности. Увеличение некапиллярной порозности сопровождается повышением воздухопроницаемости, что благоприятно влияет на скорость разложения органического вещества и накопление в почве нитратов (Дрёпа и др., 2020).

По мере увеличения плотности и уменьшения общей порозности почвы повышается её сопротивление проникновению корневой системы и ограничивается движение воды и воздуха по профилю (Перфильев и др., 2017). Кроме того, длительная однотипная обработка приводит к образованию «плужной подошвы» – переуплотненного слоя почвы, который, в свою очередь, нарушает водно-воздушный режим (Лыхман и др., 2020). Когда корни наталкиваются на уплотненный горизонт, они в основном остаются в верхнем слое почвы, в котором быстрее расходуются запасы влаги и питательных веществ, что приводит к снижению урожайности (Никулин и др., 2020).

Цель исследований – определить различия между системами обработки с разной интенсивностью воздействия на почву при длительном применении в севообороте, а также установить их влияние на строение пахотного слоя и урожайность культур.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в многолетнем полевом севообороте кафедры агрохимии и земледелия Ивановской ГСХА, заложенном в 1989 г. Севооборот зернопаропропашной со следующим чередованием культур: пар чистый – озимая пшеница – овес + клевер – клевер луговой – озимая рожь –

картофель – ячмень. Площадь – 6 га, расположение вариантов – 3-ярусное, каждый из вариантов представляет систему обработки почвы. Между ярусами оставлены проходы шириной 10 м для разворота техники. Расположение вариантов внутри ярусов соответствует схеме севооборота, повторность – 4-кратная. Площадь опытной делянки – 630 м^2, способ учета урожая – сплошной.

Почва полей севооборота – дерново-подзолистая легкосуглинистая, мощность пахотного слоя – 20–22 см. При закладке севооборота содержание гумуса составляло 2,0%, подвижного фосфора – 190 мг кг$^{-1}$ почвы, обменного калия – 140 мг кг$^{-1}$, $pH_{сол.}$ – 5,5.

Изучались три системы обработки почвы под культуры севооборота (1989–2016 гг.): ежегодная отвальная (контроль), ежегодная плоскорезная и ежегодная отвально-плоскорезная.

1. Отвальная: основная обработка – вспашка плугом ПЛН-3-35 на глубину 20–22 см, предпосевная – культивация на 10–12 см культиватором КПС-4, боронование зубовой бороной БЗТС-1 на глубину 4–5 см.

2. Плоскорезная: основная обработка – рыхление плоскорезом-глубокорыхлителем КПГ-2,2 без оборачивания почвы на глубину 20–22 см, предпосевная – культивация на 10–12 см противоэрозионным культиватором КПЭ-3,8, обработка игольчатой бороной БИГ-3 на глубину 4–5 см.

3. Отвально-плоскорезная: основная обработка – вспашка плугом ПЛН-3-35 на глубину 20–22 см, предпосевная – культивация на 10–12 см противоэрозионным культиватором КПЭ-3,8, обработка игольчатой бороной БИГ-3 на глубину 4–5 см.

Удобрения применялись согласно рекомендациям для Ивановской области: под озимые культуры вносились $(NPK)_{30}$ как основное и N_{30} в подкормку, под яровые зерновые – $(NPK)_{30}$, под картофель – $(NPK)_{60}$ под предпосевную культивацию. В поле чистого пара в середине мая вносился навоз в дозе 40 т га$^{-1}$ один раз за ротацию севооборота. При отвальной и отвально-плоскорезной обработках удобрения применялись под перепашку зяби, при плоскорезной обработке заделка осуществлялась дисковой бороной БДТ-3 на глубину 14–16 см.

При проведении исследований определялись: содержание гумуса – по Тюрину, нитратного азота – ионометрическим методом, подвижного фосфора и обменного калия – по Кирсанову, pH солевой вытяжки – по Каппену, строение пахотного слоя – методом насыщения почвы в цилиндрах (по Доспехову), полевая всхожесть – по методике Госсортсети. Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа (по Кирюшину).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Системы обработки с различной интенсивностью воздействия на почву не оказали существенного влияния на строение пахотного слоя (табл. 1).

Таблица 1. **Строение пахотного слоя почвы (2010–2016 гг.)**

Система обработки почвы	Показатели		Пар чистый	Озимые (пшеница, рожь)	Яровые (овес, ячмень)	Клевер	Картофель
Отвальная (контроль)	порозность, %	общая	46,2	41,5	43,2	42,0	49,8
		капиллярная	28,7	28,1	29,9	30,7	28,0
		некапиллярная	17,5	13,4	13,3	11,3	21,8
	степень насыщения, %		52,0	64,4	65,8	63,6	37,4
	степень аэрации, %		48,0	35,6	34,2	36,4	62,6
Плоскорезная	порозность, %	общая	43,6	42,2	43,9	40,0	51,2
		капиллярная	27,2	27,9	30,5	31,7	26,5
		некапиллярная	16,4	14,3	13,4	8,3	24,7
	степень насыщения, %		59,3	65,0	62,9	64,2	39,5
	степень аэрации, %		40,7	35,0	37,1	35,8	60,5
Отвально-плоскорезная	порозность, %	общая	44,2	41,1	42,7	40,4	50,4
		капиллярная	26,6	27,2	30,2	31,9	26,4
		некапиллярная	17,6	13,9	12,5	8,5	24,0
	степень насыщения, %		56,0	65,0	63,9	67,1	38,2
	степень аэрации, %		44,0	35,0	36,1	32,9	61,8
$НСР_{05}$	порозность общая		2,0	1,2	1,4	1,5	1,4
	порозность капиллярная		1,6	1,2	1,3	1,0	1,3
	порозность некапиллярная		1,0	1,1	$F_ф < F_{05}$	1,4	1,5
	степень насыщения		2,3	$F_ф < F_{05}$	1,5	1,4	1,5
	степень аэрации		3,1	1,1	1,4	2,5	1,4

В полях чистого пара и картофеля при всех системах обработки почва поддерживалась в рыхлом состоянии благодаря своевременному уходу. В паровом поле при отвальной системе обработки почвы процент общей порозности составлял 46,2, степень аэрации – 48,0%, степень насыщения – 52,0%. Это свидетельствует о рыхлости почвы и достаточном содержании в ней воды и воздуха, что связано с проведением в поле чистого пара нескольких культиваций для борьбы с сорняками. При плоскорезной обработке степень насыщения в поле чистого пара была выше и составляла 59,3%, так как на нём проводились обработки без оборачивания почвы, что привело к снижению потерь влаги через испарение. Под картофелем почва была рыхлой при всех системах обработки, порозность составляла 49,8–51,2 %. При отвальной обработке степень аэрации была на 1,3% выше, чем при плоскорезной, что способствовало улучшению воздушного режима почвы.

Существенных различий в строении пахотного слоя почвы под озимыми культурами и клевером при различных системах обработки не выявлено, что связано с длительным промежутком времени после их проведения.

Показатели строения пахотного слоя почвы под яровыми зерновыми культурами были лучше, чем под озимыми и клевером, но уступали показателям, отмеченным под картофелем и чистым паром. Общая порозность составляла 42,7–43,9%, степень насыщения – 62,9–65,8%, степень аэрации – 34,2–37,1%, что в целом свидетельствует о достаточном содержании воды и воздуха в почве. Следует отметить, что строение пахотного слоя почвы в большей степени зависело от агротехники возделывания культур.

Заделка в почву пожнивно-корневых остатков при различных системах обработки осуществлялась по-разному. При отвальной и отвально-плоскорезной технологиях, при которых в качестве основной обработки проводилась вспашка, растительные остатки заделывались на глубину пахотного слоя. При плоскорезной обработке, наоборот, они сосредотачивались в поверхностном слое почвы. В результате создавались различные условия для протекания биохимических процессов их разложения. Установлено, что через четыре ротации севооборота при отвальной системе обработки содержание гумуса по слоям почвы 0–10 и 10–20 см было примерно одинаковым и составляло 2,18 и 2,28%. При менее интенсивной плоскорезной обработке наибольшее количество гумуса содержалось в слое 0–10 см (2,46%), наименьшее – в слое 10–20 см (2,06%), что связано с преобладанием растительных остатков и их разложением в поверхностном слое почвы.

Важное значение для развития растений имеет содержание в почве доступных питательных веществ. Системы обработки разной интенсивности через изменение строения пахотного слоя оказали влияние на ход биологических процессов, протекающих в почве, и содержание нитратного азота как показателя её культурного состояния (табл. 2).

Таблица 2. **Содержание нитратного азота в пахотном слое почвы в фазу колошения (выметывания) зерновых, бутонизации клевера и картофеля, мг кг$^{-1}$ (2010–2016 гг.)**

Система обработки почвы	Пар чистый	Озимая пшеница	Овес + клевер	Клевер	Озимая рожь	Карто-фель	Ячмень	Ср. по системе обраб.
Отвальная (контроль)	25,1	16,9	20,1	15,3	17,6	23,9	18,9	19,7
Плоскорезная	22,7	15,8	18,6	14,9	17,3	22,4	18,6	18,6
Отвально-плоскорезная	24,2	17,0	19,1	15,0	16,4	22,7	19,4	19,1
Среднее по культуре	24,0	15,6	19,3	15,1	17,1	23,0	19,0	
$НСР_{05}$	0,5	$F_ф < F_{05}$	0,4	$F_ф < F_{05}$	$F_ф < F_{05}$	0,5	0,3	0,4

В середине вегетации растений (фаза колошения зерновых, бутонизации картофеля) наибольшее содержание нитратного азота отмечено при отвальной системе обработки почвы (19,7 мг кг$^{-1}$ почвы в среднем по культурам севооборота), несколько меньшее – при отвально-плоскорезной (19,1 мг кг$^{-1}$) и плоскорезной (18,6 мг кг$^{-1}$). В разрезе культур наибольшее содержание нитратного азота выявлено в полях чистого пара и картофеля, где почва поддерживалась в рыхлом состоянии. Под озимыми культурами и клевером в связи со значительным уплотнением почвы различий в содержании нитратного азота в зависимости от систем обработки не установлено.

Урожайность культур севооборота в значительной степени зависит от качества обработки почвы. Её состояние определяет агрофизические свойства, равномерность глубины заделки семян и полевую всхожесть (табл. 3).

Из полученных данных следует, что озимые культуры характеризовались наилучшими показателями густоты стояния растений и полевой всхожести при плоскорезной системе обработки почвы. Это можно объяснить большим запасом продуктивной влаги в почве перед посевом озимых и их лучшим развитием в осенний период (рис.).

Таблица 3. **Густота стояния растений зерновых культур (2010–2016 гг.)**

Система обработки почвы	Кол-во растений при полных всходах, шт. м$^{-2}$	Полевая всхожесть, %	Кол-во растений весной, шт. м$^{-2}$	Перезимовавших растений, %	Кол-во растений перед уборкой, шт. м$^{-2}$	Сохранность растений, %	Выживаемость растений, %
Озимые культуры (пшеница, рожь)							
Отвальная (контроль)	441	88,2	330	74,8	305	69,2	66,0
Поскорезная	454	90,8	348	76,6	325	72,9	65,0
Отвально-плоскорезная	442	88,4	331	74,9	307	69,4	61,4
НСР$_{05}$	10		9		7		
Яровые зерновые культуры (овес, ячмень)							
Отвальная (контроль)	427	85,4	–	–	365	85,5	73,0
Поскорезная	431	86,2	–	–	367	85,1	73,4
Отвально-плоскорезная	438	87,6	–	–	379	86,3	75,8
НСР$_{05}$	8				7		

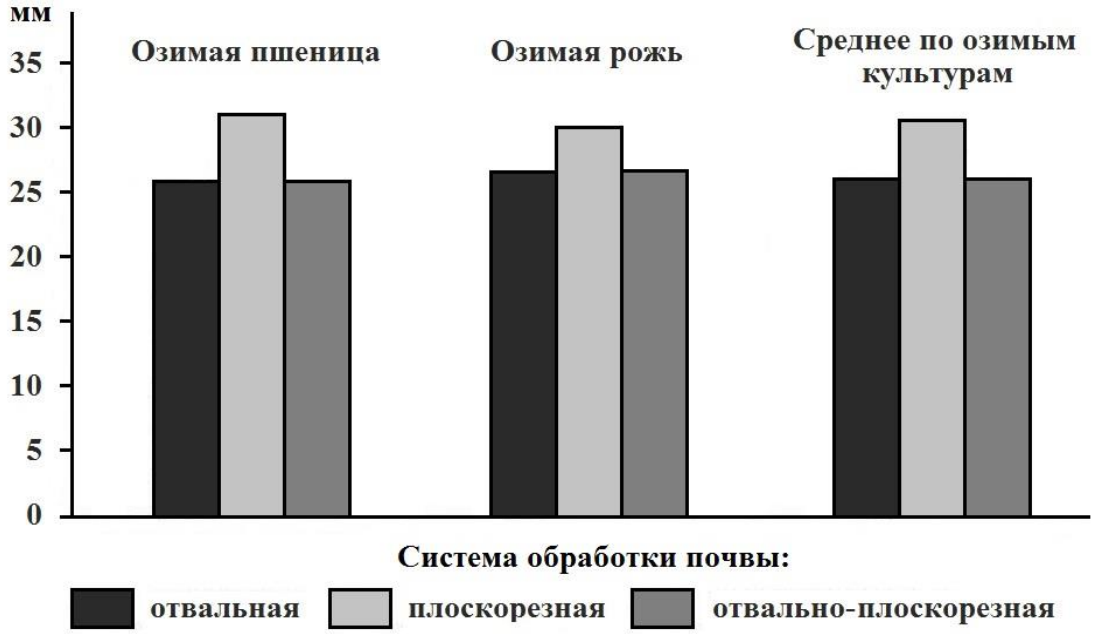

Рис. Запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы перед посевом озимых культур, мм (2010–2016 гг.).

На яровых зерновых культурах различия по системам обработки почвы были менее выраженными, можно лишь отметить некоторое преимущество отвально-плоскорезной системы обработки.

Развитие растений в течение вегетационного периода при различных системах обработки почвы было неодинаковым, что подтверждают показатели площади листьев (табл. 4).

Результаты определений свидетельствуют, что наиболее положительное влияние на развитие листового аппарата озимых культур и картофеля оказала плоскорезная обработка. Площадь листьев при ней была на 1,8–2,3 тыс. м га$^{-2}$ больше, чем при отвальной обработке. Отвально-плоскорезная обработка почвы способствовала увеличению площади листьев овса на 2,3 тыс. м га$^{-2}$, а ячменя – на 1,3 тыс. м га$^{-2}$ по сравнению с контролем. Наилучшее развитие растений и листового аппарата клевера отмечено при отвальной системе обработки почвы.

Изучаемые системы обработки почвы через воздействие на строение пахотного слоя и развитие растений оказали влияние на урожайность возделываемых культур (табл. 5).

Таблица 4. **Площадь листьев в фазу колошения (выметывания) зерновых культур, бутонизации клевера и картофеля, тыс. м га$^{-2}$ (2010–2016 гг.)**

Система обработки почвы	Озимая пшеница	Овес + клевер	Клевер	Озимая рожь	Картофель	Ячмень	Средняя по системе обработки
Отвальная (контроль)	30,5	27,0	40,9	33,6	31,5	27,2	31,8
Плоскорезная	32,6	26,6	37,4	35,9	33,3	26,8	32,1
Отвально-плоскорезная	31,5	29,3	37,9	34,6	32,5	28,5	32,3
$НСР_{05}$	1,0	1,3	1,7	1,2	0,8	1,1	1,2

Таблица 5. **Урожайность культур севооборота в зависимости от систем обработки почвы, т га$^{-1}$ (1989–2016 гг.)**

Система обработки почвы	Озимая пшеница	Овес + клевер	Клевер	Озимая рожь	Картофель	Ячмень	Средняя, зерновых единиц
Отвальная (контроль)	2,87	2,37	3,66	2,94	19,3	2,26	2,77
Плоскорезная	3,01	2,36	3,48	3,06	21,1	2,26	2,87
Отвально-плоскорезная	2,90	2,51	3,55	2,92	20,1	2,38	2,83
$НСР_{05}$	0,12	0,10	0,13	0,09	1,6	0,12	

Наиболее высокий урожай озимых культур получен при плоскорезной системе обработки почвы. В среднем за четыре ротации севооборота урожайность озимой пшеницы оказалась выше на 0,14 т га$^{-1}$, а ржи – на 0,12 т га$^{-1}$ по сравнению с отвальной технологией. Урожайность яровых зерновых культур не характеризовалась резкими колебаниями по годам, установлено преимущество сочетания отвальной и плоскорезной обработок. В среднем за годы исследований повышение урожайности овса составило 0,14 т га$^{-1}$ по сравнению с контролем, а ячменя – 0,12 т га$^{-1}$. Увеличение урожайности картофеля при применении плоскорезной системы обработки почвы составило 1,8 т га$^{-1}$ по сравнению с отвальной. Наиболее высокий урожай сена клевера получен при традиционной отвальной системе обработки почвы.

ВЫВОДЫ

1. Системы обработки с различной интенсивностью воздействия на почву не оказали значительного влияния на строение пахотного слоя. Наилучшие показатели капиллярной и некапиллярной порозности, степени аэрации и степени насыщения отмечены при отвальной и плоскорезной системах обработки почвы.

2. При отвальной системе обработки отмечено наибольшее содержание нитратного азота в среднем по культурам севооборота – 19,7 мг кг$^{-1}$ почвы, при отвально-плоскорезной – 19,1 мг кг$^{-1}$, при плоскорезной – 18,6 мг кг$^{-1}$.

3. Максимальный урожай культур севооборота получен при плоскорезной системе обработки почвы (2,87 т га$^{-1}$ зерновых единиц), несколько меньший – при отвально-плоскорезной (2,83 т га$^{-1}$) и отвальной (2,77 т га$^{-1}$).

Список литературы

Беленков А.И., Шевченко В.А., Трофимова Т.А., Шачнев В.П. Научно-практические основы совершенствования обработки почвы в современных адаптивно-ландшафтных системах земледелия. Монография. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 500 с.

Борин А.А., Лощинина А.Э. Агрофизические свойства и засоренность почвы при применении агротехнологий разной интенсивности // Агрофизика. 2020. № 2. С. 7–14.

Воронов С.И., Зволинский В.П., Плескачев Ю.Н., Матвеева Н.И., Грабов Р.С. Роль приемов основной обработки почвы при возделывании ярового ячменя // Земледелие. 2020. № 2. С. 24–26.

Горянин О.И., Обущенко С.В., Джангабаев Б.Ж. и др. Эффективность применения удобрений в засушливых условиях Поволжья // Земледелие. 2020. № 8. С. 29–33.

Дрёпа Е.Б., Власова О.И., Голубь А.С. и др. Влияние технологии возделывания на агрофизические свойства черноземов выщелоченных и урожайность подсолнечника // Земледелие. 2020. № 3. С. 18–20.

Зинченко С.И., Щукин И.М. Оценка антропогенного влияния на структуру почвенного покрова агроэкосистем Верхневолжья // Агрофизика. 2020. № 1. С. 16–23.

Лыхман В.А., Клименко А.И., Дубинина М.Н. и др. Влияние на агрегатный состав чернозема обработки посевов баковой смесью гуминового препарата и гербицида // Земледелие. 2020. № 8. С. 3–7.

Митрофанов Ю.И., Петрова Л.И., Гуляев М.В., Первушина Н.К. Предпосевная обработка почвы при разных способах посева зерновых культур // Земледелие. 2020. № 6. С. 29–33.

Никулин И.С., Мишунин М.В., Никуличева Т.Б. и др. Экспериментальная оценка влияния влажности и типа обработки почвы на уплотняемость при механическом воздействии // Достижения науки и техники АПК. 2020. № 12. С. 61–65.

Перфильев Н.В., Вьюшина О.А., Конищев А.А., Гарифуллин И.И. Исследование взаимосвязи «оптимальной плотности» почвы с урожайностью зерновых культур // Агрофизика. 2017. № 4. С. 16–24.

Рзаева В.В. Засоренность яровой пшеницы при различных способах обработки почвы в Северном Зауралье // Земледелие. 2013. № 8. С. 5–27.

References

Belenkov A.I., Shevchenko V.A., Trofimova T.A., Shachnev V.P. *Nauchno-prakticheskiye osnovy sovershenstvovaniya obrabotki pochvy v sovremennykh adaptivno-landshaftnykh sistemakh zemledeliya. Monografiya* [Scientific and practical bases of improvement of tillage in modern adaptive landscape systems of agriculture. Monograph]. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 2015, 500 p.

Borin A.A., Loshchinina A.E. Agrofizicheskiye svoystva i zasorennost' pochvy pri primenenii agrotekhnologiy raznoy intensivnosti [Agrophysical properties and soil contamination with the application of agricultural technologies of different intensity] // *Agrofizika*, 2020, no. 2, pp. 7–14.

Voronov S.I., Zvolinskiy V.P., Pleskachev Yu.N., Matveeva N.I., Grabov R.S. Rol' priyemov osnovnoy obrabotki pochvy pri vozdelyvanii yarovogo yachmenya [Role of tillage techniques in the cultivation of spring barley] // *Zemledeliye*, 2020, no. 2, pp. 24–26.

Goryanin O.I., Obushchenko S.V., Dzhangabayev B.Zh. i dr. Effektivnost' primeneniya udobreniy v zasushlivykh usloviyakh Povolzh'ya [Efficiency of fertilizer application under arid conditions of the Volga region] // *Zemledeliye*, 2020, no. 8, pp. 29–33.

Dreopa E.B., Vlasova O.I., Golub' A.S. i dr. Vliyaniye tekhnologii vozdelyvaniya na agrofizicheskiye svoystva chernozemov vyshchelochennykh i urozhaynost' podsolnechnika [Influence of cultivation technology on the agrophysical properties of leached chernozems and sunflower yield] // *Zemledeliye*, 2020, no. 3, pp. 18–20.

Zinchenko S.I., Shchukin I.M. Otsenka antropogennogo vliyaniya na strukturu pochvennogo pokrova agroekosistem Verkhnevolzh'ya [Assessment of anthropogenic impact on the structure of the soil cover of agroecosystems of the Upper Volga region] // *Agrofizika*, 2020, no. 1, pp. 16–23.

Lykhman V.A., Klimenko A.I., Dubinina M.N. i dr. Vliyaniye na agregatnyy sostav chernozema obrabotki posevov bakovoy smes'yu guminovogo preparata i gerbitsida [The influence of treating crops with the tank mixture of the humic preparation and the herbicide on the aggregate composition of chernozem] // *Zemledeliye*, 2020, no. 8, pp. 3–7.

Mitrofanov Yu.I., Petrova L.I., Gulyayev M.V., Pervushina N.K. Predposevnaya obrabotka pochvy pri raznykh sposobakh poseva zernovykh kul'tur [Presowing soil tillage with different methods of sowing grain crops] // *Zemledeliye*, 2020, no. 6, pp. 29–33.

Nikulin I.S., Mishunin M.V., Nikulicheva T.B. i dr. Eksperimental'naya otsenka vliyaniya vlazhnosti i tipa obrabotki pochvy na uplotnyayemost' pri mekhanicheskom vozdeystvii [Experimental assessment of the influence of humidity and the type of tillage on compaction under mechanical action] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2020, no. 12, pp. 61–65.

Perfil'yev N.V., V'yushina O.A., Konishchev A.A., Garifullin I.I. Issledovaniye vzaimosvyazi «optimal'noy plotnosti» pochvy s urozhaynost'yu zernovykh kul'tur [Study of the relationship between the «optimal density» of the soil and the yield of grain crops] // *Agrofizika*, 2017, no. 4, pp. 16–24.

Rzayeva V.V. Zasorennost' yarovoy pshenitsy pri razlichnykh sposobakh obrabotki pochvy v Severnom Zaural'ye [Contamination of spring wheat under various tillage methods in the Northern Ural] // *Zemledeliye*, 2013, no. 8, pp. 25–27.