

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ СИСТЕМЫ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В УДМУРТСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

А.В. Леднев, доктор сельскохозяйственных наук, профессор

Н.А. Пегова, кандидат сельскохозяйственных наук

Л.О. Тронина, кандидат сельскохозяйственных наук

*Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства –
структурное подразделение Удмуртского федерального исследовательского
центра Уральского отделения Российской академии наук*

E-mail: av-lednev@yandex.ru

Ключевые слова: система обработки почвы, минимизация, содержание органического вещества, подвижного фосфора, обменного калия, плотность, влажность, севооборот, дерново-подзолистая почва, урожайность, коэффициент энергетической эффективности.

Реферат. Минимизация обработки почвы является одной из определяющих тенденций развития сельского хозяйства. Она позволяет резко уменьшить количество агротехнических операций при возделывании сельскохозяйственных культур, а за счёт этого снизить техногенную нагрузку на почвы, количество энергетических и трудовых затрат на получение продукции и повысить устойчивость почв к эрозионным процессам. Минимальная обработка позволяет эффективно осуществлять воспроизводство потенциального и эффективного плодородия почв и в целом соответствует принципам адаптивно-ландшафтного земледелия. Несмотря на многочисленные положительные моменты минимальной обработки, её внедрение в производство сдерживает наличие у неё определённых недостатков: ухудшение фитосанитарного состояния посевов, повышение плотности пахотного горизонта, дифференциация пахотного слоя по агрохимическим и агрофизическим показателям и др. Для выявления возможности внедрения минимальной обработки в почвенно-климатических условиях Удмуртской Республики в УдмНИИСХ с 1980 г. проводятся научные исследования в многолетнем полевом опыте. К настоящему времени установлены положительные и отрицательные стороны трёх видов основной обработки почвы. Отвальная обработка в течение всего периода наблюдений, по сравнению с другими видами обработок, обеспечивала наиболее высокую урожайность сельскохозяйственных культур (на 0,15 – 0,50 т з. ед/га, или на 5,6 – 17,5 %) и коэффициент энергетической эффективности (на 1,9 – 16,7 %). Безотвальная обработка проявила себя наиболее экологически безопасной, повысила содержание органического вещества в слое 0 – 10 см на 8,1 – 11,5 %. Однако она способствовала сильной дифференциации пахотного горизонта на два подслоя: 0 – 10 и 10 – 20 см. Нижний подслей характеризовался более высокой плотностью и низким содержанием элементов минерального питания и гумуса. Комбинированная обработка в большинстве случаев показывала промежуточные результаты. Для разработки агротехнологий с более значительной минимизацией обработок почвы необходимо проведение дальнейших научных исследований.

CURRENT TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL SYSTEMS IN THE UDMURT REPUBLIC

A.V. Lednev, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

N.A. Pegova, PhD in Agricultural Sciences

L.O. Tronina, PhD in Agricultural Sciences

*Udmurt Research Institute of Agriculture – a structural division of the Udmurt Federal Research Center of
the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences*

Keywords: soil tillage system, minimisation, organic matter content, available phosphorus, exchangeable potassium, density, moisture, crop rotation, chernozem-podzolic soil, yield, energy efficiency coefficient.

Abstract. *Minimisation of soil tillage is one of the defining trends in the development of agriculture. It allows for a significant reduction in agrotechnical operations in crop cultivation, thereby reducing the technological load on soils, energy, and labour inputs in production and increasing soil resistance to erosion processes. Minimum tillage effectively promotes the restoration of potential and adequate soil fertility and aligns with the principles of adaptive landscape agriculture. Despite numerous positive aspects of minimum tillage, its implementation in production is restrained by certain drawbacks: worsening of crop phytosanitary conditions, increased plough layer density, differentiation of the plough layer by agrochemical and agrophysical indicators, and more. To assess the possibility of implementing minimum tillage in the soil and climatic conditions of the Udmurt Republic, long-term field experiments have been conducted at the Udmurt Research Institute of Agriculture since 1980. Both positive and negative aspects of three types of primary soil tillage have been identified. Moldboard ploughing, throughout the observation period, compared to other types of tillage, provided the highest crop yield (by 0.15 - 0.50 t per hectare or 5.6 - 17.5%) and energy efficiency coefficient (by 1.9 - 16.7%). No-till soil treatment proved to be the most environmentally friendly, increasing the organic matter content in the 0-10 cm layer by 8.1 - 11.5%. However, it led to a strong differentiation of the plough layer into two sub-layers: 0-10 and 10-20 cm. The lower sub-layer was characterised by higher density and lower content of mineral nutrients and humus. In most cases, combined tillage showed intermediate results. Further scientific research is needed to develop agrotechnologies with more significant minimisation of soil tillage.*

Современное сельскохозяйственное производство должно отвечать двум обязательным условиям: быть экономически целесообразным (т.е. уровень рентабельности должен превышать 20 – 30 %) и экологически безопасным (способствовать воспроизводству плодородия почв). Оптимальным способом решения этих проблем является максимально полное соответствие производства природным условиям региона, что позволяет наиболее эффективно использовать ресурсный потенциал земель и минимизировать затраты на поддержание необходимого уровня плодородия почв. Значительный приоритет в вопросе экологизации земледелия имеет развитие минимизации обработки почвы и прямого посева [1, 2].

Для удовлетворения потребностей населения в продуктах питания и сельскохозяйственном сырье с учётом экологических требований необходимо поддерживать высокие темпы интенсификации земледелия и сокращать экологические риски за счёт повышения наукоёмкости, точности агротехнологий и адаптированности их к агроэкологическим условиям.

Это достигается с помощью разработки и внедрения в производственный процесс адаптивно-ландшафтных систем земледелия. Они позволяют, с одной стороны, учесть рыночную потребность в растениеводческой продукции и экономические возможности хозяйства, а с другой – агроэкологические требования растений и их соответствие почвенно-климатическим условиям землепользования. Адаптивно-ландшафтный подход к системе ведения растениеводства и использование современных научных достижений позволяют устранить основные противоречия между интенсификацией земледелия и соблюдением экологических требований.

Система земледелия, в том числе и адаптивно-ландшафтная, базируется на ряде ключевых элементов, наиболее важными из которых являются: система агротехнических и организационно-хозяйственных мероприятий (структура посевных площадей, севообороты, организация территории пашни, обработка почвы и др.), система удобрений, система защиты растений, мероприятия по охране почв от природных (водная эрозия, дефляция и др.) и техногенных (загрязнение различными поллютантами, механический техногенез и др.) факторов (в случае необходимости требуется предусматривать мероприятия по ремедиации загрязнённых или нарушенных почв). Все эти составные части системы земледелия находятся в тесном взаимодействии, оказывая друг на друга как прямое, так и опосредованное влияние. Именно комплексный анализ этих составных частей позволит выйти на новый инновационный уровень развития системы земледелия в целом и разработку агроприёмов в частности.

Развитие адаптивно-ландшафтного земледелия с целью приближения его к природным условиям агроландшафтов закономерно ведет к сокращению обработок почв вплоть до прямого посева. В мировом земледелии накоплен значительный опыт применения нулевых технологий, сокращающих и даже предотвращающих деградацию почвенного плодородия и значительно снижающих производственные затраты [3–6]. Основными причинами сокращения приемов обработки почвы стали экономические факторы и сохранение структуры почвы в одних странах, борьба с эрозией и сохранение почвенной влаги – в других [7]. Однако полный отказ от обработки почвы в таёжно-лесной зоне приводит к чрезмерному переуплотнению пахотного горизонта, усилению дефицита минерального азота, значительному ухудшению фитосанитарной обстановки и, как следствие, к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Существенным недостатком no-till является и отсутствие возможности внесения фосфорных и калийных удобрений на оптимальную глубину [8]. Тем не менее перевод агротехнологий на дерново-подзолистых почвах с традиционных отвальных систем обработки почвы на минимальные не только возможен, но и необходим.

Неизбежность процесса минимизации обработок обосновывается ещё и почвенно-климатическими особенностями региона. Удмуртская Республика расположена на Среднерусской холмисто-увалистой равнине, характеризующейся сильной изрезанностью территории овражно-балочной и гидрографической сетью. Преобладающими элементами агроландшафтов являются склоны различной экспозиции, крутизна которых изменяется от 1 до 5 градусов. Годовое количество осадков колеблется от 450 до 500 мм, коэффициент увлажнения – от 1,05 до 1,15, причём осадки в течение вегетационного периода выпадают неравномерно, основная их часть приходится на ливни. Все эти причины обуславливают повсеместное проявление водной эрозии, вызывающей деградацию и так низкоплодородных дерново-подзолистых почв. Единственным наиболее эффективным способом резко снизить темпы развития водной эрозии на пашне является полный отказ от отвальных обработок. Однако в большом количестве исследований установлено, что в нечернозёмной зоне только отвальная система обработки почв обеспечивает максимальную урожайность и хорошее фитосанитарное состояние посевов [3–11].

Поиск новых научно обоснованных подходов к решению проблемы минимизации обработок, способных не только снизить эрозию почв и производственные затраты на получение растениеводческой продукции, но и повысить продуктивность 1 га пашни, имеет очень высокую степень актуальности для европейской части нечернозёмной зоны РФ в целом, и для Удмуртии в частности. Только переход к минимальным и нулевым технологиям позволит приостановить процесс деградации почвенного покрова.

В настоящее время элементы минимальной технологии широко внедряются в производственную деятельность сельхозтоваропроизводителей Удмуртской Республики. Это обусловлено следующими факторами:

1. Появлением комбинированной техники нового поколения, совмещающий в один технологический процесс сразу несколько агротехнических операций (предпосевная культивация, внесение минеральных удобрений, посев, боронование и прикатывание). В республике наибольшее распространение получили следующие посевные комплексы: СКП-2,1 Омичка; АПП-6А; СЗБ-9; Kverneland USC 4500; Salford 580 и др.

2. Появлением современных технологичных сеялок прямого сева: ДОН-651; СПС-6; Десна-Полесье СПС-6500 и др.

3. Широкой рекламной компанией (далеко не всегда профессиональной и корректной) производителей сельскохозяйственной техники и средств защиты растений.

4. Попыткой снизить производственные затраты упрощением агротехнологий (отказ от зяблевых обработок, замена отвальной вспашки дискованием и др.).

В Удмуртской Республике в настоящее время по традиционной технологии работают только 44 – 49 % хозяйств; 44 – 45 % перешли на замену отвальной обработки безотвальной или комбинированной; используют, в той или иной степени no-till 6 – 12 %.

Нельзя сказать, что все эти нововведения оправданны и целесообразны. Там, где идёт простое упрощение агротехнологий, наблюдается резкий рост засорённости посевов, накопление инфекций и снижение урожайности сельскохозяйственных культур. Там, где при внедрении минимальных технологий используют научный подход, результаты достаточно позитивны.

Проблемами минимизации обработки почвы в таёжно-лесной зоне занимались М.Н. Гуренёв [12], Т.П. Мерзлякова [13], Н.Н. Зезин [14], В.Ф. Кирдин [8], А.Н. Иванова [15], В.П. Ковриго [16], Г.Н. Черкасов [17], П.Е. Широбоков [18] и др. В Удмуртском НИИСХ исследования, посвящённые изучению различных видов обработок почвы, проводятся с 1980 г. В многолетних полевых многофакторных опытах изучались различные сочетания видов обработок, доз внесения удобрений, видов севооборотов и использования биоресурсов. Этот комплексный подход позволил выявить целый ряд закономерностей по воспроизводству плодородия дерново-подзолистых почв, получению экономически и экологически обоснованных урожаев сельскохозяйственных культур. Данные закономерности легли в основу высокоэффективных ресурсосберегающих агротехнологий нового поколения.

Цель наших исследований – на основе многолетних научных исследований и практического опыта сельхозтоваропроизводителей разработать агротехнологии нового поколения, максимально широко использующие элементы минимизации обработки почвы.

Комплексное изучение систем обработки почвы в Удмуртском НИИСХ проводилось с 2007 г. в многолетнем стационарном полевом опыте. Опытное поле Удмуртского НИИСХ УдмФИЦ УрО РАН расположено в Завьяловском районе Удмуртской Республики. Почва – агродерново-подзолистая слабосмытая среднесуглинистая на покровных глинах и тяжёлых суглинках.

Схема опыта включали три системы основной обработки почвы:

- 1) отвальная – ежегодная зяблевая вспашка на 20 см (ПН-3-35), контроль;
- 2) комбинированная – в системе зяблевой обработки почвы проводилось чередование двух вспашек (ПН-3-35) под озимую рожь в пару и после клевера с мелкими безотвальными обработками под яровые культуры (БДТ-3 или КПЭ-3,8);
- 3) безотвальная – ежегодная мелкая безотвальная обработка почвы под зябь на 10 – 12 см (БДТ-3 и КПЭ-3,8).

Эти системы обработки почвы (фактор А) изучались на двух уровнях применения минеральных удобрений (фактор Б) и при использовании различных видов паров (фактор С), что позволило расширить объём полученных экспериментальных данных и повысить их объективность. В данной статье факторы Б и С отдельно не рассматривались, они были обобщены, увеличив количество повторностей фактора А.

Почвенные образцы в течение всего периода наблюдений отбирали из пахотного горизонта по слоям 0 – 10 и 10 – 20 см два раза за вегетацию: в начале мая (по всходам) и в начале сентября (после уборки культур). В почвенных образцах определяли стандартные агрохимические и агрофизические показатели. Они проанализированы в биохимической лаборатории Удмуртского НИИСХ УдмФИЦ УрО РАН стандартными методами. Статистическая обработка экспериментальных данных проведена с использованием дисперсионного и корреляционного анализов по Б.А. Доспехову (1985) с помощью программы Microsoft Office 2013.

Зяблевая обработка почвы является одним из ключевых элементов большинства агротехнологий. В табл. 1 и 2 показано влияние различных её видов на агрохимические показатели пахотного слоя. Приведённые данные свидетельствуют, что отвальная обработка почвы уже в первую ротацию севооборота статистически достоверно снизила в нём содержание органического углерода на 4,4 – 6,6 отн. %.

Таблица 1

**Влияние длительного применения систем зяблевой обработки почвы
на агрохимические показатели пахотного слоя
(первая ротация севооборота 2006 – 2013 гг.)**

**The Influence of Prolonged Use of No-Till Soil Treatment Systems on Agrochemical Indicators of the Plow Layer
(First Crop Rotation of Crop Rotation, 2006 – 2013)**

Система основной обработки почвы	Содержание углерода гумусовых веществ (среднее за ротацию), %			P ₂ O ₅	K ₂ O	Нг	S _{осн.}	pH _{ккл}
				конец ротации				
	C _{общ}	C _{спец}	C _{лов}	мг/кг		ммоль/100 г		ед.
Отвальная (контроль)	1,36	0,255	0,354	360	116	2,23	15,0	5,84
Комбинированная	1,42	0,259	0,359	328	107	2,27	14,9	5,81
Безотвальная	1,45	0,265	0,382	336	112	2,51	14,7	5,77
HCP ₀₅	0,05	F _f <F _t	F _f <F _t	25	4,0	0,28	0,5	0,11

Отрицательное влияние отвальной обработки почвы на содержание в почве гумуса общеизвестно и отражено в большом количестве литературных источников [11–17]. Она приводит к постепенной деградации потенциально низкогумусированных агродерново-подзолистых почв, усилению развития водной эрозии и является одной из причин перехода хозяйств на безотвальные обработки.

Из положительных моментов отвальной обработки почвы можно отметить небольшое увеличение в пахотном слое содержания подвижного фосфора – на 6,7 – 8,9 % и обменного калия на – 3,4 – 7,8 %.

К концу второй ротации восьмипольного севооборота в результате длительного применения различных систем обработки почвы в вариантах с комбинированной и особенно с безотвальной обработкой наблюдалась дифференциация пахотного слоя по содержанию элементов минерального питания на два подслоя: 0 – 10 и 10 – 20 см.

В нижней, наиболее увлажнённой части пахотного слоя, содержание этих элементов было значительно ниже, чем в верхней. Особенно значительная дифференциация произошла по содержанию обменного калия в вариантах с безотвальной обработкой, разница между слоями достигла 51 мг/кг, или 32 %.

Таблица 2

**Влияние длительного применения систем зяблевой обработки почвы на агрохимические показатели пахотного слоя на конец второй ротации севооборота
(2020 – 2021 гг.)**

**The Influence of Prolonged Use of No-Till Soil Treatment Systems on Agrochemical Indicators of the Plow Layer
at the End of the Second Crop Rotation (2020 – 2021)**

Система основной обработки почвы	Слой почвы, см	P ₂ O ₅	K ₂ O	N-NH ₄	Нг, ммоль/100 г	pH _{кнл}	C _{орг. в-ва} , %
		мг/кг					
1	2	3	4	5	6	7	8
Отвальная (контроль)	0–10	342	115	32,6	2,11	5,52	1,48
	10–20	341	114	32,4	2,21	5,46	1,43
Комбинированная	0–10	351	123	31,2	2,15	5,50	1,65
	10–20	343	88	30,3	2,09	5,53	1,55
Безотвальная	0–10	329	130	32,1	2,34	5,35	1,60
	10–20	304	79	26,7	2,11	5,40	1,35

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
НСП ₀₅	0–10	13	17	3,6	0,17	0,12	0,11
	10–20	27	13	1,9	0,20	0,16	0,12

Заметная дифференциация произошла и по содержанию органического углерода в горизонте Апах. В вариантах с комбинированной обработкой в верхнем (0 – 10 см) слое количество Сорг на 6,1 отн. %, а в вариантах с безотвальной обработкой – на 15,6 отн. % превышало его содержание в нижнем (10 – 20 см) слое почвы. Разница в содержании органического вещества между вариантами с отвальной и безотвальной обработкой ещё увеличилась и достигла в слое 0 – 10 см 8,1 – 11,5 %. В нижней части пахотного слоя разница по этому показателю была не такая значительная, что связано с проявлением современного подзолистого процесса. Общее содержание органического вещества в этих вариантах ещё более значительно превышало его количество в вариантах с отвальной обработкой.

Влияние системы основной обработки почвы на агрофизические показатели почвы показано в табл. 3. Так как эти показатели сильно зависят от количества осадков в вегетационный период, то для анализа приведены обобщённые данные наиболее влажных и сухих лет за период второй ротации севооборота. Закономерно, что вид основной обработки почвы оказал влияние на плотность только нижней части пахотного горизонта, наименьшие показатели имели варианты с отвальной обработкой (1,37 – 1,40 г/см³), наибольшие – с безотвальной обработкой (1,40 – 1,43 г/см³).

Таблица 3

Влияние системы основной обработки почвы на агрофизические показатели пахотного слоя
The Influence of the Main Soil Tillage System on Agrophysical Indicators of the Plow Layer

Система основной обработки почвы	Слой почвы, см	Годы с повышенной влажностью почвы (среднее за 2019 и 2021 гг.)			Годы с пониженной влажностью почвы (среднее за 2018 и 2020 гг.)		
		плотность, г/см ³	влажность, %	запас влаги, мм	плотность, г/см ³	влажность, %	запас влаги, мм
Отвальная (к)	0–10	1,28	22,90	29,31	1,32	16,39	21,72
	10–20	1,40	22,04	30,83	1,37	17,83	24,43
Комбинированная	0–10	1,24	23,70	29,38	1,27	16,15	20,51
	10–20	1,40	21,45	30,03	1,36	17,45	23,73
Безотвальная	0–10	1,28	24,50	31,36	1,21	15,85	19,26
	10–20	1,43	21,16	30,26	1,40	16,77	23,47

Вид основной обработки почвы оказал влияние на количество и перераспределение почвенной воды по слоям пахотного горизонта только в годы с пониженной влажностью почвы. Наибольший запас влаги находился в пахотном слое вариантов с отвальной обработкой – 46,15 мм, наименьший – в вариантах с безотвальной обработкой – 42,73 мм. Во всех вариантах с изучаемыми обработками нижние слои горизонта А_{пах} характеризовались большей полевой влажностью и запасами воды, чем верхние. Наиболее значительная разница наблюдалась в вариантах с безотвальной обработкой. В годы с повышенной влажностью показатели полевой влажности почвы и запасы воды по вариантам обработки и по слоям пахотного горизонта были примерно одинаковыми.

Комплексным показателем, объективно отражающим изменения свойств почвы при использовании различных систем её основной обработки, является урожайность сельскохозяйственных культур. Результаты, полученные в многолетнем полевом опыте за две ротации севооборота, приведены в табл. 4 и 5.

Данные табл. 4 свидетельствуют, что в целом по первой ротации севооборота отвальная обработка обеспечила получение наиболее высокой урожайности сельскохозяйственных культур (прибавка 0,15 – 0,17 т з. ед/га, или 5,6 – 6,4 %) и коэффициента энергетической эффективности (превышение на 1,9 – 2,5 %). Разница между показателями по комбинированной и безотвальной обработке была незначительной и в большинстве случаев статистически не достоверной.

Таблица 4

Урожайность культур и коэффициент энергетической эффективности их возделывания в зависимости от системы основной обработки почвы, т з. ед/га (первая ротация)
Crop Yield and Energy Efficiency Coefficient of Their Cultivation Depending on the Main Soil Tillage System (First Rotation)

Система основной обработки почвы	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.	2012 г.	2013 г.	Среднее за 2007 – 2013 гг.	КЭЭ
	озимая рожь	яровая пшеница	клевер на зеленый корм	озимая рожь	ячмень	овёс	яровая пшеница		
Отвальная (контроль)	3,37	2,96	2,78	2,18	2,88	3,25	1,30	2,67	3,24
Комбинированная	3,48	2,29	2,77	1,97	2,51	3,15	1,30	2,50	3,16
Безотвальная	3,59	2,38	2,77	2,21	2,47	3,08	1,18	2,52	3,18
НСР ₀₅	0,18	0,21	0,31	0,37	0,11	0,14	0,08	0,26	

В разрезе сельскохозяйственных культур система обработки почвы оказала наиболее значительное влияние на урожайность яровых зерновых культур. Урожайность менее требовательных к внешним условиям озимой ржи и клевера статистически достоверно не изменялась от изучаемых систем обработки почвы, за исключением озимой ржи в 2007 г., когда она в варианте с безотвальной обработкой статистически достоверно (на 0,22 т з. ед/га) превышала показатель варианта с отвальной обработкой.

Во второй ротации севооборота отвальная вспашка по-прежнему в большинстве случаев обеспечивала наиболее высокую урожайность сельскохозяйственных культур (на 0,19 – 0,50 т з. ед/га, или на 6,6 – 17,5 %) и коэффициент энергетической эффективности (на 5,3 – 16,7 %). Исключение составили клевер и горчица на семена, у которых разница между обработками не достоверна.

Комбинированная обработка по эффективности стала статистически достоверно превышать безотвальную – на 0,31 т з. ед/га, или на 11,6 %. Это связано с появлением дифференциации по плодородию пахотного горизонта при безотвальной обработке и меньшими запасами почвенной влаги в засушливые годы.

Таким образом, многолетние исследования в полевом стационарном опыте выявили положительные и отрицательные стороны каждого вида основной обработки почвы.

Таблица 5

Влияние длительного применения систем зяблевой обработки почвы на урожайность культур севооборота и коэффициент энергетической эффективности (вторая ротация), т з. ед/га
The Influence of Prolonged Use of No-Till Soil Treatment Systems on Crop Yield in the Crop Rotation and Energy Efficiency Coefficient (Second Rotation)

Система основной обработки почвы	2015 г.	2016 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее за 2015 – 2021 гг.	КЭЭ
	озимая рожь	яровая пшеница	клевер на зеленый корм	озимая рожь	яровая пшеница	ячмень	горчица на семена		
Отвальная (контроль)	2,77	2,92	2,02	4,23	2,90	2,31	0,69	2,86	3,18
Комбинированная	2,50	2,57	2,14	4,14	2,82	1,85	0,73	2,67	3,01
Безотвальная	2,11	2,45	2,03	3,74	2,61	1,28	0,55	2,36	2,65
НСР ₀₅	0,16	0,21	0,21	0,33	0,14	0,15	0,30	0,18	

Отвальная обработка в течение всего периода наблюдений, по сравнению с другими видами обработок, обеспечивала наиболее высокую урожайность сельскохозяйственных культур (на 0,15 – 0,50 т з. ед/га, или на 5,6 – 17,5 %) и коэффициент энергетической эффективности (на 1,9 – 16,7 %). Данная прибавка урожайности обусловлена лучшими агрофизическими (плотностью и содержанием продуктивной влаги) и агрохимическими (содержанием элементов минерального питания) свойствами нижнего слоя (10 – 20 см) пахотного горизонта.

Безотвальная обработка проявила себя наиболее экологически безопасной, превышение в содержании органического вещества между вариантами с отвальной и безотвальной обработкой во второй ротации севооборота достигло в слое 0 – 10 см 8,1 – 11,5 %. Однако она способствовала сильной дифференциации пахотного горизонта на два подслоя: 0 – 10 и 10 – 20 см. Нижний подслей характеризовался более высокой плотностью и более низким содержанием элементов минерального питания и гумуса, что привело к снижению продуктивности данных вариантов. Особенно значительная дифференциация произошла по содержанию обменного калия, разница между слоями достигла 51 мг/кг, или 32 %.

Комбинированная обработка в большинстве случаев показывала промежуточные результаты.

В настоящее время пределом минимизации обработок, не приводящих к резкому снижению урожайности сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах, является комбинированная система, включающая одну или две отвальные вспашки за ротацию севооборота, а остальные обработки мелкие безотвальные или использование прямого посева. Для дальнейшего внедрения минимизации обработок почвы необходимо продолжение исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирюшин В.И. Задачи научно-инновационного обеспечения земледелия России // Земледелие. – 2018. – № 3. – С. 3–8.
2. Агеев А.А. Совершенствование минимизации обработки почвы в земледелии Челябинской области // Вестник Курганской ГСХА. – 2021. – № 2 (38). – С. 3–9.
3. Кирюшин В.И. Проблема минимизации обработки почвы: перспективы развития и задачи исследований // Земледелие. – 2013. – № 7. – С. 3–6.

4. Дридигер В.К. Состояние проведения исследований по минимизации обработки почвы и прямому посеву // Сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 5 (12). – С. 8–16.
5. Crovetto C. Stubble over the Soil. – Madison: American Society of Agronomy Inc., 1996. – 248 p.
6. Koller K. Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. – Frankfurt am Main: DLG-Verl, 2001. – 125 p.
7. Shear G.M., Moschler W.W. Continuous Corn by the No-Tillage and Conventional Tillage Methods: A Six-Year Comparison // Agronomy Journal. – 1969. – Vol. 61, Issue 4. – P. 524–526.
8. Кирдин В.Ф. Сорта и технологии: результаты и перспективы // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2006. – № 3. – С. 15–17.
9. Дзюин Г.П. Некоторые аспекты освоения системы адаптивного земледелия // Современному земледелию – адаптивные технологии: тр. науч.-практ. конф. – Ижевск, 2001. – С. 52–58.
10. Холзаков В.М. Повышение продуктивности дерново-подзолистых почв в Нечерноземной зоне: монография. – Ижевск: Ижев. ГСХА, 2006. – 436 с.
11. Тронина Л.О., Кудрявцев И.М. Подтверждение методики прогнозирования водной эрозии фактическим изменением показателей плодородия агродерново-подзолистой почвы // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4. – С. 16–25.
12. Гуренев М.Н. Действие глубины и периодичности основной обработки дерново-подзолистой почвы на урожайность культур в севообороте в условиях Удмуртской АССР // Эффективность приемов обработки почв в севооборотах: межвуз. сб. науч. тр. Перм. с.-х. ин-та. – Пермь, 1986. – С. 3–10.
13. Мерзлякова Т.П. Установление эффективности систем зяблевой и предпосевной обработок дерново-подзолистой суглинистой почвы на показатели ее плодородия, урожайность и продуктивность севооборота: автореф. дис. ... канд.с.-х. наук. – Пермь, 1986. – 20 с.
14. Зезин Н.Н. Оптимизация обработки почвы и использования промежуточных культур в эрозионных и плакорных агроландшафтах Среднего Урала: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – Саратов, 2006. – 39 с.
15. Иванова А.Н. Приёмы основной обработки и свойства дерново-подзолистых почв // Земледелие. – 2007. – № 5. – С. 20–21.
16. Ковриго В.П. Почвозащитная ресурсо и энергосберегающая технология возделывания зерновых культур в Удмуртской Республике (обоснование и рекомендации к внедрению на примере опыта учебно-опытного хозяйства Ижевской ГСХА «Июльское» Воткинского района). – Ижевск, 2000. – 93 с.
17. Черкасов Г.Н. Возможность применения нулевых и поверхностных способов основной обработки почвы в различных регионах // Земледелие. – 2014. – № 5. – С. 13–16.
18. Широбоков П.Е. Сравнительная эффективность приемов и систем обработки почвы в технологии выращивания яровой пшеницы в Среднем Предуралье: автореф. дис. ... канд.с.-х.наук. – Уфа, 2017. – 20 с.

REFERENCES

1. Kiryushin V.I. Zemledelie, 2018, No. 3, pp. 3–8. (In Russ.)
2. Ageev A.A. Vestnik Kurganskoj GSKHA, 2021, No. 2 (38), pp. 3–9. (In Russ.)
3. Kiryushin V.I. Zemledelie, 2013, No. 7, pp. 3–6. (In Russ.)
4. Dridiger V.K. Sel'skohozyajstvennyj zhurnal, 2019, No. 5 (12), pp. 8–16. (In Russ.)
5. Crovetto C. Stubble over the Soil, Madison: American Society of Agronomy Inc., 1996, 248 p.
6. Koller K. Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug, Frankfurt am Main: DLG-Verl, 2001, 125 p
7. Shear G.M., Moschler W.W. Continuous Corn by the No-Tillage and Conventional Tillage Methods: A Six-Year Comparison, Agronomy Journal, 1969, Vol. 61, Issue 4, pp. 524–526.
8. Kirdin V.F. Vestnik Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennyh nauk, 2006, No. 3, pp. 15–17. (In Russ.)
9. Dzyuin G.P. Sovremennomu zemledeliyu – adaptivnye tekhnologii (Modern agriculture – adaptive technologies), Proceedings of Scientific and Practical Conferences, Izhevsk 2001, pp. 52–58. (In Russ.)
10. Holzakov V.M. Povyshenie produktivnosti dernovo-podzolistyh pochv v Nechernozemnoj zone (Increasing the productivity of sod-podzolic soils in the Non-Chernozem zone), monograph, Izhevsk: FGOU VPO Izhevskaya GSKHA, 2006, 436 p.
11. Tronina L.O., Kudryavcev I.M., Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyaj-stvennoj akademii, 2022, No. 4, pp. 16–25. (In Russ.)

12. Gurenev M.N. Effektivnost' priemov obrabotki pochv v sevooborotah (The effectiveness of soil treatment techniques in crop rotations), Interuniversity Collection of Scientific Papers of the Perm Agricultural Institute, Perm, 1986, pp. 3–10. (In Russ.)
13. Merzlyakova T.P. Ustanovlenie effektivnosti sistem zybalevoj i predpo-sevnoj obrabotok dernovo-podzolistoj suglinistoj pochvy na pokazateli ee plodorodiya, urozhajnost' i produktivnost' sevooborota (Establishing the effectiveness of systems of winter and pre-sowing treatments of sod-podzolic loamy soil on the indicators of its fertility, yield and productivity of crop rotation), Extended abstract of candidate's thesis of Agricultural Sciences, Perm, 1986, 20 p. (In Russ.)
14. Zezin N.N. Optimizaciya obrabotki pochvy i ispol'zovaniya promezhutoch-nyh kul'tur v erozionnyh i plakornyh agrolandshaftah Srednego Urala (Optimization of tillage and use of intermediate crops in erosive and upland agricultural landscapes of the Middle Urals), Extended abstract of Doctor's thesis of Agricultural Sciences, Saratov, 2006, 39 p. (In Russ.)
15. Ivanova A.N. Zemledelie, 2007, No. 5, pp. 20–21. (In Russ.)
16. Kovrigo V.P. Pochvozashchitnaya resurso i energosberegayushchaya tekhnologiya vozdeleyvaniya zernovyh kul'tur v Udmurtskoj Respublike (Soil protection resource and energy-saving technology of grain cultivation in the Udmurt Republic), Izhevsk, 2000, 93 p.
17. Cherkasov G.N. Zemledelie, 2014, No. 5, pp. 13–16. (In Russ.)
18. Shirobokov P.E. Sravnitel'naya effektivnost' priemov i sistem obrabotki pochvy v tekhnologii vyrashchivaniya yarovoj pshenicy v Srednem Predural'e (Comparative effectiveness of tillage techniques and systems in the technology of growing spring wheat in the Middle Urals), Extended abstract of candidate's thesis of Agricultural Sciences, Ufa, 2017, 20 p. (In Russ.)