

## ВЛИЯНИЕ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ И ПРОДУКТИВНОСТЬ КУЛЬТУР В ЗВЕНЕ ПОЛЕВОГО СЕВООБОРОТА

Л.О. Тронина

Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск, Россия

E-mail: ugniish-nauka@yandex.ru

**Для цитирования:** Тронина Л.О. Влияние системы обработки на агрофизические свойства почвы и продуктивность культур в звене полевого севооборота // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2025. – № 3 (76). – С. 213–221. – DOI: 10.31677/2072-6724-2025-76-3-213-221.

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва, вспашка, прямой посев, корневая система, плотность почвы, запас продуктивной влаги.

**Реферат.** Исследования проводили с целью изучения влияния минимализации основной обработки на агрофизические свойства почвы, развитие корневой системы и урожайность культур полевого севооборота. Работу выполняли в 2022–2024 гг. на дерново-подзолистой почве Удмуртской Республики. Варианты опыта: отвальная система основной обработки почвы, комбинированная, прямой посев. Представлены результаты расчетного метода фрактальной геометрии для определения зависимости морфологии корневой системы второй культуры полевого севооборота от системы основной обработки почвы, а также показатели продуктивности агроценоза, полученные традиционными методами прямого их измерения. Суммарная длина корневой системы горчицы белой 152,6 см сформировалась в агроценозе с ежегодной отвальной вспашкой на глубину 20 см. При переходе на комбинированную систему обработки почвы с чередованием вспашки под озимую пшеницу с безотвальным рыхлением на глубину 10–12 см и прямой посев отмечено сокращение длины корней до 93,9 и 73,9 см соответственно. Полученные результаты морфометрии корневой системы горчицы белой подтверждаются прямым измерением массы корней горчицы белой при отборе почвенных образцов из пахотного слоя 0–20 см рамочным способом выемки почвы. Наибольшее накопление корневой массы культуры 0,43 т/га отмечено при ежегодной отвальной вспашке. При сокращении глубины и площади обработки почвы произошло существенное снижение данного показателя до 0,29–0,30 т/га. Реакция корневой системы второй культуры полевого севооборота определяется условиями, сформированными системами основной обработки почвы. Ежегодная вспашка обеспечила лучшее накопление и сохранение продуктивной влаги в метровом слое 103 мм против 85 и 83 мм при минимализации почвообработки. Прямой посев способствовал уплотнению пахотного слоя дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы до 1,44 г/см<sup>3</sup>. В результате наибольшая в опыте урожайность горчицы белой 1,04 т/га получена при отвальной системе основной обработки почвы.

## INFLUENCE OF TILLAGE SYSTEM ON AGROPHYSICAL PROPERTIES OF SOIL AND CROP PRODUCTIVITY IN THE LINK OF FIELD CROP ROTATION

L.O. Tronina

Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

E-mail: ugniish-nauka@yandex.ru

**Keywords:** sod-podzolic soil, plowing, direct seeding, root system, soil density, productive moisture reserve.

**Abstract.** The research was conducted to study the effect of minimization of basic tillage on agrophysical properties of soil, root system development and crop yield of field crop rotation. The work was carried out in 2022–2024 on sod-podzolic soil of the Udmurt Republic. Experimental variants: moldboard tillage system, combined, direct sowing. The results of the calculation method of fractal geometry to determine the dependence of the root system morphology of the second crop of the field rotation on the system of basic tillage and indicators of agroecosystem productivity obtained by traditional methods of direct measurement are presented. The total length of the root system of mustard 152,6 cm was formed in the agroecosystem with annual moldboard plowing to a depth of 20 cm. At transition to a combined tillage system with alternating plowing under winter wheat with no-tillage at a depth of 10–12 cm and direct sowing, a reduction in root length to 93,9 and 73,9 cm was observed, respectively.

*The obtained results of morphometry of the root system of mustard are confirmed by direct measurement of the root mass of mustard when taking soil samples from the arable layer 0–20 cm by frame method of soil excavation. The highest accumulation of root mass of the crop 0,43 t/ha was observed at annual mouldboard plowing. When reducing the depth and area of tillage, there was a significant decrease in this indicator to 0,29–0,30 t/ha. The response of the root system of the second crop of the field rotation is conditioned by the conditions formed by the main tillage systems. Annual plowing provided better accumulation and preservation of productive moisture in the meter layer 103 mm against 85 and 83 mm at minimization of tillage. Direct sowing contributed to compaction of the arable layer of sod-medium-podzolic medium loamy soil up to 1,44 g/cm<sup>3</sup>. As a result, the highest yield of mustard 1,04 t/ha was obtained with moldboard system of basic tillage.*

Система основной обработки почвы должна быть направлена на расширенное воспроизводство почвенного плодородия, повышение урожайности сельскохозяйственных культур, регулирование фитосанитарного состояния посевов и снижение себестоимости растениеводческой продукции. Глубина, интенсивность и кратность механической обработки почвы или прямого посева в конкретном хозяйстве должна быть обоснована почвенно-климатическими условиями региона, рельефом местности, степенью развития эрозии, типом севооборота и т.д.

Дерново-подзолистые почвы Среднего Предуралья, обладающие низким содержанием гумуса (1,5–2,5 %), маломощным гумусовым горизонтом (18–20 см) и имеющие равновесную плотность пахотного слоя 1,4–1,5 г/см<sup>3</sup> [1], нуждаются в регулярном рыхлении, внесении органических удобрений, заделке фосфорно-калийных удобрений на оптимальную глубину для создания комфортных условий развития корневой системы сельскохозяйственных культур и получения стабильно высоких урожаев.

Отвальная вспашка придает дерново-подзолистой почве мелкокомковатое структурное состояние и оптимальную для растений плотность, пористость и другие агрофизические показатели, при которых создаются благоприятные для роста и развития растений условия водного, воздушного, пищевого и теплового режимов, активизируется жизнедеятельность целлюлозоразлагающих почвенных организмов. Большая часть семян и вегетативных органов сорняков перемещается при вспашке в глубокие слои и теряет всхожесть, проросшие семена погибают. Глубокое рыхление почвы способствует накоплению влаги атмосферных осадков в корнеобитаемом слое. К.А. Тимирязев отмечал, что глубокая вспашка важна не только как средство для увеличения запасов воды, но и как средство развития корневой системы [2]. Глубина вспашки на дерново-подзолистых почвах ограничивается маломощным гумусовым горизонтом и залегающим ниже неплодородным подзолистым горизонтом, припашка которого

значительно снижает уровень плодородия пахотного слоя.

В то же время ежегодная вспашка приводит к уменьшению содержания органического вещества, увеличению непроизводительных потерь азота, распылению верхнего слоя почвы, способствующему развитию водной эрозии на склоновых полях и дефляции почвы в районах ветровой эрозии [3–7]. К тому же отвальная обработка почвы требует больших экономических и энергетических затрат, которые не всегда компенсируются полученным урожаем. Минимализация обработки дерново-подзолистой почвы призвана снизить негативное влияние ежегодной вспашки путем уменьшения площади и глубины почвообработки, сократить энергетические и экономические затраты на проведение технологических операций без снижения продуктивности агроценозов [1, 8–10], при этом неизбежно ведет к послойной дифференциации пахотного слоя по плодородию [1, 5].

Перспективной альтернативой механической обработке почвы является прямой посев. Распространение «нулевых» обработок почвы является важным приемом биологизации земледелия [11]. Посев производится специальными сеялками путем врезания семян в почву без существенного нарушения стерни, борьба с сорной растительностью осуществляется гербицидами. За счет этого данная технология имеет большой почвозащитный потенциал сохранения плодородия и предотвращения эрозионных процессов, способствует увеличению содержания в почве органического вещества и улучшению ее агрофизических свойств, повышается биологическая активность почвы и ее влагоудерживающая способность [12–13]. Однако авторы единодушно подчеркивают долгосрочность перспективы достижения таких результатов.

Цель исследований – установить эффективность изучаемых систем основной обработки дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы, изучить реакцию развития корневой системы второй культуры полевого севооборота.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работу выполняли на опытном поле Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН на территории с. Первомайский Завьяловского района Удмуртской Республики в четырехпольном полевом севообороте, развернутом во времени: озимая пшеница – горчица

белая – яровая пшеница + донник – донник. Исследования проведены в первой ротации севооборота.

Схема стационарного полевого опыта включала отвальную систему основной обработки почвы, комбинированную с чередованием отвальной вспашки на глубину 20 см под озимую пшеницу с ежегодной безотвальной обработкой (БДТ-3) на глубину 10–12 см и прямым посевом (табл. 1).

Таблица 1

Системы основной обработки почвы в полевом севообороте (2022–2024 гг.)  
Systems of basic tillage in field crop rotation (2022–2024)

| Система обработки почвы | Марки сельскохозяйственных машин и глубина обработки |                                  |                                  |                                  |
|-------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                         | Чистый пар (2022)                                    | Озимая пшеница (2023)            | Горчица белая (2024)             | Яровая пшеница + донник (2025)   |
| Отвальная (к)           | ПН-3-35, до 20 см                                    | ПН-3-35, до 20 см                | ПН-3-35, до 20 см                | ПН-3-35, до 20 см                |
| Комбинированная         | ПН-3-35, до 20 см                                    | БДТ-3, 10–12 см                  | БДТ-3, 10–12 см                  | БДТ-3, 10–12 см                  |
| Прямой посев            | ПН-3-35, до 20 см                                    | Прямой посев TUME NovaCombi 4000 | Прямой посев TUME NovaCombi 4000 | Прямой посев TUME NovaCombi 4000 |

В 2022 г. перед закладкой многолетнего стационарного опыта в чистом пару было проведено двукратное дискование БДТ-3, затем вспашка ПН-3-35 на глубину до 20 см и посев озимой пшеницы Италмас (170 кг/га) в III декаде августа. Уборка пшеницы проведена 26 июля 2023 г. прямым комбайнированием с измельчением соломы. При отрастании сорняков применен гербицид сплошного действия Торнадо, ВР (3 л/га), через три недели в вариантах с отвальной и безотвальной системами почва была обработана в соответствии со схемой опыта, при прямом посеве механической обработки почвы не было. Весной 2024 г. посев горчицы белой был проведен во всех вариантах опыта сеялкой TUME NovaCombi 4000. После уборки культуры прямым комбайнированием с измельчением соломы при отвальной системе обработки почвы проведена вспашка ПН-3-35 на глубину до 20 см, при комбинированной системе – дискование БДТ-3 на глубину 10–12 см, в технологии прямого посева механической обработки почвы не было.

Варианты в полевом опыте размещены систематически в один ярус. Площадь делянки 2000 м<sup>2</sup> (40 × 50 м), повторность трехкратная. Почвенные пробы отбирали по слоям 0–10 и 10–20 см сразу после уборки возделываемых в опыте культур. Определение агрофизических свойств проводили по общепринятым методикам: влажность почвы – методом высушивания до постоянной

массы; плотность – методом режущего кольца. Метод учета урожайности двойной сплошной с каждой делянки с последующим перерасчетом на 100 % чистоту и стандартную влажность семян (ГОСТ 12037–81; Методика государственного сортоиспытания, 1985), отбор почвенных образцов и взятия корневой системы горчицы – методом Н.З. Станкова.

Для оценки развития корневой системы горчицы белой, в зависимости от системы основной обработки почвы, применен метод фрактальной геометрии. Использованы следующие масштабные коэффициенты: коэффициенты ветвления или бифуркации,  $k_b$  для каждого порядка структуры, показывающие, во сколько раз уменьшается число структурных единиц (ответвлений) при переходе к следующему порядку, и масштабные коэффициенты  $k_l$ , показывающие, во сколько раз увеличивается длина элемента структуры следующего порядка. За первый порядок приняты минимальные элементы структуры корневой системы горчицы белой.

$K_b$  и  $K_r$ , вычисленные как средние рядов  $k_b$  и  $k_r$ , несут количественную информацию о структуре разветвленного объекта. Отношение их логарифмов принято за  $D_r$ , фрактальную размерность реальной разветвленной структуры.

$$D_r = \ln K_b / \ln K_r \quad (1)$$

Данная методика расчета фрактальной размерности для корневых систем применима при соблюдении правил кодирования элементов структуры: корень, несущий на себе  $n$  порядков, получает порядок не меньше, чем  $(n + 1)$ , при этом к  $(n + 1)$ -му порядку может быть отнесен корень, не несущий на себе  $n$  порядков на основании его большой длины [14].

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена с использованием дисперсионного и корреляционного анализов по Б.А. Доспехову (1985) с помощью программы Microsoft Office 2010.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальный участок площадью 4 га расположен на опытном поле Удмуртского НИИСХ УдмФИЦ УрО РАН. Почва опытного участка – дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая слабосмытая на покровных глинах и тяжелых суглинках. На начало ротации полевого севооборота в среднем по опыту содержание гумуса в пахотном слое составляло 2,06 %, подвижного фосфора 333 мг/кг и обменного калия 141 мг/кг (по Кирсанову). Реакция почвенной среды слабокислая ( $\text{pH}_{\text{KCl}} = 5,29$  ед.).

Вегетационный период 2023 г. был засушливым: с апреля по август ГТК составил 0,45 при норме 1,0. По данным метеорологических станций Удмуртской Республики, с 28 мая по 28 июля 2023 г. наблюдалось опасное агрометеорологическое явление: почвенная засуха. В период вегетации озимой пшеницы в течение не менее трех декад подряд запасы продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см составили не более 10 мм. Агрометеорологические условия для роста, развития и созревания зерновых культур на полях с низкими запасами влаги в почве складывались плохие. Озимая пшеница эффективно использовала влагу осенне-зимнего периода. Состояние посевов преимущественно оценивалось как хорошее. В 2024 г. в период вегетации горчицы белой осадки выпадали неравномерно и носили ливневый характер: ГТК с мая по август составил 1,30. Почвенные засухи I и II декад июля, III декады августа сменялись проливными затяжными дождями и переувлажнением почвы в III декаду июня (91 мм при норме 63 мм), I и II декады августа (73 мм при норме 62 мм). В сложившихся погодных условиях состояние растений горчицы белой оценивалось как хорошее.

Обработка почвы непосредственно влияет на агрофизические характеристики почвы, которые впоследствии создают определенные условия для развития корневой системы растений. Наиболее важным агрофизическим показателем является плотность сложения почвы, особенно в корнеобитаемом слое. На нее выражено влияет система почвообработки, кроме того, она постоянно изменяется в течение вегетации в зависимости от степени увлажнения почвы и развития корневой системы растений.

При закладке стационарного многолетнего опыта по исследованию систем основной обработки дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы установлены исходные агрофизические характеристики пахотного горизонта. Вспашка была проведена летом 2022 г. при всех изучаемых системах почвообработки (ПН-3-35 до 20 см). Для определения агрофизических свойств пахотного горизонта в опыте нами были отобраны пробы по слоям 0–10 и 10–20 см после уборки озимой пшеницы 23 августа 2023 г. Плотность почвы в верхнем слое пахотного горизонта находилась в пределах 1,23–1,34 г/см<sup>3</sup>, в нижнем слое – 1,31–1,37 г/см<sup>3</sup> (табл. 2). Так как изучаемые системы обработки почвы еще не установились, они не оказали достоверного влияния на плотность пахотного горизонта.

Осенью 2023 г. в вариантах с отвальной и безотвальной системами почва была обработана в соответствии со схемой опыта (см. табл. 1), при прямом посеве механической обработки почвы не было. Весной 2024 г. посев горчицы белой на всем экспериментальном участке был проведен сеялкой TUME Nova Combi 4000, рекомендованной для прямого посева. После уборки горчицы белой 4 сентября 2024 г. плотность почвы при прямом посеве относительно данного показателя при отвальной системе обработки существенно увеличивалась в верхнем десятисантиметровом слое на 0,07 г/см<sup>3</sup> при  $\text{HCP}_{05}$  0,05 г/см<sup>3</sup>, в нижнем слое на 0,10 г/см<sup>3</sup> при  $\text{HCP}_{05}$  0,04 г/см<sup>3</sup> (см. табл. 2).

Оптимальная плотность пахотного горизонта для большинства сельскохозяйственных культур находится в диапазоне 1,1–1,3 г/см<sup>3</sup>. Плотность дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы при прямом посеве достигла уровня 1,44 г/см<sup>3</sup> в слое 10–20 см, превысив критические параметры оптимальных значений. При этом возрастала дифференциация пахотного горизонта по плотности.



Таблица 2

Агрофизические показатели пахотного горизонта в зависимости от системы основной обработки почвы (2022–2024 гг.), г/см<sup>3</sup>

Agrophysical indices of arable horizon depending on the system of basic tillage (2022–2024), g/cm<sup>3</sup>

| Система обработки почвы | Плотность почвы, г/см³ |         |                       |         | Запас продуктивной влаги<br>в метровом слое, мм<br>(2024 г.) |
|-------------------------|------------------------|---------|-----------------------|---------|--------------------------------------------------------------|
|                         | 0–10 см                |         | 10–20 см              |         |                                                              |
|                         | 2023 г.                | 2024 г. | 2023 г.               | 2024 г. |                                                              |
| Отвальная (к)           | 1,33                   | 1,26    | 1,32                  | 1,34    | 103                                                          |
| Комбинированная         | 1,31                   | 1,25    | 1,34                  | 1,35    | 85                                                           |
| Прямой посев            | 1,32                   | 1,33    | 1,35                  | 1,44    | 83                                                           |
| НСР <sub>05</sub>       | $F_{\phi} < F_{\tau}$  | 0,05    | $F_{\phi} < F_{\tau}$ | 0,04    | 2,2                                                          |

Обработка почвы в значительной степени оказывает влияние на способность накапливать и удерживать влагу в течение вегетационного периода. Поэтому оценка влагообеспеченности культур в зависимости от системы основной обработки почвы является основополагающей в выборе рекомендуемой технологии для определенного типа почвы. В условиях неравномерного, а порой избыточного увлажнения вегетационного периода 2024 г. отвальная система основной почвообработки обеспечила существенно лучшее накопление влаги в метровом слое дерново-среднеподзолистой среднесуглинистой почвы 103 мм. Снижение запасов продуктивной влаги по прямому посеву и безотвальной обработке в сравнении с ежегодной вспашкой составило 18–20 мм при НСР<sub>05</sub> 2,2 мм.

Агрофизическими условиями, созданными системой основной обработки почвы, обусловлено развитие корневой системы сельскохозяйственных культур и, как следствие, их урожайность. Ключевые характеристики корневой системы являются основными индикаторами изменений структуры почвы при отказе от обработки [15]. Оценка развития корневой системы горчицы белой в зависимости от системы почвообработки была проведена методом фрактальной геометрии (табл. 3). Предложенная О.В. Панченко, В.В. Низовцевым (2001) методика расчета фрактальной размерности достаточно универсальна. Она применима при морфометрии «линейных» разветвленных структур, если они обладают наличием достаточного количества порядков и сохранением самоподобия при переходе от одного порядка к другому.

Таблица 3

Морфометрия корневых систем горчицы белой в зависимости от системы основной обработки почвы (2024 г.)  
Morphometry of root systems of mustard depending on the main tillage system (2024)

| Система обработки почвы | Коэф. ветвления $K_b$ | Коэф. длины $K_l$ | Фрактальная размерность $D_r$ | Суммарная длина корневых систем $L_{\Sigma}$ , см |
|-------------------------|-----------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------|
| Отвальная (к)           | 2,37                  | 1,56              | 1,95                          | 152,6                                             |
| Комбинированная         | 2,18                  | 1,56              | 1,75                          | 93,9                                              |
| Прямой посев            | 2,18                  | 1,56              | 1,75                          | 73,9                                              |

В проведенном исследовании зависимости морфологии корней горчицы от системы основной обработки почвы при ежегодной вспашке коэффициент бифуркации составил 2,37, что свидетельствует о большем количестве корневых ответвлений относительно данного показателя при других изучаемых системах. При прямом посеве и комбинированной системе основной обработки почвы количество ответвлений при переходе к следующему порядку уменьшалось пропорционально, коэффициент бифуркации составил

2,18. Коэффициенты длины  $K_l$ , вычисленные как средние рядов масштабных коэффициентов для каждого порядка, показывающих, во сколько раз увеличивается размер элемента структуры следующего порядка, в зависимости от системы основной обработки почвы не изменялись и составили 1,56. Таким образом, параметр  $D_r$  в технологии прямого посева и по комбинированной системе обработки почвы остался неизменным и составил 1,75.

Морфологические различия корневой системы горчицы белой в зависимости от системы

основной обработки почвы позволяет выявить общую протяженность корневой системы  $L_{\Sigma}$ . При прямом посеве растения горчицы белой имели наименее развитую корневую систему, ее протяженность составила всего 73,9 см. При чередовании вспашки под предшественник с безотвальной обработкой на глубину 10–12 см суммарная длина корней горчицы составила 93,9 см. Отвальная система основной обработки почвы обеспечила общую протяженность корней горчицы 152,6 см, значение фрактальной размерности при этом для корневой системы культуры составило 1,95. Таким образом, количественные показатели разветвленных структур свидетельствуют о том, что при ежегодной вспашке на глубину 20 см сформированы лучшие агрофизические условия для развития корневой системы горчицы белой.

Результаты проведенного исследования зависимости морфологии корневой системы второй

культуры полевого севооборота от системы основной обработки почвы подтверждаются прямым измерением массы корней горчицы белой при отборе почвенных образцов из пахотного слоя 0–20 см рамочным способом выемки почвы. Масса корней при ежегодной вспашке (ПН-3-35) на глубину 20 см составила в среднем 0,43 т/га (табл. 4). Прямой посев и комбинированная система основной обработки существенно уступали по данному показателю на 0,13 и 0,14 т/га соответственно при НСР<sub>05</sub> 0,10 т/га. Как правило, биомасса корней уменьшается с глубиной почвы как из-за генетических особенностей, так и из-за глубины заделки органических и минеральных удобрений [15]. От развития корневой системы растения напрямую зависит его продуктивность и урожайность агроценоза в целом.

Таблица 4

**Урожайность озимой пшеницы и горчицы белой  
в зависимости от системы основной обработки почвы (2023–2024 гг.), т/га  
Yield of winter wheat and mustard depending on the system of basic tillage (2023–2024), t/ha**

| Система обработки почвы (А) | Урожайность, т/га     |                      | Масса корней горчицы белой, т/га |
|-----------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------------------|
|                             | Озимая пшеница (2023) | Горчица белая (2024) |                                  |
| Отвальная (к)               | 5,46                  | 1,04                 | 0,43                             |
| Комбинированная             | 5,12                  | 0,87                 | 0,29                             |
| Прямой посев                | 5,26                  | 0,85                 | 0,30                             |
| НСР <sub>05</sub>           | 0,49                  | 0,11                 | 0,10                             |

Отвальная система обработки почвы обеспечила лучшие условия для развития растений горчицы белой и, как следствие, наибольшую урожайность 1,04 т/га. Прибавка относительно других изучаемых систем обработки почвы составила 0,17–0,19 т/га, или 16–18 %, при НСР<sub>05</sub> 0,11 т/га. Первая культура полевого севооборота эффективно использовала влагу осенне-зимнего периода и в условиях засухи вегетационного периода 2023 г. сформировала урожайность на уровне 5,12–5,92 т/га.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Экспериментальные данные краткосрочных исследований систематического прямого посева свидетельствуют об уплотнении почвы, которое сдерживает развитие корневой системы растений и концентрирует ее в поверхностном слое 0–10 см, что повышает зависимость агроцено-

за от погодных условий [16–18]. В Российской Федерации наиболее успешен опыт внедрения «нулевых» технологий на типичных и обыкновенных черноземах в южных регионах страны и в Восточной Сибири. В Ставропольском крае, Курской, Воронежской областях отмечается увеличение содержания органического вещества, улучшение агрохимических и микробиологических показателей, а также повышение урожайности сельскохозяйственных культур и рентабельности производства в условиях недостатка влаги. Возделывание сельскохозяйственных культур без обработки почвы в течение четырех и шести лет не приводило к уплотнению типичных и обыкновенных черноземов [5–7, 19].

В условиях южно-таежной зоны экспериментальным путем получены данные повышения засоренности посевов и снижения урожайности сельскохозяйственных культур без обработки дерново-подзолистой почвы, уплотнения пахотного

слоя и его дифференциации по агрофизическим и агрохимическим показателям [5, 20–21].

Для внедрения прямого посева необходимо научное обоснование подбора культур севооборота в течение его ротации с учетом их средообразующего влияния, формирования пожнивной массы, типа корневой системы, глубины ее проникновения и т.д.

## ВЫВОДЫ

1. При переходе к прямому посеву устанавливается равновесная плотность  $1,44 \text{ г/см}^3$ , характерная для дерново-подзолистой почвы. Уплотнение почвы сдерживало развитие корневой системы второй культуры полевого севооборота и способствовало достоверному снижению урожайности горчицы белой на  $0,19 \text{ т/га}$ , или 18 %.

2. Ежегодная вспашка, создавая и поддерживая в рыхлом состоянии пахотный горизонт мощностью не менее 20 см, обеспечивала лучшее

накопление и сохранение продуктивной влаги, а также суммарную длину корневой системы горчицы белой, превышающую в 1,6 и 2,1 раза данный показатель при комбинированной системе и прямом посеве соответственно. Масса корней второй культуры полевого севооборота при отвальной системе основной обработки почвы достоверно превышала данный показатель при альтернативных системах на  $0,13\text{--}0,14 \text{ т/га}$ .

3. Наибольшая урожайность второй культуры полевого севооборота  $1,04 \text{ т/га}$  получена в агроценозе с ежегодной отвальной вспашкой. При чередовании отвальной вспашки под озимую пшеницу и безотвальной обработки на глубину 10–12 см под остальные культуры севооборота урожайность горчицы существенно снизилась на  $0,17 \text{ т/га}$ . При переходе на технологию прямого посева урожайность второй культуры четырехпольного севооборота существенно снизилась на  $0,19 \text{ т/га}$ .

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Холзаков В.М. Повышение продуктивности дерново-подзолистых почв в Нечерноземной зоне: монография. Ижевск, 2006. – 436 с.
2. Дифференциация систем основной обработки почвы под культуры полевых севооборотов в зоне Центрального Предкавказья: монография / Ю.А. Кузыченко, В.В. Кулинцев, Е.И. Годунова, В.М. Рындин. – Ставрополь, 2017. – 243 с.
3. Зинченко С.И. Особенности развития корневой системы зерновых культур // Земледелие. – 2015. – № 6. – С. 32–35.
4. Поляков Д.Г., Бакиров Ф.Г. Органическая мульча и No-till в земледелии: обзор зарубежного опыта // Земледелие. – 2020. – № 1. – С. 3–7. – DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10101.
5. Власенко О.А. Режим питания растений в агроценозах в зависимости от приемов основной обработки // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 6. – С. 11–19. – DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-11-19.
6. Изменение физических свойств черноземов при прямом посеве / В.П. Белобров, С.А. Юдин, Н.В. Ярославцева [и др.] // Почвоведение. – 2020. – № 7. – С. 880–890. – DOI: 10.31857/S0032180X20070023.
7. Восстановление свойств почв в технологии прямого посева / В.К. Дриггер, А.Л. Иванов, В.П. Белобров, О.В. Кутюкова // Почвоведение. – 2020. – № 9. – С. 1111–1120. – DOI: 10.31857/S0032180X20090038.
8. Романов В.Н., Цугленок Н.В., Ефимов А.В. Влияние минимализации обработки на твердость почвы и урожайность яровой пшеницы в открытой части лесостепи Красноярского края // Вестник КрасГАУ. – 2023. – № 3. – С. 27–34. – DOI: 10.36718/1819-4036-2023-3-27-34.
9. Ленточкин А.М., Ширококов П.Е., Ленточкина Л.А. Нулевая, минимальная или отвальная обработка почвы [Технологии прямого посева яровой пшеницы] // Земледелие. – 2016. – № 3. – С. 9–13.
10. Тронина Л.О., Кудрявцев И.М. Подтверждение методики прогнозирования водной эрозии фактическим измерением показателей плодородия агродерново-подзолистой почвы // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2022. – № 4. – С. 16–25.
11. Лукин С.В. Влияние биологизации земледелия на плодородие почв и продуктивность агроценоза (на примере Белгородской области) // Земледелие. – 2021. – № 1. – С. 11–15. – DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10103.
12. Турин Е.Н. Преимущества и недостатки системы земледелия прямого посева в мире // Таврический вестник аграрной науки. – 2020. – № 2 (22). – С. 150–168. – DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168.
13. Влияние ресурсосберегающей технологии No-till на агрофизические и биологические свойства чернозема обыкновенного Башкирского Зауралья / Г.Р. Ильбулова, Я.Т. Суюндуков, И.Н. Семенова [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 4. – С. 66–71. – DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_4\_66.
14. Панченко О.В., Низовцев В.В. Формализм фрактальной геометрии в приложении к реальным разветвленным структурам // Почвоведение. – 2001. – № 6. – С. 685–692.

15. *Changes in the degree of lateral root trait plasticity and trade-offs of maize under long-term no tillage* / L. Yin, Q. Lv, P. Wang, H. Xie // *Frontiers in Plant Science*. – 2024. – № 15 – P. 1–10. – DOI: 10.3389/fpls.2024.1345189.
16. *Soil Tillage and Cropping System Effects on the Physical-Hydric Properties of a Soil under No-Tillage* / T.S. da Silva, L.E.A.S. Suzuki, C.A. Tormena [et al.] // *Sustainability*. – 2023. – Vol. 15 (22). – P. 15936. – DOI: 10.3390/su152215936.
17. *Examining crop root apparatus traits in a maize-soybean-winter wheat rotation under conservation agriculture management* / B. Lazzaro, L. Furlan, A. Berti, F. Morari // *European Journal of Agronomy*. – 2021. – Vol. 122. – DOI: 10.1016/j.eja.2020.126171.
18. *Opportunities for Mitigating Soil Compaction in Europe-Case Studies from the SoilCare Project Using Soil-Improving Cropping Systems* / I. Piccoli, T. Seehusen, J. Bussell [et al.] // *Land*. – 2022. – № 11 (223). – DOI: 10.3390/land11020223.
19. *Влияние способов основной обработки почвы на агрофизическое состояние чернозема типичного и продуктивность гороха* / Д.В. Дубовик, Е.В. Дубовик, А.Н. Морозов [и др.] // *Земледелие*. – 2024. – № 1. – С. 28–33. – DOI: 10.24412/0044-3913-2024-1-28-33.
20. *Зубарев Ю.Н. Современные тенденции обработки почвы и защиты растений: научно-практическое развитие в Пермском крае* // *Пермский аграрный вестник*. – 2016. – № 4 (16). – С. 10–15.
21. *Ленточкин А.М., Ухов П.А. Сравнение no-till и минимальной обработки почвы при выращивании промежуточных культур и яровой пшеницы* // *Сельскохозяйственный журнал*. – 2019. – № 5 (12). – С. 71–77. – DOI: 10.25930/0372-3054/011.5.12.2019.

## REFERENCES

1. Holzakov V.M., *Povyshenie produktivnosti dernovo-podzolistykh pochv v Nechernozemnoj zone* (Increasing productivity of sod-podzolic soils in the Non-Chernozem zone), Izhevsk, 2006, 436 p. (In Russ.)
2. Kuzychenko Yu.A., Kulincev V.V., Godunova E.I., Ryndin V.M., *Differenciatsiya sistem osnovnoj obrabotki pochvy pod kul'tury polevykh sevooborotov v zone Central'nogo Predkavkaz'ya* (Differentiation of basic tillage systems for crops of field crop rotations in the zone of the Central Precaucasus), Stavropol', 2017, 243 p. (In Russ.)
3. Zinchenko S.I., *Zemledelie*, 2015, No. 6, pp. 32–35. (In Russ.)
4. Polyakov D.G., Bakirov F.G., *Zemledelie*, 2020, No. 1, pp. 3–7, DOI: 10.24411/0044-3913-2020-10101. (In Russ.)
5. Vlasenko O.A., *Vestnik KrasGAU*, 2020, No. 6, pp. 11–19, DOI: 10.36718/1819-4036-2020-6-11-19. (In Russ.)
6. Belobrov V.P., Yudin S.A., Yaroslavceva N.V. [et al.], *Pochvovedenie*, 2020, No. 7, pp. 880–890, DOI: 10.31857/S0032180X20070023. (In Russ.)
7. Dridiger V.K., Ivanov A.L., Belobrov V.P., Kutovaya O.V., *Pochvovedenie*, 2020, No. 9, pp. 1111–1120, DOI: 10.31857/S0032180X20090038. (In Russ.)
8. Romanov V.N., Cuglenok N.V., Efimov A.V., *Vestnik KrasGAU*, 2023, No. 3, pp. 27–34, DOI: 10.36718/1819-4036-2023-3-27-34. (In Russ.)
9. Lentochkin A.M., Shirobokov P.E., Lentochkina L.A., *Zemledelie*, 2016, No. 3, pp. 9–13. (In Russ.)
10. Tronina L.O., Kudryavcev I.M., *Izvestiya Timiryazevskoj sel'skoho-zyajstvennoj akademii*, 2022, No. 4, pp. 16–25. (In Russ.)
11. Lukin S.V., *Zemledelie*, 2021, No. 1, pp. 11–15, DOI: 10.24411/0044-3913-2021-10103. (In Russ.)
12. Turin E.N., *Tavricheskij vestnik agrarnoj nauki*, 2020, No. 2 (22), pp. 150–168, DOI: 10.33952/2542-0720-2020-2-22-150-168. (In Russ.)
13. Il'bulova G.R., Suyundukov Ya.T., Semenova I.N. i dr., *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2022, T. 36, No. 4, pp. 66–71, DOI: 10.53859/02352451\_2022\_36\_4\_66. (In Russ.)
14. Panchenko O.V., Nizovcev V.V., *Pochvovedenie*, 2001, No. 6, pp. 685–692. (In Russ.)
15. Yin L., Lv Q., Wang P., Xie H., *Changes in the degree of lateral root trait plasticity and trade-offs of maize under long-term no tillage*, *Frontiers in Plant Science*, 2024, No. 15, pp. 1–10, DOI: 10.3389/fpls.2024.1345189.
16. da Silva T.S., Suzuki L.E.A.S., Tormena C.A., Schmidt M.R., Mazurana M., Levien R., *Soil Tillage and Cropping System Effects on the Physical-Hydric Properties of a Soil under No-Tillage*, *Sustainability*, 2023, No. 15 (22), pp. 15936, DOI: 10.3390/su152215936.
17. Lazzaro B., Furlan L., Berti A., Morari F., *Examining crop root apparatus traits in a maize-soybean-winter wheat rotation under conservation agriculture management*, *European Journal of Agronomy*, 2021, Vol. 122, DOI: 10.1016/j.eja.2020.126171.
18. Piccoli I., Seehusen T., Bussell J. et al., *Opportunities for Mitigating Soil Compaction in Europe-Case Studies from the SoilCare Project Using Soil-Improving Cropping Systems*, *Land*, 2022, No. 11 (223), DOI: 10.3390/land11020223.
19. Dubovik D.V., Dubovik E.V., Morozov A.N. i dr., *Zemledelie*, 2024, No. 1, pp. 28–33, DOI: 10.24412/0044-3913-2024-1-28-33. (In Russ.)
20. Zubarev Yu.N., *Permskij agrarnyj vestnik*, 2016, No. 4 (16), pp. 10–15. (In Russ.)



21. Lentochkin A.M., Uhov P.A., *Sel'skohozyajstvennyj zhurnal*, 2019. No. 5 (12), pp. 71–77, DOI: 10.25930/0372-3054/011.5.12.2019. (In Russ.)

**Информация об авторе:**

*Л.О. Тронина*, кандидат сельскохозяйственных наук

**Contribution of the author:**

*L.O. Tronina*, PhD in agriculture

**Вклад авторов:**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.