

Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 2. С. 179-187.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2024. Vol. 107, no 2. P. 179-187.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Научная статья
УДК 631.445.4:631.51
doi:10.33284/2658-3135-107-2-179

Изменение плотности чернозёма южного под влиянием приёмов и систем обработки почвы

Фарит Галиуллович Бакиров¹, Нуржан Десенгалеевич Берлишев², Игорь Владимирович Васильев³, Татьяна Николаевна Васильева⁴

^{1,2,3}Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург, Россия

⁴Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

¹f.bakirov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1731-7875>

²nurikking@list.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2770-6836>

³igor-vas2009@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8564-1995>

⁴vtn1972@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5469-3952>

Аннотация. Исследования проведены в стационарном опыте в период с 1991 по 2023 год на чернозёме южном Оренбургского Предуралья в Оренбургском ГАУ. Цель исследования – изучение динамики плотности почвы при длительном применении способов и систем обработки почвы, различающихся уровнем минимизации. Для настоящей работы из 16 изучаемых систем взяты 4 наиболее контрастные по интенсивности и глубине воздействия на почву: 1 – вспашка на 20-22 и 28-30 см (интенсивная); 2 – безотвальное рыхление на 20-22 и 28-30 см (разноглубинная безотвальная); 3 – мелкая на 12-14 см, обычная на 20-22 см и глубокая на 28-30 см плоскорезная обработка (минимальная), 4 – нулевая чередуется с мелкими и глубокими рыхлениями, при этом под зерновые культуры она проводилась два года подряд и всего 14 раз за 35 лет (почвосберегающая). Отвальная система обработки обеспечивает наиболее рыхлое сложение почвы. При разноглубинной безотвальной, минимальной и почвосберегающей системах объёмная масса почвы увеличивается соответственно на 0,10 г/см³, 0,11 г/см³ и 0,12 г/см³ в начале исследований и на 0,08 г/см³, 0,10 г/см³ и 0,09 г/см³ – в конце. Уменьшение глубины обработки почвы независимо от способа способствует образованию «плужной подошвы» в слое, лежащем ниже разрыхлённого рабочим органом орудия горизонта: при обычной вспашке и безотвальном рыхлении – в слое 20-22 см, при мелкой обработке – 10-20 см. При всех способах и системах обработки почвы плотность почвы остаётся в зоне оптимальных значений, за исключением варианта с мелкой обработкой, где в слое 10-20 см она выходит за верхний предел оптимума.

Ключевые слова: земледелие, почва, вспашка, нулевая обработка, плотность почвы, система обработки почвы, глубокое рыхление

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР за 2020-2025 гг. ФГБОУ Оренбургский государственный аграрный университет (№ АААА-А17-117112340090).

Для цитирования: Изменение плотности чернозёма южного под влиянием приёмов и систем обработки почвы / Ф.Г. Бакиров, Н.Д. Берлишев, И.В. Васильев, Т.Н. Васильева // Животноводство и кормопроизводство. 2024. Т. 107, № 2. С. 179-187. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-2-179>

GEOPONICS AND CROP PRODUCTION

Original article

Changes in the density of southern black soil under the influence of soil cultivation techniques and systems

Farit G Bakirov¹, Nurzhan D Berlishhev², Igor V Vasiliev³, Tatyana N Vasilyeva⁴

^{1,2,3}Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

⁴Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

¹f.bakirov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1731-7875>

²nurikking@list.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2770-6836>

³igor-vas2009@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8564-1995>

⁴vtn1972@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5469-3952>

Abstract. The research was conducted in stationary experiment in the period from 1991 to 2023 on southern black soil of the Orenburg Cis-Urals in the Orenburg State Agrarian University. The purpose of

the research was to study the dynamics of soil density during long-term use of soil cultivation methods and systems that differ in the level of minimization. For the present work, from 16 systems studied, the 4 most contrasting in terms of intensity and depth of impact on the soil were selected: 1 – plowing at 20-22 and 28-30 cm (intensive); 2 – non-mouldboard loosening at 20-22 and 28-30 cm (multi-depth, non-mouldboard); 3 – shallow at 12-14 cm, normal at 20-22 cm and deep at 28-30 cm flat-cutting (minimal), 4 – zero alternating with shallow and deep loosening, while for grain crops it was carried out for two years in a row and in total 14 times in 35 years (soil-saving). The moldboard cultivation system ensures the most loose soil composition. With multi-depth, non-moldboard, minimal and soil-saving systems, the volumetric mass of the soil increases by 0.10 g/cm³, 0.11 g/cm³ and 0.12 g/cm³, respectively, at the beginning of research and by 0.08 g/cm³, 0.10 g/cm³ and 0.09 g/cm³ at the end. Reducing the depth of tillage, regardless of the method, contributes to the formation of a “plow sole” in the layer lying below the horizon loosened by the working part of the tool: with conventional plowing and moldless loosening in a layer of 20-22 cm, with shallow tillage - 10-20 cm. With all methods and soil cultivation systems, the soil density remains in the zone of optimal values, with the exception of the option with shallow tillage, where in a layer of 10-20 cm it goes beyond the upper limit of the optimum.

Keywords: agriculture, soil, plowing, zero tillage, soil density, tillage system, deep loosening

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2020-2025 years FSBEI Orenburg State Agrarian University (No. AAAA-A17-117112340090).

For citation: Bakirov FG, Berlishev ND, Vasiliev IV, Vasilyeva TN. Changes in the density of southern black soil under the influence of soil cultivation techniques and systems. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2024; 107(2):179-187. (In Russ.). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-2-179>

Введение.

Обработка почвы оказывает значительное влияние на условия выращивания и урожайность сельскохозяйственных культур и проводится главным образом для оптимизации её физических свойств. Ухудшение качества почвы коррелируется со снижением в ней содержания гумуса, поэтому оно занимает основное место среди оценочных показателей плодородия почвы. Однако уловить изменения содержания гумуса за небольшой промежуток времени очень сложно и мало достоверно. Не менее информативным показателем изменения агрофизического состояния почвы является её плотность, которая динамична, меняется за короткий период. После обработки почва наиболее рыхлая, затем постепенно уплотняется. Обработка почвы призвана регулировать её плотность под культуру.

Большинство исследований рассматривают изменение плотности пахотного слоя под влиянием приёмов обработки и чаще приходят к выводу о преимуществе вспашки перед другими способами и приёмами обработки почвы в оптимизации её плотности (Скорыходов В.Ю. и др., 2022; Дубовик Д.В. и др. 2022; Линков С.А. и др., 2023; Лукьянов В.А. и Прущик И.А., 2022; Krzysztof Orzech et al., 2021). Между тем в опытах Blanco-Canqui Н с соавторами (2022) плотность почвы была практически одинаковой на вспашке и нулевой обработке. Одинаковую, не превышающую оптимальные параметры плотность обеспечили отвальная вспашка на глубину 20-22, плоскорезное рыхление на 20-22 см, поверхностная обработка на 8-10 см и без обработки в опытах Дубовик Д.В. с коллегами (2024). Аналогичные результаты на чернозёме выщелоченном тяжелосуглинистом получены в условиях Краснодарского края (Мнатсаканян А.А. и др., 2022) и чернозёме типичном тяжелосуглинистом в Белгородской области (Кластер Н.И. и др., 2023).

Имеются работы, оценивающие влияние систем обработки на динамику плотности почвы в результате длительного их применения. В исследованиях Пакуль А.Л. с соавторами (2019) комбинированная глубокая, комбинированная минимальная и нулевая системы обработки почвы привели к незначительному увеличению плотности почвы, по сравнению с отвальной, но связано это не с длительным применением систем, а влиянием приёмов обработки почвы. К аналогичному выводу приходят многие авторы (Blanco-Canqui Н et al., 2022). В других опытах (Поляков Д.Г., 2021; Тора D et al., 2021) при длительном применении прямого посева происходило разуплотнение почвы. Однако в опыте Перфильева Н.В. и Вьюшина О.А. (2023) с традиционной, консервирующей и нулевой системами обработки почвы плотность была практически одинаковой. И наоборот, в опытах Семенцова А.В. с коллегами (2016) при длительном применении различных систем обработки

почвы на 9-й год произошло увеличение плотности пахотного слоя почвы, но в большей степени на безотвальной и мелкой системах.

Таким образом, обзор доступных источников показывает наличие противоречий в выводах. Нет единого мнения не только по отвальной системе обработки, но и по ресурсосберегающим системам, особенно при длительном их применении. Неоднозначность итогов исследований указывает на то, что в различных почвенно-климатических зонах влияние факторов, обусловленных разными способами и системами обработки почвы, определяющих изменение плотности почвы, неодинаковы. Поэтому полевые эксперименты, особенно долгосрочные, направленные на решение проблемы уплотнения почвы в конкретных зонах, остаются актуальными.

Это исследование отличается от предыдущих тем, что оно оценивает изменения плотности почвы в пахотном горизонте и в отдельных её слоях в результате влияния различных способов и широкого спектра систем обработки чернозёма южного.

Цель исследования.

Изучить изменения плотности чернозёма южного при длительном применении систем обработки почвы, различающихся уровнем минимизации. Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**: - установить влияние способов обработки почвы на её плотность; - выявить динамику плотности пахотного горизонта почвы и отдельных её слоёв под влиянием систем обработки почвы.

Материалы и методы исследования.

Объект исследования. Почва – чернозём южный карбонатный малогумусный тяжелосуглинистый.

Характеристика территорий и природно-климатические условия. Участок исследования находится в зоне с семиаридным (полуаридным) климатом умеренных широт (BSk) Оренбургского Предуралья (Оренбургская область, Россия) с координатами 51°78'72"N-55°28'80"E. Среднемесячная температура воздуха колеблется от -24,3 до -27,4 °С в январе, от +19,9 до +22,4 °С – в июле, а средняя годовая температура составляет +5,3 °С. Среднегодовое количество осадков – 350-450 мм. Почва – чернозём южный карбонатный малогумусный тяжелосуглинистый на краснобурых карбонатных суглинках. В слое 0-30 см почвы содержится: гумуса – 4,1 %, легкогидролизуемого азота (N) – 8,4 мг, подвижного фосфора (P₂O₅) – 3,25 мг, обменного калия (K₂O) – 27 мг и обменного кальция (CaO) – 39,0 мг на 100 г почвы. Высокая карбонатность обуславливает щелочную реакцию почвы pH 7,6-8,0.

Схема эксперимента. Материалом для исследований послужили данные полевого стационарного опыта, заложенного в 1988 г. на учебно-опытном поле Оренбургского ГАУ. В опыте изучается 16 различных по уровню минимизации систем обработки почвы. Для настоящей работы взяты 4 наиболее контрастные по интенсивности и глубине воздействия на почву: 1) чередование обычной вспашки на глубину 20-22 см с глубокой на 28-30 см (интенсивная); 2) чередование обычного безотвального рыхления на 20-22 см с глубоким на 28-30 см (разноглубинная безотвальная); 3) чередование безотвальных мелких обработок на 12-14 см с глубокими (минимальная), 4) чередование нулевой обработки с мелкими и глубокими рыхлениями (почвосберегающая), при этом под зерновые нулевая проводилась два года подряд и всего 14 раз за 35 лет.

Оборудование и технические средства. Плотность почвы определяли распространённым методом – отбором известного объёма с помощью металлического кольца, вдавливаемого в почву, и определения её массы после высушивания (Вадюнина А.Ф. и Корчагина З.А., 1986). Отбор проб проводился вне следа колёс посевной и уборочной техники. Все измерения на каждом варианте проводили в четырёхкратной повторности в посев яровых ранних культур.

Результаты исследования.

Из всех изучаемых приёмов наиболее рыхлое сложение пахотного слоя обеспечивает вспашка на 28-30 см (рис. 1). На этом варианте плотность почвы варьирует в пределах 1,06 до 1,12 г/см³. По мере уменьшения глубины и интенсивности обработки плотность почвы увеличивается, достигая наибольших значений на нулевой обработке почвы, а иногда на мелком рыхлении.

На этих вариантах плотность выше на 0,10...0,15 г/см³, чем на вспашке. Но даже достигая значений 1,21...1,22 г/см³, она остаётся в диапазоне оптимальных значений для основных культур. Большинство исследователей в этой области за верхний предел оптимума плотности пахотного слоя принято значение в 1,30 г/см³. При этом на графике видно, что это оказывает разное влияние на состояние почвы весной в вариантах опыта. Например, при третьем определении на нулевой обработке отмечено увеличение объёмной массы пахотного слоя, а на глубокой вспашке – уменьшение по отношению к предыдущему определению.

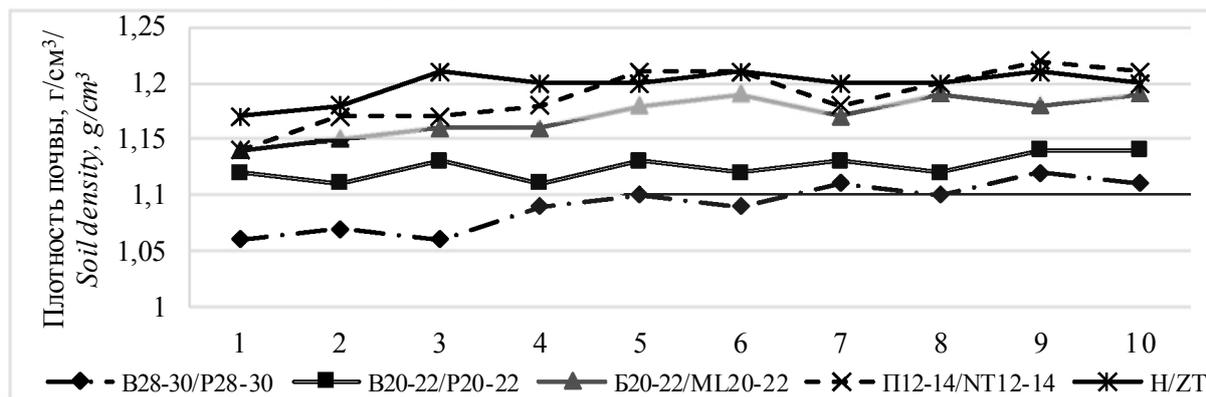


Рисунок 1. Плотность пахотного слоя почвы при различных способах обработки почвы весной (B28-30 – вспашка на 28-30 см (контроль); B20-22 – вспашка на 20-22 см; B20-22 – безотвальное рыхление на 20-22 см; П12-14 – мелкое рыхление на 12-14 см; H – нулевая обработка. 1, 2, 3...10 – годы определения плотности почвы

Figure 1. The density of the arable soil layer under various methods of tillage in spring (P28-30 – plowing at 28-30 cm (control); P20-22 – plowing at 20-22 cm; ML20-22 – moldboard loosening at 20-22 cm; NT12-14 – fine loosening by 12-14 cm; ZT – zero tillage 1, 2, 3...10 – years of soil density determination

Иногда по-разному реагирует почва даже на вспашку различной глубины. Так, при втором и четвертом определениях плотность пахотного слоя на варианте со вспашкой на 20-22 см уменьшилась, а на контрольном с глубокой обработкой увеличилась. Необходимо отметить, что для объективного сравнения степени влияния приёмов на плотность, она в вариантах с минимизацией определялась в годы, когда проводилась глубокая вспашка. Способы обработки существенно изменяют плотность отдельных слоёв пахотного горизонта (табл. 1).

Таблица 1. Влияние способов обработки почвы на плотность пахотного горизонта и отдельных его слоёв, г/см³

Table 1. The influence of soil cultivation methods on the density of the arable horizon and its individual layers, g/cm³

Слой почвы, см / Soil layers, cm	Вспашка 28-30 см / Plowing 28-30 cm		Вспашка 20-22 см / Plowing 20-22 cm		Безотвальное рыхление 20-22 см / Non-mouldboard loosening 20-22 cm		Мелкое рыхление 12-14 см / Fine loosening by 12-14 cm		Нулевая / Zero tillage	
	1991-1993 гг.	2021-2023 гг.	1991-1993 гг.	2021-2023 гг.	1991-1993 гг.	2021-2023 гг.	1991-1993 гг.	2021-2023 гг.	1991-1993 гг.	2021-2023 гг.
0-10	1,02	1,10	1,07	1,12	1,06	1,11	1,05	1,09	1,08	1,11
10-20	1,04	1,11	1,12	1,15	1,16	1,22	1,21	1,31	1,22	1,27
20-30	1,13	1,12	1,22	1,26	1,23	1,28	1,24	1,27	1,25	1,24

Верхний слой почвы на начало опыта (1991-1993 гг.) остаётся рыхлым при всех способах обработки. Плотность варьирует в диапазоне от 1,02 г/см³ на глубокой вспашке до 1,08 г/см³ – на нулевой обработке.

Очевидно уплотняющее действие рабочих органов почвообрабатывающих орудий на лежащие ниже глубины обработки слои почвы. Так, заметно уплотнён слой 20-30 см на обычной вспашке и безотвальном рыхлении, а на варианте с мелкой обработкой – слой 10-20 см. Превышение значений плотности этих слоёв на указанных вариантах составляет соответственно 0,09 г/см³, 0,10 г/см³ и 0,17 г/см³ по отношению к аналогичному слою в контроле.

Графическое изображение данных показывает, что длительное применение различных систем обработки существенно влияет на плотность 0-30 см слоя почвы (рис. 2).

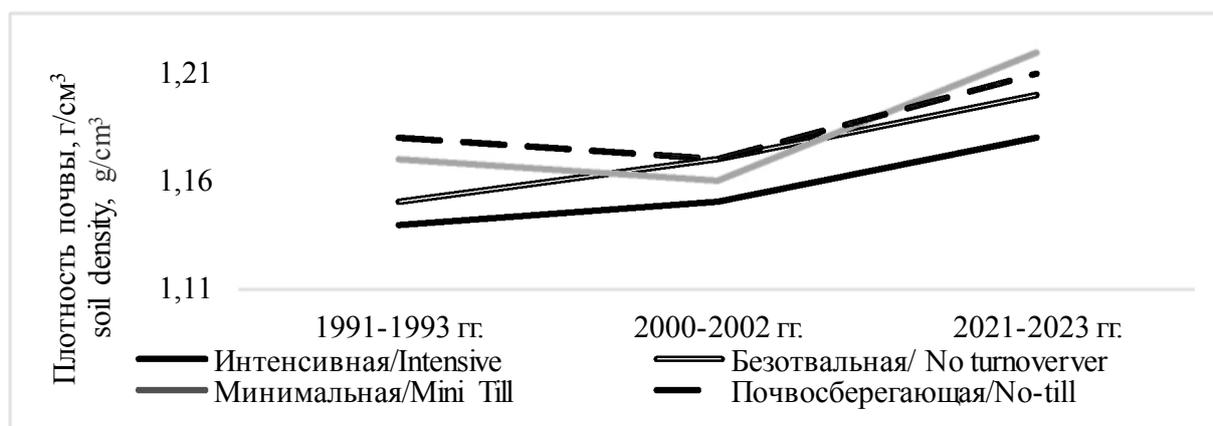


Рисунок 2. Изменение плотности пахотного слоя почвы под влиянием различных систем обработки почвы

Figure 2. Change in the density of the arable soil layer under the influence of various tillage systems

В 2021-2023 гг. плотность почвы на всех вариантах меняется по слоям почвенного горизонта с аналогичной закономерностью, с той лишь разницей, что значения объёмной массы значительно выше, чем в начале опыта. Причём на варианте с мелким рыхлением плотность почвы за период от 1991-1993 гг. по 2021-2023 гг. в отдельных слоях на всех вариантах увеличилась на 0,03...0,06 г/см³. Таким образом, минимизация обработки почвы в сравнении со вспашкой приводит к уплотнению пахотного слоя.

Обсуждение полученных результатов.

Наблюдения за физическим состоянием пахотного слоя почвы дали возможность оценить действие обработки на плотность чернозёма южного в двух разных направлениях: влияние способа (приёма) и систем обработки почвы при длительном их применении. Традиционные способ и система обработки дают несомненные преимущества перед ресурсосберегающими в обеспечении более рыхлого сложения пахотного слоя почвы, что согласуется с выводами других авторов (Дубовик Д.В. и др., 2024; Krzysztof O et al., 2021). Это было подтверждено на другом стационарном опыте в тех же условиях учёными Оренбургского ГАУ (Bakirov F et al., 2021). Плужная подошва может стать препятствием для роста корней растений в глубь даже при её относительно низкой и находящейся в пределах оптимальных значений плотности. Поскольку преградой для углубления корней является не столько высокая плотность, сколько резкий перепад её значений между слоями, вызванный обработкой (Бакиров Ф.Г. и др., 2023).

Наблюдаемые колебания плотности в вариантах по годам свидетельствуют о влиянии условий увлажнения почвы осенью до и после её обработки. В первом случае хорошее увлажнение от-

ражается на качестве обработки (Панасюк А.Н. и Липкань А.В., 2020), во втором – на саморазрыхлении пахотного слоя почвы.

Уменьшение значений объёмной массы пахотного слоя почвы к 2000-2002 гг. относительно 1991-1993 гг., вероятно, связано с тем, что при закладке опыта фоном было внесено 50 т/га навоза. Это способствовало повышению содержания гумуса в почве и, как следствие, снижению плотности. Подтверждением является то, что просматривается закономерность: чем больше содержится гумуса в почве, тем ниже плотность. Например, к моменту окончания наблюдений (2021-2023 гг.) содержание гумуса в почве на всех вариантах снижается, а объёмная масса увеличивается. Из доступных исследований известно, что при увеличении количества гумуса на 0,1 % плотность почвы снижается на 0,01 %.

Заключение.

При длительном применении различных способов и систем обработки почвы, различающихся уровнем минимизации, происходит существенное изменение плотности чернозёма южного. Отвальная система обработки обеспечивает рыхлое сложение почвы. При разноглубинной безотвальной, минимальной и почвосберегающей системах объёмная масса почвы увеличивается на 0,10...0,12 г/см³ в начале исследований и на 0,08...0,09 г/см³ – в конце. Уменьшение глубины обработки почвы независимо от способа способствует образованию «плужной подошвы» в слое, лежащем ниже разрыхлённого рабочим органом орудия горизонта: при обычной вспашке и безотвальном рыхлении в слое 20-22 см, при мелкой обработке – 10-20 см. При всех способах и системах обработки почвы плотность почвы остаётся в зоне оптимальных значений, за исключением варианта с мелкой обработкой, где в слое 10-20 см она выходит за верхний придел оптимума.

Список источников

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с. [Vadjunina AF, Korchagina ZA. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv. 3-e izd., pererab. i dop. Moscow: Agropromizdat; 1986:416 p. (*In Russ.*)].
2. Влияние глубины и способа обработки почвы на ослабление засухи в Оренбургской области / В.Ю. Скороходов, Н.А. Максютов, А.А. Зоров, Д.В. Митрофанов, Ю.В. Кафтан, Н.А. Зенкова // Плодородие. 2022. № 2(125). С. 29-33. [Skorokhodov VYu, Maksyutov NA, Zorov AA, Mitrofanov DV, Kaftan YuV, Zenkova NA. The role of the depth and method of winter tillage in reducing drought in the Orenburg region. Plodorodie. 2022;2(125):29-33. (*In Russ.*)]. doi: 10.25680/S19948603.2022.125.08
3. Влияние различных систем обработки почвы на агрофизические свойства чернозема выщелоченного / А.Л. Пакуль, Н.А. Лапшинов, Г.В. Божанова, В.Н. Пакуль // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т 49. № 3. С. 16-23. [Pakul AL, Lapshinov NA, Bozhanova GV, Pakul VN. Influence of various systems of soil tillage on agrophysical properties of leached chernozem. Siberian Herald of Agricultural Science. 2019;49(3):16-23. (*In Russ.*)]. doi: 10.26898/0370-8799-2019-3-2
4. Влияние способов основной обработки на агрофизические свойства почвы, урожайность и качество сои / Д.В. Дубовик, Е.В. Дубовик, А.Н. Морозов, А.В. Шумаков // Земледелие. 2022. № 2. С. 43-48. [Dubovik DV, Dubovik EV, Morozov AN, Shumakov AV. Influence of tillage methods on soil agrophysical properties, soybean yield and quality. Zemledelie. 2022;2:43-48. (*In Russ.*)]. doi: 10.24412/0044-3913-2022-2-43-46
5. Влияние способов основной обработки почвы на агрофизическое состояние чернозема типичного и продуктивность гороха / Д.В. Дубовик, Е.В. Дубовик, А.Н. Морозов, А.В. Шумакова // Земледелие. 2024. № 1. С. 28-33. [Dubovik DV, Dubovik EV, Morozov AN, Shumakov AV. The influence of basic tillage methods on the agrophysical state of typical chernozem and pea productivity. Zemledelie. 2024;1:28-33. (*In Russ.*)]. doi: 10.24412/0044-3913-2024-1-28-33
6. Лукьянов В.А., Прущик И.А. Плотность и твёрдость чернозёма типичного на фоне разных агротехнологий и способов обработки почв // Пермский аграрный вестник. 2022. № 4(40).

С. 29-37. [Lukyanov VA, Prushchik IA. Density and hardness of typical chernozem on the background of different agrotechnologies and methods of tillage. Perm Agrarian Journal. 2022;4(40):29-37. (*In Russ.*)]. doi: 10.47737/2307-2873_2022_40_29

7. Мнатсаканян А.А., Чуварлеева Г.В., Быков О.Б. Показатели плодородия чернозема выщелоченного в зависимости от систем основной обработки почвы // Земледелие. 2022. № 5. С. 15-19. [Mnatsakanyan AA, Chubarleeva GV, Bykov OB. Indicators of leached chernozem soil fertility depending on the basic tillage systems. Zemledelie. 2022;5:15-19. (*In Russ.*)]. doi: 10.24412/0044-3913-2022-5-15-19

8. Оценка состояния водно-физических свойств на участках с различными системами обработки почвы / С.А. Линков, А.В. Ширяев, А.В. Акинчин, Л.Н. Кузнецова, Т.С. Морозова // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2023. № 4(40). С. 117-124. [Linkov SA, Shiryaev AV, Akinchin AV, Kuznetsova LN, Morozova TS. Assessment of the state of water-physical properties in areas with different soil tillage systems. Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives. 2023;4(40):117-124. (*In Russ.*)].

9. Панасюк А.Н., Липкань А.В. Расчет экологических порогов нормального давления колесных движителей машин на полевых работах на глинистых почвах // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. № 4. С. 43-48. [Panasyuk AN, Lipkan AV. Calculation of the ecological thresholds of normal pressure of machine propulsion drive in working on clay soils. Agricultural Machinery and Technologies. 2020;14(4):43-48. (*In Russ.*)]. doi: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-43-48

10. Перфильев Н.В., Вьюшина О.А. Влияние систем обработки на агрофизические параметры темносерой лесной почвы в Северном Зауралье // Земледелие. 2023. № 1. С. 27-31. [Perfilyev NV, Vyushina OA. Influence of tillage systems on agrophysical parameters of dark gray forest soil in the Northern Trans-Urals. Zemledelie. 2023;1:27-31. (*In Russ.*)]. doi: 10.24412/0044-3913-2023-1-27-31

11. Поляков Д.Г. Обработка почвы и прямой посев: агрофизические свойства черноземов и урожайность полевых культур // Земледелие. 2021. № 2. С. 37-43. [Polyakov DG. Tillage and direct sowing: agrophysical properties of chernozems and the yield of field crops. Zemledelie. 2021;2:37-43. (*In Russ.*)]. doi: 10.24411/0044-3913-2021-10208

12. Профильное размещение корней – основа для обработки почвы и повышения эффективности ресурсов влаги / Ф.Г. Бакиров, Г.В. Петрова, В.Б. Шукин, И.В. Васильев, А.П. Долматов, В.В. Диденко // Плодородие. 2023. № 6(135). С. 50-54. [Bakirov FG, Petrova GV, Shchukin VB, Vasiliev IV, Dolmatov AP, Didenko VV. Profile placement of roots is the basis for tillage and increasing the efficiency of moisture resources. Plodorodie. 2023;6(135):50-54. (*In Russ.*)]. doi: 10.25680/S19948603.2023.135.13

13. Семенцов А.В., Пичугин А.М., Шевченко И.М. Влияние длительного применения различных систем удобрения и обработки почвы в севообороте на урожайность озимой пшеницы по занятому пару // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. 2016. № 7(170). С. 41-51. [Sementsov AV, Pichugin AM, Shevchenko IM. Influence of prolonged use of various systems of fertilizer and processing of the soil on productivity of winter wheat on busy steam. Transactions of Taurida Agricultural Science. 2016;7(170):41-50. (*In Russ.*)].

14. Трансформация агрофизических свойств чернозёма под влиянием элементов агротехнологии / Н.И. Клостер, В.В. Лоткова, В.Б. Азаров, В.В. Горбунов, А.В. Азаров // Агропромышленные технологии Центральной России. 2023. № 1(27). С. 97-106. [Kloster N, Lotkova V, Azarov V, Gorbunov V, Azarov A. Transformation of agrophysical properties of chernozem under the influence of elements of agrotechnology. Agro-industrial Technologies of Central Russia. 2023;1 (27):97-106. (*In Russ.*)]. doi: 10.24888/2541-7835-2023-27-97-106

15. Bakirov F, Shakhov V, Dolmatov A, Vasiliev I, Deryabin S, Kuramshin M. Effect of long-term treatment on density of calcic chernozem (aric) and crop yield in crop rotation. Proceedings of the 20th International Scientific Conference engineering for rural development, ERD 2021, Virtual, 26-28 May, Jelgava. LV, Jelgava: University of Life Sciences and Technologies. 2021;20:884-890. doi: 10.22616/ERDev.2021.20.TF200

16. Blanco-Canqui H, Hassim R, Shapiro C, Jasa P, Klopp H. How does no-till affect soil-profile compactibility in the long term? Geoderma. 2022;425(1):116016. doi: 10.1016/j.geoderma.2022.116016

17. Krzysztof Orzech, Maria Wanic, Dariusz Załuski. The effects of soil compaction and different tillage systems on the bulk density and moisture content of soil and the yields of winter oilseed rape and cereals. *Agriculture*. 2021;11(7):666. doi: 10.3390/agriculture11070666
18. Topa D, Gabriela Cara I, Jităreanu G. Long term impact of different tillage systems on carbon pools and stocks, soil bulk density, aggregation and nutrients: A field meta-analysis. *Catena*. 2021;199:105102. doi: 10.1016/j.catena.2020.105102

References

1. Vadjunina AF, Korchagina ZA. Methods of investigation of physical properties of soils. 3rd edition, rev. and supplement. Moscow: Agropromizdat; 1986:416 p.
2. Skorokhodov VYu, Maksyutov NA, Zorov AA, Mitrofanov DV, Kaftan YuV, Zenkova NA. The role of the depth and method of winter tillage in reducing drought in the Orenburg region. *Plodorodie*. 2022;2(125):29-33. doi: 10.25680/S19948603.2022.125.08
3. Pakul AL, Lapshinov NA, Bozhanova GV, Pakul VN. Influence of various systems of soil tillage on agrophysical properties of leached chernozem. *Siberian Herald of Agricultural Science*. 2019;49(3):16-23. doi: 10.26898/0370-8799-2019-3-2
4. Dubovik DV, Dubovik EV, Morozov AN, Shumakov AV. Influence of tillage methods on soil agrophysical properties, soybean yield and quality. *Land Cultivation*. 2022;2:43-48. doi: 10.24412/0044-3913-2022-2-43-46
5. Dubovik DV, Dubovik EV, Morozov AN, Shumakov AV. The influence of basic tillage methods on the agrophysical state of typical chernozem and pea productivity. *Land Cultivation*. 2024;1:28-33. doi: 10.24412/0044-3913-2024-1-28-33
6. Lukyanov VA, Prushchik IA. Density and hardness of typical chernozem on the background of different agrotechnologies and methods of tillage. *Perm Agrarian Journal*. 2022;4(40):29-37. doi: 10.47737/2307-2873_2022_40_29
7. Mnatsakanyan AA, Chuvarleeva GV, Bykov OB. Indicators of leached chernozem soil fertility depending on the basic tillage systems. *Land Cultivation*. 2022;5:15-19. doi: 10.24412/0044-3913-2022-5-15-19
8. Linkov SA, Shiryaev AV, Akinchin AV, Kuznetsova LN, Morozova TS. Assessment of the state of water-physical properties in areas with different soil tillage systems. *Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives*. 2023;4(40):117-124.
9. Panasyuk AN, Lipkan AV. Calculation of the ecological thresholds of normal pressure of machine propulsion drive in working on clay soils. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020;14(4):43-48. doi: 10.22314/2073-7599-2020-14-4-43-48
10. Perfilyev NV, Vyushina OA. Influence of tillage systems on agrophysical parameters of dark gray forest soil in the Northern Trans-Urals. *Land Cultivation*. 2023;1:27-31. doi: 10.24412/0044-3913-2023-1-27-31
11. Polyakov DG. Tillage and direct sowing: agrophysical properties of chernozems and the yield of field crops. *Land Cultivation*. 2021;2:37-43. doi: 10.24411/0044-3913-2021-10208
12. Bakirov FG, Petrova GV, Shchukin VB, Vasiliev IV, Dolmatov AP, Didenko VV. Profile placement of roots is the basis for tillage and increasing the efficiency of moisture resources. *Fruitfulness*. 2023;6(135):50-54. doi: 10.25680/S19948603.2023.135.13
13. Sementsov AV, Pichugin AM, Shevchenko IM. Influence of prolonged use of various systems of fertilizer and processing of the soil on productivity of winter wheat on busy steam. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2016;7(170):41-50.
14. Kloster N, Lotkova V, Azarov V, Gorbunov V, Azarov A. Transformation of agrophysical properties of chernozem under the influence of elements of agrotechnology. *Agro-industrial Technologies of Central Russia*. 2023;1 (27):97-106. doi: 10.24888/2541-7835-2023-27-97-106
15. Bakirov F, Shakhov V, Dolmatov A, Vasiliev I, Deryabin S, Kuramshin M. Effect of long-term treatment on density of calcic chernozem (aric) and crop yield in crop rotation. *Proceedings of*

the 20th International Scientific Conference engineering for rural development, ERD 2021, Virtual, 26-28 May, Jelgava. LV, Jelgava: University of Life Sciences and Technologies. 2021;20:884-890. doi: 10.22616/ERDev.2021.20.TF200

16. Blanco-Canqui H, Hassim R, Shapiro C, Jasa P, Klopp H. How does no-till affect soil-profile compactibility in the long term? *Geoderma*. 2022;425(1):116016. doi: 10.1016/j.geoderma.2022.116016

17. Krzysztof Orzech, Maria Wanic, Dariusz Zaluski. The effects of soil compaction and different tillage systems on the bulk density and moisture content of soil and the yields of winter oilseed rape and cereals. *Agriculture*. 2021;11(7):666. doi: 10.3390/agriculture11070666

18. Topa D, Gabriela Cara I, Jităreanu G. Long term impact of different tillage systems on carbon pools and stocks, soil bulk density, aggregation and nutrients: A field meta-analysis. *Catena*. 2021;199:105102. doi: 10.1016/j.catena.2020.105102

Информация об авторах:

Фарит Галиуллович Бакиров, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры земледелия, биоэкологии и агрохимии, Оренбургский государственный аграрный университет, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д.18, тел.: +7(987)7804245.

Нуржан Десенгалеевич Берлишев, аспирант кафедры земледелия, биоэкологии и агрохимии, Оренбургский государственный аграрный университет, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д.18, тел.: +7(987)2025872.

Игорь Владимирович Васильев, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, декан факультета агротехнологий, землеустройства и пищевых производств, Оренбургский государственный аграрный университет, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д.18. тел.: +7(912)8453335.

Татьяна Николаевна Васильева, кандидат биологических наук, учёный секретарь структурного подразделения ОНИИСХ, Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, Оренбургская область, г. Оренбург, ул. 9 Января д. 29. тел.: +7(3532)308341.

Information about the authors:

Farit G Bakirov, Dr. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Professor of the Department of Agriculture, Bioecology and Agrochemistry, Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev St., Orenburg, 460014, tel.: +7(987)7804245.

Nurzhan D Berlishev, graduate student of the Department of Agriculture, Bioecology and Agrochemistry, Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev St., Orenburg, 460014, tel.: +7(987)2025872.

Igor V Vasiliev, Cand. Sci. (Agriculture), Associate Professor, Dean of the Faculty of Agricultural Technologies, Land Management and Food Production, Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev St., Orenburg, 460014, tel.: +7(912)8453335.

Tatyana N Vasilyeva, Cand. Sci. (Biology), Scientific Secretary of the structural unit of OSRIA, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 29 9 Yanvarya St., Orenburg, 460000, tel.: +7(3532)308341.

Статья поступила в редакцию 21.05.2024; одобрена после рецензирования 03.06.2024; принята к публикации 10.06.2024.

The article was submitted 21.05.2024; approved after reviewing 03.06.2024; accepted for publication 10.06.2024.