

МЕЛИОРАЦИЯ, ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО И АГРОФИЗИКА

Научная статья

УДК 633.11:591.543.4:631.43(470.44)

doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-2-18-31

**Агрофизические, технологические и климатические факторы,
определяющие урожайность зерна яровой пшеницы в Заволжье**

**Анатолий Петрович Солодовников¹, Илья Сергеевич Полетаев²,
Надежда Петровна Молчанова³**

^{1, 2, 3}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии
имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация

¹solodovnikov-sgau@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7056-6198>

²poletaevilja@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-4901-6453>

³nadjawowa550@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3692-9180>

Аннотация. Цель: установление долевого влияния агрофизических, технологических, климатических факторов и влажности почвы на урожайность зерна яровой пшеницы в засушливых условиях Саратовского Заволжья на основе полного корреляционного анализа многолетних полевых данных. **Материалы и методы.** Для достижения поставленной цели был заложен опыт с основной обработкой почвы различными орудиями по схеме: А₀ – плугом ПЛН-8-35 на 23–25 см (контроль); А₁ – плугом ПБС-10П на 23–25 см; А₂ – глубокорыхлителем SSD-4 (2017–2020 гг.), чизельным плугом ПЧМ-4 (2021–2022 гг.) на 30–32 см; А₃ – дискатором БДМ 7×3 ППКШКС на 10–12 см. Исследования проводились в течение шести лет. Руководствовались общепринятыми методиками. **Результаты.** Полный корреляционный анализ многолетних данных показал, что в Заволжье наиболее значимое влияние на урожайность яровой пшеницы оказывают осадки периода вегетации (24,1 %) и гидротермический коэффициент (23,6 %). Температура воздуха определяла данный показатель только на 12,5 %. Доля влияния на урожайность плотности сложения почвы слоя 10–30 см составила 2,9 %. Влажность верхнего полуметрового слоя почвы в фазу кущения яровой пшеницы определяла урожайность на 14,8 %, а нижнего (50–100 см) на 15,6 %. **Выводы.** В среднем за шесть лет максимальная урожайность яровой пшеницы сорта Альбидум 32 была получена на вариантах со вспашкой (ПБС-10П и ПЛН-8-35): 1,16 и 1,17 т/га. Безотвальная обработка глубокорыхлителем и чизельным плугом снижала данный показатель на 8,5 %. Обработка темно-каштановой почвы дискатором уменьшала урожайность зерна яровой пшеницы на 24,8 % относительно контроля.

Ключевые слова: яровая пшеница, климатические и агрофизические факторы, влажность почвы, основная обработка, корреляция

Для цитирования: Солодовников А. П., Полетаев И. С., Молчанова Н. П. Агрофизические, технологические и климатические факторы, определяющие урожайность зерна яровой пшеницы в Заволжье // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14, № 2. С. 18–31. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-18-31>.

LAND RECLAMATION, WATER MANAGEMENT AND AGROPHYSICS

Original article

**Agrophysical, technological and climatic factors determining
the grain yield of spring wheat in Trans-Volga region**



Anatolij P. Solodovnikov¹, Ilya S. Poletaev², Nadezhda P. Molchanova³

^{1,2,3}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

¹solodovnikov-sgau@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7056-6198>

²poletaevilja@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-4901-6453>

³nadjawowa550@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-3692-9180>

Abstract. Purpose: to determine the share influence of agrophysical, technological, climatic factors and soil moisture on spring wheat grain yield in the arid conditions of the Saratov Trans-Volga region based on a complete correlation analysis of long-term field data. **Materials and methods.** To achieve this goal, an experiment with basic tillage with various implements according to the following scheme, was carried out: A₀ – with PLN-8-35 plow at 23–25 cm (control); A₁ – with plow PBS-10P at 23–25 cm; A₂ – with deep ripper SSD-4 (2017–2020), chisel plow PChM-4 (2021–2022) at 30–32 cm; A₃ – with a disk header BDM 7×3 PPKShKS at 10–12 cm. The research was carried out over a period of six years using generally accepted methods. **Results.** A complete correlation analysis of long-term data showed that the most significant influence on the spring wheat yield in the Trans-Volga region is exerted by precipitation during the growing season (24.1 %) and the hydrothermal coefficient (23.6 %). Air temperature determined this indicator by only 12.5 %. The share influence on the yield of soil density in the 10–30 cm layer was 2.9 %. The moisture content of the upper half-meter soil layer during the spring wheat tillering phase determined the yield by 14.8 %, and the lower one (50–100 cm) by 15.6 %. **Conclusions.** On average, over six years, the maximum yield of spring wheat Albidum 32 variety was obtained in variants with plowing (PBS-10P and PLN-8-35): 1.16 and 1.17 t/ha. Non-mouldboard cultivation with a deep ripper and chisel plow reduced this indicator by 8.5 %. Treatment of dark chestnut soil with a disk header reduced the spring wheat grain yield by 24.8 % relative to the control.

Keywords: spring wheat, climatic and agrophysical factors, soil moisture, basic tillage, correlation

For citation: Solodovnikov A. P., Poletaev I. S., Molchanova N. P. Agrophysical, technological and climatic factors determining the grain yield of spring wheat in Trans-Volga region. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2024;14(2):18–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2024-14-2-18-31>.

Введение. Увеличение аридности климата в период вегетации, т. е. повышение температуры воздуха и сокращение количества осадков, может приводить к недобору валовых сборов зерновых культур [1]. На территории европейской части РФ в регионах возделывания зерновых культур (Центральный, Приволжский и Южный федеральные округа) отмечена тенденция увеличения осадков в зимний период и значительное снижение их летом, что приводит к недобору урожаев и снижению доходов [2].

Отрицательные тренды климатических изменений способствовали отсутствию роста урожайности яровой пшеницы в начале XXI в., что требует применения адаптационных мер противодействия негативным изме-

нениям климата при производстве зерна на основе оптимизации технологических приемов возделывания зерновых культур [3, 4].

Особенно остро стоит проблема аридности климата в Заволжье, что требует установления долевого влияния климатических и агрофизических факторов с целью оптимизации зональных систем земледелия для уменьшения негативного воздействия на урожайность яровых культур [5–8].

Злаковые растения со слаборазвитой мочковатой корневой системой предъявляют больше требований к условиям среды, и особенно к увлажнению профиля почвы и агрофизическим показателям, поэтому нужны агротехнологии, которые должны базироваться на оптимальном удовлетворении биологических потребностей зерновых культур, более эффективном использовании климатических ресурсов, и особенно в засушливых условиях [9–11].

Одним из факторов для регулирования отрицательного воздействия аридизации климата является основная обработка почвы под зерновые культуры, которая определяет формирование агрофизических факторов плодородия, запасов влаги и биологическую активность почвы [12–14]. Изучение литературных источников показывает, что урожайность яровых культур в Поволжье тесно коррелирует с погодными условиями [5–7].

Поэтому целью шестилетних исследований было установление долевого влияния агрофизических, технологических, климатических факторов и влажности почвы на урожайность зерна яровой пшеницы в засушливых условиях Саратовского Заволжья на основе полного корреляционного анализа многолетних полевых данных.

Материалы и методы. Для решения поставленных задач по определению наиболее значимых факторов воздействия на урожайность зерна яровой пшеницы в Заволжье был заложен опыт с основной обработкой почвы различными орудиями по схеме: A_0 – плугом ПЛН-8-35 на глубину 23–25 см (контроль); A_1 – плугом ПБС-10П на 23–25 см; A_2 – глубокорыхлителем SSD-4 (2017–2020 гг.) и чизельным плугом ПЧМ-4 (2021–2022 гг.) на 30–32 см; A_3 – дискатором БДМ 7×3 ППКШКС на 10–12 см.

Исследования проводились в УНПО «Поволжье» Вавиловского университета с 2017 по 2022 г. Почва темно-каштановая, среднесуглинистая, гумуса – 2,8 %, наименьшая влагоемкость – 22,1 %, влажность устойчивого завядания – 9,7 %, плотность – 1,37 г/см³ для метрового горизонта.

Повторность опытных делянок трехкратная, расположение – рендомизированное, учетная площадь – 500 м². Сорт яровой мягкой пшеницы – Альбидум 32, предшественник в севообороте – нут.

Под предпосевную культивацию вносили 100 кг/га аммиачной селитры (N₃₄). Посев яровой мягкой пшеницы проводили в конце апреля – начале мая сеялкой СЗ-3,6 с нормой высева 4,0 млн шт. всхожих семян на 1 га.

Полевой опыт сопровождался исследованиями в соответствии с общепринятыми методиками и методическими указаниями [15].

Результаты и обсуждение. В результате анализа погодных условий в период вегетации яровой пшеницы (май – июль) можно сделать заключение, что сумма осадков и гидротермический коэффициент (ГТК) превышали среднемноголетние значения только два года (2017, 2022 гг.) из шести лет наблюдений. Средняя температура воздуха колебалась от 18,7 °С в 2022 г. до 22,6 °С в 2021 г. Близкая к среднемноголетним значениям температура воздуха (19,4 °С) фиксировалась в 2017 г. (19,1 °С) и 2022 г. (18,7 °С) (рисунок 1).

Расчет множественной корреляции между урожайностью зерна яровой пшеницы, климатическими, агрофизическими факторами и влажностью почвы показал, что коэффициент множественной детерминации (R^2) был равен 0,946 ($F_{\phi} = 32,84$), т. е. урожайность зерна яровой пшеницы достоверно на 94,6 % зависела от указанных факторов. Неучтенные показатели составили 5,4 %. Уравнение множественной регрессии, описывающее зависимость урожайности яровой пшеницы от заявленных факторов, имело следующий вид:

$$Y_{\text{яровая пшеница}} = 1,727 + 0,001x_1 + 1,5711x_2 + 0,0143x_3 - 2,6735x_4 + \\ + 0,0780x_5 - 0,0176x_6 + 0,0253x_7.$$

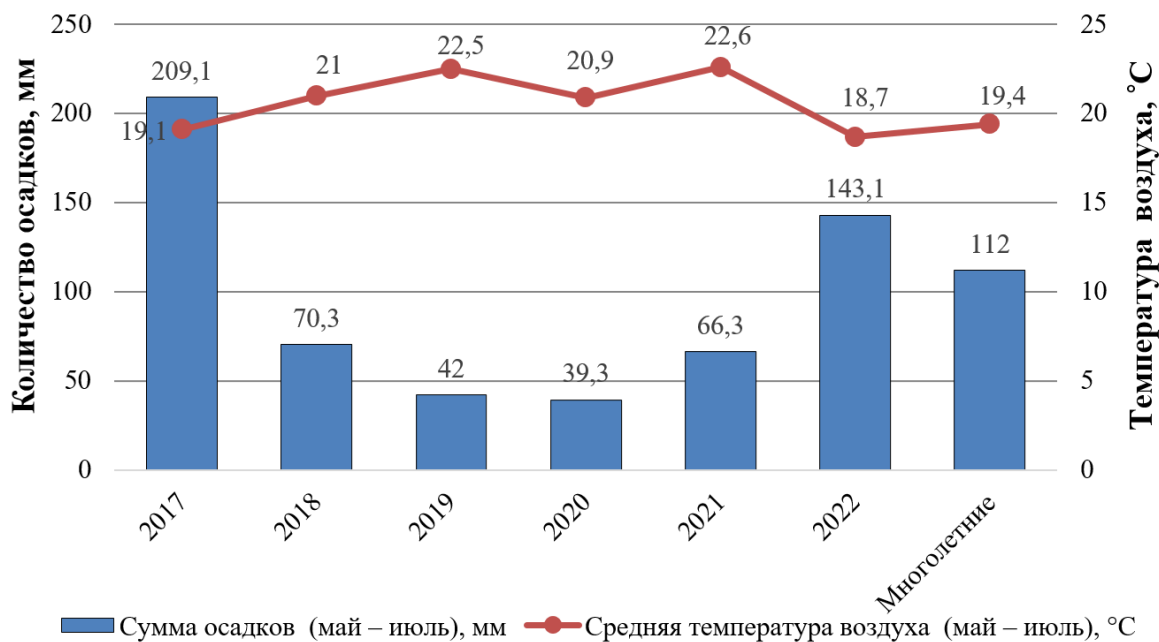


Рисунок 1 – Погодные условия в период вегетации яровой пшеницы
Figure 1 – Weather conditions during the growing season of spring wheat

Полный корреляционный анализ многолетних данных показал, что в Заволжье наиболее значимое влияние на урожайность яровой пшеницы оказывают осадки в период вегетации (24,1 %) и ГТК (23,6 %). Температура воздуха определяла данный показатель только на 12,5 % и имела отрицательную среднюю степень связи ($r = -0,66$) (таблица 1).

Таблица 1 – Коэффициент детерминации и долевое влияние изучаемых факторов на урожайность зерна яровой пшеницы
Table 1 – Determination coefficient and share influence of the studied factors on spring wheat grain yield

Изучаемый фактор для полного корреляционного анализа	Коэффициент детерминации (r^2)	Долевое влияние факторов на урожайность пшеницы, %
Неучтенные факторы	–	5,4
Сумма осадков (май – июль), мм (x_1)	0,85	24,1
ГТК (май – июль) (x_2)	0,83	23,6
Средняя температура воздуха (май – июль), °C (x_3)	0,44	12,5
Плотность почвы (10–30 см), г/см ³ (x_4)	0,10	2,9
Влажность почвы перед посевом (0–50 см), % (x_5)	0,04	1,1
Влажность почвы в фазу кущения (0–50 см), % (x_6)	0,52	14,8
Влажность почвы в фазу кущения (50–100 см), % (x_7)	0,55	15,6

По данным И. Ф. Медведева, увеличение температуры воздуха всего на 1 °С по отношению к многолетним значениям снижает урожайность яровой пшеницы на 25–30 % [16].

Тип сельскохозяйственных орудий для основной обработки и глубина обрабатываемого горизонта почвы определяют плотность пахотного слоя и, как следствие, значительно влияют на запасы влаги.

Многолетние наблюдения (2017–2022 гг.) за плотностью почвы перед посевом яровой пшеницы показали, что данный агрофизический показатель верхнего слоя (0–10 см) после предпосевной обработки был практически одинаков по всем вариантам. Плотность почвы колебалась по годам исследований в пределах 1,00–1,06 г/см³, поэтому не могла оказывать значимого влияния на урожайность яровой пшеницы. Для более детального анализа была взята плотность почвы, на которую не воздействовала предпосевная обработка, т. е. слой 10–30 см. Изучаемые орудия и глубина основной обработки почвы значительно влияли на плотность сложения горизонта 10–30 см (таблица 2).

Таблица 2 – Плотность почвы перед посевом яровой пшеницы в слое 10–30 см

В г/см³

Table 2 – Soil density before spring wheat sowing in a layer of 10–30 cm

In g/cm³

Сельхозорудие для обработки почвы	Год проведения исследований, посвященных определению плотности почвы						
	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Средняя
ПЛН-8-35 (контроль)	1,15	1,22	1,13	1,16	1,18	1,15	1,16
ПБС-10П	1,15	1,23	1,19	1,15	1,19	1,16	1,18
SSD-4, ПЧМ-4	1,21	1,27	1,26	1,31	1,31	1,21	1,26
БДМ 7×3	1,32	1,34	1,33	1,35	1,36	1,27	1,33

В среднем за шесть лет обработка почвы плугами ПЛН-8-35 и ПБС-10П на 23–25 см формировала наименьшие показатели плотности 1,16–1,18 г/см³. Обработка почвы глубокорыхлителем (SSD-4) и чизельным плугом (ПЧМ-4) на глубину 30–32 см увеличивала данный агрофизический показатель до 1,26 г/см³, что превышало контроль на 8,6 %. По минимальной обработке

на 10–12 см дисковым орудием (БДМ 7×3 ППКШКС) плотность сложения достигала критических значений – 1,33 г/см³. Статистическая обработка данных, полученных за шесть лет, по зависимости урожайности пшеницы от плотности почвы отражала среднюю степень связи ($r = -0,32$) с долевым влиянием всего 2,9 %.

Отбор образцов почвы в слое 0–50 см на влажность перед посевом яровой пшеницы в среднем за шесть лет показал, что она была практически одинаковой на вариантах А₀, А₁, А₂ и составляла 18,1–18,5 %. Минимальная влажность почвы формировалась на варианте А₃ – 17,6 %, что меньше контроля на 0,8 % от массы (рисунок 2). Данный показатель определял урожайность яровой пшеницы только на 1,1 %, так как для получения всходов яровой пшеницы влаги было достаточно.

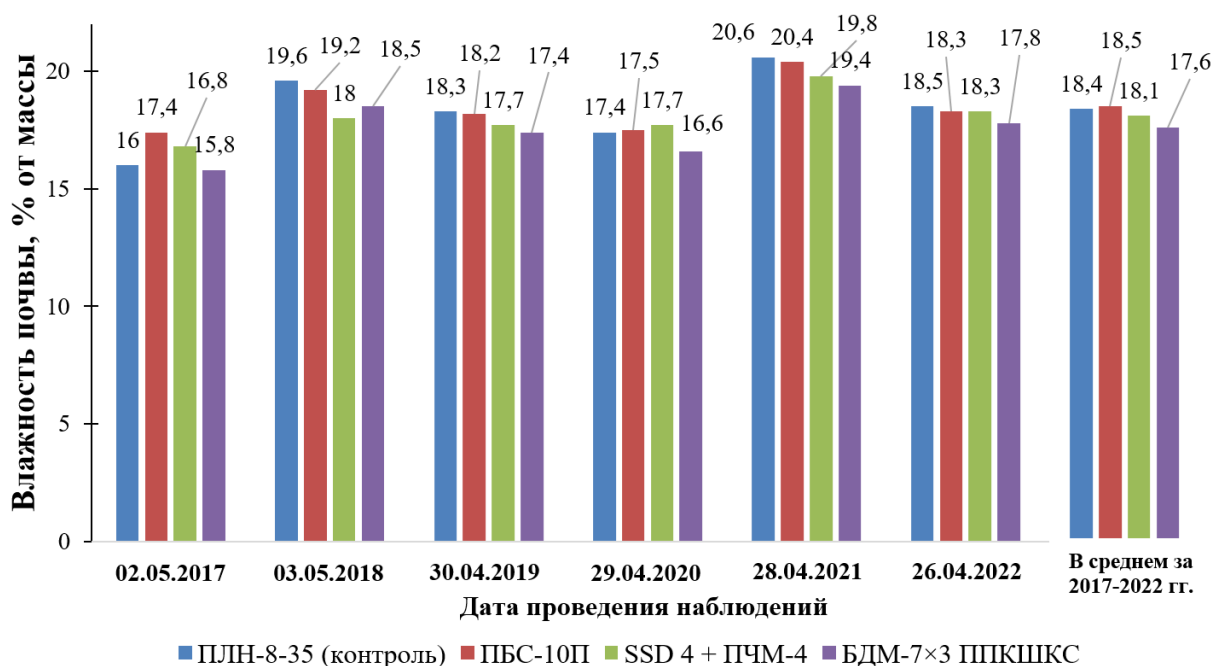


Рисунок 2 – Влажность почвы перед посевом яровой пшеницы в слое 0–50 см, % от массы абсолютно сухой почвы

Figure 2 – Soil moisture before spring wheat sowing in a layer of 0–50 cm, % of the oven-dry soil mass

Максимальное увлажнение нижнего слоя (50–100 см) формировалось на участках, обработанных глубокорыхлителем и чизельным плугом: 14,4 %, что превышало контроль на 1,3 %, а минимальную обработку на 1,8 %.

Здесь не отмечено значимого влияния способов обработки на урожайность зерна яровой пшеницы (рисунок 3).

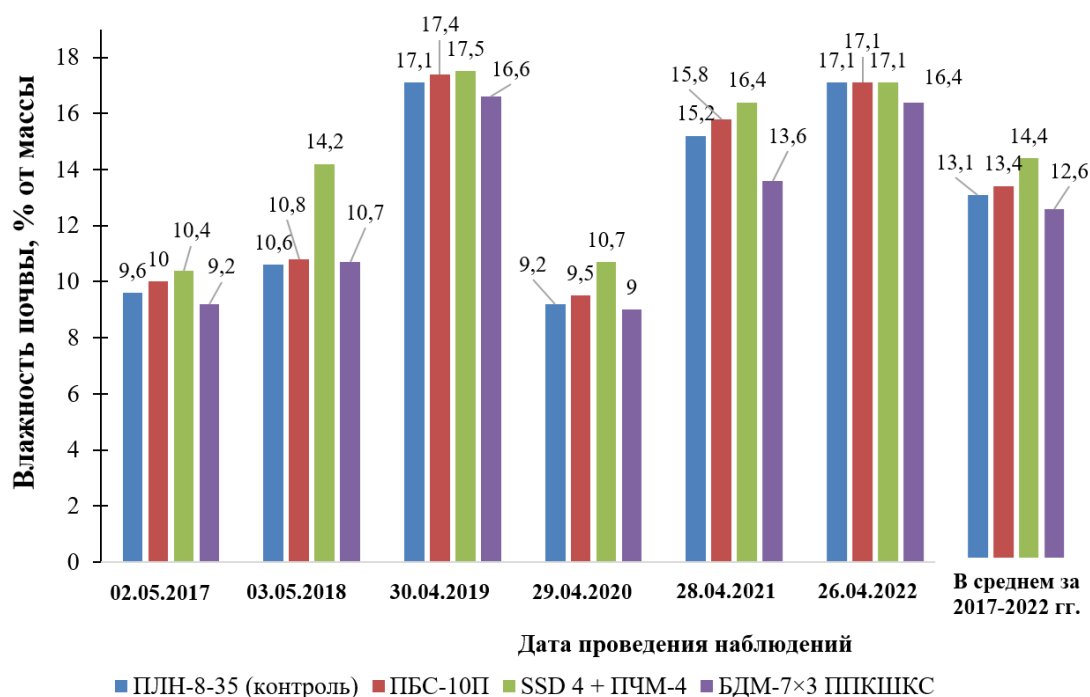


Рисунок 3 – Влажность почвы перед посевом яровой пшеницы в слое 50–100 см, % от массы абсолютно сухой почвы
Figure 3 – Soil moisture before spring wheat sowing in a layer of 50–100 cm, % of the oven-dry soil mass

В фазу кущения яровой пшеницы (в среднем за 2017–2022 гг.) оптимальная влажность почвы в верхнем полуметре почвы формировалась на контроле – 15,1 %, что больше варианта А₃ (БДМ 7×3 ППКШКС) на 0,9 %. В более глубоких слоях почвы максимальная влажность фиксировалась на варианте с глубоким безотвальным рыхлением (SSD-4, ПЧМ-4) – 13,4 % (рисунки 4, 5).

В результате полного корреляционного анализа получена высокая степень связи для зависимости урожайности зерна яровой пшеницы от влажности почвы в фазу кущения в слое 50–100 см с коэффициентом корреляции 0,74 и в горизонте 0–50 см с $r = 0,72$. Долевое влияние этих факторов на урожайность составило 15,6 и 14,8 %. Урожайность яровой пшеницы в значительной степени определяется развитием узловых корней, которые формируются при хорошем увлажнении почвы в фазу кущения [17, 18].

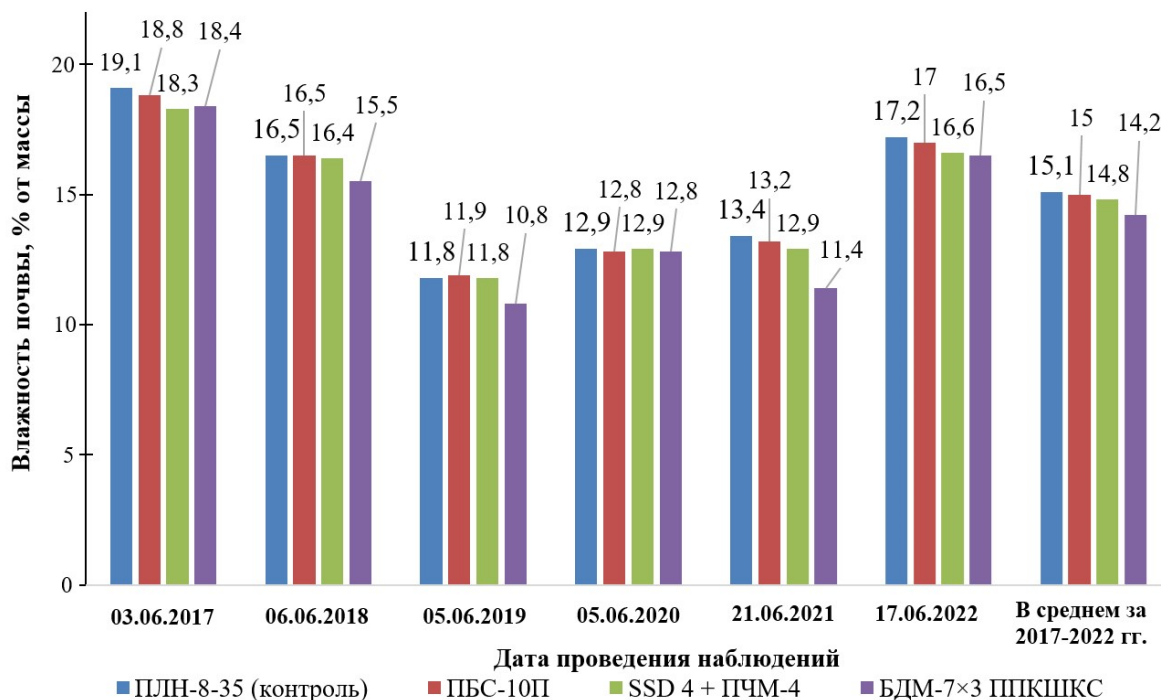


Рисунок 4 – Влажность почвы в фазу кушения яровой пшеницы в слое 0–50 см, % от массы абсолютно сухой почвы

Figure 4 – Soil moisture during the tillering phase of spring wheat in a layer of 0–50 cm, % of the oven-dry soil mass

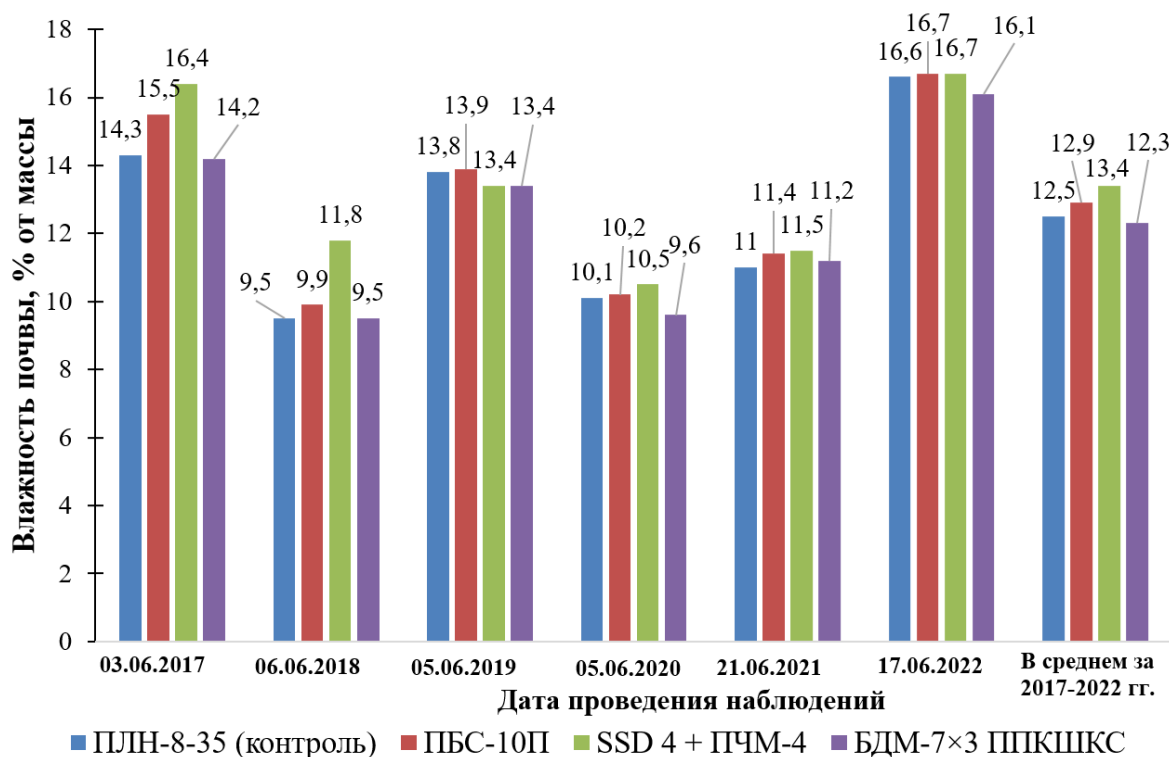


Рисунок 5 – Влажность почвы в фазу кушения яровой пшеницы в слое 50–100 см, % от массы абсолютно сухой почвы

Figure 5 – Soil moisture during the tillering phase of spring wheat in a layer of 50–100 cm, % of the oven-dry soil mass

Анализ урожайности зерна яровой пшеницы показывает, что максимальные значения формировались на контроле в 2017 г. (ГТК – 1,1) – 2,29 т/га и в 2022 г. (ГТК – 0,83) – 1,75 т/га (таблица 3).

Таблица 3 – Урожайность зерна яровой пшеницы по годам и способам основной обработки почвы

В т/га

Table 3 – Spring wheat grain yield by year and basic tillage methods

In t/ha

Год исследований	Сельхозорудие для обработки почвы				НСР ₀₅
	ПЛН-8-35, контроль	ПБС-10П	SSD-4, ПЧМ-4	БДМ 7×3	
2017	2,29	2,28	2,05	1,62	0,14
2018	0,54	0,55	0,58	0,49	0,04
2019	0,69	0,70	0,54	0,41	0,11
2020	0,49	0,50	0,44	0,36	0,06
2021	1,23	1,22	1,19	1,01	0,12
2022	1,75	1,71	1,63	1,38	0,11
2017–2022	1,17	1,16	1,07	0,88	0,10

Минимальная урожайность получена на варианте с дискованием на 10–12 см в острозасушливые годы: 2020 г. (ГТК – 0,20) – 0,36 т/га и 2019 г. (ГТК – 0,21) – 0,41 т/га.

В среднем за шесть лет максимальная урожайность яровой пшеницы сорта Альбидум 32 была получена на вариантах со вспашкой (ПБС-10П и ПЛН-8-35) – 1,16 и 1,17 т/га. Безотвальная обработка глубокорыхлителем SSD-4 и чизельным плугом ПЧМ-4 достоверно (НСР₀₅ = 0,10 т/га) снижала данный показатель на 0,1 т/га, или 8,5 %. Обработка темно-каштановой почвы дискатором на 10–12 см значительно уменьшала урожайность зерна яровой пшеницы (на 24,8 %).

Выводы. В Саратовском Заволжье наиболее значимое влияние на урожайность яровой пшеницы оказывают осадки периода вегетации (24,1 %) и ГТК (23,6 %). Температура воздуха определяла данный показатель только на 12,5 %.

Доля влияния на урожайность плотности сложения почвы слоя 10–30 см составила 2,9 %. Влажность почвы, которая формировалась после зимне-весенних осадков, не определяла значимо урожайность пшеницы. В фазу

кущения яровой пшеницы влажность почвы верхнего полуметрового слоя определяла урожайность на 14,8 %, а нижнего на 15,6 %.

Максимальная урожайность зерна яровой пшеницы формируется на вариантах со вспашкой (ПБС-10П и ПЛН-8-35) – 1,16 и 1,17 т/га. Безотвальная глубокая обработка значительно снижает урожайность на 0,1 т/га, или 8,5 %. Обработка темно-каштановой почвы дискатором на 10–12 см уменьшает урожайность зерна яровой пшеницы на 24,8 %.

Список источников

1. Гулянов Ю. А. Устойчивость агроценозов яровой пшеницы к современным климатическим изменениям в земледелии степной зоны Южного Урала // Таврический вестник аграрной науки. 2021. № 2(26). С. 62–73. DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-62-73. EDN: VJTQTW.
2. Формирование продуктивности и качества зерна яровой мягкой пшеницы в условиях муссонного климата / А. Г. Клыкков, О. А. Тимошинова, П. М. Богдан, И. В. Коновалова, Р. В. Тимошинов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 1. С. 46–48. DOI: 10.30850/vrsn/2020/1/46-48. EDN: ERHJL.
3. Коляда В. В. Влияние изменения климата на динамику урожайности зерновых культур в регионах Беларуси // Природопользование. 2023. № 1. С. 17–26. DOI: 10.47612/2079-3928-2023-1-17-26. EDN: QKQOAS.
4. Павлова В. Н., Каланка П., Караченкова А. А. Продуктивность зерновых культур на территории европейской России при изменении климата за последние десятилетия // Метеорология и гидрология. 2020. № 1. С. 78–94. EDN: OPLARE.
5. Агрофизические, водно-физические и погодные условия, определяющие урожайность зерна ячменя на темно-каштановой почве Заволжья / А. П. Солодовников, А. С. Линьков, С. А. Преймак, Н. В. Фисунов // Аграрный научный журнал. 2022. № 8. С. 29–32. DOI: 10.28983/asj.y2022i8pp29-32. EDN: NTOKFB.
6. Горянин О. И. Возделывание полевых культур в Среднем Заволжье: монография. Самара, 2018. 345 с. EDN: GCNKRN.
7. Изменение продуктивности яровой пшеницы в сухостепной зоне Заволжья под влиянием абиотических факторов / Е. П. Денисов, А. П. Солодовников, Ф. П. Четвериков, М. Н. Панасов // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. 2013. № 7. С. 23–26. EDN: QIYSAX.
8. Spring wheat response to tillage and nitrogen fertilization in rotation with sunflower and winter wheat / A. D. Halvorson, A. L. Black, J. M. Krupinsky, S. D. Merrill, B. J. Wienhold, D. L. Tanaka // Semigroup Forum. 2000. Vol. 92, № 1. P. 136–152. DOI: 10.1007/s100870050016.
9. Зависимость вегетационного периода и урожайности яровой пшеницы от срока посева в условиях изменяющегося климата / Ж. И. Лутченко, О. Ю. Соловьёв, Е. Н. Федоренко, И. А. Евсеенко // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2022. № 4-2(115). С. 96–105. DOI: 10.51452/kazatu.2022.4.1255. EDN: FJPEEG.
10. Агроэкологическая оценка применения некорневых подкормок на яровой пшенице в условиях меняющегося климата / И. В. Ляшков, К. Н. Бирюков, А. И. Грабовец, С. А. Коваленко // Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 3(43). С. 66–72. DOI: 10.24412/2309-348X-2022-3-66-72. EDN: HROZLQ.

11. Ivchenko V. K., Polosina V. A., Puchkova E. P. Influence of different soil tillage methods on the development of root rot in spring wheat // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2020. 52073. DOI: 10.1088/1755-1315/548/5/052073. EDN: CDIPN.

12. Зависимость плотности почвы как основного показателя плодородия от других агрофизических факторов / К. Е. Денисов, Е. П. Денисов, А. П. Солодовников, А. В. Летучий, И. С. Полетаев // Аграрный научный журнал. 2016. № 9. С. 27–30. EDN: WNFMJN.

13. Коржов С. И., Верзилин В. В., Трофимова Т. А. Биологическая активность черноземов: монография. Воронеж: Воронежский ГАУ, 2022. 307 с. EDN: CFWKUK.

14. Zudilin S., Kutilkin V., Shevchenko S. Optimization of soil tillage and fertilizer system in the cultivation of spring durum wheat // 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Conference Proceedings. 2019. P. 149–156. DOI: 10.5593/sgem2019V/6.3/S08.020. EDN: IUIKUU.

15. Гопчаров В. М. Агрофизика почвенного покрова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 6(116). С. 57–68. EDN: SERFDH.

16. Медведев И. Ф. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия и их роль в повышении плодородия черноземных почв // Основы рационального природопользования: сб. науч. работ. Саратов, 1999. С. 66–74.

17. Князев Б. М., Тхалиджанова О. С. Влияние сроков посева на соотношение подземных и надземных органов и урожайность яровой твердой пшеницы // Зерновое хозяйство. 2005. № 4. С. 23.

18. Корчагин В. А., Зудилин С. Н., Шевченко С. Н. Научные основы современных технологических комплексов возделывания яровой мягкой пшеницы в Среднем Заволжье. 2-е изд., перераб. и доп. Самара: Самарская гос. с.-х. акад., 2013. 323 с. EDN: RZIOEL.

References

1. Gulyanov Yu.A., 2021. *Ustoychivost' agrotsenozov yarovoy pshenitsy k sovremennym klimaticheskim izmeneniyam v zemledelii stepnoy zony Yuzhnogo Urala* [Spring wheat agrocenoses tolerance to modern climate changes in agriculture of the steppe zone of the Southern Urals]. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* [Tauride Bulletin of Agrarian Science], no. 2(26), pp. 62-73, DOI: 10.33952/2542-0720-2021-2-26-62-73, EDN: BJTQTW. (In Russian).

2. Klykov A.G., Timoshinova O.A., Bogdan P.M., Konovalova I.V., Timoshinov R.V., 2020. *Formirovanie produktivnosti i kachestva zerna yarovoy myagkoy pshenitsy v usloviyakh mussonnogo klimata* [Formation of productivity and grain quality of spring soft wheat in monsoon climate conditions]. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* [Bulletin of Russian Agricultural Science], no. 1, pp. 46-48, DOI: 10.30850/vrsn/2020/1/46-48, EDN: ERIHJI. (In Russian).

3. Kolyada V.V., 2023. *Vliyanie izmeneniya klimata na dinamiku urozhaynosti zernovykh kul'tur v regionakh Belarusi* [The impact of climate change on dynamics yield of grain crops in the regions of Belarus]. *Prirodopol'zovanie* [Nature Management], no. 1, pp. 17-26, DOI: 10.47612/2079-3928-2023-1-17-26, EDN: QQKOAS. (In Russian).

4. Pavlova V.N., Kalanka P., Karachenkova A.A., 2020. *Produktivnost' zernovykh kul'tur na territorii yevropeyskoy Rossii pri izmenenii klimata za poslednie desyatiletiya* [Grain crops productivity in the European part of Russia under recent climate change]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], no. 1, pp. 78-94, EDN: OPLARE. (In Russian).

5. Solodovnikov A.P., Linkov A.S., Preymak S.A., Fisunov N.V., 2022. *Agrofizicheskie, vodno-fizicheskie i pogodnye usloviya, opredelyayushchie urozhaynost' zerna yachmenya*

na temno-kashtanovoy pochve [Agrophysical, water and physical factors and weather conditions determining the yield of barley grain on dark chestnut soil of the Trans-Volga region]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [Agricultural Scientific Journal], no. 8, pp. 29-32, DOI: 10.28983/asj.y2022i8pp29-32, EDN: NTOKFB. (In Russian).

6. Goryanin O.I., 2018. *Vozdelyvanie polevykh kul'tur v Srednem Zavolzh'e: monografiya* [Field Crops Cultivation in the Middle Volga Region: monography]. Samara, 345 p., EDN: GCNKRN. (In Russian).

7. Denisov E.P., Solodovnikov A.P., Chetverikov F.P., Panasov M.N., 2013. *Izmenenie produktivnosti yarovoy pshenitsy v sukhostepnoy zone Zavolzh'ya pod vliyaniem abioticheskikh faktorov* [Changes in the productivity of spring wheat in the dry steppe zone of the Trans-Volga region under the influence of abiotic factors]. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N. I. Vavilova* [Bulletin of the Saratov State Vavilov Agrarian University], no. 7, pp. 23-26, EDN: QIYSAX. (In Russian).

8. Halvorson A.D., Black A.L., Krupinsky J.M., Merrill S.D., Wienhold B.J., Tanaka D.L., 2000. Spring wheat response to tillage and nitrogen fertilization in rotation with sunflower and winter wheat. *Semigroup Forum*, vol. 92, no. 1, pp. 136-152, DOI: 10.1007/s100870050016.

9. Lutchenko Zh.I., Solovyov O.Yu., Fedorenko E.N., Evseenko I.A., 2022. *Zavisimost' vegetatsionnogo perioda i urozhaynosti yarovoy pshenitsy ot sroka poseva v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata* [Dependence of the vegetation period and yield of spring wheat on the time of sowing in the conditions of a changing climate]. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seyfullina* [Science Bulletin of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical University], no. 4-2(115), pp. 96-105, DOI: 10.51452/kazatu.2022.4.1255, EDN: FJIPEG. (In Russian).

10. Lyashkov I.V., Biryukov K.N., Grabovets A.I., Kovalenko S.A., 2022. *Agroekologicheskaya otsenka primeneniya nekornevnykh podkormok na yarovoy pshenitse v usloviyakh menyayushchegosya klimata* [Agroecological assessment of the use of foliar fertilizers on spring wheat in a changing climate]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* [Legumes and Groat Crops], no. 3(43), pp. 66-72, DOI: 10.24412/2309-348X-2022-3-66-72, EDN: HROZLQ. (In Russian).

11. Ivchenko V.K., Polosina V.A., Puchkova E.P., 2020. Influence of different soil tillage methods on the development of root rot in spring wheat. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations, 52073, DOI: 10.1088/1755-1315/548/5/052073, EDN: CDIIPN.

12. Denisov K.E., Denisov E.P., Solodovnikov A.P., Letuchy A.V., Poletaev I.S., 2016. *Zavisimost' plotnosti pochvy kak osnovnogo pokazatelya plodorodiya ot drugikh agrofizicheskikh faktorov* [Dependence of soil density as the main indicator of fertility on other agrophysical soil factors]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* [The Agrarian Scientific Journal], no. 9, pp. 27-30, EDN: WNF MJN. (In Russian).

13. Korzhov S.I., Verzilin V.V., Trofimova T.A., 2022. *Biologicheskaya aktivnost' chernozemov: monografiya* [Biological Activity of Chernozems: monograph]. Voronezh, Voronezh State Agrarian University, 307 p., EDN: CFWKUK. (In Russian).

14. Zudilin S., Kutilkin V., Shevchenko S., 2019. Optimization of soil tillage and fertilizer system in the cultivation of spring durum wheat. *19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2019. Conference Proceedings*, pp. 149-156, DOI: 10.5593/sgem2019V/6.3/S08.020, EDN: IUIKUU.

15. Gopcharov V.M., 2014. *Agrofizika pochvennogo pokrova* [Agrophysics of soil cover]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai State Agrarian University], no. 6(116), pp. 57-68, EDN: SERFDH. (In Russian).

16. Medvedev I.F., 1999. *Adaptivno-landshaftnye sistemy zemledeliya i ikh rol' v povyshenii plodorodiya chernozemnykh pochv* [Adaptive landscape farming systems and their role in

increasing the fertility of chernozem soils]. *Osnovy ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: sb. nauch. rabot* [Fundamentals of Rational Environmental Management: Collection of Scientific Works]. Saratov, pp. 66-74. (In Russian).

17. Knyazev B.M., Thalidzhanova O.S., 2005. *Vliyanie srokov poseva na sootnoshenie podzemnykh i nadzemnykh organov i urozhaynost' yarovoy tverdoy pshenitsy* [Influence of sowing time on the ratio of underground and above-ground organs and the yield of spring durum wheat]. *Zernovoe khozyaystvo* [Grain Economy], no. 4, p. 23. (In Russian).

18. Korchagin V.A., Zudilin S.N., Shevchenko S.N., 2013. *Nauchnye osnovy sovremennykh tekhnologicheskikh kompleksov vozdeleyvaniya yarovoy myagkoy pshenitsy v Srednem Zavolzhye* [Scientific Basis of Modern Technological Complexes for the Cultivation of Spring Soft Wheat in the Middle Trans-Volga Region]. 2nd ed., rev. and add. Samara, Samara State Agricultural Acad., 323 p., EDN: RZIOEL. (In Russian).

Информация об авторах

А. П. Солодовников – профессор кафедры земледелия, мелиорации и агрохимии, доктор сельскохозяйственных наук, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация, solodovnikov-sgau@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7056-6198;

И. С. Полетаев – доцент кафедры земледелия, мелиорации и агрохимии, кандидат сельскохозяйственных наук, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация, poletaevilja@mail.ru, ORCID ID: 0009-0009-4901-6453;

Н. П. Молчанова – доцент кафедры земледелия, мелиорации и агрохимии, кандидат сельскохозяйственных наук, Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Российская Федерация, nadjawowa550@mail.ru, ORCID ID: 0009-0002-3692-9180.

Information about the authors

A. P. Solodovnikov – Professor of Department Agriculture, Land Reclamation and Agrochemistry, Doctor of Agricultural Sciences, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation, solodovnikov-sgau@yandex.ru, ORCID ID: 0000-0001-7056-6198;

I. S. Poletaev – Associate Professor of Department Agriculture, Land Reclamation and Agrochemistry, Candidate of Agricultural Sciences, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation, poletaevilja@mail.ru, ORCID ID: 0009-0009-4901-6453;

N. P. Molchanova – Associate Professor of Department Agriculture, Land Reclamation and Agrochemistry, Candidate of Agricultural Sciences, Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation, nadjawowa550@mail.ru, ORCID ID: 0009-0002-3692-9180.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

Статья поступила в редакцию 29.01.2024; одобрена после рецензирования 01.04.2024; принята к публикации 23.04.2024.

The article was submitted 29.01.2024; approved after reviewing 01.04.2024; accepted for publication 23.04.2024.