УДК 551.5:631.559:633.11(470.32)

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-99-104>

Краткий обзор/Brief review

**Лукьянов В.А.,
Прущик И.А.**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Курский федеральный аграрный научный центр», ул. Карла Маркса, 70Б, г. Курск, 305021, Российская Федерация
E-mail: lukyanov27@mail.ru

Ключевые слова: озимая пшеница, глобальное потепление, климатический риск, гидротермический коэффициент, запасы продуктивной влаги, агротехнологии

Для цитирования: Лукьянов В.А., Прущик И.А. Оценка степени влияния гидротермических условий на урожайность озимой пшеницы при разных агротехнологиях в зернопаропропашном севообороте. Аграрная наука. 2021; 353 (10): 99–104.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-99-104>**Конфликт интересов отсутствует****Vyacheslav A. Lukyanov,
Ivan A. Pruschik**

Federal Agricultural Kursk Research Center, Karla Marksast., 70B, Kursk, 305021, Russian Federation
E-mail: lukyanov27@mail.ru

Key words: winter wheat, global warming, climatic risk, hydrothermal coefficient, reserves of productive moisture, agricultural technologies

For citation: Lukyanov V.A., Pruschik I.A. Assessment of the influence of hydrothermal conditions on the yield of winter wheat under different agricultural technologies in the grain-fallow-row crop rotation. Agrarian Science. 2021; 353 (10): 99–104. (In Russ.)

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-353-10-99-104>**There is no conflict of interests**

Оценка влияния гидротермических условий на урожайность озимой пшеницы при разных агротехнологиях в зернопаропропашном севообороте

РЕЗЮМЕ

В статье рассматривается влияние гидротермических условий Курской области на урожайность зерна озимой пшеницы при разных агротехнологиях. Центрально-Черноземный регион отличается от других регионов России и за последние десятилетия в нем отмечено увеличение температуры, количество осадков превышает многолетние данные и их количество неравномерно распределяется по временам года. Сложившаяся ситуация создает определенный климатический риск потери урожая сельскохозяйственных культур. В период проведения исследований было установлено, что гидротермический режим неустойчив по годам и он в значительной степени определяет урожайность озимой пшеницы по разным видам агротехнологий, особенно в 2017–2018 гг. и 2018–2019 гг. В работе показано, что весенние запасы продуктивной влаги не оказали влияния на урожайность. Корреляционный анализ позволил оценить степень связи урожайности озимой пшеницы с гидротермическими факторами.

Assessment of the influence of hydrothermal conditions on the yield of winter wheat under different agricultural technologies in the grain-fallow-row crop rotation

ABSTRACT

The article considers the influence of hydrothermal conditions of the Kursk region on the yield of winter wheat grain under different agricultural technologies. The Central Chernozem region differs from other regions of Russia and over the past decades there has been an increase in temperature, the amount of precipitation exceeds long-term data and is unevenly distributed by seasons. The current situation creates a certain climatic risk of crop loss. During the research period, it was found that the hydrothermal regime is unstable over the years and it largely determines the yield of winter wheat for various types of agricultural technologies, especially in 2017–2018 and 2018–2019. The paper shows that the spring reserves of productive moisture did not affect the yield. The correlation analysis allowed us to assess the degree of correlation between the yield of winter wheat and hydrothermal factors.

Поступила: 22 сентября
После доработки: 30 сентября
Принята к публикации: 30 сентября

Received: 22 September
Revised: 30 September
Accepted: 30 September

Введение

Урожайность сельскохозяйственных культур зависит от агротехнологий и метеорологических условий, она нестабильна и сильно отличается по регионам России. Гидротермический режим является одним из важнейших показателей метеорологических условий, он оказывает определенное влияние на свойства почв, от которых в дальнейшем зависят запасы влаги, агрохимические показатели, микробиологическая активность, развитие сельскохозяйственных культур.

Климатический риск потери урожая сельскохозяйственных культур из-за неблагоприятных гидрометеорологических условий увеличивается [1–5]. В работе Pavlova V.N., Varcheva S.E. (2017) показано, что сильные наводнения или кратковременное повышение температуры воздуха, которые регистрировались один раз в 20 лет, сейчас наблюдаются каждые 4–6 лет в зависимости от особенностей сельскохозяйственных регионов России. Средний по России риск неурожая яровой и озимой пшеницы, рассчитанный с учетом посевных площадей, составляет 12,5 и 10,6% соответственно. Выявлено, что большая часть территорий Южного и Приволжского федеральных округов находится в зоне повышенного риска. Относительно невысокий процент риска потерь урожая яровой и озимой пшеницы регистрируется в Центральном федеральном округе (3,1–6,4%) [6, 7].

Гидротермический режим Центрально-Черноземного региона отличается от других регионов России и за последние десятилетия в нем отмечено увеличение температуры на 1,0–1,3 °C [8, 9]. Новикова Е.П. и др. (2017) сообщают, что среднегодовое количество осадков превышает многолетние данные и их количество неравномерно распределяется по временам года, при этом значительно сократилась зима, летний период изменился незначительно, количество весенних и осенних дней увеличилось почти на неделю за счет сокращения зимы [10].

Проблемы, связанные с неблагоприятными метеорологическими условиями, отрицательно влияя на гидротермический режим, поэтому возникает необходимость сохранения и накопления влаги в почве с помощью определенных видов агротехнологий — использования севооборота с лучшими предшественниками, прикатывания посевов, снижения количества обработок почвы и их глубины, мульчирования, а также с помощью водно-мелиоративных мероприятий [11–15].

В связи с вышеобозначенной проблемой изменения климата необходимость изучения гидротермического режима и разработки адаптивных агротехнологий возрастает, а на возникающие вопросы возможно ответить только путем проведения комплексных научных исследований, которые сформируют определенный объем новых знаний.

Цель исследования: определение влияния гидротермического режима на урожайность озимой пшеницы при разных агротехнологиях в Центрально-Черноземном регионе.

Методика

Исследования проводились в 2016–2020 гг. в стационарном научно-производственном опыте ФГБНУ «Курский ФАНЦ» (п. Панино, Курская область). Озимую пшеницу (сорт «Синтетик») высевали в количестве 5 млн шт./га в лучшие агротехнические сроки. Площадь делянки составляла 2700 м². Почвенный покров представлен черноземом типичным среднесуглинистым с содержанием (в слое 0–20 см) гумуса 5,8%, щелочно-гидро-

лизуемого азота 20,5 мг/100 г, подвижного фосфора 13,0 мг/100 г, обменного калия 12,0 мг/100 г почвы, pH — 5,6.

Влияние гидротермического режима оценивали в базовой и интенсивной технологии. Севооборот включал следующее чередование культур: пар (чистый/сидеральный) — озимая пшеница — сахарная свекла — гречиха — ячмень. Базовая технология включала посев озимой пшеницы по чистому пару, минеральные удобрения N₃₂P₃₉K₃₉ кг д.в./га, одну обработку гербицидами. Интенсивная технология включала посев по сидеральному пару, минеральные удобрения N₆₄P₇₈K₇₈ кг д.в./га, две обработки гербицидами.

Оценку условий увлажнения проводили с учетом гидротермического коэффициента (ГТК) Селянинова: ГТК < 0,4 — сухая; ГТК = 0,4–0,7 — очень засушливая; ГТК = 0,7–1,0 — засушливая; ГТК = 1,0–1,3 — слабо засушливая; ГТК = 1,3–1,6 — достаточно влажная; ГТК > 1,6 — избыточно влажная [16]. Содержание продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см и 0–100 см определяли термостатно-весовым методом. Оценку запасов продуктивной влаги в слое 0–20 см оценивали по следующей шкале: > 40 мм — запасы хорошие, 20–40 мм — удовлетворительные, < 20 мм — неудовлетворительные [17].

Фенологические наблюдения проводили по общепринятым в агрономии методикам. Учет урожая озимой пшеницы проводили прямой механизированной уборкой. Полученные экспериментальные данные были проанализированы с помощью методов по Б.А. Доспехову [18].

Результаты

Климат Курской области умеренно континентальный, полувлажный с продолжительным умеренно теплым летом и относительно мягкой зимой. Отличительной чертой климата Центрально-Черноземного региона является его непостоянство и значительная изменчивость по годам и сезонам, иногда встречаются засухи, длительность и повторяемость которых непредсказуема.

Температурный режим 2016–2020 гг. значительно отличался от ранее полученных многолетних данных (рис. 1, 2). Среднегодовая температура воздуха в 2016 г. составила 9,1 °C (выше многолетних данных на 3,7 °C), в 2017 г. она снизилась до 6,7 °C, в 2018 г. происходило увеличение температуры до 7,6 °C, в 2019 г. она продолжала увеличиваться до 8,4 °C и в 2020 г. среднегодовая температура достигла того же значения 9,1 °C, как и в 2016 г.

Рис. 1. Среднегодовая температура воздуха

Fig. 1. Average annual air temperature

Рис. 2. Суммы активных температур воздуха за период вегетации озимой пшеницы

Fig. 2. Sums of active air temperatures for the growing season of winter wheat

Суммы активных температур за полный период вегетации озимой пшеницы изменялись от 2522 до 2910 °C. Активные температуры — это все температуры выше 10 °C, которые приняты для сельскохозяйственных культур. Для других растений они могут быть 5 °C и др. Период учета — те месяцы, в которых среднесуточная температура более 10 °C, эти месяцы совпадают с периодом для расчета ГТК, а именно август, сентябрь, май, июнь, июль. В 2017 и 2020 гг. суммы активных температур были наименьшими, при этом урожайность зерна озимой пшеницы была в этот период максимальной — 5,76/6,98 т/га и 5,27/5,94 т/га по агротехнологиям соответственно. В связи с этим можно полагать, что повышенные температуры способствовали снижению урожайности зерна озимой пшеницы в 2016, 2018 и 2019 гг.

Количество осадков отличалось от многолетних данных, за период исследований отмечена их относительно резкая динамика, что отразилось на урожайности зерна озимой пшеницы (рис. 3, 4). Общее годовое количество осадков изменялось от 463 до 772 мм, количество осадков в период активных температур — от 192 до 386 мм. Стоит отметить, что общее количество осадков по годам исследований не совпадало с динамикой осадков в период активных температур. Например, в 2015–2016 гг. количество осадков было максимальным и составило 772 мм, в то время как в период активных температур их максимальное количество 386 мм наблюдалось в 2017–2018 гг.

Рассмотрим, как изменялась урожайность зерна озимой пшеницы в зависимости от выпавших осадков за из-

Рис. 4. Количество осадков в период активных температур

Fig. 4. The amount of precipitation during the period of active temperatures

Рис. 3. Общее количество осадков за годы исследований

Fig. 3. Total precipitation over the years of research

Таблица 1. Гидротермический режим вегетационного периода озимой пшеницы

Table 1. Hydrothermal regime of the growing season of winter wheat

Годы исследований	Фаза развития	ГТК
2015–2016 гг.		1,28
Август	посев	0,05
Сентябрь	всходы	1,74
Май	колошение	1,77
Июнь	цветение	1,59
Июль	созревание	1,52
2016–2017 гг.		1,53
Август	посев	2,36
Сентябрь	всходы	0,38
Май	колошение	0,97
Июнь	цветение	1,66
Июль	созревание	1,62
2017–2018 гг.		1,03
Август	посев	0,41
Сентябрь	всходы	0,44
Май	колошение	0,80
Июнь	цветение	0,43
Июль	созревание	2,80
2018–2019 гг.		0,66
Август	посев	0,04
Сентябрь	всходы	0,68
Май	колошение	1,43
Июнь	цветение	0,48
Июль	созревание	0,87
2019–2020 гг.		1,29
Август	посев	0,47
Сентябрь	всходы	0,91
Май	колошение	2,70
Июнь	цветение	1,17
Июль	созревание	1,62

Рис. 5. Запасы весенней продуктивной влаги по вариантам исследований**Fig. 5.** Reserves of spring productive moisture by research options

учаемый период исследований. Согласно полученным данным, максимальная урожайность ее зерна была получена в 2017 и 2020 гг. — 5,76/6,98 т/га и 5,27/5,94 т/га по агротехнологиям соответственно. Количество осадков в периоды активных температур по указанным годам было наиболее высоким и составило 386 и 342 мм. Снижение количества осадков в периоды 2017–2018 гг. и 2018–2019 гг. до 291 и 192 мм отрицательно сказалось на урожайности озимой пшеницы, которая составила 3,04/3,65 и 3,46/3,64 т/га по применяемым агротехнологиям.

Анализ температурного режима и количество осадков в период проведения исследований показал, что гидротермический режим отличался по годам исследований, что позволило изучить его влияние на урожайность зерна озимой пшеницы (табл. 1).

Период исследований 2016–2020 гг. можно характеризовать как слабо засушливый, кроме 2018–2019 гг. Рассмотрим полный период вегетации озимой пшеницы: ГТК по сельскохозяйственным годам составил соответственно — 1,28 (2015–2016 гг.), 1,53 (2016–2017 гг.), 1,03 (2017–2018 гг.), 0,66 (2018–2019 гг.) и 1,29 (2019–2020 гг.). В период 2017–2018 гг., уровень влагообеспеченности соответствовал слабо засушливым условиям, а в 2018–2019 гг. количество осадков было еще меньше, при этом ГТК снизился до 0,66 и данный период вегетации характеризовался как очень засушливый.

Для более полного понимания динамики активных температур и количества осадков нами был рассчитан гидротермический коэффициент и по отдельным месяцам в сравнении с фенологическими фазами развития озимой пшеницы. Чтобы определить оптимальный уровень гидротермического режима в период исследований, мы выбрали наилучший год по урожайности зерна озимой пшеницы и рассмотрели динамику ГТК по месяцам. Максимальная урожайность зерна озимой пшеницы была получена в 2016–2017 гг., где при базовой технологии она составила 5,76 т/га, а при интенсивной — 6,98 т/га.

Установлено, что в период посева в 2015 г. отмечено незначительно количество осадков (ГТК = 0,05), но уже в сентябре ГТК составил 1,74. В 2016 году он увеличивается до 1,77 в мае, до 1,59 — в июне и до 1,52 — в июле соответственно.

В период 2016–2017 гг. гидротермические условия были достаточно влажные (ГТК = 1,53): в период посева (август 2016) отмечено избыточное увлажнение (ГТК = 2,36), в следующем месяце осадков выпадает не много

Рис. 6. Урожайность зерна озимой пшеницы при разных агротехнологиях**Fig. 6.** Winter wheat grain yield under different agricultural technologies

(ГТК = 0,38) и далее до мая 2017 г. активных температур не наблюдается. С мая по июль 2017 г. ГТК изменяется с 0,97 до 1,66 соответственно, что позволяет судить о приемлемом увлажнении для получения высокой урожайности озимой пшеницы по различным технологиям ее выращивания.

В августе 2017 г. ГТК составил 0,41, в сентябре — 0,44. В мае следующего года ГТК увеличивается до 0,80, в июне снижается до 0,43 и только в июле, в период окончания формирования урожая озимой пшеницы, ГТК увеличивается до 2,80.

В августе и сентябре 2018 г. наблюдалось низкое количество осадков, а условия влагообеспеченности в текущие месяцы были неудовлетворительные (ГТК = 0,04) и засушливые (ГТК = 0,68). В мае 2019 г. количество влаги увеличилось (ГТК = 1,43), а в июне (ГТК = 0,48) и июле (ГТК = 0,87) наблюдались неудовлетворительные гидротермические условия для развития озимой пшеницы.

Период 2019–2020 гг. характеризовался оптимальным гидротермическим режимом от посева до уборки озимой пшеницы, но ее урожайность была ниже по сравнению с 2016–2017 гг. В августе 2019 г. (в период посева озимой пшеницы) ГТК составил 0,47, в сентябре — 0,91. В весенне-летний период 2020 г. количество осадков было больше, чем в предыдущем году (91% по сравнению с многолетними данными), и с мая по июль ГТК изменяется от 2,70 до 1,17 и 1,62 соответственно, что позволяет судить о достаточном увлажнении.

Количество осадков не всегда совпадает с их требуемым количеством в важные фазы развития озимой пшеницы, поэтому мы определили запасы весенней продуктивной влаги и затем установили влияние ее количества на урожайность зерна (рис. 5).

Согласно полученным результатам, запасы весенней продуктивной влаги по годам исследований в слое 0–20 см были хорошими (> 40 мм). При базовой технологии количество продуктивной влаги изменялось по годам от 50,5 до 75,2 мм, в варианте с интенсивной технологией — от 61,3 до 83,2 мм. Наибольшие запасы продуктивной влаги отмечены в 2019 году по обоим агротехнологиям, когда урожайность озимой пшеницы была низкая, а гидротермические условия — неудовлетворительные. Это позволяет судить о том, что запасы весенней продуктивной влаги не оказывают значительного влияния на урожайность озимой пшеницы.

Нестабильный гидротермический режим в условиях 2016–2020 гг. оказал значительное влияние на урожай-

ность зерна озимой пшеницы, особенно в 2017–2018 гг. и 2018–2019 гг. (рис. 6).

Урожайность озимой пшеницы значительно отличалась как по вариантам исследований, так и по годам исследований. В 2016 г. урожайность составила 3,74 т/га при базовой технологии и 4,33 т/га — при интенсивной. В 2017 г. отмечена максимальная урожайность за весь период исследований, которая составила 5,76 и 6,98 т/га по вариантам исследований. В следующем 2018 г. отмечено резкое снижение урожая до 3,04 и 3,65 т/га, что связано с гидротермическим режимом этого года. В 2019 г. тенденция невысокой урожайности зерна озимой пшеницы продолжается с 2018 г., урожайность незначительно увеличилась до 3,46 и 3,64 т/га при базовой и интенсивной технологиях. Гидротермический режим 2020 г., аналогично 2016 и 2017 гг., соответствует слабо засушливым условиям и в этот год наблюдается средняя урожайность зерна — 5,27 т/га при базовой и 5,94 т/га при интенсивной агротехнологиях.

Согласно полученным результатам, урожайность зерна озимой пшеницы при базовой технологии варьировала от 3,46 до 5,76 т/га, а при интенсивной — от 3,64 до 6,98 т/га, при этом средняя многолетняя урожайность озимой пшеницы при интенсивной технологии (4,91 т/га) была выше на 0,66 т/га, или на 13,44%, чем при базовой технологии (4,25 т/га). С помощью дисперсионного анализа были выявлены существенные различия (кроме 2019 года) между базовой и интенсивной технологиями — $HC_{05} = 0,46$.

Изменчивость метеорологических условий за период проведения исследований позволила установить корреляционную зависимость между гидротермическими факторами и урожайностью озимой пшеницы (табл. 2).

Корреляционная зависимость между урожайностью озимой пшеницы и среднегодовой температурой имела обратную слабую связь при базовой технологии и среднюю связь при интенсивной технологии. При сравнении количества осадков за весь период вегетации, а также в осенний и весенне-летний периоды вегетации (соответствующие периоду активных температур), было установлено следующее: сильная корреляция с урожайностью наблюдается в осенний период вегетации, слабая — в весенне-летний период и средняя — за весь период вегетации озимой пшеницы как при базовой, так и при интенсивной технологиях.

Самое сильное влияние на урожайность зерна озимой пшеницы оказала сумма активных температур, где коэффициент корреляции составил $-0,95$ и $-0,99$ со-

Таблица 2. Влияние гидротермических факторов на урожайность озимой пшеницы

Table 2. Influence of hydrothermal factors on winter wheat yield

Гидротермический фактор	Коэффициент корреляции (r)		Коэффициент детерминации (R^2)	
	базовая	интенсивная	базовая	интенсивная
Среднегодовая температура	$-0,25$	$-0,36$	$-0,06$	$-0,13$
Сумма активных температур	$-0,95$	$-0,99$	$-0,90$	$-0,98$
Сумма осадков за осенний период вегетации	$0,76$	$0,83$	$0,58$	$0,69$
Сумма осадков за весенне-летний период вегетации	$0,21$	$0,26$	$0,04$	$0,07$
Сумма осадков за весь период вегетации	$0,65$	$0,73$	$0,42$	$0,53$
Гидротермический коэффициент	$0,75$	$0,83$	$0,56$	$0,69$
Запасы продуктивной влаги	$-0,63$	$-0,23$	$-0,40$	$-0,05$

ответственно. Гидротермический коэффициент имел сильную степень связи с урожайностью как при базовой технологии ($r = 0,75$), так и при интенсивной ($r = 0,83$). Запасы продуктивной влаги имели среднюю степень связи с урожайностью при базовой ($r = -0,63$) и слабую — при интенсивной технологиях ($r = -0,23$).

Выводы

1. Гидротермический режим оказал значительное влияние на урожайность зерна озимой пшеницы по обоим агротехнологиям, особенно в 2017–2018 гг. и 2018–2019 гг., в условиях которых она снижалась до 3,46 и 3,64 т/га. Средняя многолетняя урожайность озимой пшеницы при интенсивной технологии (4,91 т/га) была выше на 0,66 т/га, или на 13,44%, чем при базовой технологии (4,25 т/га).

2. Показано, что запасы весенней продуктивной влаги за весь период исследований в слое 0–20 см были хорошими (> 40 мм). Наибольшие запасы продуктивной влаги отмечены в 2019 году по обоим агротехнологиям, когда урожайность озимой пшеницы была низкая, а гидротермические условия неудовлетворительные. Это позволяет судить о том, что весенняя продуктивная влага не оказывает значительного влияния на урожайность зерна озимой пшеницы и более информативным показателем является гидротермический режим каждого месяца вегетации озимой пшеницы в периоды активных температур.

3. Корреляционный анализ позволил определить степень влияния гидротермических факторов на урожайность озимой пшеницы, при котором сильная связь наблюдается с суммой активных температур, суммой осадков за осенний период и гидротермическим коэффициентом.

Работа подготовлена по теме государственного задания № 0632–2019–0015.

ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

1. Сайдак Р.В., Дасько М.О. Гидротермический режим осушаемых почв в условиях климатических изменений. *Агроэкологичний журнал*. 2015;(4): 70–76. [Saidak R.V., Dats'ko M.O. Hydrothermal regime of drained soils under conditions of climate change // *Agroekologichnyi zhurnal*. 2015;(4): 70–76. (In Russ.).]
2. Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Farahani E., Kader S., Seyboth K., Adler A., Baum I., Brunner S., Eickemeier P., Kriemann B., Savolainen J., Schlömer S., Stechow von C., Zwickel T., Minx J.C. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. NY: Cambridge University Press. 2014. 1435 p.
3. Akhtar K., Wang W., Ahmad K., Ren G., Afridi M.Z., Feng

Y., Yang G. Wheat straw mulching offset soil moisture deficient for improving physiological and growth performance of summer sown soybean. *Agricultural Water Management*. 2019;(211): 16–25.

4. Hu Z., A.R.M.T. I., Chen S., Hu B., Shen S., Wu Y., Wang Y. Effects of warming and reduced precipitation on soil respiration and N₂O fluxes from winter wheat-soybean cropping systems. *Geoderma*. 2019;(337): 956–964.

5. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменении климата и их последствиях на территории Российской Федерации. *Росгидромет*. 2014. 60 с. [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. *Rosgidromet*, 2014. 60 p. (In Russ.).]

6. 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): 78–94. [Pavlova V.N., Kalanka P., Karachenkova A.A. Productivity of grain crops in the territory of European Russia under climate change in recent decades. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2020;(1): 78–94. (In Russ.)].
7. Pavlova V.N., Varcheva S.E. Estimating the level of territory vulnerability and climate-related risk of significant grain crop failure in grain-producing regions of Russia. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2017;42(8): 510–517.
8. Rai V., Pramanika P., Das T.K., Aggarwal P., Bhattachary R., Krishnan P., Sehgal V.K. Modelling soil hydrothermal regimes in pigeon pea under conservation agriculture using Hydrus-2D. *Soil and Tillage Research*. 2019;(190): 92–108.
9. Yang K., Wang C. Water storage effect of soil freeze-thaw process and its impacts on soil hydro-thermal regime variations. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019;(265): 280–294.
10. Новикова Е.П., Григорьев Г.Н., Вагурин И.Ю., Чумейкина А.С. Вариации гидротермического режима в Черноземье за последние 30 лет на фоне глобального изменения климата. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2017;(11): 105–113. [Novikova E.P., Grigor'ev G.N., Vagurin I.Yu., Chumeikina A.S. Variations of the hydrothermal regime in the Chernozem region over the past 30 years against the background of global climate change. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2017;(11): 105–113. (In Russ.)].
11. Беховых Ю.В. Влияние прикатывания и мульчирования поверхностного слоя почвы на гидротермический режим чернозема выщелоченного. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018;(7): 35–41. [Bekhovych Yu.V. Influence of rolling and mulching of the surface layer of soil on the hydrothermal regime of leached chernozem. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;(7): 35–41. (In Russ.)].
12. Богомазов С.В., Гришин Г.Е., Тихонов Н.Н., Кочмин А.Г. Роль агротехнических приемов и абиотических факторов в формировании урожайности озимой пшеницы. *Нива Поволжья*. 2015;(2): 2–8. [Bogomazov S.V., Grishin G.E., Tikhonov N.N., Kochmin A.G. The role of agrotechnical techniques and abiotic factors in the formation of winter wheat yield. *Niva Povolzh'ya*. 2015;(2): 2–8. (In Russ.)].
13. Турусов В.И., Богатых О.А., Дронова Н.В., Балюнова Е.А. Влияние погодных условий и предшественников озимой пшеницы на показатели влагообеспеченности почвы. *Достижения науки и техники АПК*. 2019;33(6): 10–12. [Turusov V.I., Bogatykh O.A., Dronova N.V., Balyunova E.A. Influence of weather conditions and winter wheat precursors on soil moisture availability indicators. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019;33(6): 10–12. (In Russ.)].
14. Бабенко А.И., Странишевська Е.П. Влияние гидротермических условий на видовой состав сорняков в посевах подсолнечника. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2019;(6): 12. [Babenko A.I., Stranishevs'ka E.P. Influence of hydrothermal conditions on the species composition of weeds in sunflower crops. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukraini*. 2019;(6): 12. (In Russ.)].
15. Zhang X., Kamran M., Xue X., Zhao J., Cai T., Jia Z., Zhang P., Han Q. Ridge-furrow mulching system drives the efficient utilization of key production resources and the improvement of maize productivity in the Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*. 2019;(190): 10–21.
16. Лосев А.П., Журина Л.Л. Агрометеорология. М.: Колос. 2001. 368 с. [Losev A.P., Zhurina L.L. *Agrometeorologiya*. M.: Kolos. 2001. 368 p. (In Russ.)].
17. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат. 1986. 416 с. [Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Methods for studying the physical properties of soils*. M.: Agropromizdat, 1986. 416 p. (In Russ.)].
18. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. [Dospikhov B. A. *Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results)*. M.: Agropromizdat, 1985. 351 p. (In Russ.)].
- Литература/References
19. Сайдак Р.В., Дацько М.О. Гидротермический режим осушаемых почв в условиях климатических изменений. *Агро-екологічний журнал*. 2015;(4): 70–76. [Saidak R.V., Dats'ko M.O. Hydrothermal regime of drained soils under conditions of climate change // *Agroekologichnyi zhurnal*. 2015;(4): 70–76. (In Russ.)].
20. Edenhofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Farahani E., Kadner S., Seyboth K., Adler A., Baum I., Brunner S., Eickemeier P., Kriemann B., Savolainen J., Schlömer S., Stechow von C., Zwickel T., Minx J.C. *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. NY: Cambridge University Press. 2014. 1435 p.
21. Akhtar K., Wang W., Ahmad K., Ren G., Afridi M.Z., Feng Y., Yang G. Wheat straw mulching offset soil moisture deficient for

improving physiological and growth performance of summer sown soybean. *Agricultural Water Management*. 2019;(211): 16–25.

22. Hu Z., A.R.M.T. I., Chen S., Hu B., Shen S., Wu Y., Wang Y. Effects of warming and reduced precipitation on soil respiration and N2O fluxes from winter wheat-soybean cropping systems. *Geoderma*. 2019;(337): 956–964.

23. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. *Росгидромет*. 2014. 60 с. [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. *Rosgidromet*, 2014. 60 p. (In Russ.)].

24. 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): 78–94. [Pavlova V.N., Kalanka P., Karachenkova A.A. Productivity of grain crops in the territory of European Russia under climate change in recent decades. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2020;(1): 78–94. (In Russ.)].

25. Pavlova V.N., Varcheva S.E. Estimating the level of territory vulnerability and climate-related risk of significant grain crop failure in grain-producing regions of Russia. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2017;42(8): 510–517.

26. Rai V., Pramanika P., Das T.K., Aggarwal P., Bhattachary R., Krishnan P., Sehgal V.K. Modelling soil hydrothermal regimes in pigeon pea under conservation agriculture using Hydrus-2D. *Soil and Tillage Research*. 2019;(190): 92–108.

27. Yang K., Wang C. Water storage effect of soil freeze-thaw process and its impacts on soil hydro-thermal regime variations. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2019;(265): 280–294.

28. Новикова Е.П., Григорьев Г.Н., Вагурин И.Ю., Чумейкина А.С. Вариации гидротермического режима в Черноземье за последние 30 лет на фоне глобального изменения климата. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки*. 2017;(11): 105–113. [Novikova E.P., Grigor'ev G.N., Vagurin I.Yu., Chumeikina A.S. Variations of the hydrothermal regime in the Chernozem region over the past 30 years against the background of global climate change. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*. 2017;(11): 105–113. (In Russ.)].

29. Беховых Ю.В. Влияние прикатывания и мульчирования поверхностного слоя почвы на гидротермический режим чернозема выщелоченного. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2018;(7): 35–41. [Bekhovych Yu.V. Influence of rolling and mulching of the surface layer of soil on the hydrothermal regime of leached chernozem. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;(7): 35–41. (In Russ.)].

30. Богомазов С.В., Гришин Г.Е., Тихонов Н.Н., Кочмин А.Г. Роль агротехнических приемов и абиотических факторов в формировании урожайности озимой пшеницы. *Нива Поволжья*. 2015;(2): 2–8. [Bogomazov S.V., Grishin G.E., Tikhonov N.N., Kochmin A.G. The role of agrotechnical techniques and abiotic factors in the formation of winter wheat yield. *Niva Povolzh'ya*. 2015;(2): 2–8. (In Russ.)].

31. Турусов В.И., Богатых О.А., Дронова Н.В., Балюнова Е.А. Влияние погодных условий и предшественников озимой пшеницы на показатели влагообеспеченности почвы. *Достижения науки и техники АПК*. 2019;33(6): 10–12. [Turusov V.I., Bogatykh O.A., Dronova N.V., Balyunova E.A. Influence of weather conditions and winter wheat precursors on soil moisture availability indicators. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019;33(6): 10–12. (In Russ.)].

32. Бабенко А.И., Странишевська Е.П. Влияние гидротермических условий на видовой состав сорняков в посевах подсолнечника. *Наукові доповіді НУБіП України*. 2019;(6): 12. [Babenko A.I., Stranishevs'ka E.P. Influence of hydrothermal conditions on the species composition of weeds in sunflower crops. *Naukovi dopovidi NUBiP Ukraini*. 2019;(6): 12. (In Russ.)].

33. Zhang X., Kamran M., Xue X., Zhao J., Cai T., Jia Z., Zhang P., Han Q. Ridge-furrow mulching system drives the efficient utilization of key production resources and the improvement of maize productivity in the Loess Plateau of China. *Soil and Tillage Research*. 2019;(190): 10–21.

34. Лосев А.П., Журина Л.Л. Агрометеорология. М.: Колос. 2001. 368 с. [Losev A.P., Zhurina L.L. *Agrometeorologiya*. M.: Kolos. 2001. 368 p. (In Russ.)].

35. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат. 1986. 416 с. [Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Methods for studying the physical properties of soils*. M.: Agropromizdat, 1986. 416 p. (In Russ.)].

36. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с. [Dospikhov B. A. *Methods of field research (with the basics of statistical processing of research results)*. M.: Agropromizdat, 1985. 351 p. (In Russ.)].

ОБ АВТОРАХ:

Лукьянов Вячеслав Анатольевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник
Прущик Иван Алексеевич, младший научный сотрудник

ABOUT THE AUTHORS:

Vyacheslav A. Lukyanov, Candidate of Biological Sciences, Researcher
Ivan A. Prusichik, Junior Researcher