



Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области

© 2021. И. В. Лыскова¹✉, О. Э. Суховеева², Т. В. Лыскова¹

¹ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

²ФГБУН Институт географии Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

На основе многолетних метеорологических данных и результатов исследований в длительном стационарном опыте за 1971-2020 гг. проведен ретроспективный анализ изменения температуры воздуха и количества осадков в восточном районе центральной климатической зоны Кировской области и оценено их влияние на динамику урожайности яровых зерновых культур. Установлено, что среднегодовая температура воздуха за период исследований была равна $2,4 \pm 1,0$ °C. При этом наблюдался ее устойчивый положительный тренд со скоростью $0,39$ °C/10 лет. Два десятилетия с 2001 по 2020 г. отмечены как самые теплые за 50 лет с температурой воздуха выше климатической нормы на $0,7...2,6$ °C. Гидротермический коэффициент Селянинова ($0,7...2,1$) свидетельствует о контрастных условиях увлажнения вегетационных периодов в годы исследований – от засушливых до избыточно увлажненных. В длительном опыте урожайность яровых зерновых культур возрастала в ряду пшеница – ячмень – овес: $2,17 \pm 0,86$, $3,04 \pm 0,61$, $3,39 \pm 0,65$ т/га соответственно. Отмечены сильные корреляции между средней урожайностью яровой пшеницы и погодными условиями в июне: обратная с температурой воздуха ($r_p = -0,735$) и прямая с количеством осадков ($r_p = 0,686$). Установлено, что применение фосфорных удобрений (и их последствие) в комплексе с азотно-калийными ослабляло влияние погодных условий на продуктивность яровой пшеницы: коэффициенты детерминации (R^2), отражающие долю вариальности урожайности от погодных условий, составили $0,59-0,73$ в варианте без удобрений и снизились до $0,50-0,56$ при внесении NP_3K .

Ключевые слова: полевой опыт, дерново-подзолистая почва, минеральные удобрения, урожайность, пшеница, ячмень, овес, теплообеспеченность, влагообеспеченность, климатические изменения

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0767-2019-0100) и Государственного задания Института географии РАН (тема № 0148-2019-0009).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лыскова И. В. Суховеева О. Э., Лыскова Т. В. Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;22(2):244-253. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253>

Поступила: 19.01.2021

Принята к публикации: 29.03.2021

Опубликована онлайн: 19.04.2021

The influence of local climate change on the productivity of spring cereals in the Kirov region

© 2021. Irina V. Lyskova¹✉, Olga E. Sukhoveeva², Tatiana V. Lyskova¹

¹Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

²Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

On the basis of long-term meteorological data and research results in a long-term stationary experiment of 1971-2020 a retrospective analysis of changes in air temperature and precipitation in the eastern region of the central climatic zone of the Kirov region was carried out and the influence of these characteristics on the dynamics of the yield of spring cereals was estimated. It has been established that the average annual air temperature during the research period was 2.4 ± 1.0 °C. At the same time, its stable positive trend was observed at the rate of 0.39 °C/10 years. Two decades from 2001 to 2020 were recorded as the warmest for 50 years, when the temperature was $0.7...2.6$ °C above climate normal. Selyaninov hydrothermal coefficient ($0.7...2.1$) testifies to the contrasting conditions of humidification of the vegetation periods during the research years – from drought to excessively humidified. In a long-term experiment, the yield of spring cereals increased in the row wheat – barley – oats: 2.17 ± 0.86 , 3.04 ± 0.61 , 3.39 ± 0.65 t/ha, respectively. Strong correlations were marked between the average yield (spring wheat) and weather conditions in June: reverse with air temperature ($r_p = -0.735$) and direct with the amount of precipitation ($r_p = 0.686$). It has been established that the use of phosphorus fertilizers (and their aftereffect) in combination with nitrogen-potassium fertilizers weakened the influence of weather conditions on the productivity of spring wheat: the determination coefficients (R^2), which reflect the portion of variability due to weather conditions, were $0.59-0.73$ for the variant without fertilizers and decreased to $0.50-0.56$ when applying NP_3K .

Keywords: field experiment, sod-podzolic soil, mineral fertilizers, productivity, wheat, barley, oats, heat availability, moisture availability, climate change

Acknowledgment: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. 0767-2019-0100) and the state assignment of Institute of Geography RAS (theme No. 0148-2019-0009).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citation: Lyskova I. V., Sukhoveeva O. E., Lyskova T. V. The influence of local climate change on the productivity of spring cereals in the Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22 (2):244-253. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253>

Received: 19.01.2021

Accepted for publication: 29.03.2021

Published online: 19.04.2021

По мнению большинства ученых, влияние глобального изменения климата на окружающую среду – одна из серьезнейших проблем современности¹ [1, 2]. Особенно она актуальна в России, поскольку за 1976-2019 гг. скорость роста среднегодовой температуры воздуха (0,47 °C/10 лет) на ее территории была в 2,5 раза больше скорости роста глобальной температуры (0,17-0,18 °C/10 лет) и более чем в 1,5 раза выше средней скорости потепления приземного воздуха над сушей Земного шара (0,28-0,29 °C/10 лет). Количество осадков в России также увеличивается (2,2 % нормы за 10 лет), главным образом за счет осадков весеннего сезона (5,7 % нормы за 10 лет) [3].

Особенно остро вопрос потепления стоит для сельского хозяйства как одной из климатозависимых отраслей экономики. Описанные изменения приводят к снижению урожайности полевых культур, а это, в свою очередь, ставит под угрозу долгосрочную продовольственную безопасность [4]. Более того, климат влияет на все компоненты растениеводства – не только на продуктивность культур, но и на их площади (посева и уборки) и интенсивность возделывания (число культур, возделываемых в течение года) [5].

С другой стороны, сельское хозяйство находится под непосредственным влиянием антропологических факторов в виде механизации, химизации, селекции, развитие которых позволяет не только наращивать агротехнический потенциал, но и противостоять неблагоприятным погодным условиям.

Решить проблему количественной оценки указанных воздействий помогают длительные опыты, позволяющие накопить достаточные для статистической оценки ряды данных и

отражающие влияние внешних условий на исследуемые показатели². Ярким примером такого полевого эксперимента служит расположенный в Кировской области длительный стационарный опыт лаборатории агрохимии и качества зерна Фалёнской селекционной станции (филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока), продолжительность которого превышает 40 лет.

Кировская область расположена в восточной части Европейской России между 61° и 56° северной широты. На ее территории выделены 3 агроклиматические зоны, отличающиеся по природным и климатическим факторам: северная, центральная и южная. В свою очередь центральная агроклиматическая зона поделена на восточный и западный районы³. Область находится в зоне рискованного земледелия, и роль климата для регионального сельского хозяйства является определяющей. Исторически сложившаяся ориентация на молочно-мясное скотоводство обуславливает развитие растениеводства в направлении кормопроизводства [6]. Удельный вес посевных площадей в области составляет всего 1 % от общих посевных площадей РФ. При этом ячмень занимает 11,4 % от общей площади пашни, яровая пшеница – 9 %, овёс – 5,5 % при средней урожайности⁴ за 2010-2019 гг. 2,05 т/га, 1,68, 2,01 т/га соответственно.

В Кировской области среди пахотных земель преобладают дерново-подзолистые почвы (82,3 % площади пашни), из которых около 75 % площади пашни – это кислые [7, 8]. Применение удобрений является необходимым условием получения высокой урожайности на дерново-подзолистых почвах с низким естественным плодородием. Эффективность средств химизации тесно связана с погодными условиями.

¹Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. М., 2020. 97 с. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.meteorf.ru/press/news/20626/> (дата обращения 30.09.2020).

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М: Альянс, 2011. 350 с.

³Агроклиматический справочник по Кировской области. Л.: ГИМИЗ, 1960. 192 с.

⁴Единая межведомственная информационно-статистическая система. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/31533> (дата обращения 03.12.2020).

Неблагоприятные факторы среды отрицательно сказываются на эффективности удобрений в большей степени на слабоокультуренных почвах, особенно с низким содержанием подвижного фосфора [9].

В то же время изучение научной литературы показало, что в условиях Кировской области установлено достоверное влияние на урожайность пшеницы суммы осадков и гидротермического коэффициента (ГТК) [10], на урожайность овса и ячменя – суммы эффективных температур и ГТК [11, 12]. В данных работах погодно-климатические параметры приводятся за короткий период изучения (от 7 до 18 лет). В связи с этим новизна нашей работы заключается в том, что мы проанализировали экспериментальные данные по влиянию метеопараметров на урожайность сельскохозяйственных культур за более долгосрочный период (50 лет) с учетом внесения удобрений и их последствия.

Цель исследований – провести ретроспективный анализ изменения температуры воздуха и количества осадков в восточном районе центральной климатической зоны Кировской области и оценить их влияние на динамику урожайности яровых зерновых культур на основе данных длительного стационарного опыта.

Материал и методы. Материалами исследования послужили многолетние данные Фалёнской метеостанции (58.3° северной широты, 51.6° восточной долготы, высота над уровнем моря 178 м) и длительного стационарного опыта лаборатории агрохимии и качества зерна Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока за 1971-2020 гг. Метеостанция и стационарный опыт находятся на расстоянии примерно 3 км, чем обеспечивается принцип единства места наблюдения.

Отклонения метеозначений от «климатической нормы» приведены в сравнении с многолетними средними за базовый период, за который, согласно рекомендациям Всемирной метеорологической организации (ВМО), признается 1961-1990 гг.⁵

Разделение лет на теплые и холодные проводили по значению среднего отклонения (Δ)⁶:

- при $\Delta < |0,4|^\circ\text{C}$ – год считается в пределах нормы;
- при $|0,4|^\circ\text{C} < \Delta < |0,7|^\circ\text{C}$ – год холодный / теплый;
- при $\Delta > |0,7|^\circ\text{C}$ – год очень холодный / очень теплый.

Полевой опыт был заложен в 1971 г. в восточном агропочвенном районе центральной климатической зоны Кировской области. Почва дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформированная на покровных суглинках. Агрохимическая характеристика почвы перед закладкой опыта (в 1971 г.): pH_{KCl} 4,2-4,5; Нг 5,4-6,7 мг-экв/100 г; содержание подвижных фосфора и калия 71-73 и 90-116 мг/кг соответственно.

Опыт проводили в зернопаротравяном севообороте: чистый пар, озимая рожь, яровая пшеница с подсевом клевера, клевер луговой 1 года пользования (г. п.), клевер 2 г. п., яровая пшеница, овёс (до 1992 г. в 6 поле севооборота возделывали ячмень). В опыте выращивали сорта: яровой пшеницы – Диамант, Ленинградка, Ирень, Баженка; ячменя – Винер, Московский 121, Север, Дина; овса – Фалёнский 3, Факир, Скороспелый, Аргамак, Дэнс, Кречет. Общая площадь делянки 40,25 м², повторность четырехкратная.

Варианты длительного стационарного опыта различались по содержанию подвижного фосфора в почве с учетом ранее внесенного фосфорного удобрения согласно схеме опыта (табл. 1). С 1976 по 2007 г. фосфорные удобрения не вносили – изучали их последствие. Опыт имел два почвенных фона: «без извести» – (0), «известь по 1 г. к.» – (1). Известкование проводили доломитовой мукой по полной величине гидролитической кислотности в 1971, 1979, 1987 и 2009 гг.

Изначально длительный опыт был заложен с целью изучения последствий высоких доз фосфорных удобрений на фосфатный режим дерново-подзолистых почв, продуктивность и качество с.-х. культур [13]. В дальнейшем проводили изучение эффективности минеральных удобрений (возрастающие дозы суперфосфата с умеренными азотно-калийными) на агрохимические свойства почвы, урожайность и качество культур [14, 15].

⁵Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. ВМО. 2017. № 1203. [Электронный ресурс]. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4168 (дата обращения 10.03.2020).

⁶Источник информации: пресс-служба Примгидромета (Департамент Росгидромета по Приволжскому федеральному округу). [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pfo.meteorf.ru/news/2016-pervoe-polugodie/klimaticheskaya-norma-i-otkloneniya-ot-nee.html> (дата обращения 12.10.2020).

Таблица 1 – Схема опыта /
 Table 1 – Experiment plan

№ варианта / № of variant	1971...1975 гг.	2008...2014 гг.	2015...2021 гг.	Условное обозначение вариантов / Symbolic notation of variants
1	Контроль, без удобрений / Control without fertilizers			0
2	N ₉₀	N ₉₀	N ₉₀	N
3	N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₅₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₅₀ K ₉₀	NP ₁ K
4	N ₉₀ P ₁₈₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₁₀₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₅₀ K ₉₀	NP ₂ K
5	N ₉₀ P ₂₇₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₁₅₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₅₀ K ₉₀	NP ₃ K
6	N ₉₀ P ₃₆₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₂₀₀ K ₉₀	N ₉₀ P ₅₀ K ₉₀	NP ₄ K

Статистическую обработку данных проводили, используя оценку статистических параметров выборки (стандартная ошибка среднего), корреляционный и регрессионный анализы с помощью пакета программ AGROS – версия 2.07.

В качестве объекта для регрессионного анализа была выбрана яровая пшеница – культура, доля которой в севообороте наибольшая (продолжительность ряда данных составила 13 лет). В связи с тем, что дозы вносимых удобрений изменялись, было принято решение взять для регрессионного анализа два варианта: «без удобрений» (с разделением на фон: «без извести» – (0), «известь по 1 г. к.» – (1)) и «NP₃K» (также с разделением на фоны) как наиболее полный по количеству данных.

Результаты и их обсуждение. В восточном районе центральной агроклиматиче-

ской зоны Кировской области в 1971-2020 гг. среднегодовая температура воздуха была равна 2,4±1,0 °С. При этом наблюдался ее устойчивый положительный тренд со скоростью 0,39 °С/10 лет (рис. 1). Период с 2001 по 2020 гг. отмечен как самый теплый за последние 50 лет – среднегодовая температура воздуха была выше климатической нормы на 0,7...2,6 °С, достигнув своего максимума в 2008 г. – 4,2 °С (табл. 2). Также произошло увеличение количества дней со среднесуточной температурой выше 15 °С на 29 %. Для сравнения, в западном районе центральной зоны средняя годовая температура воздуха за последние 25 лет также повысилась на 0,3...0,4 °С, причем основное ее повышение (1,0...1,1 °С) происходило в холодный период (ноябрь-март), тогда как в теплый (апрель-октябрь) она понизилась на 0,4...0,5 °С [16].

Таблица 2 – Анализ метеоусловий за 1971-2020 гг. в районе исследований /
 Table 2 – Analysis of meteorological conditions for 1971-2020 in the research area

Период лет / Period of years	Год с min/max значением / The year with min/max value	Количество лет / Number of years			Количество дней со среднесу- точной темпе- ратурой выше 15 °C / The number of days with an average daily temperature above 15 °C	Год с min/max значением / The year with min/max value	Количество лет (сухих / влажных) / the number of years (dry / wet)
		в пределах нормы / within normal limits	холодных / теплых / cold / warm	очень холодных / очень теплых / very cold/ very warm			
	среднеголетняя годовая температура воздуха 1,6°C* / average annual air temperature 1.6°C*					среднеголетнее годовое количество осадков 607 мм** / average annual precipitation 607 mm**	
1971- 1980	1976 (0,1 °C) 1975 (3,3 °C)	6	-/-	2/2	35...72	1973 (456 мм / mm) 1971 (708 мм / mm)	5/5
1981- 1990	1987 (0,7 °C) 1981 (3,7 °C)	2	1/1	2/4	48...86	1981 (464 мм / mm) 1984 (735 мм / mm)	3/7
1991- 2000	1994 (1,5 °C) 1995 (3,9 °C)	6	-/1	-/3	49...83	1996 (489 мм / mm) 1998 (783 мм / mm)	5/5
2001- 2010	2002 (2,3 °C) 2008 (4,2 °C)	-	-/2	-/8	51...83	2010 (512 мм / mm) 2002 (763 мм / mm)	5/5
2011- 2020	2014 (2,5 °C) 2020 (4,1 °C)	-	-/-	-/10	65...88	2014 (574 мм / mm) 2019 (827 мм / mm)	2/8

*, ** – за базовый период 1961-1990 гг. / *, ** – for the base period 1961-1990

Сумма активных температур, отражающая теплообеспеченность района исследований и необходимая для полного развития и созревания яровых культур, составила 1800 ± 144 °С, что находится в пределах, обусловленных географическим положением региона ($1700 \dots 1900$ °С) [17]. Показатель достиг максимума в 2010 г. и составил 2085 °С.

Вторым важнейшим метеопараметром является количество выпавших осадков, которое определяет влагообеспеченность

территории. В среднем оно составило $637,4 \pm 86,6$ мм и варьировало в «сухие» годы от 75 до 95 %, во «влажные» – от 117 до 129 %. При этом 283,3 мм выпадало в холодный период и 254,0 мм – в теплый, хотя направленного тренда динамики выпадения осадков выявить не удалось (рис. 1). Тогда как в западном районе центральной климатической зоны количество осадков увеличилось и в теплый период на 30-40 мм, и в холодный – на 60-70 мм [16].

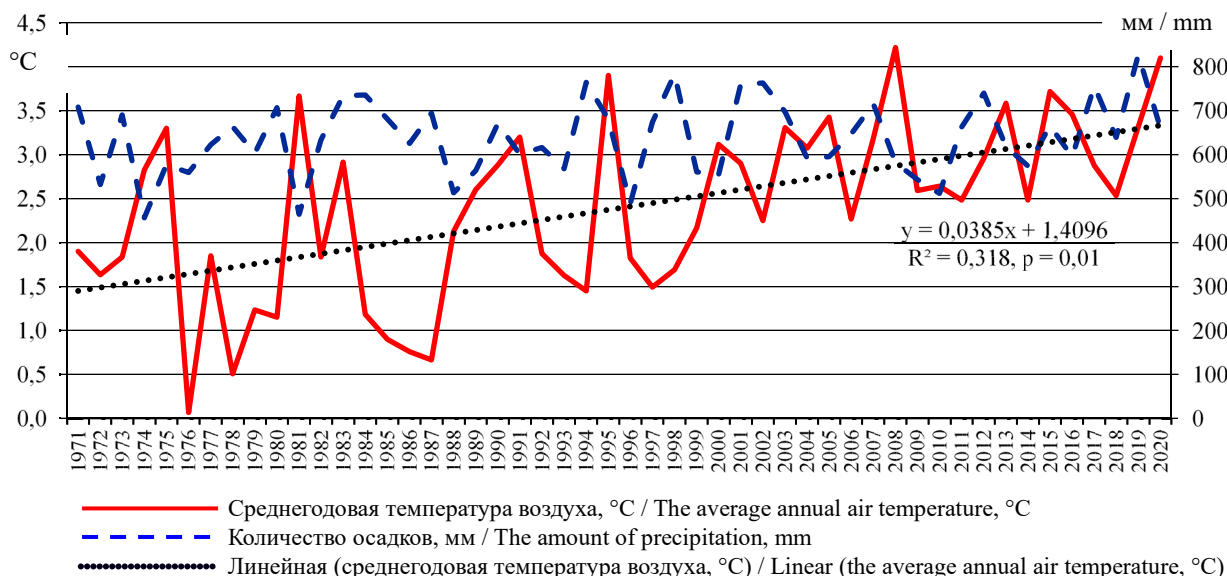


Рис. 1. Динамика среднегодовых температур воздуха и количества осадков за 1971-2020 гг. в районе исследований /

Fig. 1. Dynamics of average annual air temperatures and precipitation in the research area for 1971-2020

В 1971-2020 гг. вегетационный период (май, июнь, июль, август) в 68 % лет был теплый, из них 26 % лет влажный и 42 % лет сухой, и в 32 % лет был прохладный, из них с недостатком увлажнения – 12 %, с избытком – 20 %.

Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) за годы исследований варьировал в широких пределах (от 0,7 до 2,1), указывая на контрастные условия увлажнения вегетационных периодов: от засушливых до избыточно увлажненных. Необходимо отметить, что в самый засушливый 2010 г. ГТК составил в мае 0,4, в июне – 1,5, в июле – 0,2, в августе – 1,1.

Урожайность яровых зерновых культур в стационарном опыте за 1971-2020 гг. возрастала в ряду пшеница – ячмень – овес: $2,17 \pm 0,86$, $3,04 \pm 0,61$, $3,39 \pm 0,65$ т/га соответственно. При внесении удобрений она повышалась во всех вариантах опыта (табл. 3).

Негативные последствия изменений климата заключаются в росте вариабельности

урожайности сельскохозяйственных культур в последние три десятилетия и повышении ее зависимости от складывающихся погодноклиматических условий [18]. Коэффициент вариации урожайности яровых зерновых в опыте также был высоким: на фоне «без извести» он составил 34-41 %, на фоне «известь по 1 г.к.» – 35-37 %. Наибольшее варьирование урожайности отмечено у пшеницы, при этом с улучшением питательного режима почвы (за счет внесения удобрений и накопления в почве доступных элементов питания) коэффициент вариации снижался с 40-45 до 35-40 %. По данным других исследователей, внесение минеральных удобрений привело к стабилизации урожайности злаковых фитоценозов – коэффициент вариации снизился с 61 % (контроль) до 27-29 % (варианты с NPK) [16].

Пшеница, ячмень и овес имеют разную биологию развития и требования к условиям произрастания, но объединяет их критический

Таблица 3 – Урожайность яровых зерновых культур в длительном стационарном опыте Фалёнской селекционной станции, т/га (1971-2020 гг.) /
Table 3 – Yield of spring cereals in the long-term stationary experiment of the Falenskaya breeding station, t / ha (1971-2020)

Вариант (фактор В) / Variant (factor B)	Пшеница (n = 13) / Wheat (n = 13)				Ячмень (n = 4) / Barley (n = 4)				Овёс (n = 6) / Oats (n = 6)			
	фактор А / background (factor A)				фактор А / background (factor A)				фактор А / background (factor A)			
	0*	I**	среднее по фактору В / average factor B	0	I	среднее по фактору В / average factor B	0	I	среднее по фактору В / average factor B	0	I	среднее по фактору В / average factor B
Без удобрений / Without fertilizers	1,46±0,34	1,85±0,51	1,66±0,43	1,91±0,53	2,05±0,59	1,98±0,56	1,95±0,32	2,32±0,28	2,14±0,30	2,85±0,41	3,44±0,50	3,15±0,46
N	1,83±0,49	2,16±0,52	2,00±0,51	2,59±0,58	2,88±0,51	2,74±0,55	2,85±0,41	3,44±0,50	3,15±0,46	3,33±0,75	3,71±0,74	3,52±0,75
NP ₁ K	2,11±0,60	2,39±0,56	2,25±0,58	2,89±0,67	3,14±0,63	3,02±0,65	3,33±0,75	3,71±0,74	3,52±0,75	3,62±0,77	3,75±0,76	3,69±0,77
NP ₂ K	2,19±0,63	2,41±0,60	2,30±0,62	3,08±0,65	3,42±0,71	3,25±0,68	3,66±0,58	3,95±0,56	3,81±0,57	3,80±0,84	4,23±0,66	4,02±0,75
NP ₃ K	2,26±0,59	2,49±0,61	2,38±0,60	3,32±0,79	3,70±0,80	3,51±0,80	3,20±0,61	3,57±0,58	-	-	-	-
NP ₄ K	2,26±0,59	2,56±0,58	2,41±0,59	3,57±0,65	3,90±0,77	3,74±0,71	3,20±0,61	3,57±0,58	-	-	-	-
Среднее по фактору А / Average factor A	2,02±0,54	2,31±0,56	-	2,89±0,65	3,18±0,67	-	3,20±0,61	3,57±0,58	-	-	-	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	A = 0,14; B = 0,15				A = 0,29; B = 0,27				A = 0,08; B = 0,29			

*Без известкования, **Известь по 1 г. к. / *Without liming, ** Lime, 1 g. k.

период по отношению к засухе, приходящийся на фазы «кущение-выход в трубку» и, особенно, «трубкование-колошение (выметывание)», когда формируются генеративные органы [10, 11, 19]. Календарно этот период приходится в центральной агроклиматической зоне на июнь. Например, отмечены сильные корреляции между средней урожайностью яровой пшеницы и погодными условиями в июне: обратная с температурой воздуха ($r_p = -0,735$, $p = 0,004$, $n = 13$) и прямая с количеством осадков ($r_p = 0,686$, $p = 0,010$, $n = 13$). Отрицательная корреляция продуктивности с температурой подтверждается многочисленными исследованиями. Так, по прогнозу [20] при повышении температуры на 2 °C выше нормы урожайность пшеницы снизится на 12,2 %. Зависимость от количества июньских осадков сильнее выражена в вариантах без внесения удобрений ($r_p = 0,616-0,797$) по сравнению с делянками, где использовались минеральные удобрения ($r_p = 0,556-0,622$). Уравнения влияния метеофакторов на продуктивность культуры по результатам регрессионного анализа представлены в таблице 4.

Коэффициент R^2 показывает вклад природных и антропогенных факторов в формирование урожая зерна: в среднем по опыту он составил 64 (при учете только климатического фактора) и 68 % (при дополнительном включении фактора удобрений). Наиболее высокие коэффициенты детерминации, отражающие долю вариальности, объясняемую погодными условиями, отмечены в варианте без удобрений (0,59-0,73), тогда как при их внесении они снижаются (0,50-0,56). Таким образом, в восточном районе центральной климатической зоны Кировской области погодные условия обуславливают больше половины наблюдаемой дисперсии продуктивности. Эти значения следует признать достаточно высокими, поскольку по усредненным оценкам изменчивость климата объясняет четверть изменчивости урожайности [21].

Таблица 4 – Результаты статистического анализа влияния погодных условий по вариантам опыта («без удобрений» и «NP₃K») на урожайность яровой пшеницы /

Table 4 – Results of the statistical analysis of the influence of weather conditions for the variants of the experiment "without fertilizers" and "NP₃K" on the yield of spring wheat

Вариант / Variant	Фон / Background	Уравнение регрессии / Regression equation	Коэффициент детерминации, R ² / Determination coefficient, R ²	Коэффициенты корреляции (p<0,05; n = 13) / Correlation coefficients (p<0,05; n = 13)	
				c T _{VI} / on T _{VI}	c P _{VI} / on P _{VI}
Без удобрений / Without fertilizers	0	$Y = 3,765 - 0,173T_{VI} + 0,006O_{VI}$	0,59	-0,73	0,62
	1	$Y = 3,504 - 0,175T_{VI} + 0,018O_{VI}$	0,73	-0,71	0,80
NP ₃ K	0	$Y = 6,816 - 0,327T_{VI} + 0,007O_{VI}$	0,56	-0,73	0,56
		$Y = 6,076 + 0,002P - 0,316T_{VI} + 0,013O_{VI}$	0,60		
	1	$Y = 5,101 - 0,224T_{VI} + 0,014O_{VI}$	0,50	-0,63	0,62
		$Y = 4,338 + 0,002P - 0,213T_{VI} + 0,020O_{VI}$	0,54		
Среднее по опыту / Average for the experiment		$Y = 5,083 - 0,239T_{VI} + 0,012O_{VI}$	0,64	-0,73	0,69
		$Y = 4,374 + 0,003P - 0,226T_{VI} + 0,017O_{VI}$	0,68		

Примечания: 0 – без известкования; 1 – известь по 1 г. к.; Y – урожайность яровой пшеницы, т/га; T_{VI} – температура воздуха в июне, °C; O_{VI} – количество осадков в июне, мм; P – доза фосфорных удобрений, кг/га / Note: 0 – without liming, 1 – lime 1g.k.; Y – spring wheat yield, t/ha; T_{VI} – air temperature in June, °C; O_{VI} – the amount of precipitation in June, mm; P – dose of phosphorus fertilizers, kg / ha

Важно отметить, что включение количества вносимых фосфорных удобрений в качестве независимой переменной в регрессионные уравнения повышает коэффициент детерминации на 0,04, причем как в варианте с NP₃K, так и для средней по опыту урожайности. Это говорит о том, что агрохимический фактор обуславливает 4 % вариативности урожайности яровой пшеницы, что подтверждает сделанный ранее вывод, согласно которому для многих культур усиление интенсификации сельскохозяйственного производства уменьшает влияние неблагоприятных условий внешней среды на продуктивность [22].

В наших исследованиях применение удобрений ослабило влияние погодных условий на продуктивность яровых культур. Коэффициент корреляции между средней урожайностью яровых культур и ГТК в июне за годы исследований (1971-2020 гг.) на известкованном фоне составил 0,703 (p = 0,05, n = 23) в варианте «без удобрений», тогда как при внесении удобрений в дозе NP₃K снизился до 0,471 (p = 0,05, n = 23). Другие агрохимические опыты также доказывают практическую возможность снижения негативного влияния метеоусловий при рациональном подборе системы удобрения и средств защиты растений [9]. Особенно важно внесение фосфорных удобрений имеет в засушливые годы, т. к. растения используют питательные вещества не

из сухих, а из влажных слоев почвы, больше потребляя фосфор удобрений, а не фосфаты почвы [23].

Заключение. В восточном районе центральной климатической зоны Кировской области за период с 1970 по 2020 г. наиболее устойчивой положительной трендовой направленностью отличается среднегодовая температура воздуха при скорости 0,39 °C/10 лет. Два десятилетия с 2001 по 2020 г. отмечены как самые теплые за последние 50 лет, когда среднегодовая температура была выше нормы на 0,7...2,6 °C.

В длительном опыте Фалёнской селекционной станции урожайность яровых зерновых культур возрастала в ряду пшеница – ячмень – овес: 2,14±0,86, 3,04±0,61, 3,30±0,65 т/га соответственно. При этом отмечены сильные корреляции между средней урожайностью яровой пшеницы и погодными условиями в июне: обратная с температурой воздуха (r_p = -0,735) и прямая с количеством осадков (r_p = 0,686).

Применение фосфорных удобрений (и их последствие) в комплексе с азотно-калийными ослабляло влияние погодных условий на продуктивность яровой пшеницы: наиболее высокие коэффициенты детерминации, отражающие долю вариативности урожайности от погодных условий, отмечены в варианте «без удобрений» (R² = 0,59-0,73), в варианте NP₃K они снижались (R² = 0,50-0,56).

Список литературы

1. Иванов А. Л. Глобальное изменение климата и его влияние на сельское хозяйство России. Земледелие. 2009;(1):3-5.
2. Lobell D. B., Schlenker W. S., Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production since 1980. Science. 2011;333(6042):616-620. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1204531>
3. Кошкин Е. И., Андреева И. В., Гусейнов Г. Г. Влияние глобальных изменений климата на продуктивность и устойчивость сельскохозяйственных культур к стрессорам. Агрохимия. 2019;(12):83-96. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119120068>
4. Ahmed M. N. Economic assessment of the impact of climate change on the agriculture of Pakistan. Mirza Nomman Ahmed, Michael Schmitz. Business and Economic Horizons. 2011;4(1):1-12. DOI: <https://doi.org/10.15208/beh.2011.1>
5. Iizumi T., Ramankutty N. How do weather and climate influence cropping area and intensity? Global food security. 2015;(4):46-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.11.003>
6. Смоленцева Е. В. Природно-климатические факторы экономической эффективности сельскохозяйственного производства Кировской области. Modern Economy Success. 2017;(3):19-22. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29986454>
7. Тюлин В. В. Почвы Кировской области. Киров: Волго-Вятское кн. изд-во, Кировское отд., 1976, 288 с.
8. Молодкин В. Н., Бусыгин А. С. Плодородие пахотных почв Кировской области. Земледелие. 2016;(8):16-18.
9. Сычев В. Г., Романенков В. А., Шевцова Л. К., Рухович О. В. Современные направления исследований и результаты длительных полевых опытов Геосети. Плодородие. 2014;(5):2-5. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22454350>
10. Волкова Л. В. Урожайность яровой пшеницы и её связь с элементами продуктивности в разные по метеорологическим условиям годы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016;6(55):9-15. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27296708>
11. Щенникова И. Н. Влияние погодных условий на рост и развитие растений ячменя в Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014;4(41): 9-12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21699652>
12. Лисицын Е. М. Урожайность овса и ячменя в меняющихся погодно-климатических условиях Кировской области. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы VI Международ. научн.-практ. конф. (к 125-летию Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого). Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2020. С. 130-135. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44051872&selid=44125180>
13. Калинин А. И. Агрохимические свойства дерново-подзолистых почв и продуктивность растений. Киров, 2004. 220 с.
14. Лыскова И. В., Рылова О. Н., Веселкова Н. А., Лыскова Т. В. Влияние удобрений и извести на агрохимические показатели и фосфатный режим дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2015;2(45):27-32. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2015.45.2.27-32>
15. Лыскова И. В. Влияние минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, урожайность и качество зерновых культур. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;6(61):35-40. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.61.6.35-40>
16. Ковшова В. Н. Приемы, повышающие устойчивость луговых агрофитоценозов в условиях изменения климата в Волго-Вятском экономическом районе. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2012;5(30):31-34. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17953676>
17. Френкель М. О., Переведенцев Ю. П., Соколов В. В. Климатический мониторинг Кировской области. Казань, 2012. 263 с.
18. Суховеева О. Э. Анализ влияния агроклиматических факторов на урожайность озимой ржи в Центральном Нечерноземье. Метеорология и гидрология. 2014;(11):74-82. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22476069>
19. Баталова Г. А. Овес в Волго-Вятском регионе. Киров: ООО «Орма», 2013. 288 с.
20. Lone B. A., Qayoom S., Singh P., Dar Z. A., Kumar S., Dar N. A., Fayaz A., Ahmad N., Lyaket, Bhat M. I., Singh G. Climate change and its impact on crop productivity. British journal of applied science & technology. 2017;21(5):1-15. DOI: <https://doi.org/10.9734/BJAST/2017/34148>
21. Kukal M. S., Irmak S. Climate-driven crop yield and yield variability and climate change impacts on the U.S. Great Plains agricultural production. Scientific reports. 2018;(8):3450. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21848-2>
22. Суховеева О. Э. Влияние современных изменений климата на продуктивность сельскохозяйственных культур в Нечерноземье. География и природные ресурсы. 2014;(2):71-77. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21532917>
23. Соколов А. В. Агрохимия фосфора. М.: изд-во Академии наук СССР, 1950. 152 с.

References

1. Ivanov A. L. *Global'noe izmenenie klimata i ego vliyanie na sel'skoe khozyaystvo Rossii*. [Global climate change and its impact on Russian agriculture]. *Zemledelie*. 2009;(1):3-5. (In Russ.).
2. Lobell D. B., Schlenker W. S., Costa-Roberts J. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 2011;333(6042):616-620. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1204531>
3. Koshkin E. I., Andreeva I. V., Guseynov G. G. *Vliyanie global'nykh izmeneniy klimata na produktivnost' i ustoychivost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur k stressoram*. [Impact of global climate change on productivity and stress tolerance of field crops]. *Agrokhiimiya*. 2019;(12):83-96. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119120068>
4. Ahmed M. N. Economic assessment of the impact of climate change on the agriculture of Pakistan. Mirza Nomman Ahmed, Michael Schmitz. *Business and Economic Horizons*. 2011;4(1):1-12. DOI: <https://doi.org/10.15208/beh.2011.1>
5. Iizumi T., Ramankutty N. How do weather and climate influence cropping area and intensity? *Global food security*. 2015;(4):46-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.11.003>
6. Smolentseva E. V. *Prirodno-klimaticheskie faktory ekonomicheskoy effektivnosti sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva Kirovskoy oblasti*. [Natural-climatic factors of economic efficiency of agricultural production of Kirov region]. *Modern Economy Success*. 2017;(3):19-22. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29986454>
7. Tyulin V. V. *Pochvy Kirovskoy oblasti*. [Soils of the Kirov region]. Kirov: *Volgo-Vyatskoe kn. izd-vo, Kirovskoe otd.*, 1976, 288 p.
8. Molodkin V. N., Busygin A. S. *Plodorodie pakhotnykh pochv Kirovskoy oblasti*. [Fertility of arable soils of Kirov region]. *Zemledelie*. 2016;(8):16-18. (In Russ.).
9. Sychev V. G., Romanenkov V. A., Shevtsova L. K., Rukhovich O. V. *Sovremennye napravleniya issledovaniy i rezul'taty dlitel'nykh polevykh opytov Geoseti*. [Modern fields of research and results in Geonetwork system of long-term experiments]. *Plodorodie*. 2014;(5):2-5. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22454350>
10. Volkova L. V. *Urozhaynost' yarovoy pshenitsy i ee svyaz' s elementami produktivnosti v raznye po meteorologicheskim usloviyam gody*. [Productivity of spring wheat and its relation to elements of yield structure in years differ by meteorological conditions]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2016;6(55):9-15. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27296708>
11. Shchennikova I. N. *Vliyanie pogodnykh usloviy na rost i razvitie rasteniy yachmenya v Kirovskoy oblasti*. [Influence of weather conditions on growth and development of barley plants in Kirov region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2014;4(41):9-12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21699652>
12. Lisitsyn E. M. *Urozhaynost' ovsy i yachmenya v menyayushchikhsya pogodno-klimaticheskikh usloviyakh Kirovskoy oblasti*. [Productivity of oats and barley in the changing weather and climatic conditions of the Kirov region]. *Metody i tekhnologii v selektsii rasteniy i rastenievodstve: mat-ly VI Mezhdunarod. nauchn.-prakt. konf. (k 125-letiyu Federal'nogo agrarnogo nauchnogo tsentra Severo-Vostoka imeni N. V. Rudnitskogo)*. [Methods and technologies in plant breeding and crop production: Proceedings of the VIth International scientific and practical Conference (dedicated to the 125th anniversary of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky)]. Kirov: *FANTs Severo-Vostoka*, 2020. pp. 130-135. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44051872&selid=44125180>
13. Kalinin A. I. *Agrokhimicheskie svoystva dernovo-podzolistykh pochv i produktivnost' rasteniy*. [Agrochemical properties of sod-podzolic soils and plant productivity]. Kirov, 2004. 220 p.
14. Lyskova I. V., Rylova O. N., Veselkova N. A., Lyskova T. V. *Vliyanie udobreniy i izvesti na agrokhimicheskie pokazateli i fosfatnyy rezhim dernovo-podzolistoy srednesuglinistoy pochvy*. [Influence of mineral fertilizers and lime on agrochemical parameters and phosphorus regimes of medium-loamy sod-podzolic soil]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2015;2(45):27-32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2015.45.2.27-32>
15. Lyskova I. V. *Vliyanie mineral'nykh udobreniy na plodorodie dernovo-podzolistoy pochvy, urozhaynost' i kachestvo zernovykh kul'tur*. [Influence of mineral fertilizers on fertility of sod-podzolic soil, productivity and quality of grain crops]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2017;6(61):35-40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.61.6.35-40>
16. Kovshova V. N. *Priemy, povyshayushchie ustoychivost' lugovykh agrofytotsenozov v usloviyakh izmeneniya klimata v Volgo-Vyatskom ekonomicheskoy rayone*. [Methods of increasing of stability of meadow agro-phytocenoses under condition of climate change in Volga-Vyatka economic region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2012;5(30):31-34. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17953676>
17. Frenkel M. O., Perevedentsev Yu. P., Sokolov V. V. *Klimaticheskiiy monitoring Kirovskoy oblasti*. [Climate monitoring of the Kirov region]. Kazan, 2012. 263 p.

18. Sukhoveeva O. E. *Analiz vliyaniya agroklimaticheskikh faktorov na urozhaynost' ozimoy rzhi v Tsentral'nom Nechernozem'e*. [Analyzing the impact of agrometeorological factors on winter rye yield in central non-black soil area]. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2014;(11):74-82. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22476069>
19. Batalova G. A. *Oves v Volgo-Vyatskom regione*. [Oat in Volga-Vyatka region]. Kirov: OOO «Orma», 2013. 288 p.
20. Lone B. A., Qayoom S., Singh P., Dar Z. A., Kumar S., Dar N. A., Fayaz A., Ahmad N., Lyaket, Bhat M. I., Singh G. Climate change and its impact on crop productivity. *British journal of applied science & technology*. 2017;21(5):1-15. DOI: <https://doi.org/10.9734/BJAST/2017/34148>
21. Kukal M. S., Irmak S. Climate-driven crop yield and yield variability and climate change impacts on the U.S. Great Plains agricultural production. *Scientific reports*. 2018;(8):3450. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21848-2>
22. Sukhoveeva O. E. *Vliyanie sovremennykh izmeneniy klimata na produktivnost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v Nechernozem'e*. [The impact of modern climate changes on the productivity of agricultural crops in the Non-Chernozem region]. *Geografiya i prirodnye resursy* = Geography and Natural Resources. 2014;(2):71-77. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21532917>
23. Sokolov A. V. *Agrokimiya fosfora*. [Phosphorus agrochemistry]. Moscow: izd-vo Akademii nauk SSSR, 1950. 152 p.

Сведения об авторах

✉ **Лыскова Ирина Владимировна**, кандидат с.-х. наук, ст. научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>, e-mail: fss.nauka@mail.ru

Суховеева Ольга Эдуардовна, кандидат геогр. наук, научный сотрудник, ФГБУН Институт географии Российской академии наук, Старомонетный пер., д. 29, стр. 4, Москва, Российская Федерация, 119017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3620-9661>

Лыскова Татьяна Владимировна, младший научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д.3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9580-0021>

Information about the authors

Irina V. Lyskova ✉, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>, e-mail: fss.nauka@mail.ru

Olga E. Sukhoveeva, PhD in Geography, researcher, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Staromonetnyi str., 29-4, Moscow, Russian Federation, 119017, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3620-9661>

Tatiana V. Lyskova, associate researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9580-0021>

✉ – Для контактов / Corresponding author