

О ВЛИЯНИИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА РОСТ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В РОССИИ*

И.Ю. Савин, академик РАН, доктор сельскохозяйственных наук

Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В.В. Докучаева»,
119017, Москва, Пыжевский пер., 7 стр. 2б

Российский университет дружбы народов,
117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6
E-mail: savin_iyu@esoil.ru

В последние годы в России отмечают постоянный рост урожайности зерновых культур. В качестве его причины часто рассматривается позитивный тренд метеорологических условий, но веских научных доказательств этому практически не приводится. Цель исследований – анализ изменений потенциальной (климатической) урожайности зерновых в стране за период с 2000 по 2022 гг. Для достижения поставленной цели использовали имитационную модель роста растений WOFOST, которая позволяет оценить воздействие всех метеорологических параметров комплексно. Оценку проводили для сети из 42 репрезентативных точек в разных регионах страны с учетом ежедневных метеорологических параметров и типа почв. Моделирование осуществляли на уровне потенциальной урожайности, при котором учитывается варьирование только метеорологических параметров и считается, что влияние других факторов на урожайность отсутствует. Тренды потенциальной урожайности имеют различную направленность в разных регионах страны. Тренд в сторону более благоприятных для зерновых культур метеорологических условий отмечен для Северного Кавказа, в Нижнем Поволжье, в Западной Сибири и на Дальнем Востоке, в то время как в Центральном и Центрально-Черноземном округах, Верхнем Поволжье, а также на юге Средней Сибири в последние годы отмечено падение потенциальной урожайности. В целом рост урожайности зерновых в последние годы хорошо согласуется с трендом изменения агрометеорологических условий в большинстве зернопроизводящих регионов страны. Односторонние тренды метеорологически потенциальной и статистической урожайности отсутствуют лишь в регионах центра Европейской части России, где роль климатического фактора в варьировании урожайности зерновых менее значима, и где можно предположить эффект мер, предпринимаемых правительством, по поддержке и развитию сельского хозяйства.

ON THE IMPACT OF MODERN CLIMATE CHANGE ON THE INCREASE OF GRAIN YIELDS IN RUSSIA

I.Yu. Savin

Federal Research Center «Dokuchaev Soil Science Institute»,
119017, Moskva, Pyzhevskii per., 7, str. 2b

Peoples' Friendship University of Russia,
117198, Moskva, ul. Miklukho-Maklaya, 6
E-mail: savin_iyu@esoil.ru

In recent years, Russia has seen a steady increase in grain crop yields. A positive trend in meteorological conditions is often considered as the reason for this phenomenon, but there is almost no strong scientific evidence for it. The aim of investigation was to analyze changes in the potential (climatic) grain yields in the country for the period from 2000 to 2022. For this purpose, the simulation model of plant growth WOFOST was used, which allows assessing the impact of all meteorological parameters in a comprehensive manner. The assessment was carried out for a network of representative points (42 points) in different regions of the country for grain crops, taking into account daily meteorological parameters and soil type. Modeling was conducted at the level of potential yield, which takes into account the variation of meteorological parameters only, and it is believed that the limiting influence of other factors on the yield is absent. As a result of the analysis, it was found that the trends of potential yields have different direction in different regions of the country. The trend towards more favorable meteorological conditions for grain crops is observed for the North Caucasus, the lower Volga region, Western Siberia and the Far East, while in the Central and Central Black Earth districts, the upper Volga region, as well as in the south of Central Siberia in recent years there is a drop in the potential yields. The growth of grain yields in recent years agrees well with the trend of changes in agrometeorological conditions in most grain-producing regions of the country. Unidirectional trends in meteorological potential and statistical yields are absent only in the regions of central European Russia, where the role of the climatic factor in grain yield fluctuations is less significant, and where one can assume the effect of measures taken by the government of the country to support and develop agriculture.

Ключевые слова: урожайность зерновых, многолетний тренд агрометеорологических условий, Россия, имитационное моделирование, WOFOST.

Key words: grain yields, long-term trend of agrometeorological conditions, Russia, simulation modeling, WOFOST.

От объемов продукции сельского хозяйства, производимых на территории страны во многом зависит как ситуация с продовольственной безопасностью, так и экспортный потенциал. Возможности

самообеспечения продовольствием на любой территории предопределяются спецификой питания населения и особенностями природных условий. Специфика климата и широкое распространение

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Российской Федерации (соглашение с Минобрнауки России № 075-15-2022-321 от 21 апреля 2022 г.).

плодородных почв в России создают благоприятные условия для производства зерновых культур, которые служат основой питания населения и кормовой базой для развития животноводства.

На протяжении многих лет Россия занимает одно из первых мест в мире по производству зерна. Но это обусловлено в основном большими площадями посевов зерновых культур. Их урожайность, по сравнению со странами Европы, США или Австралией, остается на достаточно низком уровне [1]. Кроме того, урожайность зерновых в России достаточно нестабильна и сильно варьирует от года к году [2]. Это чаще всего объясняется периодическими засухами, но оказывают влияние и такие факторы, как заморозки посевов, неблагоприятные погодные условия во время уборки или перезимовки озимых культур, недостаточное внесение удобрений и др. [3].

Несмотря на существующую нестабильность, в последние годы отмечается значительный положительный тренд урожайности на уровне страны. Некоторые авторы связывают его преимущественно с действиями органов исполнительной власти, направленными на стимулирование развития сельского хозяйства и его модернизацию [4]. Другие исследователи указывают на ведущую роль происходящих изменений климата [2, 5]. Без сомнения, на рост урожайности оказывает влияние большой набор факторов, включая упомянутые, и выделить воздействие какого-либо из них представляется достаточно сложной задачей. Поэтому, по-видимому, до сих пор научная оценка вклада каждого из основных факторов в рост урожайности зерновых в России не проведена.

Цель исследований – оценка вклада изменения метеорологических условий в рост урожайности зерновых в России с использованием подходов имитационного моделирования роста сельскохозяйственных растений.

Методика. В качестве объекта исследований выступают статистические данные Госкомстата России

по урожайности зерновых культур на уровне отдельных субъектов Российской Федерации (<https://www.fedstat.ru/indicator/31533.do>). Анализировали параметры «Урожайность зерновых культур в хозяйствах всех категорий на убранную площадь» и «Валовой сбор зерновых культур в хозяйствах всех категорий» для периода с 2000 по 2022 гг.

Все регионы России ранжировали по средней многолетней величине валового сбора. Затем в каждом из регионов, валовой сбор в которых в сумме превысил 90% от величины этого показателя по всей стране, была выбрана репрезентативная точка на пахотных угодьях с преобладающим типом почв. Для этого использовали Карту распаханности почв России [6] и данные Единого государственного реестра почвенных ресурсов России [7]. Всего таким образом для анализа были выбраны 42 точки.

Для каждой точки отображали ежедневные метеорологические параметры, необходимые для моделирования роста растений за период с 2000 по 2022 гг. (количество солнечной радиации, давление водяного пара, суточные минимальная и максимальная температуры воздуха, средняя дневная скорость ветра, суточное количество атмосферных осадков). Информацию получали из базы данных проекта POWER NASA (США) [8]. Все данные адаптировали к модели WOFOST 7.1 [9], которую использовали для моделирования потенциальной урожайности. Моделирование осуществляли для пшеницы и ячменя. Для этого использовали файлы этих растений, а также файлы с параметрами преобладающих в каждой точке почв, откалиброванными для этой модели ранее [10].

Модель WOFOST широко используют для моделирования потенциальной урожайности различных сельскохозяйственных культур в мире [9] и России [10, 11]. На ее основе возможно получение данных на трех иерархических уровнях, которые можно условно назвать климатическая потенциальная урожайность

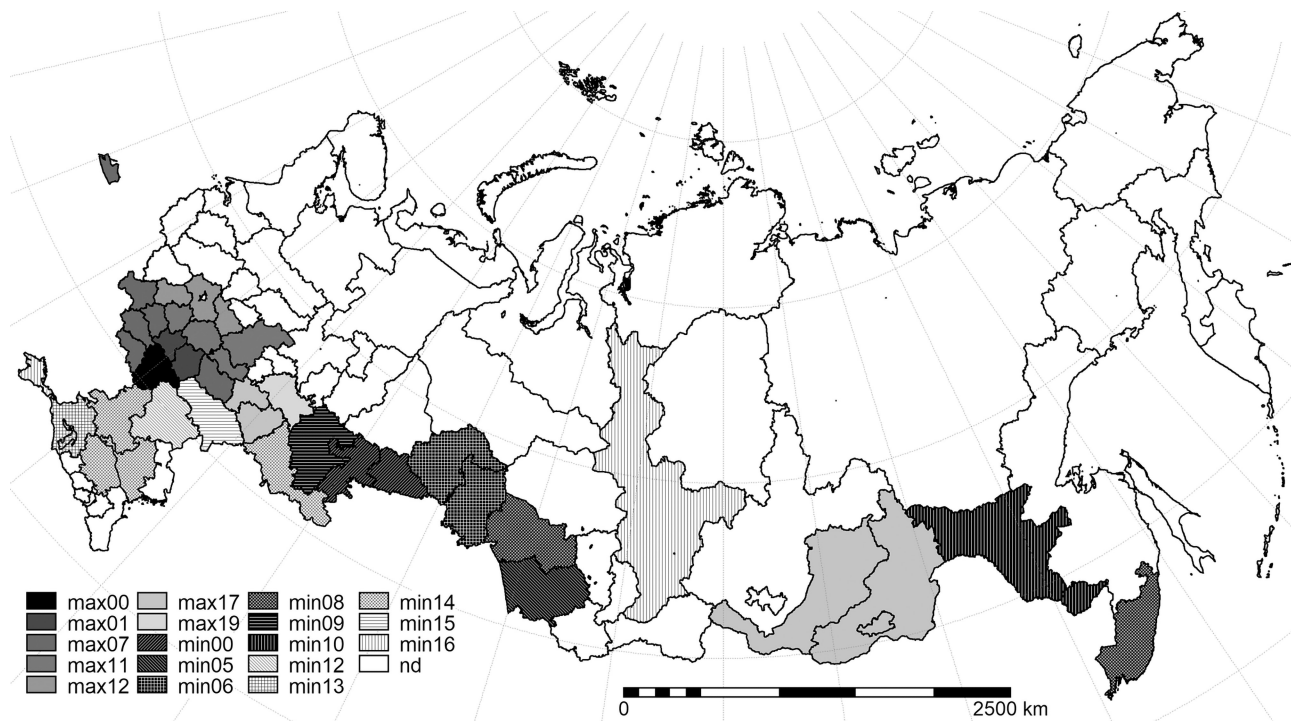


Рис. 1. Тренды потенциальной урожайности ячменя в разрезе регионов России: max, min – годы максимума (минимума) потенциальной урожайности; nd – моделирование не проводили.

(1 уровень), водно-ограниченная потенциальная урожайность (2 уровень) и ограниченная питательными элементами урожайность (3 уровень). На первом уровне учитываются только такие параметры как приход солнечной радиации и температурные условия. Все остальные считаются оптимальными. На втором уровне учитываются все метеопараметры, а также почвенно-гидрологические свойства (условия увлажнения) и считается, что с доступностью питательных веществ для растений нет ограничений. На третьем уровне учитывается содержание питательных веществ, но не принимаются во внимание возможные болезни и вредители посевов [9]. В нашей работе, для оценки вклада метеорологических факторов, моделирование проводили на втором уровне.

В качестве индикатора климатически потенциальной урожайности использовали выходной параметр модели TAGP (максимальное годовое количество надземной фитомассы), который выступает более надежным для решения поставленной задачи, чем параметр TWSO (масса зерна).

В процессе исследований осуществляли сравнение результатов моделирования для пшеницы и ячменя и в случае их сильного расхождения в какой-либо точке, проводили анализ его причин и повторное моделирование. Если расхождение устранить не удавалось, то точку моделирования заменяли на другую в том же регионе. После подобного анализа результаты моделирования были представлены в виде кривых многолетних значений TAGP, для которых в Excel определяли тренд, а также сравнивали этот тренд с трендом урожайности для каждого из анализируемых регионов по статистическим данным. Тренд для каждого временного ряда был представлен полиномом второго порядка.

Результаты анализа представлены в виде пространственных картограмм с использованием пакета ГИС ILWIS v.3.3 (<https://www.itc.nl/ilwis/>).

Результаты и обсуждение. Результаты моделирования для пшеницы и ярового ячменя оказались очень близки. Отдельные отклонения были незначительными и не изменяли специфики многолетней линии тренда для обоих видов растений. Такие результаты ожидаемы и не противоречат знаниям о близости физиологии и фенологии рассматриваемых культур [12]. Это дало основание для использования в дальнейшем только результатов для ячменя.

В ходе исследования выделено несколько типов многолетних трендов (при использовании полиномиальной функции второго порядка):

- постепенный рост кривой с 2000 по 2022 гг.;
- постепенное падение кривой с 2000 по 2022 гг.;
- минимум кривой в середине рассматриваемого временного промежутка с разными датами минимума;
- максимум кривой в середине рассматриваемого временного промежутка с разными датами максимума.

То есть, тенденция к росту благоприятности метеорологических условий за последние годы анализируемого периода характерна для трендов типа 1 и 3. А для трендов типа 2 и 4 свойственна тенденция к ухудшению метеорологических условий.

Согласно результатам моделирования в Центральном и Центрально-Черноземном округах, Верхнем Поволжье, а также на юге Средней Сибири в последние годы отмечено падение потенциальной урожайности (рис. 1). То есть, метеорологические условия в этих регионах в целом становятся менее благоприятными для зерновых. Одновременно, рост потенциальной урожайности в последние годы отмечен на Северном Кавказе, в Нижнем Поволжье, Западной Сибири и на Дальнем Востоке, что



Рис. 2. Сравнение многолетнего тренда результатов моделирования потенциальной урожайности и статистических данных в разрезе регионов России: серый цвет – тренды разнонаправленные, штриховка – тренды одинаправленные, белый цвет – моделирование не проводили.

свидетельствует о тренде к улучшению метеорологических условий для зерновых в этих регионах.

Сравнение кривых потенциальной и статистической урожайности для разных регионов России показало, что они часто не совпадают, что может быть связано со многими причинами. Поэтому было проведено сравнение только на уровне многолетних трендов (рис. 2). Его результаты свидетельствуют, что для большей части основной земледельческой зоны России, за исключением Центрального и Центрально-Черноземного районов, а также регионов Верхней Волги, тренды имеют одинаковую направленность. Это подтверждает выводы авторов, предполагающих, что основным драйвером роста урожайности в России в последние годы выступает изменение климата [2, 4]. Но такие результаты были получены только на уровне анализа направленности трендов. Выполнить его на уровне прямых корреляций результатов моделирования со статистической урожайностью на основе использованного метода невозможно. Это связано с рядом причин, среди которых наиболее весомыми представляются следующие:

схематичность моделирования. Его осуществляли только для двух культур и только на одном типе (хоть и преобладающем) почв. Кроме того, блок моделирования условий перезимовки озимых культур в модели практически отсутствует, а озимые культуры в ряде регионов занимают большие площади. В качестве индикатора динамичности потенциальной урожайности в модели использовали величину надземной фитомассы, что также выступает значительным допущением;

погрешность статистических данных неизвестна, и их качество всегда выступает объектом критики практически во всех странах мира [13]. Более того, статистическая урожайность в Госкомстате России представляется расчетной, а не измеряемой величиной [14];

влияние может оказывать и качество использованных метеорологических данных, которые выступают результатом глобального моделирования состояния атмосферы. Их выборочная проверка на территории России показала хорошее совпадение с данными метеостанций в части температурных условий и меньшую точность в случае конвективных осадков.

Несовпадение по направленности трендов между результатом моделирования и статистическими данными в Центральном, Центрально-Черноземном районах и Верхнем Поволжье скорее всего связано с более интенсивным ведением хозяйства в этих регионах и менее выраженной зависимостью урожайности зерновых от метеорологических условий, в том числе меньшим воздействием на урожайность засушливых явлений [3].

Кроме того, необходимо учитывать, что климатически потенциальная урожайность во многих регионах превышает реальную [11]. В этих случаях ее межгодовое варьирование в гораздо большей степени зависит не от метеорологических условий, а от других факторов.

В целом полученные результаты подтверждают предположение ряда авторов о том, что отмечаемые изменения климата благоприятно отразятся на сельском хозяйстве России [15]. Но, скорее всего это будет происходить только на первых порах. Сдвиг климатических зон на север приведет к тому, что территории с оптимальными метеоусловиями окажутся на неоптимальных почвах, которые на столетия будут оставаться таковыми в измененном климате. И именно почвенный фактор станет основным ограничителем роста урожайности, который можно будет преодолеть только увеличением вложений в оптимизацию неблагоприятных свойств почв.

Выводы. Рост урожайности зерновых в России в последние годы хорошо согласуется с трендом изменения агрометеорологических условий в большинстве зернопроизводящих регионов страны.

Однонаправленные тренды метеорологически потенциальной и статистической урожайности отсутствуют только в регионах центра Европейской части России, где вклад климатического фактора в варьирование урожайности зерновых менее значим и где можно предположить влияние мер, предпринимаемых для поддержки и развития сельского хозяйства.

Эти выводы получены на уровне трендов и представляют собой только общую закономерность в достаточном обобщенном виде.

Литература

1. *FAO. World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2022. Rome: FAO, 2022. 382 p. doi: 10.4060/cc2211en.*
2. *Abys C., Skakun S., Becker-Reshef I. The Rise and Volatility of Russian Winter Wheat Production // Environmental Research Communications. 2022. Vol. 4. No. 10. 101003. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/ac97d2> (дата обращения: 05.02.2023). doi: 10.1088/2515-7620/ac97d2.*
3. *Влияние факторов эффективного плодородия почвы на урожайность и качество зерна яровой пшеницы и их моделирование в условиях умеренно-засушливой и колочной степи Алтайского края / И.П. Аверьянова, С.В. Жандарова, А.Б. Совриков и др. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017. № 6. С. 15–20.*
4. *Агроинвестор. Россельхозбанк: за пять лет урожайность зерновых в России выросла на 23%. URL: <https://agrarian.expert/rosselhozbank-za-pyat-let-urozhajnost-zernovyh-v-rossii-vyrosla-na-23>. (дата обращения: 05.02.2023).*
5. *Сизов А.А. Как изменения климата оказались на руку российским аграриям. URL: <https://sber.pro/publication/kak-izmeneniia-klimata-okazalis-na-ruku-rossiiskim-agrariiam> (дата обращения: 05.02.2023).*
6. *Карта распаханности почв России / И.Ю. Савин, В.С. Столбовой, С.А. Аветян и др. // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2018. № 94. С. 38–56. doi: 10.19047/0136-1694-2018-94-38-56.*
7. *Столбовой В.С., Молчанов Э.Н. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России как модель пространственной организации почвенного покрова // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015. № 5. С. 135–143.*
8. *Araghi A., Martinez C.J., Olesen J. E. Evaluation of multiple gridded solar radiation data for crop modeling // European Journal of Agronomy. 2022. № 133. P.126419. doi: 10.1016/j.eja.2021.126419.*
9. *25 Years of the WOFOST Cropping Systems Model / A. de Wit, H. Boogaard, D. Fumagalli, et al. // Agricultural Systems. 2019. Vol. 168. No. 1. P. 154–167. doi: 10.1016/j.agsy.2018.06.018.*
10. *Савин И.Ю., Столбовой В.С., ван Диепен К. Имитационная модель роста сельскохозяйственных растений WOFOST и ее использование для анализа продуктивности земель России. М.: РАСХН, 2001. 216 с.*
11. *Савин И.Ю., Столбовой В.С., Савицкая Н.В. Климатический потенциал урожайности озимой пшеницы в России // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 3. С. 17–20.*

12. Кошкин Е.И., Гусейнов Г.Г. Экологическая физиология сельскохозяйственных культур. М.: РГ-Пресс, 2020. 576 с.
13. How good is good enough? Data requirements for reliable crop yield simulations and yield-gap analysis / P. Grassini, L. van Bussel, J. van Wart, et al. // *Field Crops Research*. 2015. Vol. 177. P. 49–63. doi: 10.1016/j.fcr.2015.03.004.
14. Росстат. Методические указания по проведению текущих расчетов объемов производства основных продуктов сельского хозяйства (в натуральном выражении) в хозяйствах всех категорий. М.: Росстат, 2019. 64 с.
15. Climate impacts on global agriculture emerge earlier in new generation of climate and crop models / J. Jägermeyr, C. Müller, A.C. Ruane, et al. // *Nature Food*. 2021. No. 2. P. 873–885. doi: 10.1038/s43016-021-00400-y.

Поступила в редакцию 06.02.2023

После доработки 28.02.2023

Принята к публикации 09.03.2023