

МОДЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ И ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР В РЕГИОНАХ РОССИИ¹

С.О. СИПТИЦ, доктор экономических наук. E-mail: siptits@mail.ru, Всероссийский институт аграрных проблем и информатики им. А.А. Никонова Федерального научного центра аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия. ORCID: 0000-0003-2587-2350

И.А. РОМАНЕНКО, доктор экономических наук. E-mail: ir.romanenko@yandex.ru Всероссийский институт аграрных проблем и информатики им. А.А. Никонова Федерального научного центра аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия. ORCID: 0000-0002-4585-2659

Н.Е. ЕВДОКИМОВА, кандидат экономических наук. E-mail: nevdoki@gmail.com Всероссийский институт аграрных проблем и информатики им. А.А. Никонова Федерального научного центра аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия. ORCID: 0000-0001-6568-2063

Целью данного исследования является количественная оценка откликов урожайности и валовых сборов зерновых и зернобобовых культур, как в целом в Российской Федерации, так и в разрезе Федеральных округов и регионов, на возможные климатические изменения в долгосрочном периоде (до 2100 года). Получено пространственное распределение статистических характеристик прогнозных временных рядов урожайности по регионам страны.

Ключевые слова: сельское хозяйство, прогнозирование, урожайность, изменение климата, зерновые и зернобобовые культуры, сценарии.

JEL Classification: D58, C68, N50, Q54

DOI: 10.47711/0868-6351-185-75-86

Изменение климата становится в настоящее время существенным фактором внутренней и внешней политики [1-2], а игнорирование проблемы изменения климата, бездействие, оправдываемое ее недостаточной изученностью, чревато серьезными опасностями для устойчивого развития экономики, в том числе ее аграрного сектора [3].

Наиболее полная информация о наблюдаемых и ожидаемых изменениях климатических условий в России и последствиях этих изменений представлена в оценочном докладе Росгидромета, опубликованном в 2019 г. [4]. На территории России продолжается потепление, темпы которого намного превышают средне-глобальные. Рост среднегодовой температуры воздуха на территории России в 1976-2019 гг. составил 0,47°C в среднем за десять лет. Это более чем в два с половиной раза больше скорости роста глобальной температуры за тот же период, и более чем в полтора раза большей средней скорости потепления приземного воздуха над сушей земного шара. Температура каждого последующего десятилетия с 1980 г. превышала температуру предыдущего.

В докладе [4] отмечается, что на всей территории земледельческой зоны России растет теплообеспеченность сельскохозяйственных культур, что приводит к увеличению продолжительности периода активной вегетации.

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 20-010-00455А «Методология оценки рисков утраты продовольственной безопасности Российской Федерации под воздействием факторов нестационарной климатической динамики».

В целом по стране количество осадков также растет, главным образом за счет осадков весеннего сезона. При этом зимой и летом наблюдается их убывание. Наибольшие риски представляет убывание летних осадков в европейской части России. Так, за последние десять лет в Южном федеральном округе количество осадков снизилось на 4,8%, что наряду с ростом температуры увеличивает риск наступления засухи.

Научной основой прогнозирования климата служат глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана. В настоящее время их создано более ста в разных странах. Для унификации таких моделей, чтобы можно было сравнивать их параметры и результаты экспериментов, в 1990 г. был запущен международный проект AMIP – Atmospheric Model Intercomparison Project. В 2005-2006 гг. рабочая группа AMIP начала собирать результаты климатического моделирования ведущих научных центров по всему миру. Собранные в виде архивов результаты моделирования прошлого, настоящего и будущего климата подготовили третью фазу проекта по сравнению взаимосвязанных моделей – Coupled Model Intercomparison Project – CMIP3. В сентябре 2008 г. на встрече с участием 20 ведущих международных коллективов по моделированию климата в рамках рабочей группы по моделям взаимодействия между атмосферой и океаном (Working Group on Coupled Modelling – WGCM) была достигнута договоренность о проведении следующего этапа работ с использованием нового набора скоординированных экспериментов. Эти эксперименты сформировали пятую фазу международного проекта по сравнению моделей – CMIP5.

Есть достаточно доказательств того, что данные модели дают достоверные оценки будущих изменений климата, особенно в масштабе континентов. Модели демонстрируют значительную и все возрастающую способность к представлению многих важных средних показателей климата, таких как распределение температуры, осадков, радиации, ветра, течений, льдов и снежного покрова. Модели воспроизводят и другие наблюдаемые изменения, такие как более быстрое повышение ночной температуры, чем дневной, более значительную степень потепления в Арктике и др. Смоделированные проекции глобальной температуры за последние два десятилетия в общем хорошо согласуются с наблюдаемыми за этот период [5].

Тем не менее, указанные модели не лишены значительных ошибок, которые, как правило, больше при меньших масштабах территориального агрегирования. Источник таких ошибок в невозможности представить многие важные мелкомасштабные процессы в моделях явно. Поскольку неопределенность, связанная с получением количественных и качественных оценок изменения климата глобальными моделями при меньших масштабах повышается, то для оценки последствий изменений климата на региональном и локальном уровнях используются специальные модели, которые в перспективе позволяют решить эту проблему с достаточным для практики пространственным разрешением [6]. В нашем случае такой моделью является российская модель Института вычислительной математики РАН – INMCM 4.0 Model. Результаты моделирования были получены в рамках международного проекта CMIP6, ставшего продолжением исследований по проектам CMIP3 и CMIP5.

В большинстве работ [7-10] связь между урожайностью какой-либо культуры в фиксированной точке пространства и погодными факторами описывают уравнениями регрессии, вида:

$$Y(t) = F[x_i(\tau, t), (\vec{\pi}_t)], i \in I, \tau \in [\tau_s, \tau_e], t \in [0, T], \quad (1)$$

где $Y(t)$ – урожайность сельскохозяйственной культуры в году t из интервала $[0, T]$, выбранного для изучения; $F[x_i(\tau, t), (\vec{\pi}_t)]$ – функционал, ставящий в соответствие

урожайность погодным факторам; $x_i(\tau, t)$ – i -й метеоэлемент из множества I , определенный на вегетационном периоде данной культуры в году t^2 ; τ_s, τ_e – начало и окончание вегетационного периода, на котором определен i -й метеоэлемент; $\vec{\pi}_t$ – вектор параметров для i -го метеоэлемента, подлежащий оценке в процессе регрессионного анализа.

Целью данного исследования является количественная оценка откликов урожайности и валовых сборов зерновых и зернобобовых культур как в целом по Российской Федерации, так и в разрезе Федеральных округов и регионов на возможные климатические аномалии в долгосрочном периоде 2020-2100 гг.

В работе дана постановка следующих вопросов:

Какие климатические параметры в наибольшей степени влияют на урожайность зерновых и зернобобовых культур в регионах России?

Какая часть фактической общей изменчивости урожайности зерновых и зернобобовых культур объясняется этими климатическими параметрами?

Какова чувствительность урожайности зерновых и зернобобовых культур к данной климатической моделью скорости изменения климатических параметров, и как эта чувствительность варьирует в зависимости от региона?

Каковы прогнозные климатически обусловленные приrostы/потери урожайности зерновых и зернобобовых культур в регионах России?

Каковы прогнозные оценки динамики среднего валового сбора зерновых и зернобобовых культур на территории России до конца XXI в. при сохранении существующих на настоящий момент размеров посевных площадей, а также параметров систем ведения сельского хозяйства.

Материалы и методы. Для оценки влияния долгосрочных климатических изменений нами использовались результаты расчетов по климатической модели российских ученых INMCM 4.0 Model, полученные в рамках международного проекта CMIP6. В проектах CMIP5 и CMIP6 вместо известных сценариев SRES (B1, A1B, A2, соответствующих концентрации CO₂ в 2100 г. в 540, 762 и 875 ppm) по CMIP3, представлены новые сценарии RCP (Representative Concentration Pathway³), связанные со стабилизацией общего антропогенного воздействия в 2100 г. также на разных уровнях: 2,6; 4,5 и 8,5 Вт/кв. м⁴.

Сценарий более высоких выбросов (RCP 8.5) имитирует современную мировую траекторию увеличения выбросов парниковых газов и роста населения до конца века при номинальной политике сокращения выбросов. Этот сценарий предполагает, что потепление будет продолжаться нынешними высокими темпами. Сценарий RCP 4.5, имитирующий сокращение выбросов парниковых газов, послужил источником климатической информации для нашей работы. Он предполагает снижение активности промышленных предприятий; уменьшение использования топлива и других невозобновляемых ископаемых ресурсов; переход на низкозатратные «зеленые» технологии; уменьшение потребления населением высокобелковых продуктов питания благодаря изменению потребительских предпочтений населения с высокими доходами, а также по причине невозможности потреблять эти продукты все более беднеющему населению с низкими доходами. На наш взгляд, именно этот сценарий в наибольшей степени отражает возможное развитие событий в постпандемической экономике как в мире, так и в России.

Оценки влияния на урожайность зерновых и зернобобовых культур климатического фактора выполнены с привлечением регрессионного анализа. При этом влияние научно-технического прогресса и других экономических факторов в явном виде

² Для озимых культур начало периода вегетации τ_s относится к предыдущему году.

³ <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10584-011-0148-z.pdf>

⁴ Вт/кв. м. W/m² – единица СИ показателей плотности теплового потока; 1 Вт/кв. м равен плотности теплового потока 1 Вт, равномерно распределенного по поверхности площадью 1 кв. м.

не учитывалось. Частично эта проблема смягчена калибровкой уравнения регрессии для каждого региона, о чем будет сказано далее.

Исходная информационная матрица для периода 1995-2016 гг. содержит климатические характеристики в виде гидротермических условий теплого периода года: среднемесячные температуры, месячные суммы осадков, а также средние региональные значения урожайности зерновых и зернобобовых культур за тот же период.

В ходе предварительных экспериментов по изучению зависимости урожайности зерновых и зернобобовых культур от перечисленных климатических характеристик в регионах их возделывания было установлено, что при замене в уравнениях регрессии исходных данных по климатическим характеристикам на их накопленные значения возрастает точность аппроксимации. Это соответствует характеру производственного процесса растений, когда текущее значение биомассы можно представить как интегральный результат воздействия на растение температуры воздуха и осадков за предшествующую часть вегетационного периода.

Из этих соображений исходная спецификация уравнения регрессии была принята в форме суммы за апрель-август квадратичных функций от накопленных значений температуры и осадков. Следует отметить, что гидротермические факторы являются основными предикторами, применяемыми агрометеорологами в регрессионных зависимостях прогноза урожайности, а аппроксимация, содержащая линейные члены, их парные произведения и их квадраты, представляется разумным приближением в описании реакций культурных растений на климатические воздействия.

Таким образом, в рамках данного исследования среднемноголетняя урожайность зерновых и зернобобовых как функция гидротермических условий регионов имеет следующий вид:

$$Y_i(T, P) = b_i + \sum_j \{ \alpha_j T_{ij} + \beta_j P_{ij} + \gamma_j ([T_{ij}])^2 + \delta_j ([P_{ij}])^2 + \theta_j T_{ij} P_{ij} \}, \quad (2)$$

где $Y_i(T, P)$, $i \in [1, N]$ – среднемноголетняя урожайность зерновых и зернобобовых как функция гидротермических условий i -го региона, ц/га; N – число регионов, вошедших в информационную матрицу; j – номер месяца, $j \in [4; 8]$ (апрель-август); T_{ij} – сумма среднемесячных температур i -го региона, начиная с апреля до j -го месяца включительно, среднее значение за расчетный период 1995-2016 гг.; P_{ij} – то же для месячной суммы осадков; b_i , α_j , β_j , γ_j , δ_j , θ_j – параметры уравнения регрессии, подлежащие оцениванию.

Для получения оценок перечисленных параметров использована пошаговая регрессия (на массиве данных, который состоит из 79 точек – по числу регионов) с исключением незначимых аргументов. В табл. 1 приведены ее результаты.

Таблица 1

Уравнение регрессии (2) урожайности зерновых и зернобобовых от гидротермических условий климата в регионах*

Предикторы	Коэффициенты уравнения регрессии	Стандартная ошибка коэффициентов регрессии	$t(79)$
P_6	0,180	0,060	2,99
$(P_6)^2$	-0,000474	0,000145	-3,25
$T_4 P_4$	0,0426	0,0059	7,205

* Примечание. Все параметры регрессионного уравнения, кроме свободного члена, статистически значимы. Значения t -критерия Стьюдента превышают табличное, $|t|=1,99$ при 5-процентном уровне значимости. Значение критерия Дарбина – Уотсона $DU=1,94 > 1,59$ (табличное значение при уровне значимости 0,05), что не отвергает гипотезу об отсутствии автокорреляции в остатках. $R^2 = 0,623$.

Вошедшие в состав регрессионного уравнения предикторы, в соответствии с введенными выше обозначениями, представляют собой: сумму осадков за апрель-июнь, квадрат суммы осадков за апрель-июнь, произведение среднемесячной температуры и суммы осадков апреля.

На рис. 1 показано соответствие фактических и расчетных значений региональных урожайностей зерновых и зернобобовых. Полученное уравнение было использовано для оценки возможных изменений урожайности зерновых и зернобобовых культур в регионах России. Для отражения индивидуальных региональных эффектов предварительно выполнялась процедура калибровки уравнения (2) путем подбора значения свободного члена b_i до совпадения с фактической среднемноголетней урожайностью в данном регионе, а также снижение размаха колебаний урожайности до фактически наблюдаемых величин.

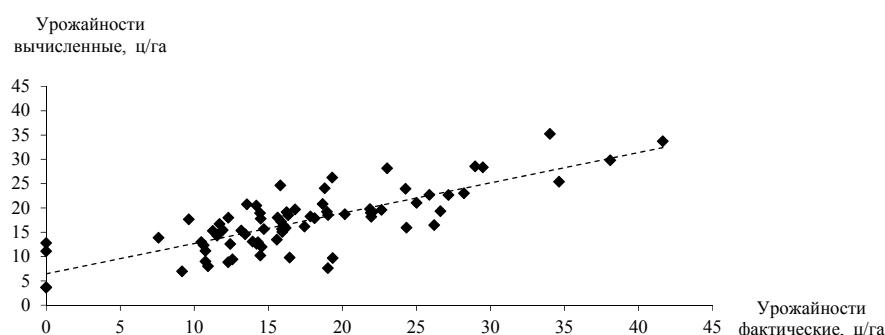


Рис. 1. Связь между фактическими и расчетными значениями среднемноголетней урожайности зерновых и зернобобовых в регионах России.
----- линейная аппроксимация зависимости вычисленных значений урожайности от фактических (коэффициент детерминации $R^2 = 0,622$)

Рассмотрим пример прогноза урожайности зерновых и зернобобовых культур для сценария RCP 4.5 на примере Владимирской области.

На следующих рис. 2-4 показана прогнозная динамика сумм температур и осадков теплого периода для Владимирской области.

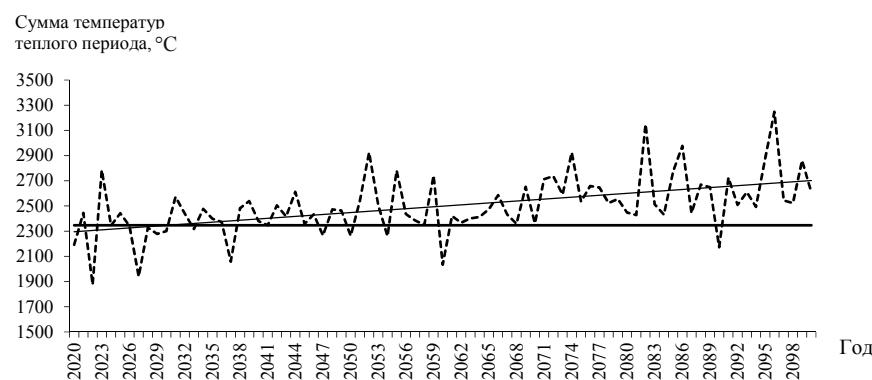


Рис. 2. Сумма температур теплого периода на прогнозном интервале в соответствии со сценарием RCP 4.5., Владимирская обл.:

— норма современного климата; —— суммы температур теплого периода (сценарий RCP 4.5);
— линейный тренд сумм температур теплого периода

Источник: прогнозы температур, полученные при расчетах по сценарию RCP 4.5 российской моделью Института вычислительной математики РАН – INMCM 4.0 Model.

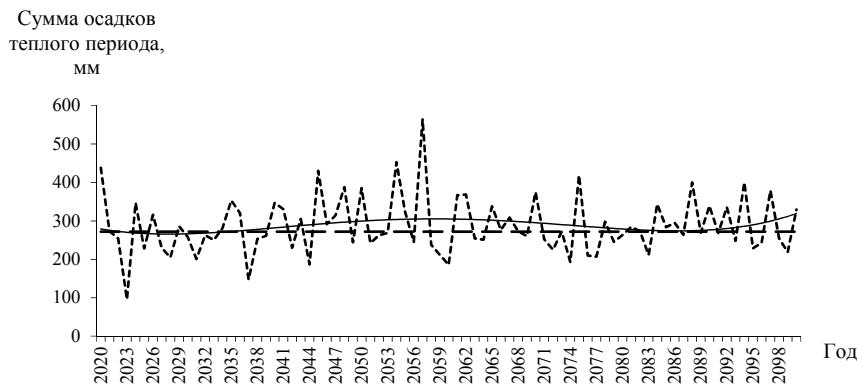


Рис. 3. Динамика осадков теплого периода на прогнозном интервале в соответствии со сценарием RCP 4.5., Владимирская обл.:

— сумма осадков теплого периода (сценарий RCP 4.5); — норма современного климата; — полиномиальный тренд сумм осадков теплого периода.

Источник: прогнозы осадков, полученные при расчетах по сценарию RCP4.5 российской моделью Института вычислительной математики РАН – INMCM 4.0 Model.

Для Владимирской области свободный член уравнения регрессии $b = -16,6$.

Снижение размаха колебаний урожайности до фактически наблюдавшихся значений на интервале 1995-2016 гг. выполнялось в соответствии со следующим выражением:

$$Y_{\text{сглаж}} = Y_{\text{тренд}} + k(Y_{\text{прогноз}} - Y_{\text{тренд}}), \quad (3)$$

где $Y_{\text{тренд}}$ – кубический полином – функция времени прогнозного периода; k – коэффициент усиления – подбирается из условия приблизительного соответствия размаха колебаний на интервале 1995-2016 гг. в данном регионе; в этом случае $k \approx 0,3$.

На рис. 4 представлен результат калибровки расчетных значений урожайности зерновых и зернобобовых культур для Владимирской области.

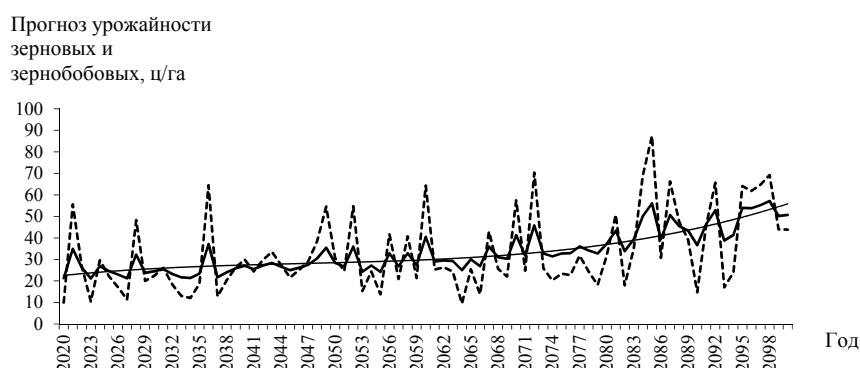


Рис. 4. Прогнозные значения урожайности зерновых и зернобобовых во Владимирской обл. после процедуры калибровки

Уравнение тренда:

$$y = 0,0001x^3 - 0,0123x^2 + 0,4433x + 22,147, \quad x - \text{номер года на интервале прогноза};$$

начало отсчета – 2020 год принят за единицу:

— исходный ряд до процедуры калибровки; — ряд урожайностей после калибровки; — полиномиальный (исходный ряд до процедуры калибровки), линия тренда

Результаты и их обсуждение. В табл. 2 приведены среднегодовые приrostы урожайности и коэффициенты ее вариации во временных рядах на интервале прогнозирования по регионам России, что позволяет сделать межрегиональные сравнения.

Таблица 2

**Среднегодовые приросты урожайности и коэффициенты
ее вариации во временных рядах на интервале прогнозирования**

№	Регион России	Средний або-	Коэффициент вариации, %
		лютный при- рост урожайно- сти, ц/га	
1		2	3
1	Алтайский край	0,0277	26,0
2	Амурская область	0,0278	24,1
3	Архангельская область	0,0097	23,9
4	Астраханская область	0,0145	29,9
5	Белгородская область	-0,0042	35,9
6	Брянская область	0,0297	39,4
7	Владимирская область	0,0241	32,7
8	Волгоградская область	-0,0040	39,0
9	Вологодская область	0,0437	24,7
10	Воронежская область	-0,0069	38,6
11	Еврейская автономная область	0,0119	17,8
12	Забайкальский край	0,0225	22,3
13	Ивановская область	0,0281	29,0
14	Иркутская область	0,0384	20,3
15	Кабардино-Балкарская Республика	-0,0241	24,4
16	Калининградская область	-0,0095	30,3
17	Калужская область	0,0310	36,1
18	Камчатская область	0,0190	25,6
19	Карачаево-Черкесская Республика	-0,0426	27,1
20	Кемеровская область	0,0521	25,2
21	Кировская область	0,0373	24,6
22	Костромская область	0,0238	26,8
23	Краснодарский край	-0,0424	30,5
24	Красноярский край	0,0377	19,5
25	Курганская область	-0,0160	27,9
26	Курская область	0,0193	38,5
27	Ленинградская область	0,0193	26,1
28	Липецкая область	0,0368	34,7
29	Магаданская область	-	-
30	Московская область	0,0389	35,6
31	Мурманская область	-	-
32	Нижегородская область	0,0263	28,4
33	Новгородская область	0,0125	32,3
34	Новосибирская область	0,0259	27,1
35	Омская область	0,0040	28,4
36	Оренбургская область	0,0003	32,3
37	Орловская область	0,0346	37,2
38	Пензенская область	0,0120	33,7
39	Пермская область	0,0066	22,6
40	Приморский край	0,0176	21,6
41	Псковская область	0,0125	33,1
42	Республика Адыгея	-0,0585	29,5
43	Республика Алтай	0,0189	23,0
44	Республика Башкортостан	-0,0005	29,6
45	Республика Бурятия	0,0395	21,9
46	Республика Дагестан	0,0032	23,7
47	Республика Ингушетия	-0,0092	22,9
48	Республика Калмыкия	-0,0005	27,3
49	Республика Карелия	0,0240	21,6
50	Республика Коми	0,0049	21,1
51	Республика Крым	0,0181	35,0
52	Республика Марий Эл	0,0100	26,0
53	Республика Мордовия	0,0180	28,5
54	Республика Саха (Якутия)	0,0127	24,5
55	Республика Северная Осетия-Алания	-0,0108	25,4
56	Республика Татарстан	0,0089	30,4
57	Республика Тыва	0,0248	19,5

Продолжение табл. 2

A	1	2	3
58	Республика Хакасия	0,0393	19,9
59	Ростовская область	-0,0248	41,5
60	Рязанская область	0,0256	34,6
61	Самарская область	-0,0010	32,4
62	Саратовская область	0,0147	38,0
63	Сахалинская область	0,0297	25,9
64	Свердловская область	0,0123	21,4
65	Смоленская область	0,0245	36,0
66	Ставропольский край	-0,0251	23,3
67	Тамбовская область	0,0275	32,7
68	Тверская область	0,0201	27,8
69	Томская область	0,0312	20,0
70	Тульская область	0,0360	34,2
71	Тюменская область	0,0102	25,8
72	Удмуртская Республика	0,0040	28,4
73	Ульяновская область	0,0002	29,4
74	Хабаровский край	0,0037	17,7
75	Челябинская область	-0,0166	26,2
76	Чеченская Республика	-0,0053	23,0
77	Чувашская Республика	0,0003	29,8
78	Чукотский автономный округ	-	-
79	Ярославская область	0,0237	28,7

Полученные нами результаты анализа прогнозной динамики урожайности зерновых и зернобобовых (рис. 5-6) совпадают с результатами предыдущих исследований [7-9] в оценках негативных последствий для некоторых регионов Черноземной зоны и Поволжья. Однако общий вывод о сокращении валового производства зерна в России в долгосрочном периоде нами не разделяется [11]. Во-первых, уменьшение урожайности в основных зернопроизводящих регионах России выглядит не столь критичным, во-вторых, рост урожайности в регионах ЦФО и Сибири также вносит свой вклад в увеличение общего объема производства зерновых и зернобобовых культур в России до 2100 г.

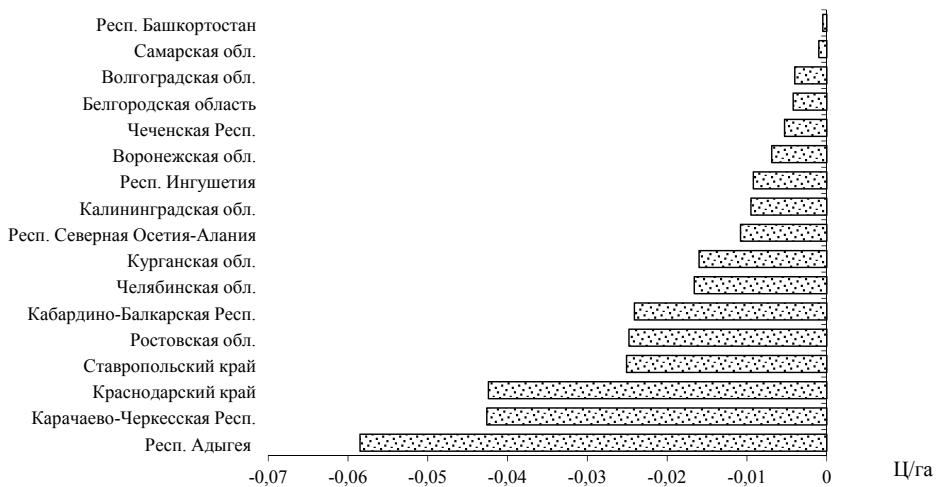


Рис. 5. Группа регионов с отрицательными среднегодовыми приростами урожайности зерновых и зернобобовых

Полученные нами результаты показывают, что отрицательное и близкое к нулю изменение урожайности прогнозируется в 18-ти регионах (см. табл. 2). Наибольшие значения снижения урожайности зерновых и зернобобовых ожидаются в основном в

регионах Южного федерального округа и Северного Кавказа (см. рис. 5). Среди них основные зернопроизводящие регионы России: Краснодарский край и Ростовская область. Небольшое снижение урожайности зерновых и зернобобовых ожидается в двух регионах ЦФО – Белгородской и Воронежской областях. Для этих регионов характерна также высокая вариация урожайности на прогнозном интервале – более 35% в Белгородской области и более 38% в Воронежской области, т.е. эти регионы попадают в группу риска при производстве зерновых и зернобобовых культур.

В большинстве регионов России, производящих зерновые и зернобобовые культуры (29), урожайность растет на прогнозном периоде (рис. 6). Это регионы Нечерноземной зоны России, а также Сибири, включая Алтайский край, Тюменскую, Томскую, Иркутскую области.

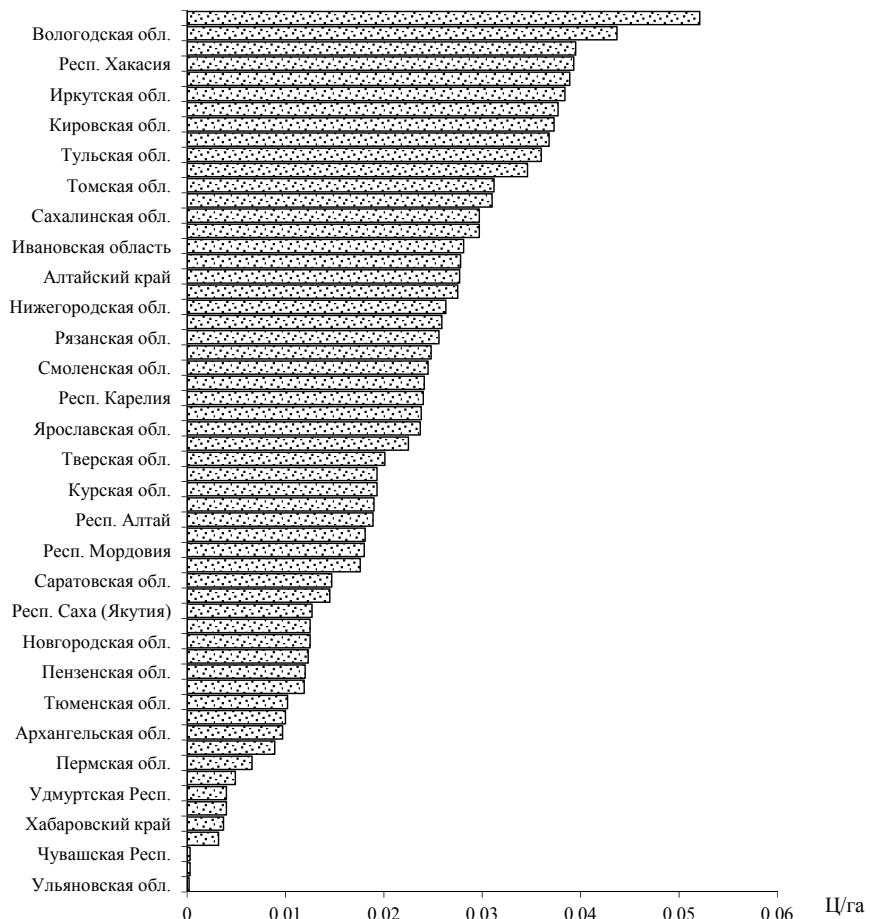


Рис. 6. Регионы с положительными среднегодовыми приростами урожайности зерновых и зернобобовых культур

На рис. 7 представлена динамика среднего валового сбора зерновых и зернобобовых культур за десятилетние периоды прогнозного интервала по федеральным округам России. Расчет сделан из предположения о сохранении размеров посевных площадей зерновых и зернобобовых культур в регионах на уровне средних наблюдаемых значений за период 2000-2016 гг. Не учитывалось также соотношение между

посевными площадями и убранными⁵. Поэтому результаты данных расчетов можно рассматривать как средние за десятилетия потенциально возможные валовые сборы зерновых и зернобобовых культур при сохранении размеров посевных площадей и систем ведения сельского хозяйства на современном уровне.

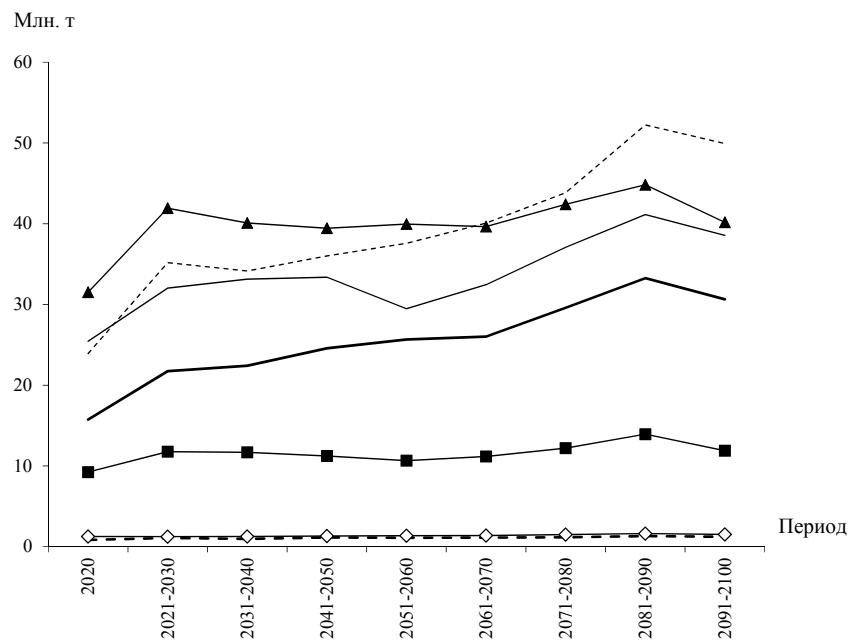


Рис. 7. Среднегодовой потенциальный валовый сбор зерновых и зернобобовых культур за десятилетние периоды прогнозного интервала по федеральным округам России:
— ЦФО; - - СЗФО; ▲— ЮФО; ■— УФО; --- ПФО; △— СФО; ◇— ДВФО

Как видно из данных рис. 7, в целом положительная динамика валового сбора зерновых и зернобобовых культур будет характерна для Центрального и Приволжского федеральных округов. Доля этих округов в общем объеме производства к концу столетия может возрасти соответственно с 14 до 17% по ЦФО и с 24 до 29% по ПФО.

Снижение производства может произойти в Южном федеральном округе вплоть до 2070 г. Доля ЮФО в общем объеме производства России снижается с 29% до 22% к концу столетия.

В регионах Сибири может произойти скачкообразный рост производства зерновых и зернобобовых культур до 2040 г. В дальнейшем вероятно падение производства, которое может восстановиться лишь к 2070 г. с последующим ростом до конца столетия. При этом доля округа в общем валовом сборе к концу столетия может оставаться на уровне 2020-2030 гг. – 22%.

Незначительные колебания производства на прогнозном интервале можно ожидать в регионах Урала. Небольшой рост производства возможен в регионах Северо-Западного и Дальневосточного федеральных округов, доля которых в общем объеме производства, по всей видимости, останется ниже 1%.

⁵ Прогнозирование данного соотношения является отдельной специфической задачей, в которой требуется учитывать риски возникновения экстремальных погодных явлений и других чрезвычайных ситуаций.

* * *

В результате исследования установлено, что около 60% межрегиональной изменчивости урожайности зерновых и зернобобовых культур в целом по России объясняется основными климатическими факторами: температурой воздуха и осадками.

Большинство исследователей приходит к выводу, что урожайность зерновых в наиболее продуктивных, богатых черноземами регионах России может снизиться наполовину к концу столетия [8-10], если не будут приняты соответствующие адаптационные меры. По нашим расчетам, также наибольшие риски снижения урожайности зерновых и зернобобовых могут возникнуть в регионах Черноземной зоны России и Поволжья. Наиболее неблагоприятные условия могут сложиться там, где ожидаемое снижение урожайности сочетается с ее большой изменчивостью (коэффициент вариации выше среднего по регионам). К этим регионам относятся: республики Адыгея и Башкортостан; Краснодарский край; области: Ростовская, Калининградская, Воронежская, Белгородская, Волгоградская, Самарская.

Положительные приrostы урожайности прогнозируются в 57-ми регионах. При этом можно ожидать, что высокие (больше средних по группе) темпы роста урожайности будут сочетаться с низкими (меньше среднего по группе) коэффициентами вариации в следующих регионах: Республика Карелия, Томская область, Республика Тыва, Красноярский край, Республика Хакасия, Иркутская область, Республика Бурятия.

Нами была проведена прогнозная оценка валового производства зерновых и зернобобовых культур на территории России до конца 21-го века при реализации климатического сценария RCP 4.5 при условии сохранения размеров посевных площадей на современном уровне (эффекты научно-технического прогресса не учитывались): Начиная с 2030 г. и по 2060 г. потенциальные валовые сборы находятся на уровне 140 млн. т в среднем за год. В дальнейшем происходит увеличение среднего потенциального валового сбора до уровня 170 млн. т к 2080 г. и 190 млн. т к 2090 г. К 2100 г. средние потенциальные валовые сборы возвращаются к уровню 170 млн. т.

Литература / References

1. Порфирьев Б.Н. Устойчивое развитие, климат и экономический рост: стратегические вызовы и решения для России. С.-Петербург: СПбГУП, 2020. 40 с. [Porfir'yev B.N. Sustainable development, climate and economic growth: strategic challenges and solutions for Russia. St. Petersburg: SPbGUP, 2020. 40 p.]
2. Ксенофонтов М.Ю., Ползиков Д.А. К вопросу о влиянии климатических изменений на развитие сельского хозяйства России в долгосрочной перспективе // Проблемы прогнозирования. 2020. № 3 (180). С. 82-92. [Ksenofontov M.Y., Polzikov D.A. On the Issue of the Impact of Climate Change on the Development of Russian Agriculture in the Long Term // Problemy prognozirovaniya. 2020. № 3. S. 82-92.]
3. Изменение климата – 2007: научно-физическая основа. Межправительственная группа экспертов по изменению климата. 2007. WMO, UNEP. 163 с. [Climate change – 2007: scientific and physical basis. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007.WMO, UNEP. 163 p.]
4. Оценочный доклад Росгидромета за 2019 г. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.meteo-rf.ru/press/news/20626/> [Assessment report of Roshydromet for 2019. URL: <http://www.meteo-rf.ru/press/news/20626/>]
5. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменения климата. М.: Изд-во ВНИИГМИ-МЦД, 2008. 227 с. [Assessment report on climate changes and their consequences on the territory of the Russian Federation. Vol. 1. Climate change. Moscow: Publishing house of VNIIGMI-MCD, 2008. 227 p.]
6. Мокхов И.И., Елисеев А.В., Демченко П.Ф., Хон В.Ч., Акперов М.Г., Аржанов М.М., Карпенко А.А., Тихонов В.А., Чернокульский А.В. Климатические изменения и их оценка с использованием глобальной модели // ИФА РАН. Доклады РАН. 2005. Т. 402. № 2. С. 243-247. [Mokhov I.I., Eliseev A.V., Demchenko P.F., Khon V.Ch., Akperov M.G., Arzhakov M.M., Karpenko A.A., Chernokul'skiy A.V. Climatic changes and their assessment using the global model /IAP RAS. Reports of RAS. 2005. T. 402. No. 2. P. 243-247.]
7. Lobell D.B. & Field C.B. Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming / Environmental Research Letters. 2007. 2(1), 014002. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/2/1/014002>.
8. Сиротенко О.Д., Павлова В.Н. Методы оценки влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства // Монография. Гл. 5: М.Д. Ананичева, Ю.А. Анохин, А.Е. Асарин и др. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / Под науч. ред. С.М. Семенова. Федеральная служба по

- гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. М.: Планета, 2012. С. 165-189. [Sirotenko O.D., Pavlova V.N. Methods for assessing the impact of climate change on agricultural productivity // Monograph. Ch. 5: M.D. Ananicheva, Yu.A. Anokhin, A.E. Asarin and al. Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems / Scientific. ed. C.M. Semenov. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. M.: Planeta, 2012. P. 165-189.]
9. Belyaeva M., Bokusheva R. Will climate change benefit or hurt Russian grain production? A statistical evidence from a panel approach. Discussion Paper, Leibniz Institute of Agricultural Development // Transition Economies. 2017. № 161. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://hdl.handle.net/10419/155773>.
10. Павлова В.Н., Каланка П., Карабчёнова А.А. Продуктивность зерновых культур на территории Европейской России при изменении климата за последние десятилетия // Метеорология и гидрология. 2020. № 1. С. 78-94. [Pavlova V.N., Kalanka P., Karachenkova A.A. Productivity of grain crops on the territory of European Russia under climate change in recent decades // Meteorology and Hydrology. 2020. No. 1. Pp. 78-94.]
11. Светлов Н.М., Сиптиц С.О., Романенко И.А., Евдокимова Н.Е. Влияние изменения климата на размещение отраслей сельского хозяйства России // Проблемы прогнозирования. 2019. № 4(175). С. 59-74. [Svetlov N.M., Sipits S.O., Romanenko I.A. et al. The Effect of Climate Change on the Location of Branches of Agriculture // Problemy prognozirovaniya. 2019. № 4. S. 59-74. [https://doi.org/10.1134/S1075700719040154\]](https://doi.org/10.1134/S1075700719040154)

— ♦ —

Статья поступила 19.06.2020. Статья принята к публикации 27.10.2020

Для цитирования: Сиптиц С.О., Романенко И.А., Евдокимова Н.Е. Модельные оценки влияния климата на урожайность зерновых и зернобобовых культур в регионах России // Проблемы прогнозирования. 2021. № 2(185). С. 75-86.

DOI: 10.47711/0868-6351-185-75-86

Summary

MODEL ESTIMATES OF CLIMATE IMPACT ON GRAIN AND LEGUMINOUS CROPS YIELD IN THE REGIONS OF RUSSIA

S.O. SIPTITS, Doct. Sci. (Econ.), Federal State Budgetary Scientific Institution branch All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics named after A.A. Nikonorov Federal Research Center of Agrarian Economy and Social Development of Rural Areas – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia.

I.A. ROMANENKO, Doct. Sci. (Econ.), Federal State Budgetary Scientific Institution branch All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics named after A.A. Nikonorov Federal Research Center of Agrarian Economy and Social Development of Rural Areas – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia.

N.E. EVDOKIMOVA, Cand. Sci. (Econ.), Federal State Budgetary Scientific Institution branch All-Russian Institute of Agrarian Problems and Informatics named after A.A. Nikonorov Federal Research Center of Agrarian Economy and Social Development of Rural Areas – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia.

Abstract: The purpose of this study is to quantify the responses of the yield and gross harvests of grain and leguminous crops to possible climatic changes in the long term (up to 2100) both in the Russian Federation as a whole and from the angle of the federal districts and regions. The spatial distribution of the statistical characteristics for the predicted time series of yield in the regions of the country has been obtained.

Key words: agriculture, forecasting, productivity, climate change, cereals and legumes, scenarios.

JEL Classification: D58, C68, N50, Q54

Received 19.06.2020. Accepted 27.10.2020.

For citation: S.O. Sipits, I.A. Romanenko, and N.E. Evdokimova. Model Estimates of Climate Impact on Grain and Leguminous Crops Yield in the Regions of Russia // Studies on Russian Economic Development. 2021. Vol. 32. № 2. Pp. 168-175.

DOI: 10.1134/S1075700721020106