

## Оценка агроклиматических ресурсов и урожайности яровой пшеницы в Республике Татарстан

В. Н. Павлова\*, Ю. П. Переведенцев\*\*,  
А. А. Караченкова\*, М. Ш. Тагиров\*\*\*,  
Н. А. Мирсаева\*\*

*Анализируются климатические тенденции последних десятилетий и потенциальное влияние агротехнологий на урожайность яровой пшеницы в Республике Татарстан. Использовались данные Росстата об урожайности яровой пшеницы и данные наблюдений 18 метеорологических станций с 1961 по 2020 г. С помощью имитационной системы “Климат — почва — урожай” рассчитывалась климатически обусловленная урожайность при фиксированном агротехническом уровне для периодов 1961—1990 и 1991—2020 гг. Установлены различия в тенденциях изменений фактической и климатически обусловленной урожайности для этих периодов. Средняя фактическая урожайность второго периода практически вдвое превышает урожайность первого периода, но темпы ее роста при этом не увеличиваются. Средняя климатически обусловленная урожайность в 1991—2020 гг. оказалась ниже, чем в 1961—1990 гг. (тест Манна — Уитни,  $p = 0,05$ ). Анализ показателей агроклиматических ресурсов по отдельным десятилетиям показывает, что тенденция к уменьшению климатически обусловленной урожайности связана с существенным ростом температуры вегетационного периода и ужесточением режима увлажненности. Темпы вероятного снижения климатически обусловленной урожайности яровой пшеницы в Республике Татарстан для периода с 1991 по 2020 г. составляют ~2% за 10 лет.*

**Ключевые слова:** изменение климата, региональный мониторинг, яровая пшеница, урожайность, агроклиматические ресурсы, Республика Татарстан.

**DOI:** 10.52002/0130-2906-2023-1-90-102

### 1. Введение

Вопросам разработки научно-методических основ агроклиматического мониторинга региональных систем земледелия при изменении климата на основе имитационной системы “Климат — почва — урожай” посвящены работы [7, 8, 15]. По прогнозу, который дается на основе климатических

\* Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии; e-mail: vnr2003@bk.ru (Павлова Вера Николаевна).

\*\*Казанский (Приволжский) федеральный университет.

\*\*\*Татарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук.

моделей, можно ожидать, что темпы потепления в будущем будут аналогичны современным темпам, а частота и интенсивность опасных метеорологических явлений возрастут [1, 19, 21]. В этих условиях важной задачей является проведение обоснованных оценок тенденций изменения агроклиматических условий и продуктивности сельскохозяйственных культур в основных зерновых регионах. Такие оценки должны явиться основой информационно-аналитического обеспечения адаптации сельского хозяйства России к наблюдаемому и прогнозируемому изменению климата в соответствии с Национальным планом адаптации [3, 5, 6].

По данным министерства сельского хозяйства и продовольствия Татарстана, в структуре посевных площадей под выращивание зерновых культур, таких как озимая и яровая пшеница, горох, овес, ячмень, выделено около 52% площади пашни [13]. Урожайность яровой пшеницы в Татарстане за период 2001—2020 гг. самая высокая (около 29,0 ц/га) среди субъектов Российской Федерации. При этом республика занимает пятое место в рейтинге по валовому сбору яровой пшеницы в России и девятое место — по посевным площадям.

Принимая во внимание ведущую роль Республики Татарстан в производстве зерна и растущий спрос на него как на внутреннем, так и на внешнем рынке, мониторинг роста и развития сельскохозяйственных культур при наблюдаемом изменении климата необходим как в оперативной практике обслуживания производителей сельскохозяйственной продукции и управленческих структур, так и для разработки регионального плана адаптации к изменениям климата.

Цель данного исследования — региональный агроклиматический мониторинг и оценка влияния изменений климата на агроклиматические ресурсы в Республике Татарстан на примере основной зерновой культуры — пшеницы. Поставленная задача решается на основе современной технологии — имитационной системы “Климат — почва — урожай”, позволяющей получить детализированные во временном и пространственном разрешении количественные оценки воздействий изменений климата за достаточно длительный период — с 1961 по 2020 г.

## 2. Материалы и методы

**Информационная база данных.** Используются данные месячного разрешения с 1961 по 2020 г. из подмножества базы данных “Климат” Института глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля (ИГКЭ). Агрометеорологический мониторинг осуществляется по данным наблюдений за температурой воздуха и суммами осадков месячного разрешения 18 метеорологических станций на территории Республики Татарстан с 1995 по 2020 г., поступающим из действующего в системе Росгидромета программного комплекса обработки гидрометеорологической информации PROMETEI. Картограмма расположения метеостанций представлена на рис. 1.

**Имитационная система “Климат — почва — урожай”** [20] объединяет динамическую модель “Погода — урожай”, информационную базу данных и технологию ее обработки и анализа. Идентификация и верификация системы проводились по данным ретроспективных метеорологических и



Рис. 1. Картограмма размещения метеорологических станций на территории Республики Татарстан.

агрометеорологических наблюдений, в том числе наблюдений за влажностью почвы.

Методика обработки данных и различные схемы визуализации (таблицы, графики, картограммы) в системе «Климат — почва — урожай» позволяют выполнять ретроспективный, оперативный и прогностический анализ агрометеорологических условий на территории отдельных субъектов. Полный перечень выходных агроклиматических показателей (индексов) и показателей продуктивности, а также экстремальных условий погоды для мониторинга изменений климата с помощью имитационной системы «Климат — почва — урожай» представлен в работе [9].

Климатически обусловленная урожайность как показатель продуктивности сельскохозяйственных культур рассчитывается в имитационной системе по фактическим метеорологическим и агрометеорологическим данным (данным наблюдений) при среднем за ряд лет зафиксированном параметрами модели агротехническом уровне.

**Калибровка и верификация системы «Климат — почва — урожай».**  
**Запасы почвенной влаги.** На большей части территории центральных областей европейской части России наблюдаемые изменения агроклиматических ресурсов на фоне продолжающегося потепления связаны с тенденцией к иссушению почвы [10, 11, 17]. Наиболее информативным и востребованным на практике показателем влажностного режима сельскохозяйственных полей служат наблюдения за запасами почвенной влаги, которые ведутся на метеорологических станциях и постах сети Росгидромета. Ввиду недостаточной плотности сети наблюдений расчетные методы представляются важными с точки зрения задачи оценки наблюдаемых и прогнозируемых изменений климата.

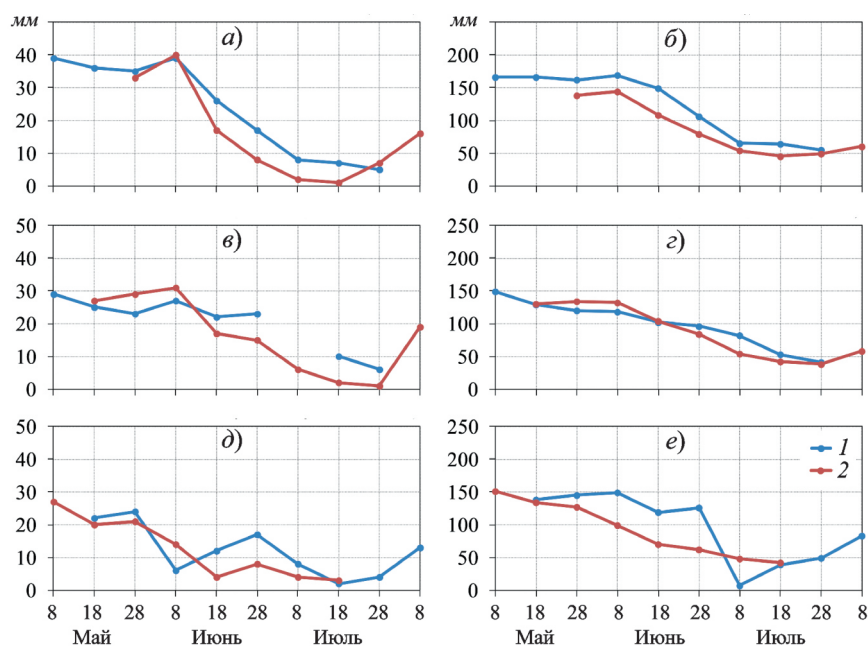


Рис. 2. Фактические (1) и расчетные (2) запасы продуктивной влаги на 8-й, 18-й и 28-й день месяца в пахотном (0—20 см; а, в, д) и метровом (0—100 см; б, з, е) слоях почвы в 2020 г. в трех пунктах наблюдений: Большие Кайбицы (а, б), Дрожжаное (в, з) и Азнакаево (д, е).

В системе “Климат — почва — урожай” продуктивные запасы влаги в почве в течение вегетационного периода — это результат моделирования процессов инфильтрации, испарения, транспирации и корневого поглощения влаги [14]. Проведена корректировка и верификация модели по данным наблюдений на отдельных метеорологических станциях за влажностью почвы под яровыми зерновыми (яровая пшеница или яровой ячмень). На рис. 2 представлена расчетная и фактическая влажность почвы в пахотном и метровом слоях в наблюдательных пунктах Большие Кайбицы, Дрожжаное и Азнакаево в 2020 г. Относительная ошибка расчетов составляет от 10 до 20%, что можно считать достаточно хорошим показателем, учитывая точность определения фактической влажности почвы на метеостанциях.

**Климатически обусловленная урожайность.** По материалам полевых экспериментов и литературным данным на этапе создания модели были определены константы модели: общие, не зависящие от культуры (коэффициент перехода от интегральной радиации к фотосинтетически активной радиации, коэффициент газообмена, кардинальная температура дыхания и др.), и специфические, по культурам (сумма эффективных температур по межфазным периодам, коэффициенты перехода от репродуктивных органов к хозяйственному урожаю, параметры для расчета биологических функций и др.).

Очевидно, что модель, параметры которой идентифицированы по данным экспериментов, нельзя использовать для прогнозирования осредненной по территории урожайности. При переходе к расчетам для отдельных регионов необходимо ограничить “эмпиризм” модели, что достигается путем выбора для оптимизации небольшого числа параметров [14].

Климатически обусловленная урожайность, рассчитанная в системе “Климат — почва — урожай”, отражает влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур, прежде всего, климатических факторов. Агротехнический уровень или уровень культуры земледелия косвенно определяется параметрами модели, которые остаются постоянными в течение того или иного временного отрезка. Если происходит резкий скачок в уровне системы землепользования и урожайность повышается, то соответствующие параметры корректируются с учетом наблюдаемых тенденций.

Настройки параметров модели для территории Татарстана осуществлялись с использованием данных Росстата об урожайности [12]. Целевая функция минимизировалась по методу наименьших квадратов:

$$F(\beta, r_c, a_r) = \sum_{j=1, N} (Y_m - Y_f)^2,$$

где  $Y_m$  — климатически обусловленная урожайность, рассчитанная по модели “Погода — урожай”;  $Y_f$  — фактическая урожайность (Росстат);  $N$  — длина ряда наблюдений;  $\beta, r_c, a_r$  — параметры блока роста и развития модели.

### 3. Результаты и обсуждение

#### 3.1. Фактическая урожайность

Рассматривался временной ряд фактической урожайности яровой пшеницы за период с 1961 по 2020 г. Анализ показывает, что за три последних десятилетия урожайность яровой пшеницы в Татарстане резко выросла, начиная с конца 1990-х — начала 2000-х годов. В течение 1961—1990 гг. средняя по десятилетиям урожайность яровой пшеницы колебалась в достаточно узком диапазоне и составляла 12,3; 14,3 и 14,3 *ц/га* соответственно. В период с 1991 по 2020 г. средняя по десятилетиям урожайность превысила 20 *ц/га* с максимумом в 2001—2010 гг., равным 25,8 *ц/га* даже с учетом аномально низкой урожайности 2010 г. Максимальная урожайность выросла практически вдвое — от ~17—22 *ц/га* в 1961—1990 гг. до ~31—37 *ц/га* в 1991—2020 гг. (табл. 1).

Заметим при этом, что уровень урожайности яровой пшеницы в Республике Татарстан не понижался и в период реформирования в 1990-е годы, когда падение продуктивности сельскохозяйственных культур наблюдалось практически повсеместно. Так, в 1993 и 1994 гг. средняя урожайность в республике составила 20,5 и 23,9 *ц/га* соответственно при средней урожайности пшеницы (яровой и озимой) на уровне 14 *ц/га* по России в целом.

На рис. 3 представлены ряды фактической и климатически обусловленной урожайности яровой пшеницы с 1961 по 2020 г. (с настройкой пара-

Таблица 1

**Статистические характеристики урожайности ( $\mu/\text{га}$ ) яровой пшеницы в Республике Татарстан в 1961—2020 гг. (по данным Росстата)**

Период, годы	Mean	SD	$C_v$ , %	Max	Min	Amp
1961—1970	12,3	3,5	28	17,3	9,0	8,3
1971—1980	14,3	2,4	17	18,1	9,9	8,2
1981—1990	14,3	5,1	36	21,8	7,8	14,0
1991—2000	20,1	7,9	39	36,9	10,4	26,5
2001—2010	25,8	8,6	33	33,2	3,3	29,9
2011—2020	22,9	5,9	26	30,6	11,0	19,6

*Примечание.* Здесь и в табл. 2 Mean — среднее; SD — среднеквадратическое отклонение;  $C_v$  — коэффициент вариации,  $C_v = SD/\text{Mean} \cdot 100\%$ ; Max — максимальное значение; Min — минимальное значение; Amp = Max – Min.

метров модели на агротехнический уровень 1961—1990 гг.). Здесь также можно проследить за тенденцией изменения посевных площадей, выраженной в процентах относительно средних значений за первое десятилетие, 1961—1970 гг.

Можно видеть, что технологическая составляющая в рядах урожайности становится определяющей в 1991—2020 гг., в то время как в ряду климатически обусловленной урожайности не наблюдается резкого скачка после 1990 г., а напротив, очевиден отрицательный тренд на протяжении 1961—2020 гг. (рис. 3).

Известно, что современные агротехнологии включают самые разные составляющие: внесение удобрений, использование засухоустойчивых и стресс-толерантных сортов, разные системы обработки почвы, выбор оптимальных сроков сева, систему севооборотов, влагосберегающие технологии и др.

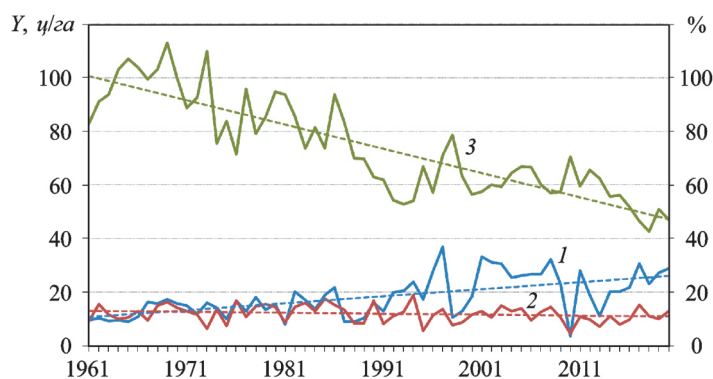


Рис. 3. Временные ряды фактической  $Y_f$  (1) и рассчитанной  $Y_m$  (2) урожайности и относительные посевные площади яровой пшеницы (3, проценты от средних значений за 1961—1970 гг.; шкала справа) в Татарстане.

Прямые — линейный тренд, соответствующие коэффициенты линейного тренда  $b$  равны: 1) 2,6  $\mu/\text{га}$  за 10 лет; 2) –0,4  $\mu/\text{га}$  за 10 лет; 3) –9% за 10 лет.

Исследования показывают, что научно обоснованные технологии внесения минеральных и органических удобрений с учетом условий погоды становятся доминирующими фактором при производстве сельскохозяйственных культур [16]. В период с 2000 по 2018 г. в России, по данным Федеральной службы государственной статистики, объем внесенных минеральных удобрений под зерновые и зернобобовые культуры вырос в 3 раза — с 20,5 *кг/га* в 2000 г. до 60,5 *кг/га* в 2018 г. Объем внесения органических удобрений под зерновые и зернобобовые культуры с 2000 г. увеличился на 48% — до 1,2 *т/га* в 2018 г. [2].

Не располагая аналогичными оценками по отдельным регионам, с большой долей вероятности можно утверждать, что для такого экономически развитого региона как Республика Татарстан, соответствующий объем внесенных удобрений может быть только выше.

Другой важный фактор — селекционная работа. В России вклад селекции в повышение урожайности за последние десятилетия оценивается на уровне 30—70%, и по мере усиления негативных климатических тенденций ее роль будет возрастать [2].

С ростом урожайности может быть связан другой фактор, косвенно влияющий на показатели продуктивности. Как можно видеть (рис. 3), посевные площади яровой пшеницы сократились в республике с ~780 тыс. *га* в 1961—1970 гг. до ~520 тыс. *га* в 2011—2020 гг. Тот факт, что при сокращении посевных площадей и выводе из оборота непродуктивных земель урожайность растет, хорошо известен. В данном случае коэффициент корреляции между фактической урожайностью и посевными площадями за 1991—2020 гг. составляет  $-0,38$ , а вклад тренда посевных площадей в суммарную дисперсию ряда урожайности достигает 12%.

### 3.2. Климатически обусловленная урожайность

При очевидном росте технологической составляющей урожайности методически оправданы настройка параметров модели, характеризующих уровень агротехники, а также дальнейший агроклиматический анализ для двух периодов — 1961—1990 и 1991—2020 гг., или “раннего” и “позднего”. Для идентификации этих параметров модели выбирался непрерывный ряд лет (от 3 до 5), включающий урожайные, средние и неурожайные годы и достаточно близкий к началу “раннего” и “позднего” периодов.

Результаты верификации системы свидетельствуют о статистически значимом соответствии ( $p = 0,05$ ) модельной  $Y_m$  и фактической  $Y_f$  урожайности (табл. 2). Относительная ошибка расчета составляет 6,7 и 10,0%, а коэффициенты корреляции равны 0,64 и 0,71 для периодов 1961—1990 и 1991—2020 гг. соответственно.

Высокий уровень межгодовой изменчивости урожайности отмечается и в первые, и в последние три десятилетия рассматриваемого периода, что является свидетельством того, что, несмотря на рост урожайности последних десятилетий, устойчивость производства зерна яровой пшеницы остается на уровне 65—70% (рассчитанная как дополнение коэффициента вариации до 100%).

Таблица 2

**Статистические характеристики и корреляционная матрица фактической урожайности ( $Y_f$ , ц/га), климатически обусловленной урожайности ( $Y_m$ , ц/га) и посевных площадей ( $S$ , тыс. га) яровой пшеницы за 1961—1990 и 1991—2020 гг.**

Переменная	Mean	SD	$C_v$ , %	Корреляционная матрица			
				$T$	$Y_f$	$Y_m$	$S$
1961—1990 гг.							
$T$				1,00	0,28	0,19	<b>-0,64</b>
$Y_f$	13,6	3,8	27,9		1,00	<b>0,60</b>	-0,06
$Y_m$	12,6	3,1	24,6			1,00	-0,23
$S$	781	116	14,9			-0,23	1,00
1991—2020 гг.							
$T$				1,00	0,11	0,01	<b>-0,42</b>
$Y_f$	22,9	7,7	33,6		1,00	<b>0,68</b>	-0,34
$Y_m$	19,6	5,6	28,6			1,00	-0,38
$S$	520	69	13,3				1,00

*Примечание.* Выделены значения с уровнем значимости  $p = 0,05$ .

### 3.3. Анализ тенденций климатически обеспеченной и фактической урожайности

Обратимся к анализу тенденций фактической и климатически обусловленной урожайности отдельно для “раннего” и “позднего” периодов.

Коэффициенты линейного тренда фактической и климатически обусловленной урожайности за 1961—1990 гг. положительны и составляют 1,2 и 0,5 ц/га за 10 лет, или 9,0 и 3,9% за 10 лет (относительно средней урожайности). Соответствующие коэффициенты для рядов  $Y_f$  и  $Y_m$  за 1991—2020 гг. имеют противоположные знаки и составляют 0,9 и -0,4 ц/га за 10 лет, или 3,9 и -2,0% за 10 лет (рис. 4). Таким образом, на фоне повышения фактической урожайности практически в два раза за последние три десятилетия темпы ее роста замедляются. Следует отметить, что тенденции к замедлению роста урожайности наблюдаются и в странах Западной Европы [18].

Поскольку при анализе рядов урожайности не удастся выделить линейные, статистически значимые оценки коэффициентов линейного тренда, используя критерий Стьюдента, будем применять его непараметрический аналог — критерий Уилкоксона (или Манна — Уитни) для сравнения независимых выборок урожайности за периоды 1961—1990 и 1991—2020 гг.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о наличии статистически значимой разницы в уровне фактической урожайности и климатически обусловленной урожайности от “раннего” периода к “позднему”: повышение фактической урожайности статистически значимо на 1%-ном уровне ( $p = 0,01$ ), а уменьшение климатически обусловленной урожайности — на 5%-ном уровне ( $p = 0,05$ ).



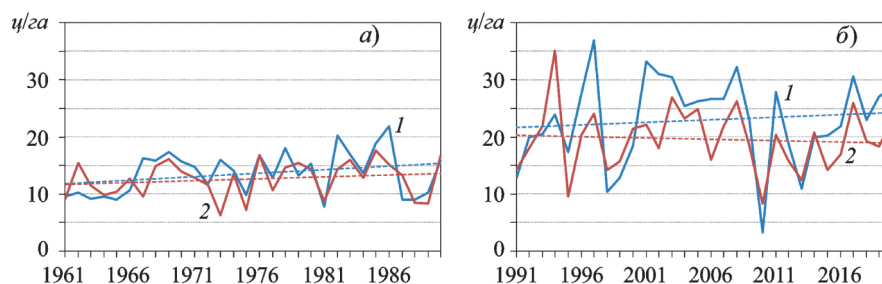


Рис. 4. Изменения фактической  $Y_f(1)$  и рассчитанной  $Y_m(2)$  урожайности яровой пшеницы в Республике Татарстан для периодов 1961—1990 гг. (а) и 1991—2020 гг. (б).

Соответствующие оценки коэффициентов линейного тренда (b) и коэффициент корреляции (r) для периода 1961—1990 гг.: 1)  $b = 1,2$  ц/га за 10 лет, 2)  $b = 0,5$  ц/га за 10 лет;  $r = 0,60$ ; для периода 1991—2020 гг.: 1)  $b = 0,9$  ц/га за 10 лет, 2)  $b = -0,4$  ц/га за 10 лет;  $r = 0,68$ .

Что касается выявления наличия или отсутствия статистической разницы в средней урожайности от десятилетия к десятилетию, статистически значимое различие обнаружено только от 1981—1990 к 1991—2000 гг. в рядах фактической урожайности, и таким образом, 1990-е годы служат точкой “разрыва” периода.

### 3.4. Изменение показателей агроклиматических ресурсов

Анализ тенденций показателей агроклиматических ресурсов представим по данным наблюдений на метеостанции Казань.

Оценки тенденций показателей теплообеспеченности за период потепления с 1976 г. для всей земледельческой зоны приведены в работе [4]. Показано, что тренды параметров термического режима остаются положительными на всей европейской части России.

Представленные в табл. 3 оценки теплообеспеченности для метеостанции Казань также свидетельствуют о положительной динамике тепловых ресурсов территории Республики Татарстан. Средняя температура воздуха за вегетационный период яровой пшеницы за последнее десятилетие повысилась на  $1,2^{\circ}\text{C}$  относительно базового периода, что стало причиной сокращения его продолжительности и что в большинстве случаев связывают с недобором урожая. Вегетационный период яровой пшеницы стал короче примерно на одну декаду, а фенологические даты наблюдаются в более ранние сроки — в начале мая.

Данные о общем количестве осадков, гидротермическом коэффициенте Селянинова (ГТК) и коэффициенте увлажненности, представленные в табл. 3, показывают, что самым благоприятным по условиям увлажнения было десятилетие с 1971 по 1980 г., когда за вегетационный период яровой пшеницы в среднем выпадало более 200 мм осадков, а значения ГТК изменялись в диапазоне 1,1—1,5. В течение “позднего” периода осадков выпадало меньше, чем в базовый период, на 40—50 мм, или на 22—28%, что в условиях зоны умеренного увлажнения является существенной величиной.

Таблица 3

**Изменение показателей агроклиматических ресурсов вегетационного периода яровой пшеницы в 1961—2020 гг. по данным метеостанции Казань**

Период, годы	$Y_m$ , %	$D_{\text{beg}}$	$D_{\text{end}}$	$N$ , сут	$T$ , °C	$T_{\text{max}}$ , °C	$R$ , мм	ГТК	$E/E_0$	$W20$ , мм	$W20_6$ , мм
1961—1990 (базовый)	100	9 V	8 VIII	92	17,0	20,1	180	1,14	0,55	33	17
1961—1970	100	11 V	10 VIII	92	16,9	18,6	151	0,97	0,50	31	14
1971—1980	97	7 V	8 VIII	94	16,8	18,1	202	1,27	0,57	35	20
1981—1990	104	8 V	6 VIII	91	17,5	20,1	188	1,19	0,58	33	18
1991—2000	86	5 V	31 VII	88	17,3	21,1	131	0,86	0,48	34	12
2001—2010	91	3 V	30 VII	89	17,5	19,8	169	1,08	0,53	31	12
2011—2020	83	5 V	28 VII	84	18,2	19,1	138	0,89	0,49	36	12

*Примечание.* Расчеты выполнены в имитационной системе “Климат — почва — урожай”.  $Y_m$  — оценка климатически обусловленной урожайности относительно среднего за 1961—1990 гг.;  $D_{\text{beg}}$  — дата всходов;  $D_{\text{end}}$  — дата восковой спелости;  $N$  — продолжительность вегетационного периода;  $T$  — средняя температура воздуха за вегетационный период;  $T_{\text{max}}$  — максимальная температура воздуха за вегетационный период;  $R$  — сумма осадков за вегетационный период; ГТК — гидротермический коэффициент Селянинова за вегетационный период;  $E/E_0$  — коэффициент увлажнения за вегетационный период;  $E$  — суммарное испарение за вегетационный период, мм;  $E_0$  — испаряемость за вегетационный период, мм;  $W20$  — влагозапасы почвы в пахотном слое (0—20 см) на момент возобновления вегетации;  $W20_6$  — влагозапасы почвы в пахотном слое (0—20 см) в июне.

В динамике ГТК и коэффициента увлажнения ( $E/E_0$ ) по десятилетиям также прослеживаются отрицательные тенденции. Так, средняя за последнее десятилетие величина ГТК составляла 0,89, или 78% от средней величины за базовый период, что выше границы критерия опасного явления “засуха” ( $\text{ГТК} < 0,6$ ), но свидетельствует о недостаточном увлажнении.

Динамика изменений запасов влаги весной на начало вегетации от десятилетия к десятилетию и в “ранний”, и в “поздний” периоды не указывает на какое-либо ухудшение условий увлажнения, запасы влаги сохраняются на достаточно высоком уровне в пахотном слое почвы (31—36 мм). Этот результат согласуется с полученными ранее положительными оценками тенденций увеличения количества осадков в весенний сезон [4]. В то же время в летний период начиная со второй декады июня, когда яровая пшеница может находиться в критической для роста и развития фазе “цветение — колошение”, запасы влаги уменьшаются ( $W20_6 = 12$  мм), и в отдельные годы запасы влаги в пахотном слое могут уменьшиться до критического уровня (<10 мм).

Таким образом, можно констатировать, что в течение трех последних десятилетий при возделывании яровой пшеницы в Республике Татарстан сельхозпроизводители зерна сталкивались с дефицитом запасов влаги в почве чаще, чем до 1990-х годов.

В табл. 4 приведены оценки агроклиматических показателей с 2011 по 2020 г., иллюстрирующие широкий диапазон их изменений. Среди лет с крупным недобором зерна (~40% относительно среднего уровня) выделя-

Таблица 4

**Изменение показателей агроклиматических ресурсов вегетационного периода яровой пшеницы в 2011—2020 гг. по данным метеостанции Казань**

Год	$Y_m$ , %	$D_{\text{beg}}$	$D_{\text{end}}$	$N$ , сут	$T$ , °C	$R$ , мм	ГТК	$E/E_0$	$W_{20}$ , мм	$W_{20_6}$ , мм
2011	85	9 V	31 VII	84	18,9	239	1,51	0,64	29	29
2012	76	24 IV	15 VII	83	18,1	108	0,72	0,47	42	7
2013	57	4 V	22 VII	80	18,8	104	0,69	0,38	27	3
2014	87	10 V	30 VII	82	18,5	108	0,71	0,41	26	13
2015	62	10 V	28 VII	80	19,1	121	0,79	0,42	38	6
2016	77	30 IV	21 VII	83	18,0	64	0,43	0,37	33	5
2017	119	9 V	10 VIII	94	16,7	182	1,16	0,60	43	18
2018	87	9 V	29 VII	82	18,0	105	0,71	0,49	44	9
2019	79	3 V	28 VII	87	17,8	153	0,99	0,48	33	8
2020	100	6 V	1 VIII	88	17,8	191	1,22	0,65	47	19

*Примечание.* Условные обозначения — как в табл. 3. Расчеты выполнены в имитационной системе “Климат — почва — урожай”.

ются 2013 и 2015 гг. Термическая напряженность была в эти годы самой высокой — средняя температура за вегетационный период составляла 18,8 и 19,1°C при норме 17,0°C. В 2013 г. осадков выпало практически вдвое меньше нормы и запасы влаги были полностью исчерпаны уже к середине июня. Вегетационный период продолжался всего 80 дней и закончился в самые ранние сроки — в начале третьей декады июля. Потери урожая составили 43% (2013 г.) и 38% (2015 г.).

#### 4. Заключение

Министерством сельского хозяйства РФ разработана долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 г. Ее реализация позволит поддерживать на высоком уровне продовольственную безопасность страны и сохранить позиции на международном рынке зерна. Полученные оценки тенденций изменений агроклиматических ресурсов и продуктивности яровой пшеницы в Республике Татарстан за последние десятилетия могут рассматриваться в контексте информационного и аналитического обеспечения этой стратегии.

Повышение температуры вегетационного периода в сочетании с наблюдаемыми тенденциями к усилению степени засушливости территории определяет уменьшение климатически обусловленной урожайности яровой пшеницы в период с 1991 по 2020 г. Выявлено статистически значимое уменьшение климатически обусловленной урожайности от периода 1961—1990 к 1991—2020 гг., т. е. положительные тенденции климатически обусловленной урожайности в 1961—1990 гг. сменились на отрицательные тенденции в 1991—2020 гг. Значимых колебаний климатически обусловленной урожайности в масштабе десятилетий не выявлено, и они остаются на уровне ее междугодовой изменчивости.

Полученную оценку темпов снижения климатически обеспеченной урожайности на уровне –2,0% за десятилетие за период 1991—2020 гг. нельзя

считать незначимой, принимая во внимание, что она сопоставима по абсолютной величине с темпами роста фактической урожайности (3,9% за 10 лет).

Анализ изменений агроклиматических показателей и оценка меры их воздействия на продуктивность показали, что система “Климат — почва — урожай” как современная технология, на основе которой воспроизводятся происходящие изменения климата в Республике Татарстан, может быть применена и для адекватной оценки будущих изменений в агросфере республики.

Другой важной составляющей разработанной технологии оценки изменений продуктивности является планируемый оперативный ежедекадный агроклиматический мониторинг на территории Республики Татарстан для уточнения и детализации полученных оценок по агроклиматическим зонам и отдельным административным районам.

Авторы признательны за поддержку данного исследования со стороны следующих программ и проектов:

— проекта Российского научного фонда № 22-27-20080;

— темы 3.2 “Мониторинг глобального климата и климата Российской Федерации и ее регионов, включая Арктику. Развитие и модернизация технологий мониторинга” Плана НИТР Росгидромета на 2020 г., утвержденного приказом № 745 от 31.12.2019.

## Литература

- 1. Второй** оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — М., Росгидромет, 2014, 1008 с.
- Гольдяпин В. Я., Мамедов Р. З.** Анализ состояния и развития селекции и переработки зерновых культур. — М., Росинформагротех, 2019, 100 с.
- Доклад** о климатических рисках на территории Российской Федерации. — СПб, Росгидромет, 2017, 105 с.
- Доклад** об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. — М., 2022, 104 с.; <https://www.meteorf.gov.ru/images/news/20220324/4/Doklad.pdf>.
- Катцов В. М., Школьник И. М., Ефимов С. В., Константинов А. В., Павлова В. Н., Павлова Т. В., Хлебникова Е. И., Пикалева А. А., Байдин А. В., Борисенко В. А.** Развитие технологии вероятностного прогнозирования регионального климата на территории России и построение на ее основе сценарных прогнозов изменения климатических воздействий на секторы экономики. Часть I. Постановка задачи и численные эксперименты. — Труды ГГО, 2016, вып. 583, с. 7—29.
- Национальный** план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года, 2019; <http://static.government.ru/media/files/Z1sORh5NIx4gLUsdgGHuWIAqy.pdf>.
- Павлова В. Н., Каланка П., Караченкова А. А.** Продуктивность зерновых культур на территории Европейской России при изменении климата за последние десятилетия. — Метеорология и гидрология, 2020, № 1, с. 78—94.
- Павлова В. Н., Караченкова А. А.** Оценка изменений климатически обусловленной урожайности яровой пшеницы в земледельческой зоне России. — Фундаментальная и прикладная климатология, 2020, № 4, с. 70—91.
- Павлова В. Н., Караченкова А. А., Варчева С. Е.** Региональный мониторинг агроклиматических условий формирования урожая при изменении климата. — Труды ГГО, 2020, вып. 596, с. 55—77.
- Переведенцев Ю. П., Шанталинский К. М., Важнова Н. А.** Пространственно-временные изменения основных показателей температурно-влажностного режима в Приволжском федеральном округе. — Метеорология и гидрология, 2014, № 4, с. 32—48.

11. **Переведенцев Ю. П., Шанталинский К. М., Шерстюков Б. Г., Николаев А. А., Гурьянов В. В., Аухадеев Т. Р., Мирсаева Н. А., Антонова А. В.** Климатические изменения в Республике Татарстан в XX—XXI веках. — Российский журнал прикладной экологии, 2018, № 4, с. 3—10.
12. **Росстат**, 2020; [www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstatmain/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstatmain/rosstat/ru/statistics/enterprise/economy).
13. **Сельское хозяйство Татарстана: особенности, продукция и интересные факты**; <https://fb.ru/article/327421/selskoe-hozyaystvo-tatarstana-osobennosti-produktsiya-i-interesnyie-faktyi>.
14. **Сиротенко О. Д.** Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем. — Л., Гидрометеоздат, 1981, 167 с.
15. **Сиротенко О. Д., Павлова В. Н.** Наблюдаемые изменения климата и динамика продуктивности сельского хозяйства России. — Труды ГГО, 2012, вып. 565, с. 132—151.
16. **Федосеев А. П.** Агрохимия и погода. — Л., Гидрометеоздат, 1979, 240 с.
17. **Черенкова Е. А., Бардин М. Ю., Золотокрылин А. Н.** Статистика осадков и засух в противоположные фазы квазидвухлетней цикличности атмосферных процессов и ее связь с урожайностью на европейской территории России. — *Метеорология и гидрология*, 2015, № 3, с. 23—35.
18. **Brisson N., Gate P., Gouache D., Charmet G., Oury F.-X., and Huard F.** Why are wheat yields stagnating in Europe? A comprehensive data analysis for France. — *Field Crops Res.*, 2010, vol. 119, pp. 201—212.
19. **IPCC**, 2019: Summary for Policymakers. /In: *Climate Change and Land: an IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*. P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Portner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, and J. Malley (eds.), 2019, 41 p.; <https://www.ipcc.ch/srccl-report-download-page/>.
20. **Pavlova V. N., Karachenkova A. A., Varcheva S. E., and Sinit syn N. M.** Assessment approach of the spatial wheat cultivation risk for the main cereal cropping regions of Russia. /In: *Landscape Modelling and Decision Support*. W. Mirschel, V.V. Terleev, and K.-O. Wenkel (eds.). — Springer, Cham, 2020, pp. 363—382; doi: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-37421-1\\_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-37421-1_19).
21. **USDA-FAS**. Grain: World Markets and Trade. — United States Department of Agriculture, Foreign Agricultural Service, 2016; <http://www.fas.usda.gov> (accessed 15 July 2017).