

## Оценка изменений агроклиматических ресурсов в Центральной Азии и сопредельных областях России

*В.Н. Павлова<sup>1),2)</sup>\*, А.А. Карачёнова<sup>1)</sup>, В.А. Романенков<sup>2)</sup>*

<sup>1)</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии, Россия, 249038, Калужская обл., г. Обнинск, пр. Ленина, д. 82

<sup>2)</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Аграрный центр, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

\* Адрес для переписки: [vnp2003@bk.ru](mailto:vnp2003@bk.ru)

**Реферат.** Представлены результаты сравнительного анализа показателей агроклиматических ресурсов в Центральной Азии и граничащих с ней областях РФ за период 1961-2020 гг. Используются данные о температуре приземного воздуха и суммах осадков месячного разрешения с 1961 по 2020 г. 21 метеорологической станции России и 32 – на территории Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана и Узбекистана. Показано, что при повсеместном росте термических ресурсов в макрорегионе изменения режима осадков разнонаправлены по знаку и значительно варьируют по величине. Наблюдаются значимые тенденции к иссушению в западных областях и рост осадков летнего периода (незначимый) в восточных. Тенденция к увеличению количества выпадающих осадков отмечается в весенний период на всей исследуемой территории, что частично компенсирует негативное воздействие летнего потепления. Показано, что на фоне умеренного потепления на исследуемой территории наблюдается невысокий рост фактической урожайности яровой пшеницы от 1.5 до 3.6 ц/га от периода 1991-2000 к 2011-2020 гг., за исключением Оренбургской области, где тренд урожайности яровой пшеницы слабо отрицательный. Наиболее динамичные темпы роста урожайности (более 3.0 ц/га) в основных зернопроизводящих областях РФ – Алтайском крае, Омской и Курганской областях. Наблюдаемое изменение агроклиматических ресурсов в Северном Казахстане и сопредельных областях РФ не носит экстремального характера, и агроклиматический потенциал территории остается значительным.

**Ключевые слова.** Изменение климата, тепло- и влагообеспеченность, Центральная Азия, урожайность, яровая пшеница.

## Assessment of changes in agro-climatic resources in Central Asia and adjacent areas of Russia

*V.N. Pavlova<sup>1),2)</sup>\*, A.A. Karachenkova<sup>1)</sup>, V.A. Romanenkov<sup>2)</sup>*

<sup>1)</sup> All-Russian Institute of Agricultural Meteorology, 82, Lenina pr., 249038, Obninsk, Kaluga Region, Russian Federation

<sup>2)</sup> Lomonosov Moscow State University, Eurasian Center for Food Security,  
1, Leninskiye Gory, 119991, Moscow, Russian Federation

\* Correspondence address: [vnp2003@bk.ru](mailto:vnp2003@bk.ru)

**Abstract.** The results of a comparison analysis of agro-climatic resources indicators in Central Asia and the Russian Federation's bordering regions for the period 1961-2020 are provided. From 1961 to 2020, data on surface air temperature and precipitation at 32 meteorological stations in Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Turkmenistan, and Uzbekistan as well as 21 stations in Russia were used. It is shown that changes in the precipitation regime are multidirectional in sign and vary greatly in magnitude against the background of a general increase in thermal resources in the macroregion. Significant drying trends are observed in the western regions and an increase in summer precipitation (not significant) in the eastern regions. A tendency towards an increase in the amount of precipitation is noted in the spring period throughout the study area, which helps offset summer warming's negative effects. With the exception of the Orenburg region, where the spring wheat yield trend is slightly negative, it is demonstrated that, despite the study area's moderate warming, the actual spring wheat yield increased slightly from 1.5 to 3.6 dt ha<sup>-1</sup> from the years 1991 to 2000 to 2011 to 2020. The Russian Federation's primary grain-producing regions, the Altai Krai, Omsk, and Kurgan Regions, have the most dynamic yield growth rates (more than 3.0 dt ha<sup>-1</sup>). The observed change in agro-climatic resources in Northern Kazakhstan and adjacent regions of the Russian Federation is not extreme, and the area's significant agro-climatic potential has persisted.

**Keywords.** Climate change, water availability, thermal resources, Central Asia, yield, spring wheat.

## Введение

Наблюдаемые тенденции урожайности зерновых культур и их связь с климатическими и экономическими факторами указывают на возрастание значимости для устойчивого функционирования агросферы как динамики климатических проявлений, так и агротехнологий.

Анализ последствий прогнозируемых изменений климата в Центральной и Восточной Европе с использованием комплекса статистических и динамических моделей показывает, что повышение глобальной средней температуры на 1°C приведет к 4-6% снижению урожайности пшеницы при неизменной посевной площади и отсутствии принципиального улучшения в агротехнологиях (Jacobs et al., 2019). Поэтому адаптация к изменению климата и повышенная способность адаптироваться к засухам стали главными приоритетами европейского сельского хозяйства. Территории, где проявляется континентальность климата, потенциально более подвержены снижению урожайности пшеницы, чем более влажные климатические зоны, в которых ожидается рост междугодичной изменчивости урожайности зерновых. В целом, влиянием агроклиматических факторов объясняется от 12 до 67%

изменчивости урожайности пшеницы, что является статистически значимым для 90% посевных площадей пшеницы в Европе за период с 1993 по 2017 г. (Pinke et al., 2022). Последствия изменения климата в разных отраслях экономики, в том числе в сельском хозяйстве, вызывают обеспокоенность правительства, о чем свидетельствует принятие Национального плана адаптации к изменениям климата (Доклад о климатических рисках ..., 2017; Национальный план ..., 2019; Третий оценочный доклад ..., 2022).

В данной работе рассматриваются изменения агроклиматических ресурсов регионов Центральной Азии (далее – ЦА) и граничащих с Республикой Казахстан областей РФ. Центральная Азия, как геополитическое пространство, включающее территории Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана и Узбекистана, возникла в 1991 г. после распада СССР. С позиции географической науки ЦА – это более обширная территория, включающая помимо вышеназванных государств также Монголию, западную часть Китая (Синьцзян) и Афганистан (Звягельская, 2009). Глубокоматериковое положение ЦА и незащищенность ее с севера обуславливают большую сухость климата: сухое, безоблачное и жаркое лето сменяется относительно влажной зимой, иногда с сильными морозами, в особенности на севере (Алпатыев и др., 1976).

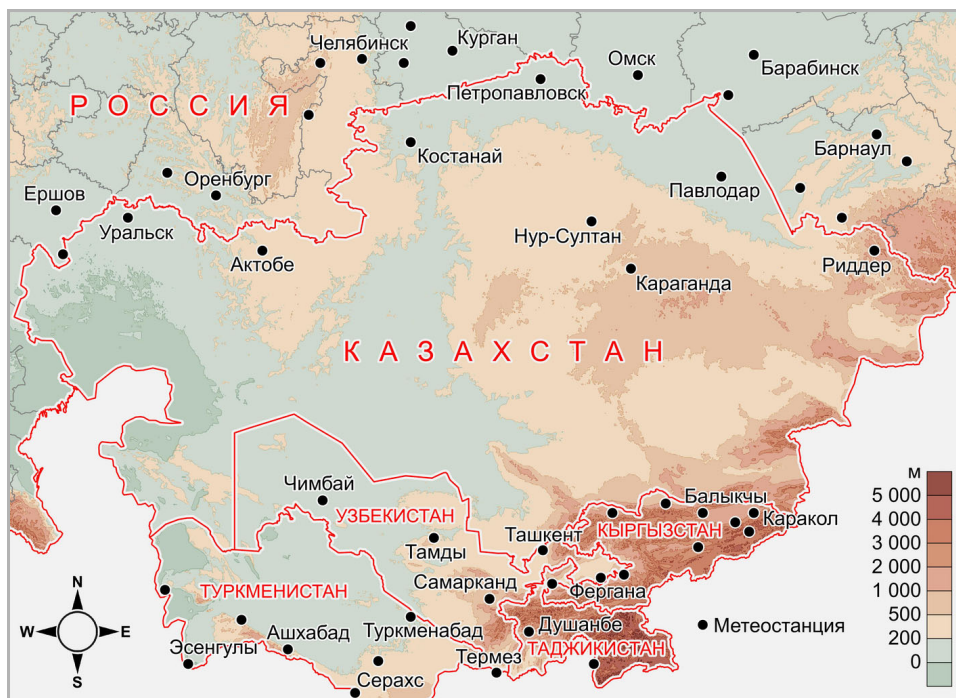
Россия и Казахстан в ближайшие десятилетия, как ожидается, останутся крупными игроками на мировом рынке зерна, обеспечивая существенный вклад в удовлетворение ожидаемого спроса на зерно (FAOSTAT, 2022). Агроклиматические условия для ведения сельского хозяйства в степной зоне юга Урала и Западной Сибири, а также северного Казахстана по большей части очень жесткие с чрезвычайно холодной зимой, частыми засухами и зачастую неблагоприятными условиями в период уборки урожая. Весенне-летние засухи представляют главный стрессовый фактор и явились основной причиной рекордно низких урожаев в 2010 и 2012 г. (USDA-FAS, 2022).

Цель данной работы – оценить тенденции изменений показателей термического и влажностного режимов в ЦА, включающей территории Казахстана, Таджикистана, Кыргызстана, Узбекистана и Туркменистана, и дать сравнительную оценку тенденций изменений урожайности яровой пшеницы в Казахстане и сопредельных областях России в условиях современного изменения климата.

## **Материалы и методы**

Использованы данные о температуре приземного воздуха и суммах осадков месячного разрешения с 1961 по 2020 г. из подмножества базы данных «Климат» (ФГБУ «ИГКЭ») на сети 21 метеостанции (далее – МС) России и 32 МС на территории Казахстана, Кыргызстана, Таджикистана, Туркменистана и Узбекистана. Картосхема расположения МС представлена на рис. 1. Также привлечена информация Росстата по урожайности яровой пшеницы и данные справочников под общим названием «Агроклиматические ресурсы» (Справочник Агроклиматические ресурсы ..., 1973-1977).

---



**Рисунок 1.** Картограмма размещения метеостанций на территории юга Урала, средней Сибири и Центральной Азии

**Figure 1.** Map of the location of meteorological stations in the south of the Urals and Central Siberia and Central Asia

В работе использована технология мониторинга климата и агроклиматических ресурсов на основе моделирования в имитационной системе «Климат-Почва-Урожай» (далее – КПУ), представляющей собой набор программных модулей для моделирования динамики и роста сельскохозяйственных культур (Сиротенко, 1981; Сиротенко, 1991; Pavlova et al., 2020). Входная информация имитационной системы КПУ – данные сетевых метеорологических и агрометеорологических наблюдений, а также данные о водно-физических свойствах почвы и уровне ее плодородия. Выходные характеристики – более 30 агроклиматических и биоклиматических показателей. На основе системы рассчитываются ежегодные оценки тенденций изменения, изменчивости и экстремальности агроклиматических показателей (индексов) и показателей продуктивности в заданных точках на основе данных стационарных наблюдений с последующим картографированием (визуализацией) результатов расчетов в ГИС QGIS.

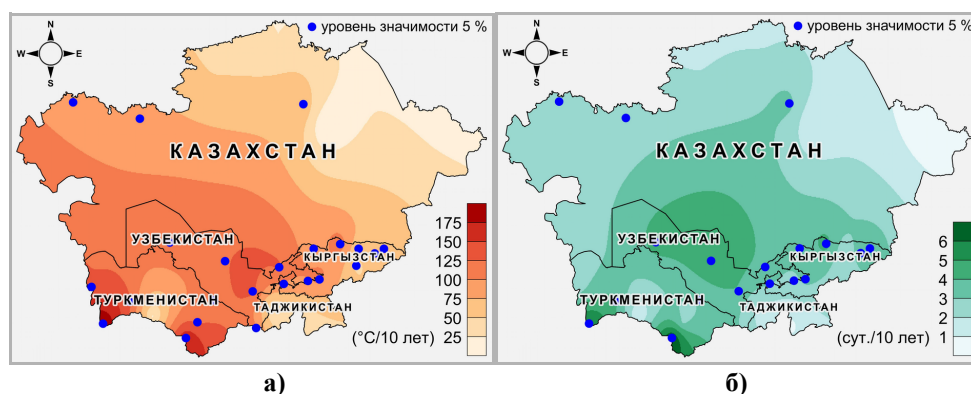
Данные мониторинга изменений агроклиматических ресурсов в земледельческой зоне России, полученные на основе этой технологии, публикуются в ежегодных Докладах об особенностях климата на территории РФ (Доклад об особенностях климата ..., 2023).

В данной работе исследуются тренды показателей теплообеспеченности – суммы среднесуточных значений температуры воздуха за период с темпера-

турой выше 10°C (как основного агроклиматического показателя), его продолжительность и средняя температура по сезонам года. В качестве показателя влагообеспеченности используется гидротермический коэффициент Селянинова (далее – ГТК), рассчитанный за вегетационный период, и количество осадков по сезонам года. Оценка уровня статистической значимости осуществляется по *t*-критерию Стьюдента.

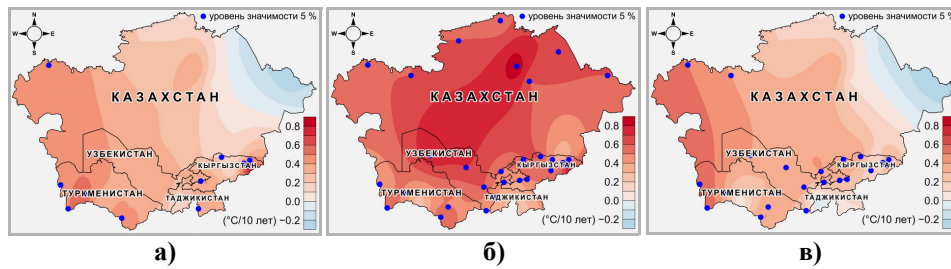
## Результаты

Теплообеспеченность периода активной вегетации сельскохозяйственных культур растет повсеместно на всей территории ЦА. Оценки линейного тренда суммы активных температур воздуха ( $T > 10^\circ\text{C}$ ) показывают, что самая высокая скорость роста этого показателя наблюдается на территории Туркменистана и Узбекистана и составляет около 130°C/10 лет. В Таджикистане и Кыргызстане оценки колеблются в диапазоне от ~30 до 80°C/10 лет. На фоне роста температуры наблюдается положительная тенденция к росту продолжительности вегетационного периода ( $T > 5^\circ\text{C}$ ) и периода активной вегетации ( $T > 10^\circ\text{C}$ ), максимально – в Туркменистане (от 2 до 5 сут./10 лет) (рис. 2). Скорость роста средней температуры календарной весны – самая высокая по сравнению с другими сезонами года на всей территории ЦА и составляет от 0.4 до 0.8°C/10 лет. С меньшей скоростью растет средняя летняя и зимняя температура – от 0.1 до 0.3°C/10 лет (рис. 3).



**Рисунок 2.** Оценки скорости изменения суммы активных температур выше 10°C (°C/10 лет, а) и продолжительности периода с температурой выше 10°C (сут./10 лет, б) за период 1976-2020 гг. в Казахстане, Кыргызстане, Таджикистане, Туркменистане и Узбекистане. Точками отмечены станции, на которых тренды показателя статистически значимы на 5% уровне (по критерию Стьюдента)

**Figure 2.** Estimates of the rate of change in the sum of active temperatures  $>10^\circ\text{C}$  (°C per 10 years, а) and the duration of the period with temperatures  $>10^\circ\text{C}$  (days per 10 years, б) for the period 1976-2020 in Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Turkmenistan and Uzbekistan. The dots mark the stations at which the indicator trends are significantly different based on a Student's *t*-test ( $P < 0.05$ )



**Рисунок 3.** Оценки скорости изменения средней температуры воздуха (в °C/10 лет) зимой (а), весной (б) и летом (в) за период 1976-2020 гг. в Казахстане, Кыргызстане, Таджикистане, Туркменистане и Узбекистане  
Точками отмечены станции, на которых тренды показателя статистически значимы на 5% уровне (по критерию Стьюдента)

**Figure 3.** Estimates of the rate of change in mean air temperature (in °C per 10 years) in winter (a), spring (б), and summer (в) for the period 1976-2020 in Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Turkmenistan and Uzbekistan  
The dots mark the stations at which the indicator trends are significantly different based on a Student's t-test ( $P < 0.05$ )

Тенденции количества выпадающих осадков на территории ЦА рассчитывались по отдельным сезонам года (зима, весна, лето, осень). На рис. 4 представлено пространственное распределение этого показателя для трех сезонов, наиболее важных для оценки агроклиматических условий при возделывании зерновых культур. Можно видеть, что оценки коэффициентов линейного тренда осадков различаются по знаку и величине в силу их значительной изменчивости.



**Рисунок 4.** Оценки скорости изменения (коэффициент линейного тренда, % за десятилетие) сумм осадков зимой (а), весной (б) и летом (в) за период 1976-2020 гг. в Казахстане, Кыргызстане, Таджикистане, Туркменистане и Узбекистане  
Точками отмечены станции, на которых тренды показателя статистически значимы на 5% уровне (по критерию Стьюдента)

**Figure 4.** Estimates of the rate of change (linear trend coefficient, % per 10 years) of total precipitation in winter (a), spring (б), and summer (в) for the period 1976-2020 in Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Turkmenistan and Uzbekistan  
The dots mark the stations at which the indicator trends are significantly different based on a Student's t-test ( $P < 0.05$ )

В Кыргызстане наибольшее количество осадков (~290 мм) выпадает за весенний и летний период на восточном побережье Иссык-Кульской котло-

вины (МС Каракол). За последние десятилетия здесь наблюдается некоторый рост суммы осадков во все сезоны года со скоростью от 3 до 5% за десятилетие. Согласно полученным оценкам, тренд ГТК по территории колеблется от -0.07 (МС Бишкек) до +0.02 (МС Тамга) (статистически незначимый). Таким образом, на фоне роста температуры воздуха, соотношение тепла и влаги остается практически неизменным. В наиболее засушливом районе Кыргызстана, западной части Иссык-Кульской котловины (МС Балыкчы), годовое количество осадков увеличивается со скоростью ~6% за 10 лет. Скорость роста осадков весной составляет около 10% за десятилетний период.

В северных районах Таджикистана количество весенних осадков увеличивается. В районе Душанбе, где в течение весенних месяцев выпадает более 300 мм осадков, отмечается высокая скорость их роста – на 8-10% за десятилетие. Статистически значимые тенденции в летних осадках не выявляются.

В Туркменистане на всей территории наблюдаются отрицательные тренды осадков во все сезоны года. Максимальные отрицательные статистически значимые тренды за год в районе МС Эсенгулы (-12%). Темпы снижения зимних и весенних осадков колеблются по территории с минимумом от -9 до -13% (МС Серахс, Эсенгулы).

В самых засушливых районах Узбекистана тренды осадков либо практически отсутствуют (МС Чимбай), либо наблюдается тенденция к их понижению (МС Тамды). В районе МС Тамды уменьшение количества выпадающих осадков отмечается во все сезоны от 10 до 21%, а годовое количество – на 12%. На большей части территории республики (МС Фергана, Самарканд, Термез, Ташкент) скорость изменения годовых сумм колеблется от -2 до +2% за 10 лет, т.е. практически неизменна.

### ***Тенденции изменения термических и влажностных ресурсов на территории России и Казахстана***

Скорости изменения основных агроклиматических показателей (оценки коэффициентов линейного тренда) на территории Республики Казахстан (северные и центральные области) и граничащих с ней областей РФ (Саратовская, Оренбургская, Челябинская, Курганская, Омская, Новосибирская области и Алтайский край) за период потепления 1976-2020 гг. представлены в табл. 1 и 2.

Скорость роста сумм температур воздуха выше 10°C в пределах рассматриваемых областей России, за исключением Оренбургской и Саратовской областей, не превышает 60°C за 10 лет (при среднем по России – 90°C за 10 лет). Скорость роста средней температуры лета также невелика и находится на уровне 0.1-0.2°C/10 лет. В зимний период заметного повышения средней температуры воздуха не наблюдалось в Омской и Новосибирской областях, а также в Алтайском крае (табл. 1).

В Казахстане, на северо-западе, в зимний период и в январе, самом холодном месяце года, наблюдается падение температуры воздуха. Температура летнего периода имеет статистически значимый положительный тренд

только в самых западных областях (МС Уральск, Актобе), а также в южных областях (МС Нур-Султан). На юго-востоке республики (МС Риддер, Павлодар, Караганда) в летние и осенние месяцы температурные тренды либо слабо отрицательные, либо слабо положительные (незначимые). Рост теплообеспеченности сельскохозяйственных культур, выраженный суммой температур выше 5 и 10°C, незначительный – диапазон изменений коэффициента линейного тренда колеблется от 15 до 46°C за десятилетие. Исключение составляют восток и юг территории, где положительная тенденция изменения этих показателей составляет от ~70 до 90°C/10 лет (табл. 1).

**Таблица 1.** Оценки коэффициента линейного тренда  $b$  ( $y=b \cdot x+c$ ) показателей термического режима за период 1976-2020 гг.

**Table 1.** Estimates of the linear trend coefficient  $b$  ( $y=b \cdot x+c$ ) of thermal regime indicators for the period 1976-2020

Область или край (Россия); метеостанция (Казахстан)	Средняя температура воздуха (T), °C/10 лет				Сумма температур выше 10°C, °C/10 лет	Продолжительность периода T>10°C, сут./10 лет
	зима	весна	лето	осень		
<i>Россия</i>						
Саратовская	0.5*	0.5*	0.6*	0.5*	103*	2.6*
Оренбургская	0.5	0.5*	0.4*	0.6*	84*	2.3*
Челябинская	0.2	0.4*	0.2	0.4	48*	2.4
Курганская	0.3	0.5*	0.2	0.5	57*	2.7*
Омская	0.1	0.7*	0.1	0.4	39*	2.2
Новосибирская	0.0	0.7*	0.1	0.3	37*	2.2
Алтайский	-0.1	0.7*	0.2	0.2	36*	1.4
<i>Казахстан</i>						
Петропавловск	0.1	0.5*	0.1	0.4*	25	1.7
Костанай	0.2	0.6*	0.2	0.5*	46	1.9
Уральск	0.5*	0.6*	0.5*	0.4*	90*	2.2*
Актобе	0.4	0.6*	0.4*	0.4*	84*	2.3*
Риддер	-0.3	0.6*	-0.3	-0.1	15	0.0
Павлодар	-0.1	0.7*	-0.1	0.2	25	1.8
Караганда	0.1	0.6*	0.1	0.1	3	1.1
Нур-Султан	0.4	0.9*	0.4	0.4*	72*	3.3*

**Примечание.** \* – 5% уровень статистической значимости.

Увеличение суммарного количества осадков в весенний период (от 3 до 9 мм за десятилетие) отмечается на всей рассматриваемой территории России. Слабая положительная тенденция к росту летних осадков проявляется в Челябинской, Омской и Новосибирской областях. Напротив, в Саратовской и Оренбургской областях сохраняется статистически значимая тенденция к иссушению территории в весенне-летний период и в целом за год. Самый высокий относи-

тельный рост количества осадков, выпадающих весной, (10% и более) наблюдается в Оренбургской и Курганской областях, а самый низкий (5% и менее) в Челябинской и Новосибирской областях и Алтайском крае. При этом годовое количество осадков меняется незначительно, от -3 до +2% (табл. 2).

**Таблица 2.** Оценки коэффициента линейного тренда  $b$  ( $y=b \cdot x+c$ ) показателей увлажненности за период 1976-2020 гг.

**Table 2.** Estimates of the linear trend coefficient  $b$  ( $y=b \cdot x+c$ ) of moisture indicators for the period 1976-2020

Область или край (Россия); метеостанция (Казахстан)	Сумма осадков, ед./10 лет										ГТК за период вегетации, ед./10 лет
	зима		весна		лето		осень		год		
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%	
<b>Россия</b>											
Саратовская	-1.0	-1	5.2	6	-13.5	-10	-4.2	-4	-13.6	-3	-0.07
Оренбургская	-1.2	-2	8.9	13	-7.9*	-7	-3.0*	-3	-3.2	-1	-0.03
Челябинская	-1.4	-2	3.7	4	0.9	0	-3.3	-3	-0.1	0	-0.01
Курганская	-0.1	0	7.4*	10	-4.6	-3	-2.3	-2	0.5	0	-0.03
Омская	1.8	3	7.2*	9	1.6	1	-0.4	0	10.2	2	0.00
Новосибирская	2.4	5	2.3	4	1.3	1	-0.3	0	5.6	2	0.00
Алтайский	1.9	2	5.0	5	-1.8	-1	6.4*	5	11.4	2	-0.01
<b>Казахстан</b>											
Петропавловск	-2.0	-4	6.7*	10	0.1	0	-2.3	-3	2.6	1	0.00
Костанай	0.1	0	9.6*	15	-1.6	-1	0.9	1	9.0	3	0.00
Уральск	-2.3	-3	6.8*	11	-7.2	-7	-3.9	-4	-6.7	-2	0.00
Актобе	0.2	0	2.0	3	-7.8	-9	-5.9*	-7	-11.5	-4	-0.10
Риддер	6.1*	12	7.6	5	-4.1	-2	-5.0	-3	4.5	1	-0.10
Павлодар	0.0	0	1.9	4	9.1	9	0.4	1	11.4	4	0.00
Караганда	5.8*	9	5.1	7	12.6*	11	2.8	3	26.4*	8	0.00
Нур-Султан	5.1*	10	3.9	6	6.1	5	1.9	3	17.1*	5	0.00

**Примечание.** \* – 5% уровень статистической значимости.

На территории Казахстана большая часть годового количества осадков выпадает в теплый период года. В целом за вегетационный период их пространственное распределение оказывается неравномерным. В основных зернопроизводящих регионах Казахстана тенденции осадков различаются по знаку и величине во все сезоны в силу значительной изменчивости этого показателя. Статистически значимые оценки составляют 20% от общего числа рассчитанных оценок. Самая высокая скорость увеличения количества выпадающих осадков отмечается весной – от 3% в Актобе до 15% в Костанайе (табл. 2, рис. 4). В летний период высокие отрицательные тренды сумм осадков отмечаются по данным МС Уральск и Актобе (~7%/10 лет). Тренд годовых осадков положительный в Нур-Султане и Караганде и составляет от 17 до

26 мм за 10 лет. При этом его максимальная величина (относительно среднего) в Караганде составляет 8%, а минимальная отрицательная на северо-западе Казахстана, в Уральске и Актобе, – от -2 до -4%.

### Урожайность яровой пшеницы

Для анализа динамики урожайности яровой пшеницы за последние три десятилетия в табл. 3 представлены результаты статистического анализа рядов урожайности,  $Y$ , (по данным Росстата) за период с 1991 по 2020 г. по отдельным областям России и Акмолинской области – одной из основных зернопроизводящих областей Казахстана.

**Таблица 3.** Статистические характеристики рядов фактической урожайности яровой пшеницы по областям России и в Акмолинской области Казахстана за 1991-2020 гг.

**Table 3.** Statistical characteristics of actual spring wheat yield for 1991-2020 time-series in the regions of Russia and in the Akmola Region of Kazakhstan

Область, край	$Y_{mean}$ , ц/га	$Y_{min}$ , ц/га	$Y_{max}$ , ц/га	Процентиль, ц/га		$\sigma$ , ц/га	$D$ , %	$b$ , ц/га/10 лет
				10	90			
<b>Россия</b>								
Саратовская	9.5	1.5	17.1	3.6	15.1	4.2	44	2.0
Оренбургская	7.9	1.5	14.1	3.8	12.1	3.1	39	-0.4
Челябинская	10.6	3.0	17.5	4.6	15.9	3.9	37	0.7
Курганская	10.5	5.7	15.5	6.8	13.7	2.7	25	2.0
Омская	13.3	7.2	18.4	9.8	17.4	2.9	22	1.5
Новосибирская	13.2	7.3	19.2	8.5	16.5	3.0	23	1.6
Алтайский	12.5	6.9	20.8	7.8	16.4	3.5	28	1.6
<b>Казахстан</b>								
Акмолинская	10.4	3.8	16.2	6.5	13.9	2.9	28	1.0

**Примечание.**  $Y_{mean}$  – среднее,  $Y_{min}$  – минимальное значение,  $Y_{max}$  – максимальное значение,  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение,  $V$  – коэффициент вариации,  $b$  – коэффициент линейного тренда,  $D$  – дисперсия.

Средняя фактическая урожайность яровой пшеницы за период с 1991 по 2020 г. колеблется в достаточно узком диапазоне: от 7.9 ц/га в Оренбургской области до 13.3 ц/га в Омской области. Урожайность в Акмолинской области Казахстана (10.4 ц/га) на уровне среднего по сопредельным областям России. Верхняя и нижняя граница 90-го перцентиля выборки урожаев яровой пшеницы в Акмолинской области составляет от 6.5 до 13.9 ц/га, т.е. в экстремальные неблагоприятные по погодным условиям годы урожайность опускается до 6.5 ц/га и ниже, а в благоприятные – поднимается до 13.9 ц/га и выше. Междугодичная изменчивость урожаев или дисперсия,  $D$ , за последние 30 лет в Саратовской, Оренбургской и Челябинской областях высокая составляет от 37 до 44%. При этом максимум дисперсии отмечается в Саратовской области (44%).

К зоне умеренно устойчивых урожаев относятся Новосибирская, Омская и Курганская области и Алтайский край, где вариации урожайности по годам значительно ниже и изменяются в диапазоне 22-28%. Однако изменчивость урожаев в пределах отдельных районов на территории этих областей может оказаться значительно выше. Оценки коэффициента линейного тренда урожайности яровой пшеницы,  $b$ , за период 1991-2020 гг. положительные, за исключением Оренбургской области, но статистически незначимые.

Наблюдается статистически значимая корреляционная связь между урожайностью в Акмолинской области и Оренбургской, Челябинской и Курганской областями (табл. 4). Соответствующие коэффициенты корреляции достаточно высокие и составляют от 0.49 до 0.67. В то же время не обнаруживается корреляционной связи урожайности в этой области и зоной умеренно устойчивой урожайности – Алтайским краем и Новосибирской областью. Парные коэффициенты корреляции рядов урожайности в Алтайском крае, Омской и Новосибирской областях изменяются в диапазоне от 0.59 до 0.79 при 0.01% уровне статистической значимости. В самой засушливой зоне, охватывающей Саратовскую, Оренбургскую, Челябинскую и Курганскую области, парные коэффициенты корреляции статистически значимы на 1-5% уровне, а самая тесная корреляционная связь – между урожайностью Челябинской и Курганской областей ( $r^{**}=0.82$ ).

**Таблица 4.** Корреляционная матрица средней по области урожайности яровой пшеницы в Акмолинской области Казахстана и сопредельных областях России за период 1991-2020 гг.

**Table 4.** Correlation matrix of the regional average spring wheat yield in the Akmola Region of Kazakhstan and adjacent regions of Russia for the period 1991-2020

Область, край		1	2	3	4	5	6	7	8
Саратовская	1	1.00	0.50*	0.43*	0.50*	0.31	0.02	0.14	0.33
Оренбургская	2		1.00	0.72*	0.52*	0.49*	-0.04	0.19	0.21
Челябинская	3			1.00	0.82*	0.67*	0.16	0.25	0.47*
Курганская	4				1.00	0.61*	0.32	0.52*	0.59*
Акмолинская	5					1.00	0.33	0.33	0.61*
Алтайский	6						1.00	0.79*	0.59*
Новосибирская	7							1.00	0.68*
Омская	8								1.00

**Примечание.** \* – 5% уровень статистической значимости.

В табл. 5 представлена урожайность яровой пшеницы (по данным Росстата), осредненная по отдельным десятилетиям с 1991 по 2020 г. Рассчитанные оценки коэффициента линейного тренда урожайности яровой пшеницы на территории отдельных областей России и Акмолинской области Казахстана для климатического периода 1961-1990 гг. и нового климатического периода 1991-2020 гг. приведены в табл. 6.

**Таблица 5.** Урожайность яровой пшеницы в Акмолинской области Казахстана и сопредельных областях России по десятилетиям с 1991 по 2020 г.

**Table 5.** Yields of spring wheat in the Akmola Region of Kazakhstan and the adjacent regions of Russia by decades from 1991 to 2020

Область, край	Урожайность за период (гг.), ц/га			Приращение, ц/га	
	1991-2000 ( $Y_I$ )	2001-2010 ( $Y_{II}$ )	2011-2020 ( $Y_{III}$ )	$\Delta_1=Y_{III}-Y_{II}$	$\Delta_2=Y_{III}-Y_I$
<i>Россия</i>					
Саратовская	9.5	10.1	11.4	1.3	1.9
Оренбургская	8.4	7.6	7.8	-0.8	-0.6
Челябинская	9.7	10.9	11.2	0.3	1.5
Курганская	10.5	12.4	13.8	1.9	3.3
Омская	11.0	14.1	14.6	0.5	3.6
Новосибирская	11.5	14.2	14.3	0.1	2.8
Алтайский	8.4	11.5	11.5	0.0	3.1
<i>Казахстан</i>					
Акмолинская	9.1	10.3	11.5	1.2	2.4

**Таблица 6.** Оценка линейной скорости изменения урожайности яровой пшеницы ( $b$ , ц/га/10 лет) за периоды 1961-1990 и 1991-2020 гг. на территории областей России и Акмолинской области Казахстана

**Table 6.** Estimation of the linear rate of change in the yield of spring wheat ( $b$ , dt ha<sup>-1</sup> per 10 years) for the periods 1961-1990 and 1991-2020 on the territory of the regions of Russia and the Akmola Region of Kazakhstan

Область, край	$b$ , ц/га/10 лет		$D$ , %	
	1961-1990 гг.	1991-2020 гг.	1961-1990 гг.	1991-2020 гг.
<i>Россия</i>				
Саратовская	▲	2.0*	–	19
Оренбургская	▼	▲ ▼	–	–
Челябинская	▲ ▼	▲ ▼	–	–
Курганская	▲ ▼	2.0*	–	25
Омская	0.1*	1.5*	39	20
Новосибирская	1.3*	1.6*	23	24
Алтайский	▲	1.6*	–	28
<i>Казахстан</i>				
Акмолинская	–	▲	–	–

**Примечание.** \* – тренд статистически значимый на 5% уровне; ▲ – положительный тренд, незначимый; ▼ – отрицательный тренд, незначимый; ▲ ▼ – нет тренда;  $D$ , % – вклад тренда в суммарную дисперсию (приведены только статистически значимые величины); «–» – нет данных.

## Обсуждение

На рассматриваемой территории ЦА потепление сопровождается снижением количества выпадающих осадков, увеличивая дефицит увлажненности. В Таджикистане, Кыргызстане, Узбекистане и Туркменистане, где

сельское хозяйство зависит от орошения, условия увлажнения не улучшаются, что еще больше сокращает потенциальные возможности пахотных земель в этих регионах. К положительным тенденциям в изменении агроклиматических условий в первую очередь относится рост весенних осадков (рис. 4). Наблюдается слабая тенденция к росту и летних осадков в восточных регионах ЦА. Однако, с точки зрения продовольственной безопасности регион остается в напряженных агроклиматических условиях.

Северо-западная, самая засушливая часть территории России и Северного Казахстана (Саратовская, Оренбургская, Уральская и Актюбинская области), за последние три десятилетия охвачена более заметным повышением температуры летнего периода, чем центральная и восточная части (Омская и Новосибирская области, Алтайский край, Петропавловская и Павлодарская области). Рост термических ресурсов (сумма активных температур воздуха) в восточной части исследуемой территории невелик и не превышает  $50^{\circ}\text{C}$  за десятилетие. Минимальный рост термических ресурсов,  $<25^{\circ}\text{C}$  за десятилетие, незначительный, отмечается в северо-восточной части Казахстана.

На территории сельскохозяйственных районов России, граничащих с Казахстаном, за исключением Оренбургской и Саратовской областей, заметного роста теплообеспеченности не наблюдается. По этой причине расширение посевов озимых культур на этой территории может быть не всегда оправданным. Средняя весенняя температура растет повсеместно со статистически значимой скоростью от  $0.4$  до  $0.7^{\circ}\text{C}/10$  лет.

В Казахстане наблюдаются сравнительно невысокие темпы потепления относительно степной зоны Урала и Западной Сибири и даже отмечается некоторый спад зимней температуры. Ранжирование по скорости роста средней температуры воздуха по сезонам года показывает, что скорость ее роста максимальна весной и минимальна летом. Полученные оценки скорости изменения показателей термических ресурсов в целом согласуются с оценками, данными в работах (Байшолоанов и др., 2015; Байшолоанов и др., 2022).

Тенденция к иссушению наблюдается в степной зоне России и Казахстана преимущественно в летний период. Высокие отрицательные скорости изменения ГТК, характеризующего соотношение тепла и влаги, отмечаются в восточных областях России (Саратовская и Оренбургская области) и в Курганской области и составляют от  $-0.03$  до  $-0.07$  ед./10 лет. В силу значительной изменчивости показателей влагообеспеченности наблюдаются отдельные локальные точки как их роста, так и падения. Но заметного снижения влагообеспеченности сельскохозяйственных культур на большей части рассматриваемой территории России и Казахстана не отмечается. Положительным фактором для сельского хозяйства стало увеличение (статистически значимое) количества весенних осадков на территории России и Казахстана.

Тенденции изменений агроклиматических ресурсов в комплексе определяют обусловленную климатом составляющую продуктивности сельского хозяйства. Основные агроклиматические показатели по рангу их значимости для формирования урожайности включают увлажненность, теплообеспеченность территории, термические условия холодного периода и континенталь-

---

ность климата. Как показано выше, наблюдаемые изменения климата ведут к изменению этих связанных между собой факторов.

По оценкам агентства «Казах-Зерно», основное зерновое производство в Республике Казахстан сосредоточено в трех северных регионах – Северо-Казахстанской, Акмолинской и Костанайской областях, в совокупности обеспечивающих около 70% валового сбора зерновых. Климатические условия Северного Казахстана позволяют возделывать высококачественное зерно мягких и твердых сортов пшеницы, хотя имеют место частые проявления ранневесенней засухи и высокого увлажнения при пониженных температурах воздуха в период налива и созревания зерна (Агроклиматические ресурсы ..., 2017).

В России области, граничащие с Казахстаном, также являются основными районами возделывания яровой пшеницы. В степной и сухостепной зоне южного и среднего Урала, степной зоне Сибири, в Оренбургской и Саратовской областях из-за недостаточного увлажнения средние урожаи относительно невысокие, однако зерно содержит много белка и клейковины. Сорты твердой пшеницы, выращиваемые в этой зоне, обладают высокими товарными качествами и высоко ценятся на рынке зерна.

В Алтайском крае, Омской и Новосибирской областях, занимающих по рангу посевных площадей яровой пшеницы первые три позиции (~1100-2200 тыс. га), средняя урожайность яровой пшеницы за период 1991-2020 гг. близка к средней урожайности по России (~12-14 ц/га). Максимальная урожайность, зафиксированная в регионе, невысокая – от ~14 до 21 ц/га, принимая во внимание, что на плодородных землях с достаточным увлажнением урожайность яровой пшеницы может подниматься до 40-45 ц/га.

В агроклиматическом отношении территория Нижней Волги, южного Урала и Сибири, а также Северного Казахстана относится к зоне неустойчивых урожаев яровой пшеницы, обусловленных большой изменчивостью гидротермического режима и высокой повторяемостью засух. За последние десятилетия в Саратовской и Оренбургской областях повторяемость засух, как главного фактора риска при возделывании яровой пшеницы, высокая и в отдельных районах достигает 70-80% в (~7-8 случаев за 10 лет) (Национальный доклад ..., 2021).

Можно выделить два квазиоднородных региона с высоким коэффициентом кросскорреляции (табл. 4). Первый регион – это умеренно-устойчивая зона, включающая три самые крупные зерновые области: Алтайский край, Омскую и Новосибирскую области (табл. 4, заливка зеленым цветом). Второй регион – самая засушливая зона, зона неустойчивых урожаев, включая Саратовскую, Оренбургскую, Челябинскую и Курганскую области (табл. 4, заливка желтым цветом). Достаточно высокая пространственно-временная зависимость рядов урожайности в трех основных зернопроизводящих областях может свидетельствовать о существующем риске значительного недобора урожая одновременно в засушливые годы и его негативном влиянии на валовый сбор яровой пшеницы по России в целом.

Анализ показывает, что на западе региона, в Челябинской и Саратовской областях, темпы роста фактической урожайности от периода 1991-2000 к

2011-2020 гг. невысокие (1.9-2.4 ц/га/10 лет) или не отмечаются вовсе (Оренбургская область). В регионе с высокой концентрацией посевов (Алтайский край, Омская и Новосибирская области) темпы роста выше и составляют 2.8-3.6 ц/га. Акмолинская область по темпу роста фактической урожайности занимает промежуточное место – 2.4 ц/га за тридцатилетний период. Обращает на себя внимание факт замедления прироста средней по десятилетиям фактической урожайности на граничащей с ЦА территории России от десятилетия 2001-2010 к 2011-2020 гг. и увеличение числа случаев с приращением урожайности не выше 0.5 ц/га (табл. 5).

На территории областей России к самым неурожайным относятся 1991, 1998 и 2012 г. В эти годы фактическая урожайность не превышала 6-7 ц/га, а в Оренбургской и Саратовской областях фактическая урожайность была ниже нормы высева семян (~1.5 ц/га). В Акмолинской области Казахстана крупные недоборы урожая зафиксированы в 1991, 1998 и 2010 г., когда урожайность составляла 6.2, 3.8 и 6.3 ц/га, соответственно.

Анализ тенденций изменений урожайности яровой пшеницы на рассматриваемой территории указывает на смену знака тенденции и ее величины от периода 1961-1990 к 1991-2020 гг.

В период 1961-1990 гг. в рядах урожайности на западе региона (Оренбургская, Саратовская и Челябинская области) наблюдались либо отрицательные, либо близкие к нулю коэффициенты линейного тренда (в табл. 6 обозначение ▲ ▼). Но в восточных областях, Новосибирской и Омской, статистически значимо проявляются положительные тренды – 1.3 и 0.1 ц/га/10 лет соответственно. От достаточно низкого уровня урожайности яровой пшеницы в 60-70-х годах Новосибирская область «подтянулась» до уровня урожайности Омской области за последнее десятилетие.

За период 1991-2020 гг. знак тенденции изменений фактической урожайности в умеренно устойчивой зоне урожайности (Алтайский край, Омская и Новосибирская области) и в засушливой Саратовской области сменился на положительный. Скорость роста урожайности,  $b$ , здесь составляет от 1.5 до 2.0 ц/га или от 5 до 6% за 10 лет. Таким образом, в граничащих с Казахстаном областях России наблюдается устойчивый рост урожайности яровой пшеницы. Как показал агроклиматический анализ, приведенный выше, улучшения агрометеорологических условий на этой территории не выявлено и можно сделать обоснованное предположение о росте урожайности за этот период только за счет усовершенствования агротехнологий.

### **Заключение**

Сравнительная оценка тенденций изменений агроклиматических ресурсов в регионе Центральной Азии и граничащих с ней областях России показывает, что эти тенденции имеют одинаковую направленность по показателям теплообеспеченности, но различаются по знакам и величине по показателям влагообеспеченности, что связано со значительной изменчивостью и орографическими условиями территории. В Таджикистане, Кыргызстане, Узбекистане и Туркменистане, где сельское хозяйство зависит от орошения, условия

увлажненности вегетационного периода не улучшаются, за исключением весны, что еще больше сокращает потенциальные возможности пахотных земель в этих регионах.

Скорость роста теплообеспеченности на территории областей России и Северного Казахстана составляет менее  $50^{\circ}\text{C}/10$  лет, что практически в два раза меньше, чем по России в среднем (около  $90^{\circ}\text{C}/10$  лет) (Доклад об особенностях климата ..., 2023).

Увеличение количества осадков, выпадающих в весенний период вегетации в этом регионе, может сглаживать отрицательное воздействие летнего потепления на яровые зерновые культуры.

Урожайность яровой пшеницы повышается практически на всей территории российских областей, граничащих с Казахстаном, и Акмолинской области, и наиболее динамичные темпы ее роста характерны для периода последних десятилетий. Приращение урожайности, за исключением Оренбургской и Челябинской областей, оценивается величиной от 1.5 до 2.0 ц/га/10 лет. Урожайность в Акмолинской области также имеет тенденцию к росту (~1.0 ц/га/10 лет).

Оценки изменений агроклиматических ресурсов в Северном Казахстане и сопредельных областях России не носят экстремального характера, чем и отличаются, например, от центральных и южных районов Европейской части России. Потенциал этой территории, особенно восточных областей, для выращивания зерновых культур остается значительным при современном изменении климата. Поэтому развитие агротехнологий, включающее увеличение и оптимизацию доз минеральных удобрений, введение новых засухоустойчивых стресс-толерантных сортов пшеницы, ввод в практику влагосберегающих технологий и другие агротехнические приемы, в целом снижает риски возделывания зерновых культур и позволяет реализовать агроклиматический потенциал этих территорий в условиях современного изменения климата.

### Список литературы

*Агроклиматические ресурсы Северо-Казахстанской области: научно-прикладной справочник* (2017) Под ред. С.С. Байшоланова, Астана, 125 с.

Алпатьев, А.М., Архангельский, А.М., Подоплелов, Н.Я., Степанов, А.Я. (1976) *Физическая география СССР (азиатская часть)*, М., Высшая школа, 360 с.

Байшоланов, С.С., Акшалов, К.А., Ауесханов, Д., Баймуканова, О. (2022) Связь урожайности яровой пшеницы с агрометеорологическими показателями на территории Северо-Казахстанской области Республики Казахстан, *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, № 4 (386), с. 130-146.

Байшоланов, С.С., Мусатаева, Г.Б., Павлова, В.Н., Муканов, Е.Н., Чернов, Д.А., Жакиева, А.Р. (2015) Оценка агроклиматических ресурсов Северо-Казахстанской области, *Вестник КазНУ. Серия географическая*, № 2 (41), с. 151-159.

*Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации* (2017) СПб, 106 с.

*Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год* (2023) М., 104 с.

Звягельская, И.Д. (2009) *Становление государств Центральной Азии. Политические процессы*, М., Аспект Пресс, 208 с.

*Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)». Том 3* (2021) Под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева, М., ООО «Издательство МБА», 700 с.

*Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года, утвержденный распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2019 г. № 3183-р.*

Сиротенко, О.Д. (1981) *Математическое моделирование водно-теплового режима и продуктивности агроэкосистем*, Л., Гидрометеоиздат, 167 с.

Сиротенко, О.Д. (1991) Имитационная система Климат-Урожай, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 67-73.

*Справочник Агроклиматические ресурсы Джизакской и Самаркандской областей Узбекской ССР* (1977) Л., Гидрометеоиздат, 217 с.

*Справочник Агроклиматические ресурсы Казахской ССР* (1974) Л., Гидрометеоиздат, 167 с.

*Справочник Агроклиматические ресурсы Наманганской, Андижанской, Ферганской областей Узбекской ССР* (1977) Л., Гидрометеоиздат, 196 с.

*Справочник Агроклиматические ресурсы Ошской области Киргизской ССР* (1975) Л., Гидрометеоиздат, 215 с.

*Справочник Агроклиматические ресурсы районов республиканского подчинения, Иссык-Кульской и Нарынской областей Киргизской ССР* (1973) Л., Гидрометеоиздат, 240 с.

*Справочник Агроклиматические ресурсы Таджикской ССР* (1975) Л., Гидрометеоиздат, 216 с.

*Справочник Агроклиматические ресурсы Ташкентской и Сырдарьинской областей Узбекской ССР* (1974) Л., Гидрометеоиздат, 206 с.

*Справочник Агроклиматические ресурсы Туркменской ССР* (1974) Л., Гидрометеоиздат, 244 с.

*Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме* (2022) СПб., Научные технологии, 124 с.

FAOSTAT (2022) FAOSTAT Data, Food and Agriculture Organization of the United Nations, available at: <http://www.fao.org/faostat> (accessed 10.08.2023).

---

---

Jacobs, C., Berglund, M., Kurnik, B., Dworak, T., Marras, S., Mereu, V., Michetti, M. (2019) Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe, *EEA Report*, no. 4, 112 p.

Pavlova, V.N., Karachenkova, A.A., Varcheva, S.E., Sinitsyn, N.M. (2020) Assessment Approach of the Spatial Wheat Cultivation Risk for the Main Cereal Cropping Regions of Russia, in Mirschel, W., Terleev, V., Wenkel, K.-O. (eds) *Landscape Modelling and Decision Support. Innovations in Landscape Research*, Springer, Cham, pp. 363-382.

Pinke, Z., Decsi, B., Jámbor, A., Kardos, M.K., Kern, Z., Kozma, Z., Ács, T. (2022) Climate change and modernization drive structural realignments in European grain production, *Scientific Reports*, no. 12:7374.

USDA-FAS (2022) *Grain: World Markets and Trade*, U.S. Department of Agriculture Foreign Agricultural Service, available at: <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/zs25x844t?locale=en> (accessed 10.08.2023).

## References

*Agroklimaticheskiye resursy Severo-Kazakhstanskoy oblasti: nauchno-prikladnoy spravochnik* [Agro-climatic resources of the North Kazakhstan region: scientific and applied reference book] (2017) In S.S. Baysholanov (ed.), Astana, Kazakhstan, 125 p.

Alpat'yev, A.M., Arkhangel'skiy, A.M., Podoplelov, N.Ya., Stepanov, A.Ya. (1976) *Fizicheskaya geografiya SSSR (aziatskaya chast')* [Physical geography of the USSR (Asian part)], Moscow, Russia, 360 p.

Baysholanov, S.S., Akshalov, K.A., Auyeskhanov, D., Baymukanova, O. (2022) Svyaz' urozhaynosti yarovoy pshenitsy s agrometeorologicheskimi pokazatelyami na territorii Severo-Kazakhstanskoy oblasti Respubliki Kazakhstan [Relationship between spring wheat productivity and agrometeorological indicators on the territory of the North Kazakhstan region of the Republic of Kazakhstan], *Gidrometeorologicheskiye issledovaniya i prognozy*, no. 4 (386), pp. 130-146.

Baysholanov, S.S., Musatayeva, G.B., Pavlova, V.N., Mukanov, Ye.N., Chernov, D.A., Zhakiyeva, A.R. (2015) Otsenka agroklimaticheskikh resursov Severo-Kazakhstanskoy oblasti [Evaluation of agro-climatic resources of the North Kazakhstan region], *Vestnik KazNU. Seriya geograficheskaya*, no. 2 (41), pp. 151-159.

*Doklad o klimaticheskikh riskakh na territorii Rossiyskoy Federatsii* [Report on climate risks in the territory of the Russian Federation] (2017) St. Petersburg, Russia, 106 p.

*Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2022 god* [Report on climate features in the territory of the Russian Federation for 2022] (2023) Moscow, Russia, 104 p.

---

Zvyagel'skaya, I.D. (2009) *Stanovleniye gosudarstv Tsentral'noy Azii. Politicheskiye protsessy* [Formation of the states of Central Asia. Political processes], Moscow, Russia, 208 p.

*Natsional'nyy doklad «Global'nyy klimat i pochvennyy pokrov Rossii: proyavleniya zasukhi, mery preduprezhdeniya, bor'by, likvidatsiya posledstviy i adaptatsionnyye meropriyatiya (sel'skoye i lesnoye khozyaystvo)». Tom 3* [National report "Global climate and soil cover in Russia: manifestations of drought, prevention measures, control, elimination of consequences and adaptation measures (agriculture and forestry)". Vol. 3] (2021) In R.S.-Kh. Edel'geriyev (ed.), Moscow, Russia, 700 p.

*Natsional'nyy plan meropriyatiy pervogo etapa adaptatsii k izmeneniyam klimata na period do 2022 goda, utverzhennyy rasporyazheniyem Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 25 dekabrya 2019 g. № 3183-r* [National action plan for the first stage of adaptation to climate change for the period up to 2022, approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated December 25, 2019, no. 3183-r].

Sirotenko, O.D. (1981) *Matematicheskoe modelirovanie vodno-teplovogo rezhima i produktivnosti agroekosistem* [Mathematical modeling of water-heat regime and productivity of agroecosystems], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 167 p.

Sirotenko, O.D. (1991) Imitatsionnaya sistema Klimat-Urozhay [Simulation system "Climate-Harvest"], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 4, pp. 67-73.

*Spravochnik Agroklimaticheskoye resursy Dzhizakskoy i Samarkandskoy oblastey Uzbekskoy SSR* [Reference book of Agro-climatic resources of Jizzakh and Samarkand regions of the Uzbek SSR] (1977) Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 217 p.

*Spravochnik Agroklimaticheskoye resursy Kazakhskoy SSR* [Reference book of Agro-climatic resources of the Kazakh SSR] (1974) Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 167 p.

*Spravochnik Agroklimaticheskoye resursy Namanganskoy, Andizhanskoy, Ferganskoy oblastey Uzbekskoy SSR* [Reference book of Agro-climatic resources of Namangan, Andijan, Fergana regions of the Uzbek SSR] (1977) Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 196 p.

*Spravochnik Agroklimaticheskoye resursy Oshskoy oblasti Kirgizskoy SSR* [Reference book of Agro-climatic resources of the Osh region of the Kirghiz SSR] (1975) Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 215 p.

*Spravochnik Agroklimaticheskoye resursy rayonov respublikanskogo podchineniya, Issyk-Kul'skoy i Narynskoy oblastey Kirgizskoy SSR* [Reference book of Agro-climatic resources of the regions of republican subordination, Issyk-Kul and Naryn regions of the Kirghiz SSR] (1973) Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 240 p.

*Spravochnik Agroklimaticheskoye resursy Tadzhikskoy SSR* [Reference book of Agro-climatic resources of the Tajik SSR] (1975) Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 216 p.

---

---

*Spravochnik Agroklimaticheskkiye resursy Tashkentskoy i Syrdar'inskoy oblasti Uzbekskoy SSR* [Reference book of Agro-climatic resources of the Tashkent and Syrdarya regions of the Uzbek SSR] (1974) Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 206 p.

*Spravochnik Agroklimaticheskkiye resursy Turkmenskoy SSR* [Reference book of Agro-climatic resources of the Turkmen SSR] (1974) Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 244 p.

*Tretij otsenochnyj doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossijskoj Federatsii. Obshee resyume* [Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General Summary] (2022) St. Petersburg, Russia, 124 p.

FAOSTAT (2022) FAOSTAT Data, Food and Agriculture Organization of the United Nations, available at: <http://www.fao.org/faostat> (accessed 10.08.2023).

Jacobs, C., Berglund, M., Kurnik, B., Dworak, T., Marras, S., Mereu, V., Michetti, M. (2019) Climate change adaptation in the agriculture sector in Europe, *EEA Report*, no. 4, 112 p.

Pavlova, V.N., Karachenkova, A.A., Varcheva, S.E., Sinitsyn, N.M. (2020) Assessment Approach of the Spatial Wheat Cultivation Risk for the Main Cereal Cropping Regions of Russia, in Mirschel, W., Terleev, V., Wenkel, K.-O. (eds) *Landscape Modelling and Decision Support. Innovations in Landscape Research*, Springer, Cham, pp. 363-382.

Pinke, Z., Decsi, B., Jámbor, A., Kardos, M.K., Kern, Z., Kozma, Z., Ács, T. (2022) Climate change and modernization drive structural realignments in European grain production, *Scientific Reports*, no. 12:7374.

USDA-FAS (2022) *Grain: World Markets and Trade*, U.S. Department of Agriculture Foreign Agricultural Service, available at: <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/zs25x844t?locale=en> (accessed 10.08.2023).

*Поступила в редакцию: 16.05.2023.*

*Доработана после рецензирования: 05.07.2023.*

*Принята к публикации: 12.08.2023.*

### **Для цитирования / For citation:**

Павлова, В.Н., Карачёнова, А.А., Романенков, В.А. (2023) Оценка изменений агроклиматических ресурсов в Центральной Азии и сопредельных областях России, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 9, № 3, с. 298-317, doi:10.21513/2410-8758-2023-3-298-317.

Pavlova, V.N., Karachenkova, A.A., Romanenkov, V.A. (2023) Assessment of changes in agro-climatic resources in Central Asia and adjacent areas of Russia, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 9, no. 3, pp. 298-317, doi:10.21513/2410-8758-2023-3-298-317.

---