

**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В РАЗРЕЗЕ РЕГИОНОВ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ ЗА 2010-2021 ГГ.****А.Б. Адьянова<sup>1</sup>, Р.А. Мукабенова<sup>1</sup>, \*А.А. Булуктаев<sup>1</sup>, С.С. Манджиева<sup>1</sup>, В.Н. Гудко<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Калмыцкий научный центр Российской академии наук, Россия, Элиста<sup>2</sup>Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета, Россия, Ростов-на-Дону

e-mail: \*buluktaev89@mail.ru

Современные климатические изменения представляют серьезную угрозу для устойчивого развития сельского хозяйства, особенно в засушливых регионах. На примере Республики Калмыкия проведено исследование влияния климатических факторов на продуктивность зерновых культур. Результаты свидетельствуют о выраженной тенденции к аридизации климата: за последнее десятилетие среднегодовая температура превысила норму на 0,8°C при одновременном сокращении весенне-летних осадков. Анализ выявил прямую зависимость урожайности от уровня увлажнения ( $r = 0,62-0,97$ ), особенно критичную в зимне-весенний период, что объясняется ключевой ролью влагозапасов для начальных фаз вегетации. Наибольшую чувствительность к температурным изменениям демонстрируют озимые культуры: положительная корреляция с зимними температурами (до  $r = 0,78$ ) сменяется отрицательной зависимостью в летний период (до  $r = -0,78$ ), за исключением термоустойчивой тритикале ( $r = 0,65$ ). Полученные данные указывают на необходимость адаптации агротехнологий с учетом усиливающейся аридизации и перераспределения осадков по сезонам.

*Ключевые слова:* природно-климатические характеристики, температура воздуха, осадки, урожайность, корреляционная зависимость.

**Введение**

Республика Калмыкия, расположенная на юго-востоке европейской части России, занимает площадь 76,1 тыс. км<sup>2</sup>, что составляет 0,4 % территории страны. Регион простирается на 458 км с севера на юг и на 423 км с запада на восток. Большая часть территории находится в зоне степей, полупустынь и пустынь. Калмыкия граничит с Ростовской, Астраханской, Волгоградской областями, Ставропольским краем и Республикой Дагестан. Климат региона резко континентальный: лето здесь жаркое и сухое, а зима малоснежная, с абсолютным минимумом температуры до -28°C. В соседних регионах преобладает умеренно-континентальный климат [1-2].

Территория Республики Калмыкия характеризуется четко выраженной дифференциацией по природно-хозяйственным условиям, что позволило выделить три специализированные сельскохозяйственные зоны. Центральная сельскохозяйственная зона, охватывающая шесть административных районов (Кетченеровский, Малодербетовский, Сарпинский, Целинный, Приютненский и Ики-Бурульский), отличается преимущественным развитием животноводческой отрасли, представленной в основном мясным и мясо-молочным скотоводством. Растениеводство здесь развито ограниченно и носит вспомогательный характер. Восточная зона, включающая четыре района Прикаспийской низменности (Юстинский, Яшкульский, Черноземельский и Лаганский), характеризуется экстенсивной формой ведения пастбищного животноводства, что обусловлено спецификой природных условий этой территории. Напротив, западная зона (Городовиковский и Яшалтинский районы) выделяется как основной центр растениеводческой специализации республики, где сосредоточены наиболее благоприятные условия для выращивания сельскохозяйственных культур. Земельный фонд сельскохозяйственного назначения занимает доминирующее

положение в структуре земель республики – 84,5 % от общей площади. При этом наблюдается резкая диспропорция в распределении угодий: подавляющая часть (84 %) представлена пастбищными землями, тогда как пашня занимает лишь 14,2 %, сенокосы – 1,5 %, а многолетние насаждения – всего 0,04 % сельхозугодий. Следует особо отметить, что развитие всех отраслей сельскохозяйственного производства в регионе испытывает существенные ограничения, обусловленные прежде всего спецификой почвенного покрова и сложными климатическими условиями, характерными для этой засушливой территории [3-4].

Согласно исследованиям М.М. Сангаджиева и других авторов [5], восточные районы Республики Калмыкия испытывают значительные экологические трудности, обусловленные сочетанием экстремальных природно-климатических факторов и интенсивной антропогенной деятельности. Основными проблемами этих территорий выступают прогрессирующие процессы опустынивания, вызванные многовековой практикой экстенсивного природопользования, прежде всего чрезмерным выпасом скота, а также хроническим дефицитом водных ресурсов. Ирония ситуации заключается в том, что созданная для улучшения условий жизнедеятельности местного населения оросительная система вместо ожидаемого положительного эффекта спровоцировала вторичное засоление почвенного покрова. Дополнительным негативным фактором стали регулярные восточные ветры, переносящие пылесолевые массы, которые существенно ухудшают солевой баланс почв. Совокупность этих процессов приводит к ускоренной деградации земельных ресурсов, что подтверждается и исследованиями волгоградских ученых [6], отмечающих усиление частоты и интенсивности пыльно-песчаных бурь в последние десятилетия как следствие изменяющихся климатических условий.

В отличие от проблемных восточных территорий, центральные и особенно западные районы республики отличаются более сбалансированными природно-климатическими характеристиками и умеренным уровнем антропогенного воздействия. Особого внимания заслуживает западная зона, где сформировались благоприятные для земледелия почвенные условия благодаря распространению плодородных южных черноземов и темно-каштановых почв [7, 8]. Именно эти территории демонстрируют наибольший агропотенциал и обеспечивают оптимальные условия для выращивания широкого спектра сельскохозяйственных культур, составляя важнейший ресурс для развития растениеводческого сектора региона.

Многочисленные исследования свидетельствуют о значительных климатических изменениях на территории Республики Калмыкия, характеризующихся выраженной тенденцией к потеплению и аридизации. За последние шесть лет среднегодовая температура воздуха устойчиво превышает климатическую норму на 1-2°C, при этом наблюдается существенное сокращение количества осадков в критически важный весенне-летний период [9]. Этот процесс аридизации климата оказывает комплексное негативное воздействие на экосистемы региона, приводя к деградации земель, сокращению водных ресурсов и снижению биологического разнообразия [10-12], хотя некоторые исследования отмечают возможность как отрицательных, так и положительных последствий для устойчивого землепользования [13].

Детальные исследования Б.А. Гольдварга и его коллег выявили, что за двадцатилетний период в центральной зоне республики среднегодовая температура превысила климатическую норму на 1,3°C, а количество осадков в ключевой для формирования урожая период сократилось на 25,6 % относительно средних многолетних значений. Примечательно, что, несмотря на эти неблагоприятные изменения, продуктивность основных зерновых культур (озимая пшеница, озимая тритикале и яровой ячмень) демонстрирует незначительную, но устойчивую тенденцию к росту [14-15].

Аналогичные климатические тенденции наблюдаются и в соседних регионах. В Саратовской области отмечается четкая зависимость урожайности яровых культур от температурного режима и количества осадков [16]. В Ставропольском крае за период 2009-2018 гг. зафиксирован рост среднегодовых температур с тенденцией +0,34°C за десятилетие,

при этом фактические температурные показатели увеличились на  $+1,2^{\circ}\text{C}$ . Наибольший прирост температур наблюдается в летние месяцы, хотя заметное потепление происходит и зимой. Эти изменения влекут за собой ряд негативных последствий, включая ускоренное испарение почвенной влаги [17].

В рамках настоящего исследования, опирающегося на предыдущие работы по изучению гидротермических условий степных регионов [18-19], ставится цель проанализировать зависимость урожайности зерновых культур от сезонных температурных показателей и количества осадков по муниципальным районам Республики Калмыкия за период 2010-2021 гг. Для достижения этой цели предусматривается решение следующих задач: создание комплексной базы данных климатических параметров (средние температуры воздуха и количество осадков) на основе информации метеорологических станций; оценка влияния выявленных климатических факторов на продуктивность зерновых культур; разработка практических рекомендаций по адаптации сельскохозяйственного производства к меняющимся климатическим условиям региона.

### Материалы и методы исследования

Материалами исследования выступила собранная база данных климатических параметров (средняя температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ), осадки (мм)) с метеорологических станций Городовиковск (GO), Ики-Бурул (IB), Комсомольский (КО), Лагань (LA), Малые Дербеты (MD), Элиста (EL), Юста (YU) и Яшкуль (YA) за период с 2010 по 2021 год (рис. 1).

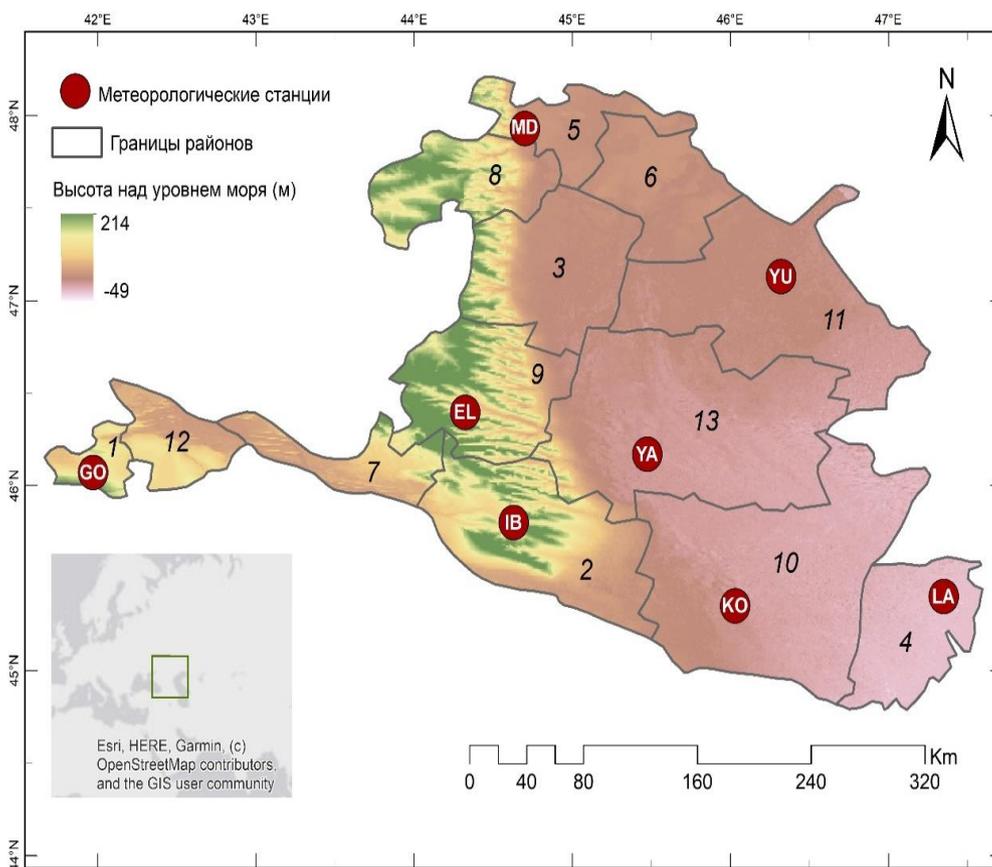


Рисунок 1 – Географическое расположение метеорологических станций и административных районов Республики Калмыкия

Для анализа климатических изменений использовались годовые и сезонные данные, сопоставляемые с климатической нормой (К), рассчитанной на основе среднесезонных показателей. Исследование опиралось на данные о среднемесячной температуре и количестве

осадков по административным районам Республики Калмыкия за период 2010-2021 гг., полученные из глобального архива CRU TS 4.07 (Climatic Research Unit). Этот международно признанный источник предоставляет высокоточные ( $0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$ ) климатические данные по всем наземным регионам мира, сформированные путем интерполяции ежемесячных аномалий на основе обширной сети метеорологических станций.

Статистический анализ включал расчет корреляционной зависимости между урожайностью сельскохозяйственных культур и сезонными климатическими показателями с использованием коэффициента корреляции Пирсона (статистическая значимость  $p < 0,05$ ). Нормальность распределения данных проверялась критерием Шапиро-Уилка. В качестве контрольного показателя использовалась рассчитанная среднемноголетняя климатическая норма. На рисунке 2 представлена работа сотрудников лаборатории химико-экологических исследований по ежегодному мониторингу экологической обстановки территории Республики Калмыкия.



Рисунок 2 – Работа на фоновых участках (фото Эрденова Г.И., 24.06.2021)

Дополнительно исследование учитывало данные об урожайности ключевых зерновых культур (озимая пшеница, озимая рожь, озимый ячмень, озимая тритикале, яровая пшеница и яровой ячмень) по муниципальным районам, предоставленные Управлением Федеральной службы государственной статистики по Астраханской области и Республике Калмыкия (форма № 29-сх «Сведения о сборе урожая сельскохозяйственных культур» за 2010-2021 гг.). Этот комплексный подход позволил обеспечить достоверность и репрезентативность полученных результатов.

### **Результаты и их обсуждение**

Анализ температурных данных за 2010-2021 гг. по районам Калмыкии выявляет значительные межгодовые и территориальные колебания (рис. 3).

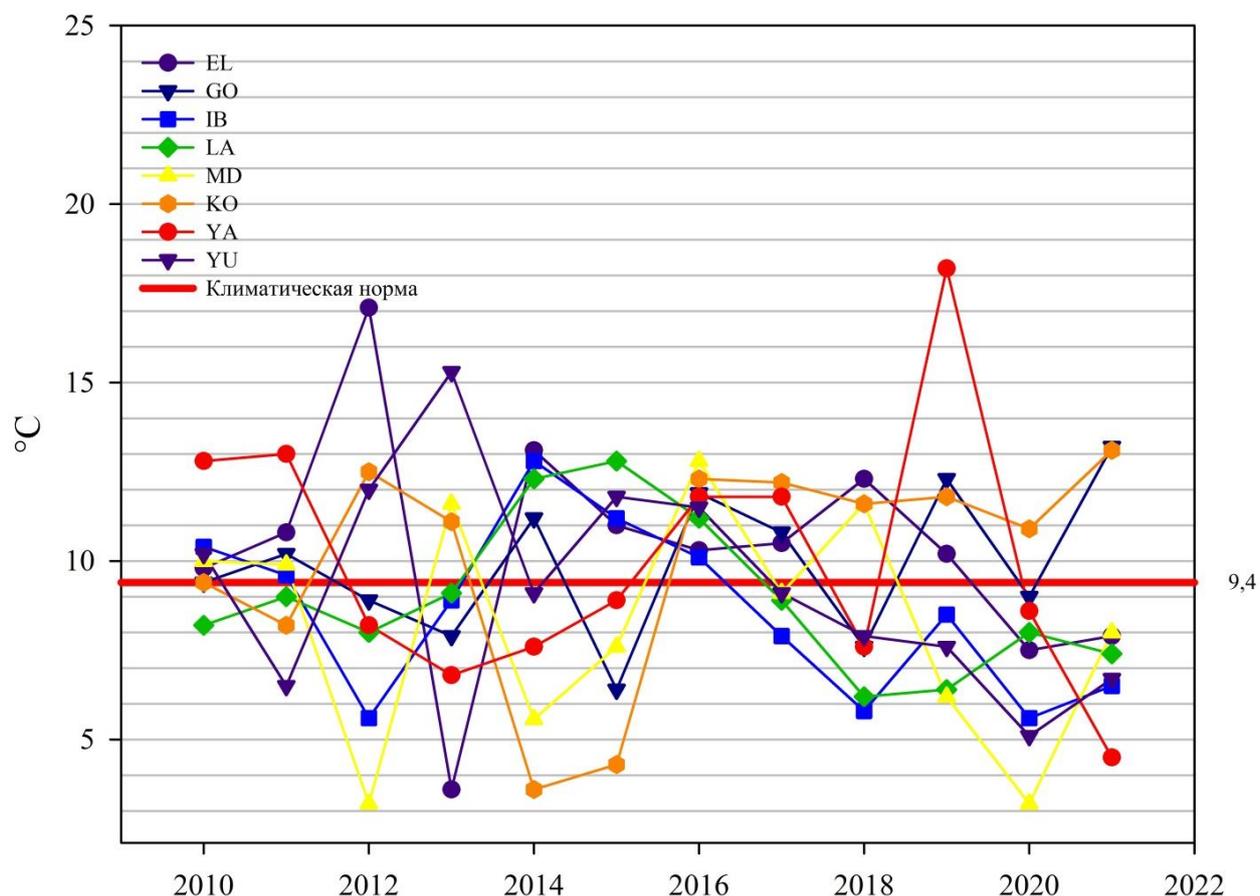


Рисунок 3 – Показатели средней температуры воздуха за период 2010-2021 гг. на территории районов Республики Калмыкия

Как видно из рисунка 3, наиболее теплыми точками стали Яшкуль (YA) с абсолютным максимумом 18,2°С в 2019 г. и Элиста (EL) с пиком 17,1°С в 2012 г., тогда как минимальные значения зафиксированы в Малых Дербетах (MD) – 3,2°С в 2012 и 2020 гг. Особого внимания заслуживает 2013 г., когда при аномально низкой температуре в Элисте (3,6°С) Юста (YU) показала рекордные 15,3°С, демонстрируя контрастность внутрирегиональных условий. В целом за период наблюдений среднегодовые температуры в большинстве районов превышают климатическую норму ( $K = 9,4^{\circ}\text{C}$ ), особенно заметно в Яшкуле (среднее 10,1°С) и Городовиковске (GO, среднее 9,9°С). При этом Ики-Бурул (IB) и Лагань (LA) остаются ближе к норме (средние 9,0°С и 8,9°С соответственно). Наибольшие температурные аномалии наблюдались в 2012, 2014 и 2019 гг., когда разброс между районами достигал 10-12°С, что указывает на усиление климатической контрастности в регионе. Особенностью последних лет (2020-2021) стало заметное похолодание в некоторых районах республики. Полученные данные подтверждают тенденцию к климатической диверсификации территории республики с одновременным общим ростом температурного фона.

Анализ данных об осадках в Республике Калмыкия за 2010-2021 гг. выявляет выраженную пространственно-временную изменчивость (рис. 4).

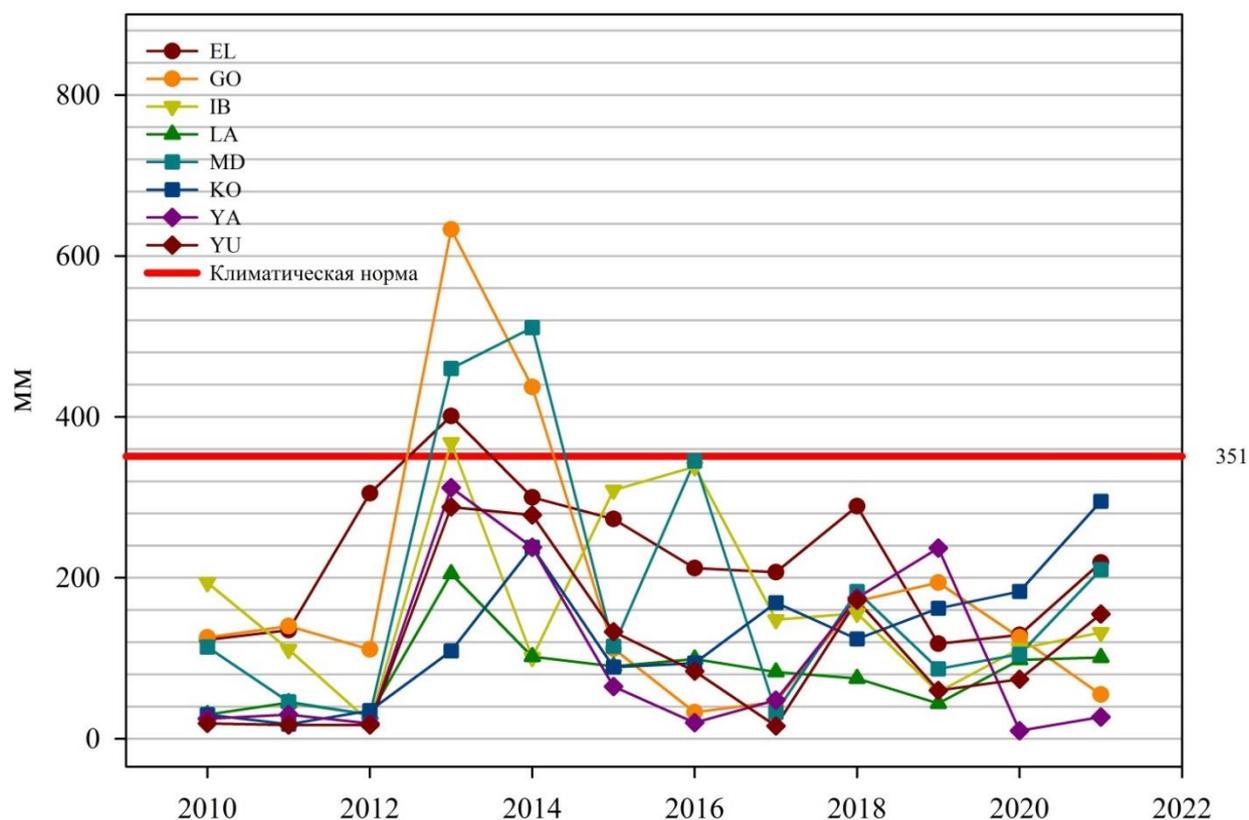


Рисунок 4 – Количество выпавших осадков на территории Республики Калмыкия за 2010-2021 гг.

Наиболее влажным периодом за 2010-2021 гг. стали 2013-2014 гг., когда в западном районе (GO, Городовиковск) зафиксирован абсолютный максимум осадков – 633 мм (2013), что почти вдвое превышает климатическую норму (351 мм). В тот же период значительные превышения нормы наблюдались в центральных (EL, Элиста – 401 мм в 2013 г., MD, Малые Дербеты – 511 мм в 2014 г.) частях республики. В то же время восточные районы (LA, КО, YA, YU) демонстрировали устойчивый дефицит осадков, особенно выраженный в 2020 году, когда в Яшкуле (YA) выпало лишь 10 мм (менее 3 % от нормы). Период 2016-2017 гг. отличался резкими контрастами: в центральном районе (IB, Ики-Бурул) в 2016 году зафиксирован значительный избыток осадков (338 мм), тогда как в западном (GO) их количество составило лишь 33 мм. В 2018-2019 гг. сохранялась территориальная диспропорция: центральные (EL, IB, MD) районы получали в 1,5-2 раза больше осадков, чем восточные (LA, КО, YA, YU), хотя их значения не достигали рекордных. В 2021 году выделяется восточный район (КО, Комсомольский) с относительно высоким показателем (295 мм), тогда как в Яшкуле (YA) зафиксирован один из минимумов (27 мм). Общий тренд указывает на усиление аридизации восточных территорий при сохранении более стабильного увлажнения в центральных и западных районах, где среднегодовые значения чаще приближаются к климатической норме, несмотря на значительные межгодовые колебания.

В ходе исследования с помощью корреляционного анализа была оценена зависимость урожайности культур в разрезе муниципальных районов Республики Калмыкия от средней температуры и количества осадков по каждому сезону в период с 2010 по 2021 гг. Климатические показатели в зимний сезон рассчитывали на основании набора метеоданных декабря предыдущего года и января, февраля текущего года. Расчеты проводили для наиболее широко используемых в регионе сельскохозяйственных культур, таких как озимая пшеница, озимая рожь, озимая тритикале, озимый и яровой ячмень. Влияние климатических факторов на урожайность ярового ячменя оценивали в весенний и летний сезоны. Объемы собранного

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

урожая зерновых культур на территории Республики Калмыкия представлены в таблице 1, результаты корреляционного анализа – в таблице 2.

Таблица 1 – Объемы собранного урожая на территории Республики Калмыкия

Вид культуры	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	ц с га											
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>
Городовиковский район												
Пшеница озимая	24,2	25,9	16,2	16,7	26,1	25,0	28,0	28,3	29,2	26,9	23,4	35,9
Рожь озимая	18,6	15,0	2,0	-	10,0	15,0	-	-	-	-	3,9	-
Ячмень озимый	10,9	12,6	2,0	8,0	10,5	20,5	21,7	25,0	23,0	25,4	24,4	30,6
Тритикале озимая	22,6	20,5	25,8	12,8	16,0	14,2	15,7	18,0	12,6	18,5	8,8	24,6
Тритикале яровая	-	31,5	-	-	16,4	13,3	10,0	-	-	-	-	-
Пшеница яровая	10,0	17,2	5,87	4,4	15,8	10,0	17,2	20,4	29	25,4	-	48,1
Ячмень яровой	11,2	18,2	13,1	8,1	16,4	15,8	16,3	19,8	16,3	20,6	16,0	23,6
Ики-Бурульский район												
Пшеница озимая	14,8	28,9	5,9	9,7	11,5	18,8	24,9	26,6	14,2	24,6	17,7	15,5
Рожь озимая	5,0	10,6	-	-	8	5	-	5,9	9,7	-	-	-
Тритикале озимая	-	-	-	-	24	-	23,6	7	11,6	-	21,0	11,6
Пшеница яровая	-	-	-	-	-	-	-	-	9,4	39,8	-	-
Рожь яровая	-	-	-	-	-	-	-	24,5	-	-	-	-
Ячмень яровой	6,1	9,5	-	8,0	3,0	10,9	25	23,8	14,4	24,8	7,7	11,7
Кетченеровский район												
Пшеница озимая	24,9	14,2	8,5	3,9	6,4	24,9	17	17,1	-	22,4	29,2	21,4
Рожь озимая	8,0	10,4	-	-	-	-	-	-	-	10,6	10,8	9,7
Ячмень яровой	8,3	10,6	3,0	1,9	5,0	-	6,5	7,6	-	10,0	7,9	8,6
Лаганский район												
Пшеница озимая	-	-	-	-	-	-	27,1	-	-	-	-	-
Малодербетовский район												
Пшеница озимая	10,9	4,2	6,6	12,1	14,0	9,0	21,5	13,7	10,3	9,7	23,8	9,9
Ячмень озимый	4,76	-	-	-	11,2	1,0	-	-	-	-	-	15,3
Пшеница яровая	-	3,5	-	4,1	3,6	4,3	10,2	5,3	-	-	-	-
Ячмень яровой	5,34	6,9	3,7	10,5	4,6	6,5	18,8	9,1	9,8	9,5	14,1	16,5
Просо	1,0	1,0	-	1,0	-	-	1,0	-	-	-	-	-
Октябрьский район												
Пшеница озимая	9,9	12,7	14,9	16,7	15,5	-	-	-	-	18,6	19,0	-
Пшеница яровая	11,9	14,7	12,9	20,7	19,4	17,9	19,4	24,0	8,2	24,8	13,9	9,9
Ячмень яровой	13,3	23,5	15,8	18,3	15,3	16,4	19,5	20,1	8,9	14,5	16,8	9,9
Приютненский район												
Пшеница озимая	15,9	24,1	9,1	11,5	11,1	16,8	26,7	26,5	28,6	26,6	24,5	23,9
Рожь озимая	14,8	22,5	5,5	16,0	9,3	17,1	26,2	21,0	-	-	5,7	23,9
Ячмень озимый	9,9	14,4	6,3	5,0	8,2	10,1	14,9	-	-	-	19,6	42,0
Тритикале озимая	6,4	18,3	8,6	-	-	-	-	-	-	-	22,2	-
Тритикале яровая	-	4,8	-	-	-	5,0	-	-	-	5,4	-	-
Пшеница яровая	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19,7	-	-
Ячмень яровой	-	-	-	-	-	-	14,9	18,7	13,5	21,8	17,7	15,8
Овес	-	9,6	-	-	-	10,0	-	13,7	4,3	-	3,2	-
Просо	-	12,4	-	-	8,1	3,5	-	11,6	12,6	-	-	9,7
Сарпинский район												
Пшеница озимая	7,9	11,6	10,0	9,2	15,1	7,9	24,3	17,8	10,5	15,2	23,1	12,1
Рожь озимая	9,4	8,0	4,0	5,6	11,8	2,6	12,7	5,5	-	12,4	14,9	5,0
Ячмень озимый	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13,1	19,4	8,8
Тритикале озимая	-	2,1	12,3	3,1	18,1	4,6	-	-	16,7	6,0	-	5,8
Пшеница яровая	5,5	7,6	-	-	-	2,1	-	7,5	-	-	-	7,2
Ячмень яровой	6,1	7,9	2,04	9,3	7,2	7,5	12	7,2	4,6	4,4	9,6	9,5
Просо	0,3	5,1	-	2,9	0,9	10,0	-	-	-	1,7	1,2	9,9

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Целинный район												
Пшеница озимая	13,1	13,0	10,1	10,8	9,1	13,4	21,9	17,7	15,2	19,3	16,1	14,2
Рожь озимая	2,6	9,7	9,7	6,3	11,6	10,0	13,7	19,1	-	9,9	-	7,0
Тритикале озимая	-	9,8	13,9	5,7	12,3	14,6	15,3	10,0	6,0	11,1	12,1	-
Пшеница яровая	-	-	-	-	-	-	-	3,0	-	-	32,0	24,3
Рожь яровая	-	-	-	-	-	-	-	13,5	-	-	-	-
Ячмень яровой	7,9	11,5	-	5,8	3,2	7,8	16,9	13,9	14,0	13,6	19,5	19,2
Овес	-	-	-	-	-	-	15,0	-	-	-	-	-
Черноземельский район												
Пшеница озимая	11,4	18,6	7,7	18,7	16,3	20,0	19,7	8,0	25,8	15,0	15,7	9,9
Ячмень яровой	-	14,8	-	10,0	8,7	7,3	19,3	8,3	-	-	21,6	-
Пшеница яровая	-	-	-	-	-	-	13,9	27,8	15,3	24,1	18,8	13,5
Яшалтинский район												
Пшеница озимая	25,3	30,1	20,1	20,9	27,3	30,0	37,0	39,2	35,6	30,5	27,8	33,8
Ячмень озимый	18,4	53,9	29,3	-	27,0	-	-	50,0	32,0	33,5	38,5	35,2
Пшеница яровая	-	25,0	5,0	-	-	16,0	-	38,8	-	-	-	-
Ячмень яровой	12,8	20,4	15,6	10,0	13,3	11,4	19,6	20,4	14,6	20,1	13,1	24,5
Овес	-	27,3	13,3	5,0	-	12,0	14,5	6,8	4,2	7,0	9,1	14,6
Кукуруза на зерно	-	-	-	-	-	-	-	-	26,5	-	2,9	-
Просо	10,4	17,7	14,9	2,3	13,6	7,3	24,4	15,5	2,8	9,5	6,4	25,7
Яшкульский район												
Пшеница озимая	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-
Тритикале озимая	-	-	-	-	-	-	0,3	-	-	-	-	-
Ячмень яровой	-	-	-	15,0	-	-	7,9	6,9	-	19,4	-	-

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции между урожайностью и средней температурой и количеством осадков по сезонам в различных муниципальных районах Республики Калмыкия за период с 2010 по 2021 гг.

Район	Средняя температура, °С					Осадки, мм				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Озимая пшеница										
Городовиковский	0,10	-0,32	0,15	-0,28	0,03	0,37	<b>0,69*</b>	0,22	0,15	0,55
Ики-Бурульский	0,31	-0,47	0,05	-0,41	-0,24	0,14	<b>0,70*</b>	-0,16	0,09	0,23
Кетченеровский	0,45	-0,22	0,33	0,31	0,59	0,06	0,37	-0,49	-0,32	-0,16
Малодербетовский	0,51	0,51	-0,11	-0,10	0,53	0,24	-0,10	-0,19	-0,40	-0,11
Октябрьский	<b>0,78*</b>	0,72	<b>-0,78*</b>	-0,13	0,31	-0,62	-0,44	0,30	-0,30	-0,57
Приютненский	0,34	-0,13	-0,04	-0,14	0,14	0,28	0,34	-0,10	0,00	0,13
Сарпинский	0,55	0,42	-0,23	-0,37	0,20	0,03	0,03	-0,11	-0,43	-0,12
Целинный	<b>0,59*</b>	0,16	0,00	-0,10	0,34	0,41	0,37	0,01	-0,17	0,23
Черноземельский	-0,18	0,03	-0,28	-0,44	-0,02	-0,02	0,01	0,18	0,32	0,19
Яшалтинский	0,04	-0,20	-0,05	-0,25	-0,02	0,41	0,44	-0,02	0,09	0,36
Озимая рожь										
Городовиковский	-0,30	-0,64	0,24	-0,39	-0,17	<b>0,66*</b>	<b>0,96*</b>	0,00	<b>0,97*</b>	<b>0,92*</b>
Ики-Бурульский	-0,39	-0,07	-0,56	-0,69	-0,64	-0,15	-0,03	<b>0,97*</b>	0,49	0,34
Приютненский	0,29	-0,15	0,07	-0,52	-0,14	0,38	<b>0,76*</b>	0,35	<b>0,65*</b>	<b>0,83*</b>
Сарпинский	0,12	0,30	-0,06	-0,36	0,18	0,15	0,11	-0,34	-0,42	-0,32
Целинный	0,12	0,04	-0,44	-0,21	-0,30	0,11	-0,13	-0,13	-0,42	-0,14
Озимая тритикале										
Городовиковский	-0,13	-0,23	<b>0,59*</b>	0,07	-0,28	0,16	0,54	0,28	-0,14	0,40
Ики-Бурульский	0,14	0,75	-0,38	-0,62	-0,29	-0,02	0,18	-0,02	-0,07	-0,06
Сарпинский	-0,50	0,19	0,12	-0,04	-0,18	0,52	-0,53	-0,37	-0,49	-0,43
Целинный	0,21	0,15	<b>0,65*</b>	-0,04	0,06	-0,03	0,26	-0,18	-0,44	0,01

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Озимый ячмень										
Городовиковский	0,44	-0,18	-0,40	0,00	0,37	0,11	0,36	0,06	0,02	0,24
Приютненский	0,58	0,10	-0,41	-0,16	0,28	0,04	0,40	0,32	0,06	0,42
Яшалтинский	0,12	-0,61	<b>-0,68*</b>	-0,40	-0,54	-0,41	0,09	0,08	0,14	0,00
Яровой ячмень										
Городовиковский		-0,34	-0,03		-0,07		0,52	0,15		0,23
Ики-Бурульский		0,16	-0,11		0,03		0,12	0,23		0,24
Кетченеровский		-0,56	0,31		-0,03		<b>0,69*</b>	-0,44		-0,09
Малодербетовский		0,38	-0,06		0,40		0,30	0,38		0,46
Октябрьский		-0,07	-0,23		-0,28		0,34	0,12		0,25
Целинный		0,17	0,15		0,35		0,13	0,20		0,18
Черноземельский		0,19	0,10		0,19		0,22	0,09		0,20
Яшалтинский		-0,21	0,09		-0,25		<b>0,62*</b>	0,44		0,48

\* – отмечены коэффициенты корреляции при статистическом уровне значимости  $p < 0,05$

Анализ корреляционных связей между урожайностью зерновых культур и климатическими факторами в Республике Калмыкия (2010-2021 гг.) выявил сложную систему зависимостей с выраженными региональными и сезонными особенностями. Наиболее значимые корреляции ( $p < 0,05$ ) наблюдаются между урожайностью озимой ржи и осадками в Городовиковском районе, где весенние (0,96) и осенние (0,97) осадки демонстрируют почти полную линейную зависимость от урожайности, что указывает на критическую важность влагообеспеченности для этой культуры. При этом температурные факторы оказывают противоречивое влияние: положительные корреляции зимних температур с урожайностью озимой пшеницы в Целинном (0,59) и Октябрьском (0,78) районах соседствуют с отрицательными зависимостями для летнего периода (-0,78 в Октябрьском районе), отражая стрессовое воздействие летней жары.

Особого внимания заслуживает контраст между западными и центральными районами – если в Городовиковском районе осадки весной имеют устойчивую положительную связь с урожайностью большинства культур (0,69-0,96), то в Ики-Бурульском районе значимая корреляция выявлена только для летних осадков и озимой ржи (0,97), что подчеркивает различие в механизмах формирования урожайности. Яровой ячмень демонстрирует слабые связи с температурными показателями, но чувствителен к весенним осадкам в Кетченеровском (0,69) и Яшалтинском (0,62) районах, тогда как озимая тритикале в тех же районах больше зависит от летних температур (0,59-0,65). Общая картина свидетельствует о доминирующей роли весенне-осеннего увлажнения для озимых культур при значительном варьировании оптимальных температурных режимов в зависимости от местоположения хозяйства, что требует дифференцированного подхода к адаптации агротехнологий в условиях меняющегося климата.

### Выводы

Проведенное комплексное исследование климатических условий и их влияния на сельское хозяйство Республики Калмыкия за период 2010-2021 гг. позволило выявить ряд важных закономерностей, имеющих существенное значение для адаптации агропромышленного комплекса региона к изменяющимся условиям. Анализ температурных данных показал устойчивую тенденцию к потеплению со среднегодовым превышением климатической нормы на  $0,8^{\circ}\text{C}$ , при этом наиболее значительный рост температур наблюдался в западных районах, тогда как восточные территории демонстрировали большую амплитуду сезонных колебаний. Одновременно отмечается усиление контрастности климатических условий как между районами, так и в межгодовом разрезе, что проявляется в рекордных температурных аномалиях (до  $+18,2^{\circ}\text{C}$  в Яшкуле в 2019 г.) на фоне общего роста температурного фона.

Исследование режима увлажнения выявило выраженную пространственно-временную изменчивость осадков: если западные районы в отдельные годы получали до 633 мм осадков (почти вдвое выше нормы), то восточные территории страдали от хронического дефицита влаги (до 10 мм в 2020 г.). Особую практическую ценность представляют результаты корреляционного анализа, установившие тесную взаимосвязь между климатическими факторами и продуктивностью зерновых культур. Выявлено, что зимнее потепление улучшает условия перезимовки озимых, тогда как летняя жара оказывает угнетающее воздействие на урожайность, за исключением термоустойчивой тритикале. Критически важным фактором выступает влагообеспеченность в весенне-осенний период, что особенно ярко проявляется для озимой ржи и ярового ячменя.

Полученные результаты имеют важное прикладное значение для сельскохозяйственной практики региона. Они позволяют обосновать необходимость оптимизации сроков сева озимых культур, внедрения засухоустойчивых сортов, модернизации систем орошения и разработки дифференцированных агротехнологий с учетом региональных особенностей климатических условий. Материалы исследования могут быть использованы при формировании региональных программ адаптации АПК, прогнозировании урожайности и планировании севооборотов. Выявленные тенденции климатических изменений и их влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур подчеркивают необходимость продолжения мониторинговых исследований и разработки научно обоснованных мер по адаптации земледелия в условиях усиливающейся аридизации и климатической изменчивости.

### Благодарности

*Исследование проведено в рамках государственной субсидии – проект «Асимметрично развивающиеся территории перед традиционными и новыми вызовами: исследование динамики социально-экономических процессов и изменчивости экологической ситуации» (№ госрегистрации: 122022700133-9 (2022-2026 гг.).*

### Список литературы

1. Антонов С.А. Анализ климатических условий на урожайность озимой пшеницы в Ставропольском крае // *Новости науки в АПК*. 2019. № 3 (12). С. 406-410. DOI: 10.25930/2218-855X/103.3.12.2019.
2. Борликов Г.М., Лачко О.А., Бакинова Т.И. Экология. Природопользование аридных территорий. Элиста: Изд-во КГУ, 2009. 100 с.
3. Бакинова Т.И. Эколого-экономические проблемы аграрного землепользования в аридной зоне: на примере Республики Калмыкия: автореф. дис. ... д-ра экон. наук. Ростов-на-Дону, 2000. 44 с.
4. Bakinova T.I., Darbakova N.E., Kazakova G.Y., Sangadzhieva S.A., Darbakova I.E. Information Support of Monitoring as a Tool of Ecological Optimization of Agricultural Land Use // *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2019. Т. 10. № 1 (33). С. 195-201. DOI: 10.14505/jemt.v10.1(33).19.
5. Сангаджиев М.М., Хохлова Л.И., Сератирова В.В., Онкаев В.А. Край миражей: очаги опустынивания в Яшкульском районе Республики Калмыкия // *Глобальный научный потенциал*. 2014. № 6 (39). С. 118-120.
6. Юферев В.Г., Силова В.А., Ткаченко Н.А. Дистанционный мониторинг опустынивания территории Калмыкии // *Аридные экосистемы*. 2023. Т. 29. № 1 (94). С. 46-52. DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-46-52.
7. Джиджиков В.Н., Степанец И.Т., Шарапов Б.Д. Почвы Калмыкии и пути их освоения. Элиста: Калм. кн. изд-во, 1972. 66 с.
8. Ташнинова Л.Н. Красная книга почв и экосистем Калмыкии. Элиста: АПП «Джангар», 2000. 213 с.

9. Гольдварг Б.А., Грициенко Б.А., Боктаев М.В. Влияние изменения климата на продуктивность зерновых культур в центральной зоне Республики Калмыкия // *Зерновое хозяйство России*. 2019. № 2 (62). С. 17-20. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-62-2-17-20.

10. Куст Г.С. Современные глобальные вызовы проблемы деградации земель: международные подходы и пути адаптации на национальном уровне // *Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации: материалы междунар. науч.-практ. конф.* М.: ООО «МАКС Пресс», 2020. С. 11-17. DOI: 10.29003/m1665.978-5-317-06490-7/11-17.

11. Лобковский В.А., Андреева О.В., Куст Г.С. Интеграция международной и национальной систем мониторинга и оценки деградации земель в России // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2022. Т. 86. № 1. С. 9-27. DOI: 10.31857/S2587556622010095.

12. Титкова Т.Б., Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А. Современные климатические тенденции изменений испарения и влажности почвы на юге Европейской России // *Аридные экосистемы*. 2023. Т. 29. № 3 (96). С. 4-14. DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-4-14.

13. Андреева О.В., Лобковский В.А., Куст Г.С., Зонн И.С. Современное состояние концепции и разработка типологии моделей устойчивого землепользования // *Аридные экосистемы*. 2021. Т. 27. № 1 (86). С. 3-14. DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10132.

14. Гольдварг Б.А., Грициенко Б.А., Боктаев М.В. Погодные условия и урожай озимой пшеницы в центральной зоне Республики Калмыкия // *Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: материалы II Междунар. науч.-практ. Интернет-конф. / ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного землевладения»*. Солёное Займище, 2017. С. 646-649.

15. Грициенко В.Г. Погода и урожай зерновых культур в засушливой центральной зоне Республики Калмыкия // *Поле деятельности*. 2012. № 8. С. 40-41.

16. Иванова Г.Ф., Складов Ю.А., Левицкая Н.Г. Климатические изменения на территории Саратовской области и их влияние на урожайность сельскохозяйственных культур // *Известия Саратовского университета. Серия: Науки о Земле*. 2006. Т. 6. Вып. 1. С. 10-15. DOI: 10.18500/1819-7663-2006-6-1-10-15.

17. Лазарева В.Г., Очирова П.Д., Сератирова В.В., Болдырева Д.А. Сохранение природного разнообразия Республики Калмыкия // *Известия Самарского научного центра РАН*. 2012. Т. 14. № 1 (4). С. 1039-1042.

18. Гудко В.Н., Усатов А.В., Азарин К.В. Анализ гидротермических условий в Ростовской области в период 1960-2019 гг. // *Аридные экосистемы*. 2021. Т. 27. № 4 (89). С. 25-31. DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-25-31.

19. Гудко В.Н., Усатов А.В., Азарин К.В. Климатические тенденции в Предкавказском, Нижнедонском и Западно-Прикаспийском степных подрегионах за период 1961-2020 гг. // *Степная Евразия – устойчивое развитие: Сб. материалов междунар. форума*. Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет, 2022. С. 125-127.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 03.03.2025  
Принята к публикации 19.09.2025

**THE INFLUENCE OF CLIMATE ON THE PRODUCTIVITY OF GRAIN CROPS  
IN THE REGIONS OF THE REPUBLIC OF KALMYKIA FOR 2010-2021**

**A. Adianova<sup>1</sup>, R. Mukabenova<sup>1</sup>, \*A. Buluktaev<sup>1</sup>, S. Mandzhieva<sup>1</sup>, V. Gudko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Kalmyk Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Russia, Elista

<sup>2</sup>D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal University,  
Russia, Rostov-on-Don

e-mail: \*buluktaev89@mail.ru

Contemporary climate change poses a serious threat to sustainable agricultural development, particularly in arid regions. Using the example the Republic of Kalmykia, a study was conducted on the impact of climatic factors on the grain crop productivity. The results reveal a marked trend toward climate aridification: over the past decade, the average annual temperature has exceeded the norm by 0.8°C, while reducing spring and summer precipitation. The analysis identified a direct correlation between crop yields and moisture levels ( $r = 0.62-0.97$ ), which is especially critical during the winter-spring period due to the crucial role of soil water reserves in initial vegetation phases. Winter crops are mostly sensitive to temperature changes: a positive correlation with winter temperatures (up to  $r = 0.78$ ) shifts to a negative relationship in summer (up to  $r = -0.78$ ), except for heat-tolerant triticale ( $r = 0.65$ ). These findings highlight the need to adapt agricultural practices, taking into account increasing aridization and seasonal redistribution of precipitation.

*Key words:* natural and climatic characteristics, air temperature, precipitation, yield, correlation dependence.

**References**

1. Antonov S.A. Analiz klimaticheskikh uslovii na urozhnost' ozimoi pshenitsy v Stavropol'skom krae. *Novosti nauki v APK*. 2019. N 3 (12). S. 406-410. DOI: 10.25930/2218-855X/103.3.12.2019.
2. Borlikov G.M., Lachko O.A., Bakinova T.I. *Ekologiya. Prirodopol'zovanie aridnykh territorii*. Elista: Izd-vo KGU, 2009. 100 s.
3. Bakinova T.I. *Ekologo-ekonomicheskie problemy agrarnogo zemlepol'zovaniya v aridnoi zone: na primere Respubliki Kalmykiya: avtoref. dis. ... d-ra ekon. nauk*. Rostov-na-Donu, 2000. 44 s.
4. Bakinova T.I., Darbakova N.E., Kazakova G.Y., Sangadzhieva S.A., Darbakova I.E. Information Support of Monitoring as a Tool of Ecological Optimization of Agricultural Land Use. *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2019. T. 10. N 1 (33). S. 195-201. DOI: 10.14505/jemt.v10.1(33).19.
5. Sangadzhiev M.M., Khokhlova L.I., Seratirova V.V., Onkaev V.A. Krai mirazhei: ochagi opustynivaniya v Yashkul'skom raione Respubliki Kalmykiya. *Global'nyi nauchnyi potentsial*. 2014. N 6 (39). S. 118-120.
6. Yuferev V.G., Silova V.A., Tkachenko N.A. Distantionnyi monitoring opustynivaniya territorii Kalmykii. *Aridnye ekosistemy*. 2023. T. 29. N 1 (94). S. 46-52. DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-46-52.
7. Dzhidzhikov V.N., Stepanets I.T., Sharapov B.D. *Pochvy Kalmykii i puti ikh osvoeniya*. Elista: Kalm. kn. izd-vo, 1972. 66 s.
8. Tashninova L.N. *Krasnaya kniga pochv i ekosistem Kalmykii*. Elista: APP "Dzhangar", 2000. 213 s.
9. Gol'dvarg B.A., Gritsienko B.A., Boktaev M.V. Vliyanie izmeneniya klimata na produktivnost' zernovykh kul'tur v tsentral'noi zone Respubliki Kalmykiya. *Zernovoe khozyaistvo Rossii*. 2019. N 2 (62). S. 17-20. DOI: 10.31367/2079-8725-2019-62-2-17-20.
10. Kust G.S. *Sovremennye global'nye vyzovy problemy degradatsii zemel': mezhdunarodnye podkhody i puti adaptatsii na natsional'nom urovne. Degradatsiya zemel' i opustynivanie: problemy ustoichivogo prirodopol'zovaniya i adaptatsii: materialy mezhdunar.*

nauch.-prakt. konf. M.: ООО "МАКС Press", 2020. S. 11-17. DOI: 10.29003/m1665.978-5-317-06490-7/11-17.

11. Lobkovskii V.A., Andreeva O.V., Kust G.S. Integratsiya mezhdunarodnoi i natsional'noi sistem monitoringa i otsenki degradatsii zemel' v Rossii. Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya. 2022. T. 86. N 1. S. 9-27. DOI: 10.31857/S2587556622010095.

12. Titkova T.B., Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A. Sovremennye klimaticheskie tendentsii izmenenii ispareniya i vlazhnosti pochvy na yuge Evropeiskoi Rossii. Aridnye ekosistemy. 2023. T. 29. N 3 (96). S. 4-14. DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-4-14.

13. Andreeva O.V., Lobkovskii V.A., Kust G.S., Zonn I.S. Sovremennoe sostoyanie kontseptsii i razrabotka tipologii modelei ustoichivogo zemlepol'zovaniya. Aridnye ekosistemy. 2021. T. 27. N 1 (86). S. 3-14. DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10132.

14. Gol'dvarg B.A., Gritsienko B.A., Boktaev M.V. Pogodnye usloviya i urozhai ozimoi pshenitsy v tsentral'noi zone Respubliki Kalmykiya. Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie prirodnoi sredy i nauchno-prakticheskie aspekty ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: materialy II Mezhdunar. nauch.-prakt. Internet-konf. FGBNU "Prikaspiiskii nauchno-issledovatel'skii institut aridnogo zemlevladieniya". Solenoe Zaimishche, 2017. S. 646-649.

15. Gritsienko V.G. Pogoda i urozhai zernovykh kul'tur v zasushlivoi tsentral'noi zone Respubliki Kalmykiya. Pole deyatel'nosti. 2012. N 8. S. 40-41.

16. Ivanova G.F., Sklyarov Yu.A., Levitskaya N.G. Klimaticheskie izmeneniya na territorii Saratovskoi oblasti i ikh vliyanie na urozhainost' sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. Izvestiya Saratovskogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle. 2006. T. 6. Vyp. 1. S. 10-15. DOI: 10.18500/1819-7663-2006-6-1-10-15.

17. Lazareva V.G., Ochirova P.D., Seratirova V.V., Boldyreva D.A. Sokhranenie prirodnogo raznoobraziya Respubliki Kalmykiya. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2012. T. 14. N 1 (4). S. 1039-1042.

18. Gudko V.N., Usatov A.V., Azarin K.V. Analiz gidrotermicheskikh uslovii v Rostovskoi oblasti v period 1960-2019 gg. Aridnye ekosistemy. 2021. T. 27. N 4 (89). S. 25-31. DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-25-31.

19. Gudko V.N., Usatov A.V., Azarin K.V. Klimaticheskie tendentsii v Predkavkazskom, Nizhnedonskom i Zapadno-Prikaspiiskom stepnykh podregionakh za period 1961-2020 gg. Stepnaya Evraziya – ustoichivoe razvitie: Sb. materialov mezhdunar. foruma. Rostov-na-Donu; Taganrog: Yuzhnyi federal'nyi universitet, 2022. S. 125-127.

### Сведения об авторах:

Адьянова Алтана Бадмаевна

Младший научный сотрудник лаборатории химико-экологических исследований, Калмыцкий научный центр Российской академии наук

ORCID 0000-0002-9671-562X

Adianova Altana

Junior Researcher, Laboratory of Chemical and Ecological Research, Kalmyk Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

Мукабенова Раиса Александровна

Младший научный сотрудник лаборатории химико-экологических исследований, Калмыцкий научный центр Российской академии наук

ORCID 0000-0003-4056-927X

Mukabenoova Raisa

Junior Researcher, Laboratory of Chemical and Ecological Research, Kalmyk Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

Булуктаев Алексей Александрович

К.б.н., старший научный сотрудник лаборатории химико-экологических исследований,  
Калмыцкий научный центр Российской академии наук

ORCID 0000-0002-2329-465X

Buluktaev Aleksey

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Chemical and Ecological  
Research, Kalmyk Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

Манджиева Саглар Сергеевна

К.б.н., старший научный сотрудник отдела комплексного мониторинга и  
информационных технологий, Калмыцкий научный центр Российской академии наук

ORCID 0000-0001-6000-2209

Mandzhieva Saglara

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Chemical and Ecological  
Research, Kalmyk Scientific Center of the Russian Academy of Sciences

Гудко Василий Николаевич

К.б.н., старший научный сотрудник исследовательской лаборатории  
«Интеллектуальные агроэкосистемы», Академия биологии и биотехнологии  
им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета

ORCID 0000-0002-6212-5410

Gudko Vasily

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Research Laboratory "Intelligent  
Agroecosystems", D.I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal  
University

**Для цитирования:** Адьянова А.Б., Мукабенова Р.А., Булуктаев А.А., Манджиева С.С.,  
Гудко В.Н. Влияние климата на продуктивность зерновых культур в разрезе регионов  
Республики Калмыкия за 2010-2021 гг. // Вопросы степеведения. 2025. № 3. С. 132-145.  
DOI: 10.24412/2712-8628-2025-3-132-145