

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТА НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В РАЗРЕЗЕ РЕГИОНОВ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ ЗА 2010–2021 ГГ.

А. Б. Адьянова, Р. А. Мукабенова, А. А. Булуктаев, С. С. Манджиева, В. Н. Гудко*
Калмыцкий научный центр Российской Академии наук, Россия, 358000, г. Элиста, ул. им.
И. И. Илишкина, д. 8

*Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального
университета, Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, просп. Стачки, 194/1
buluktaev89@mail.ru

Аннотация: 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 $0,8^{\circ}\text{C}$ 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. км², 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°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 (°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).

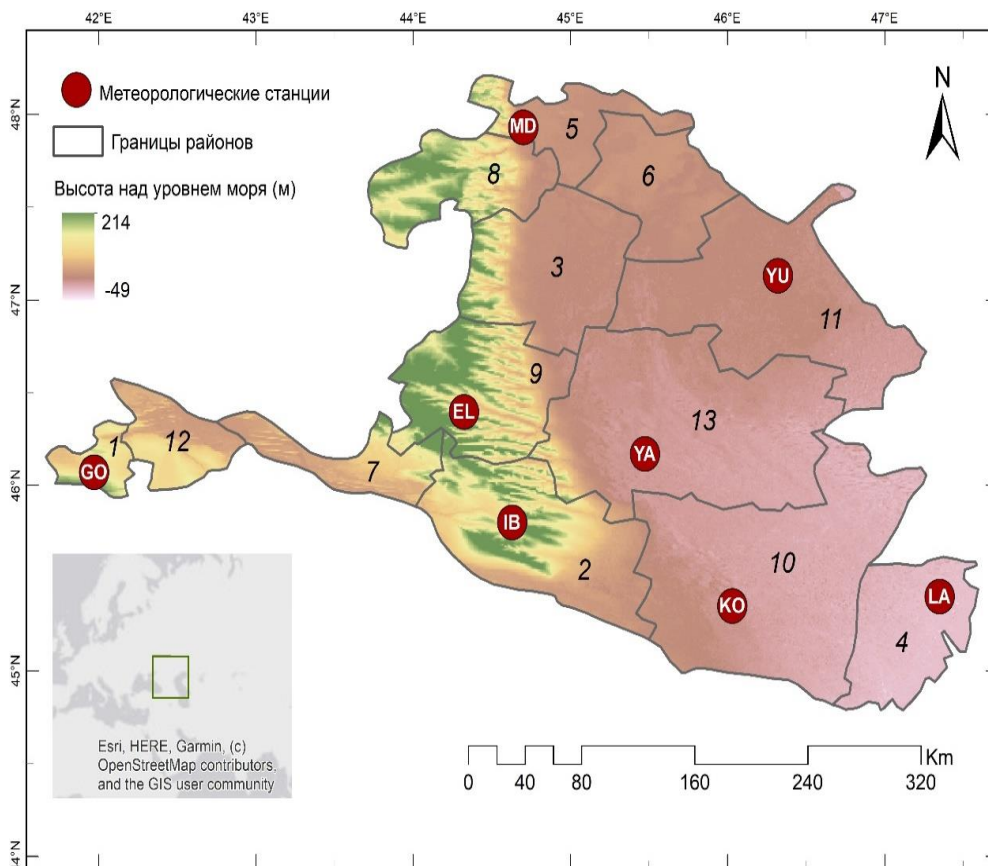


Рисунок 1 – Географическое расположение метеорологических станций и административных районов Республики Калмыкия

Для анализа климатических изменений использовались годовые и сезонные данные, сопоставляемые с климатической нормой (К), рассчитанной на основе среднеемноголетних 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 среднегодовная климатическая норма.



Фото 1 – Работа на фоновых участках

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. 2).

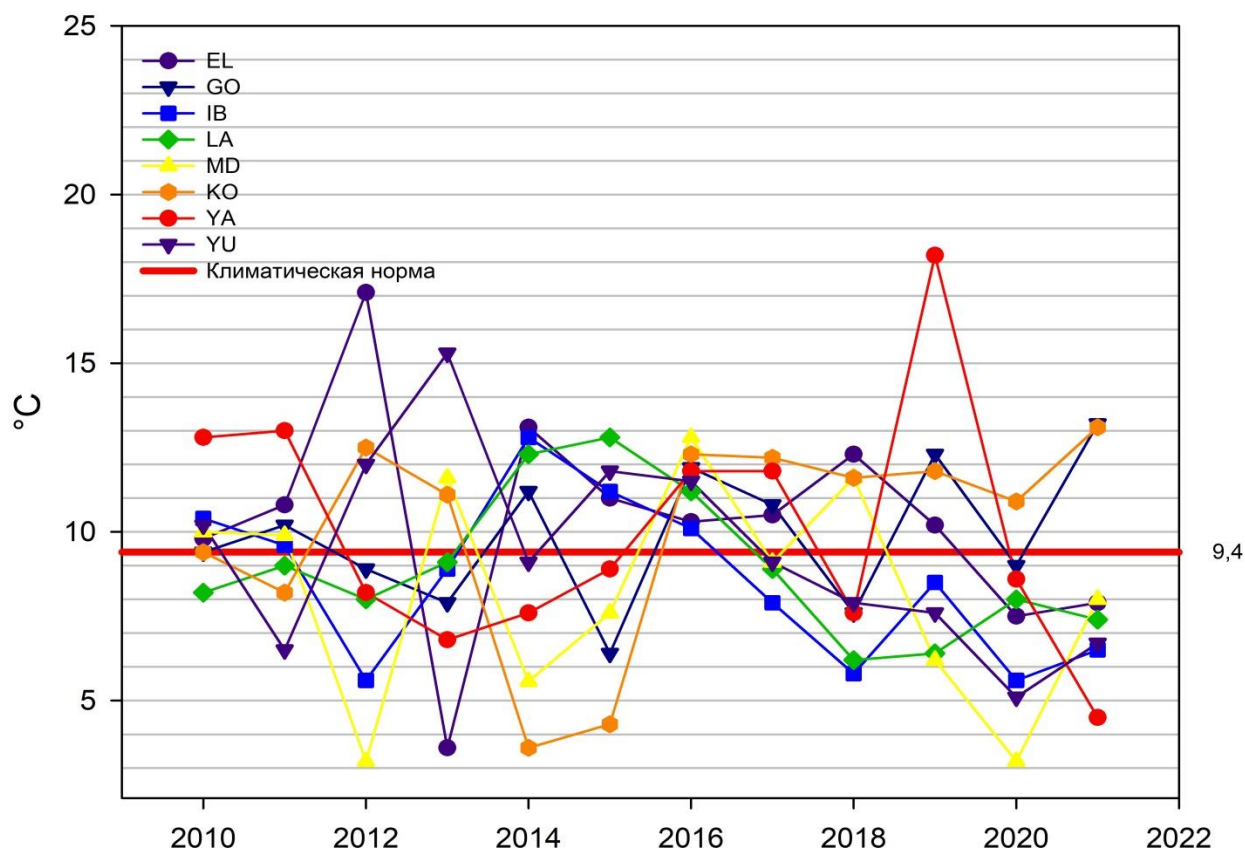


Рисунок 2 – Показатели средней температуры воздуха за период 2010–2021 гг. на территории районов Республики Калмыкия

Как видно из рисунка 2, наиболее теплыми точками стали Яшкуль (YA) с абсолютным максимумом $18,2^{\circ}\text{C}$ в 2019 г. и Элиста (EL) с пиком $17,1^{\circ}\text{C}$ в 2012 г., тогда как минимальные значения зафиксированы в Малых Дербетах (MD) — $3,2^{\circ}\text{C}$ в 2012 и 2020 гг. Особого внимания заслуживает 2013 г., когда при аномально низкой температуре в Элисте ($3,6^{\circ}\text{C}$) Юста (YU) показала рекордные $15,3^{\circ}\text{C}$, 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 $10,1^{\circ}\text{C}$) и Городовиковске (GO, среднее $9,9^{\circ}\text{C}$). При этом Ики-Бурул (IB) и Лагань (LA) остаются ближе к норме (средние $9,0^{\circ}\text{C}$ и $8,9^{\circ}\text{C}$ соответственно). Наибольшие температурные аномалии наблюдались в 2012, 2014 и 2019 гг., когда разброс между районами достигал $10\text{--}12^{\circ}\text{C}$, 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. 3).

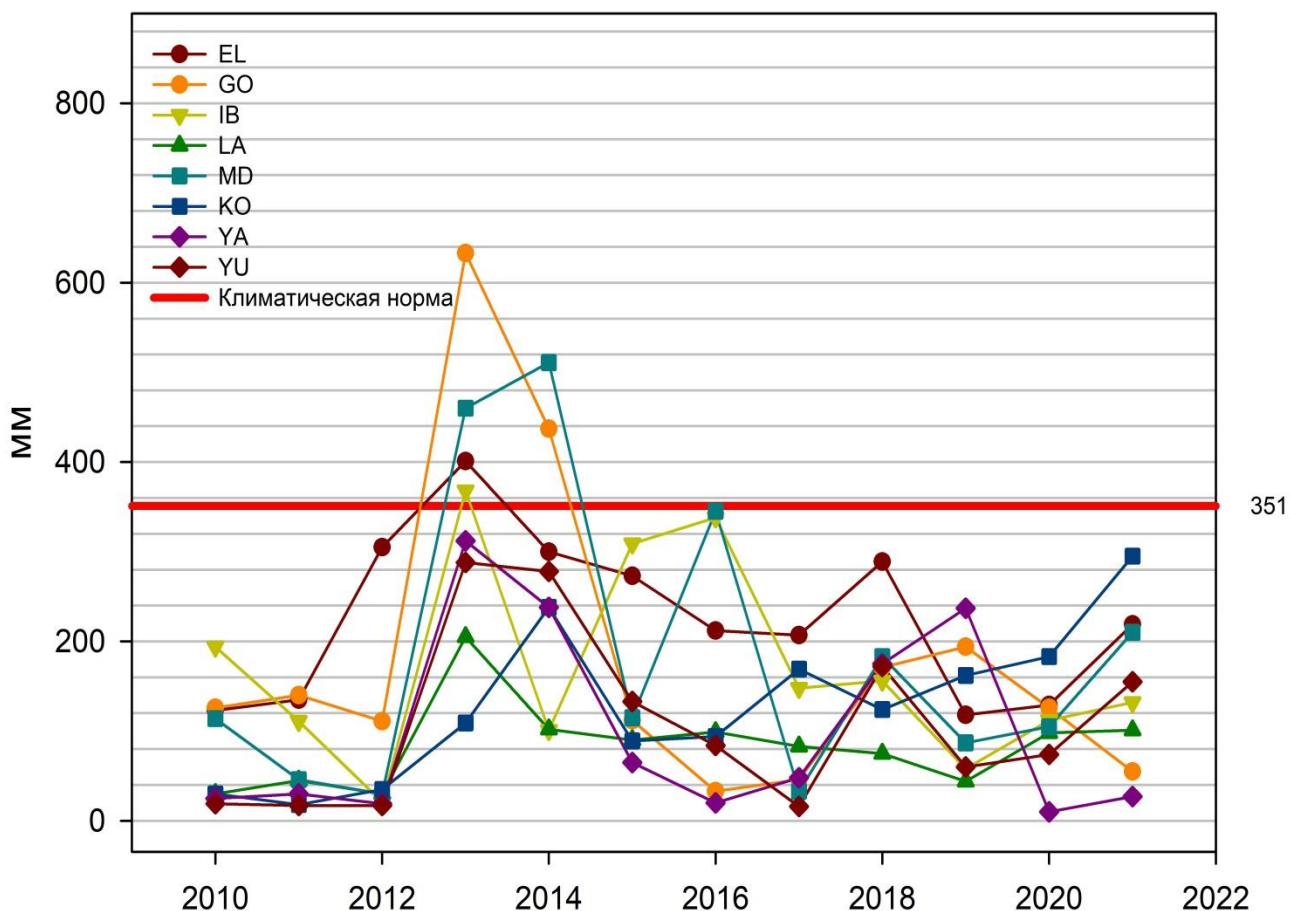


Рисунок 3 – Количество выпавших осадков на территории Республики Калмыкия за 2010–2021 гг.

Наиболее влажным периодом стали 2013–2014 гг., когда в Городовиковске (GO) зафиксирован абсолютный максимум — 633 мм (2013), что почти вдвое превышает климатическую норму (351 мм). Аналогичные аномалии наблюдались в Малых Дербетах (MD) — 511 мм (2014) и Элисте (EL) — 401 мм (2013 г.). При этом восточные районы (YA, YU) демонстрируют хронический дефицит осадков, особенно заметный в 2020 году (Яшкуль — всего 10 мм), что составляет менее 3 % от нормы. Период 2016–2017 гг. характеризуется экстремальными контрастами: при рекордных показателях в Ики-Буруле (IB) — 338 мм (2016), Городовиковск (GO) получил лишь 33 мм. Особого внимания заслуживает 2018–2019 гг. информация указывает на сохранение территориальной диспропорции — западные районы (EL, MD) получали в 2–3 раза больше осадков, чем восточные. В 2021 году выделяется Комсомольский район (KO) с показателем 295 мм при одновременном минимуме в Яшкуле (27 мм). Общий тренд свидетельствует о нарастании аридизации восточных территорий при сохранении относительной стабильности увлажнения в западной части республики, где среднегодовые значения чаще приближаются к климатической норме.

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. Расчёты проводили для наиболее широко используемых в регионе сельскохозяйственных культур, таких 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 урожая зерновых культур на территории Республики Калмыкия представлены в приложении. Результаты корреляционного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1 – 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.

Озимая пшеница										
Район	Средняя температура, °С					Осадки, мм				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Городовиковский	0.10	-0.32	0.15	-0.28	0.03	0.37	0.69*	0.22	0.15	0.55
Ики-Бурульский	0.31	-0.47	0.05	-0.41	-0.24	0.14	0.70*	-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	0.78*	0.72	-0.78*	-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	0.59*	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										
Район	Средняя температура, °С					Осадки, мм				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Городовиковский	-0.30	-0.64	0.24	-0.39	-0.17	0.66*	0.96*	0.00	0.97*	0.92*
Ики-Бурульский	-0.39	-0.07	-0.56	-0.69	-0.64	-0.15	-0.03	0.97*	0.49	0.34
Приютненский	0.29	-0.15	0.07	-0.52	-0.14	0.38	0.76*	0.35	0.65*	0.83*
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										
Район	Средняя температура, °С					Осадки, мм				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Городовиковский	-0.13	-0.23	0.59*	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	0.65*	-0.04	0.06	-0.03	0.26	-0.18	-0.44	0.01
Озимый ячмень										
Район	Средняя температура, °С					Осадки, мм				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
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	-0.68*	-0.40	-0.54	-0.41	0.09	0.08	0.14	0.00
Яровой ячмень										
Район	Средняя температура, °С					Осадки, мм				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
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		0.69*	-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		0.62*	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. дисс.. д-р. эконом. наук. Ростов н/Д. 2000. 44 с.
4. Бакинова Т.И., Дарбакова Г.Ю., Казакова С.А., Сангаджиева И.Е. Информационное обеспечение мониторинга как инструмент экологической оптимизации использования земель сельскохозяйственного назначения. // Экологическое управление туризмом. 2019. № 10 (1). С. 195-201.
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. Юфев 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., Степанов 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. <https://doi.org/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. М. 2020. С. 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. <https://doi.org/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 // II Международная научно-практическая Интернет-конференция. «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования». Изд: Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного землевладения. 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. <http://dx.doi.org/10.31367/2079-8725-2019-62-2-17-20>.
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. 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. Т.14, №1 (4). Элиста: КГУ. 2012. С.1039-1042. DOI: 10.2900/ml1665.978-5-317-06490-7/11-17.
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. Сборник материалов международного форума. Таганрог: Изд-во: Южный федеральный университет. 2022. С. 302.

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

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

A. Adianova, R. Mukabenova, A. Buluktaev, S. Mandzhieva, V. Gudko*

Kalmyk scientific center of the Russian Academy of Sciences, I.K. Ilishkina, 8 Elista,
Russian Federation

* D. I. Ivanovsky Academy of Biology and Biotechnology of the Southern Federal
University, Russia, 344090, Rostov-on-Don, Stachki Ave., 194/1
buluktaev89@mail.ru

Abstract. Contemporary climate change poses a serious threat to sustainable agricultural development, particularly in arid regions. A study conducted in the Republic of Kalmykia examined the impact of climatic factors on grain crop productivity. The results reveal a marked trend toward climate aridification: over the past decade, the mean annual temperature has exceeded the norm by 0.6°C, while spring-summer precipitation has simultaneously decreased. The analysis identified a direct correlation between crop yields and moisture levels ($r=0.62-0.97$), which is particularly critical during the winter-spring period due to the crucial role of soil water reserves in initial vegetation phases. Winter crops show the greatest sensitivity to temperature variations: a positive correlation with winter temperatures (up to $r=0.78$) shifts to a negative relationship in summer (up to $r=-0.78$), with the exception of heat-tolerant triticale ($r=0.65$). These findings highlight the need for adapting agricultural practices to intensifying aridification and seasonal precipitation redistribution.

Keywords: natural and climatic characteristics, air temperature, precipitation, yield, correlation dependence.

References

1. Antonov S.A. Analysis of climatic conditions on the yield of winter wheat in the Stavropol territory // *News of science in agriculture*. 2019. No. 3 (12). pp. 406-410. DOI 10.25930/2218-855X/103.3.12.2019.
2. Borlikov G.M., Lachko O.A., Bakinova T.I. *Ecology. Nature management of arid territories*. Elista: Kalmsu Publishing House, 2009. 100 p.
3. Bakinova T.I. *Ecological and economic problems of agricultural land use in arid zones: the case of the Republic of Kalmykia*. Abstract of Dr. Econ. Sci. dissertation. Rostov-on-Don, 2000. 44 p.
4. Bakinova T.I., Darbakova G.Yu., Kazakova S.A., Sangadzhieva I.E. Information support of monitoring as a tool for ecological optimization of agricultural land use // *Ecological tourism management*. 2019. No. 10 (1). pp. 195-201.
5. Sangadzhiev M.M., Khokhlova L.I., Seratirova V.V., Onkaev V.A. Land of mirages: desertification hotspots in Yashkul district of the Republic of Kalmykia // *Global scientific potential*. 2014. No. 6 (39). pp. 118-120.
6. Yuferev V.G., Silova V.A., Tkachenko N.A. Remote monitoring of desertification in Kalmykia // *Arid ecosystems*. 2023. Vol. 29. No. 1 (94). pp. 46-52. DOI: 10.24412/1993-3916-2023-1-46-52.
7. Dzhidzhikov V.N., Stepanov I.T., Sharapov B.D. *Soils of Kalmykia and ways of their development*. Elista: Kalmyk Book Publishing House, 1972. 66 p.
8. Tashninova L.N. *Red Book of soils and ecosystems of Kalmykia*. Elista: APP «Dzhangar», 2000. 213 p.
9. Goldvarg B.A., Gritsenko B.A., Boktaev M.V. Impact of climate change on grain crop productivity in the central zone of the Republic of Kalmykia // *Grain economy of Russia*. 2019. No. 2 (62). pp. 17-20. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-62-2-17-20>.
10. Kust G.S. Modern global challenges of land degradation: international approaches and national adaptation pathways // *Land degradation and desertification: sustainable nature management and adaptation*. Moscow, 2020. pp. 11-17.
11. Lobkovsky V.A., Andreeva O.V., Kust G.S. Integration of international and national systems for land degradation monitoring and assessment in Russia // *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical series*. 2022. Vol. 86. No. 1. pp. 9-27. <https://doi.org/10.31857/S2587556622010095>.
12. Titkova T.B., Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A. Current climatic trends in evaporation and soil moisture changes in southern European Russia // *Arid ecosystems*. 2023. Vol. 29. No. 3 (96). pp. 4-14. DOI: 10.24412/1993-3916-2023-3-4-14.
13. Andreeva O.V., Lobkovsky V.A., Kust G.S., Zonn I.S. Current state of the concept and development of typology of sustainable land use models // *Arid ecosystems*. 2021. Vol. 27. No. 1 (86). pp. 3-14. DOI: 10.24411/1993-3916-2021-10132.
14. Goldvarg B.A., Gritsenko B.A., Boktaev M.V. Weather conditions and winter wheat yield in the central zone of the Republic of Kalmykia // II International scientific-practical online conference «Current ecological state of natural environment and scientific-practical aspects of rational nature management». Caspian Research Institute of Arid Agriculture, 2017. pp. 646-649.
15. Gritsenko V.G. Weather and grain crop yields in the arid central zone of the Republic of Kalmykia // *Field of activity*. 2012. No. 8. p. 40-41. <http://dx.doi.org/10.31367/2079-8725-2019-62-2-17-20>.
16. Ivanova G.F., Sklyarov Yu.A., Levitskaya N.G. Climate changes in Saratov region and their impact on agricultural crop yields // *Proceedings of Saratov University*. 2006. Vol.6. Iss. 1. pp.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. Conservation of natural diversity in the Republic of Kalmykia // Proceedings of Samara Scientific Center RAS. Vol.14, No.1 (4). Elista: KalmSU, 2012. pp.1039-1042. DOI: 10.2900/ml1665.978-5-317-06490-7/11-17.

18. Gudko V.N., Usatov A.V., Azarin K.V. Analysis of hydrothermal conditions in Rostov region during 1960-2019 // Arid ecosystems. 2021. Vol.27. No.4(89). pp. 25-31. DOI: 10.24412/1993-3916-2021-4-25-31.

19. Gudko V.N., Usatov A.V., Azarin K.V. Climate trends in Ciscaucasian, Lower Don and Western Caspian steppe subregions during 1961-2020 // Steppe Eurasia - sustainable development. Proceedings of international forum. Taganrog: Southern Federal University Press, 2022. p. 302.

Сведения об авторах:

Адьянова Алтана Бадмаевна

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

ORCID 0000-0002-9671-562X

Altana B. Adianova

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

Aleksey A. Buluktaev

Candidate of Biological Sciences, senior 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

Raisa A. Mukabenova

Junior 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

Saglara S. Mandzhieva

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. Иванковского Южного федерального университета

ORCID 0000-0002-6212-5410

Vasily N. Gudko

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

Приложение 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											
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
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	-	-