

С.Е. Полякова

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ЗАПАДНО- КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА



С. Е. Полякова

КЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ
ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОГО
РЕГИОНА

Монография

Алматы
«Қазақ университеті»
2025

УДК 591.543

ББК 26.236

П 54

*Рекомендована к изданию Ученым советом
(протокол №9 от 3 апреля 2025 г.)
и Редакционно-издательским советом
Казахского национального университета имени аль-Фараби
(протокол №1 от 30 мая 2025 г.)*

*Монография выполнена в рамках гранта НИР № BR21882122
«Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-
экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте
зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и
сценарии» при поддержке Комитета науки Министерства науки и
высшего образования Республики Казахстан*

Рецензенты:

*доктор географических наук, профессор С.К. Давлетгалиев
доктор PhD Ж.К. Наурызбаева*

Полякова С.Е.

П 54 Климатический потенциал Западно-Казахстанского региона:
монография / С.Е. Полякова. – Алматы: Қазақ университеті,
2025. – 204 с.

ISBN 978-601-04-7057-6

В монографии рассматривается современный климат Западно-Казахстанского региона и его изменения за период 1961-2023 гг. Представлено пространственное распределение основных метеорологических величин, оценены тенденции их изменения на основе тестов Манна-Кендалла, Сена и Петтитта, а также изучен климатический потенциал региона для развития и использования возобновляемых источников энергии. Изменение метеорологических параметров связано с повторяемостью атмосферных процессов, в связи с этим рассмотрены колебания общей циркуляции атмосферы и представлены сезонные распределения аномалий температуры воздуха и осадков по региону исследования.

Книга предназначена для специалистов в области метеорологии и смежных наук, докторантам, магистрантам и студентам.

УДК 591.543

ББК 26.236

ISBN 978-601-04-7057-6

© Полякова С.Е., 2025
© КазНУ им. аль-Фараби, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	5
ВВЕДЕНИЕ	7
1. ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	9
1.1. Современные концепции глобальных и региональных изменений климата	9
1.2. Глобальные изменения климата	16
1.3. Региональные изменения климата	25
1.4. Климатические индексы	30
1.5. Климат и устойчивое развитие	39
2. КЛИМАТ ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА.....	47
2.1. Общие сведения	47
2.2. Климатические зоны	50
2.3. Радиационный режим	53
2.4. Термический режим	68
2.5. Режим атмосферных осадков	79
2.6. Режим ветра	90
3. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАДНО- КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА	98
3.1. Изменение температуры воздуха	98
3.2. Изменение атмосферных осадков	117
4. АТМОСФЕРНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ	127
4.1. Многолетние колебания общей циркуляции атмосферы и распределение аномалий температуры воздуха и осадков	127
4.1.1. Особенности распределения аномалии температуры воздуха для различных форм циркуляции	136
4.1.2. Особенности распределения аномалии сезонного количества осадков для различных форм циркуляции	140

4.2. Эпохи атмосферной циркуляции и длительные тенденции в изменении температуры воздуха и осадков	144
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	154
ЛИТЕРАТУРА	158
Приложение А	176
Приложение Б	186
Приложение В	189
Приложение Г	192
Приложение Д.....	202

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

- ВМО – Всемирная метеорологическая организация
ЗКР – Западно-Казахстанский регион
ВИЭ – возобновляемые источники энергии
ООН – Организация Объединенных Наций
МГЭИК – Межправительственная группа экспертов по изменению климата
PCA – Principal Component Analysis – анализ главных компонент
SBMF – solar background magnetic field – суммарная кривая собственных векторов
GSC – grand solar cycle – глобальный солнечный цикл
TSI – Total Solar Irradiance – полная солнечная радиация
НИЦ – Научно-исследовательский центр
TX90p – количество экстремально теплых (жарких) дней
TX10p – количество холодных (нежарких) дней
TN10p – количество экстремально холодных ночей
TN90p – количество теплых ночей
WSDI – продолжительность волн тепла
CSDI – продолжительность волн холода
PRCPTOT – годовые суммы осадков
ЦУР – Цели устойчивого развития
АСПР РК – Агентство по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан
ЕЭК – Европейская экономическая комиссия
СПИК – статистические показатели изменения климата Республики Казахстан, разработанные на основе Глобального набора, рекомендованные ЕЭК ООН
ND-GAIN – Глобальная инициатива по адаптации Нотр-Дам
GSA – Глобальный солнечный атлас – Global Solar Atlas
DNI – показатель солнечной радиации, который измеряет количество солнечной энергии, падающей перпендикулярно на единицу площади – Direct normal Irradiance
DHI – часть солнечной радиации, которая достигает поверхности непрямым путем – Diffuse horizontal irradiation

КИУМ – коэффициент использования установленной мощности

СЭС – солнечная электростанция

ЗКО – Западно-Казахстанская область

МС – метеорологическая станция

ВЭС – ветровая электрическая станция

ΔT – аномалия температуры воздуха

МК-тест – тест Манна-Кендалла (Mann-Kendall test)

STS – стандартизированная тестовая статистика (Standardized Test Statistics)

Sen's slope – наклон Сена

Pettitt's test – тест Петтитта

T – температура воздуха, °C

ΔT – аномалия температуры воздуха, °C

σ – среднее квадратическое отклонение

R – количество выпавших осадков, мм

ΔR – аномалия сумм осадков, мм

ОЦА – общая циркуляция атмосферы

ПВФЗ – планетарная высотная фронтальная зона

ЕТР – европейская территория России

W, E, C – формы атмосферной циркуляции

ΔW_0 – аномалия чисел Вольфа

ВВЕДЕНИЕ

Проблема глобальных и региональных изменений климата продолжает оставаться актуальной. По данным Всемирной метеорологической организации (ВМО), последние десять лет (с 2015 по 2024 год) являются самыми теплыми за всю историю наблюдений. Согласно консолидированному анализу шести наборов данных ВМО, средняя глобальная температура в 2024 году на $1,55\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с погрешностью $\pm 0,13\text{ }^{\circ}\text{C}$) превышает среднее значение за 1850-1900 годы [1].

Каковы причины современного глобального потепления? Однозначного ответа на этот вопрос не существует. В настоящее время широко обсуждаются две основные версии объяснения происходящего потепления – антропогенная и естественная.

В условиях сохраняющейся неопределенности в вопросе о генезисе современного потепления чрезвычайно важными остаются эмпирико-статистические оценки пространственно-временной изменчивости метеорологических полей [2].

Современные изменения климата – один из ключевых вызовов, стоящих перед человеком. Многолетний опыт автора в изучении особенностей притока солнечной радиации, пространственно-временного распределения температуры воздуха и осадков, а также их экстремальных значений и возникновения опасных природных явлений способствовал выявлению циркуляционных особенностей формирования полей основных метеорологических величин, что важно для понимания региональных климатических изменений.

В связи с вышесказанным данная монография направлена на изучение современного климата Западно-Казахстанского региона (ЗКР), который обладает большим природным потенциалом и является крупнейшим нефтегазодобывающим районом Казахстана.

Западно-Казахстанский регион занимает площадь $736,1\text{ тыс. км}^2$ и включает 3 климатические зоны. Потенциал каждой зоны определяется режимом температуры воздуха и осадков. Оценка тенденции месячных, сезонных и годовых изменений основных метеорологических величин проведена за

период 1961-2023 гг. с применением непараметрических критериев Манна-Кендалла, Сена и Петтитта. С изменением климата наблюдается повышение температуры воздуха, неравномерное выпадение осадков и увеличение рисков возникновения природных стихийных явлений [3].

Сегодня Казахстан взял курс на развитие экономики без ущерба для окружающей среды, была принята Концепция перехода Республики Казахстан к «зеленой» экономике до 2050 года и достижения нулевого баланса выбросов до 2060 года [4]. Казахстан называют страной солнца, ветра и воды. Он располагает большими возобновляемыми энергетическими ресурсами. Его обширные степи, в частности Западно-Казахстанского региона (ЗКР), обладают конкурентоспособными в мировом масштабе ветровыми ресурсами, а потенциал солнечной энергии не имеет ограничений по территории. В связи с этим для ЗКР климатический потенциал в виде солнечной и ветровой энергии имеет большое значение для развития и использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Выявление региональных изменений климата весьма важно учитывать при принятии управленческих решений в различных отраслях экономики для устойчивого развития государства.

Монография написана при выполнении НИР по программе «Устойчивое развитие природно-хозяйственных и социально-экономических систем Западно-Казахстанского региона в контексте зеленого роста: комплексный анализ, концепция, прогнозные оценки и сценарии» при поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № BR21882122).

1. ГЛОБАЛЬНЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

1.1. Современные концепции глобальных и региональных изменений климата

Земля получает энергию от Солнца. Способность климатической системы усваивать определенное количество солнечной энергии называется климатом, а изменение (увеличение или уменьшение) этой способности приводит к изменениям климата. Существуют и другие определения климата. Так, к примеру, Монин А.С. определил климат как «статистический ансамбль состояний, которые проходит система океан – суша – атмосфера в период времени в несколько десятилетий». Также под климатом понимают многолетний режим погоды, т.е. совокупность последовательных смен возможных условий погоды за десятилетия, характерные для данной местности [5-9].

Климат формируется в результате взаимодействия основных компонентов климатической системы (рис. 1): наиболее подвижной – атмосферы [10], менее подвижных – океана [11] и криосферы, а также поверхности суши и биосферы, включающей растительный и животный мир, а также самого человека.

Он непрерывно меняется под влиянием множества факторов, действующих в разных масштабах времени – от десятилетий до миллиардов лет [12-15].

К числу важнейших климатообразующих факторов относятся астрономические и геофизические. Согласно Монину А.С. и Шишкову Ю.А. [8], астрономические факторы – это светимость Солнца, положение и движение Земли в Солнечной системе, наклон ее оси вращения к плоскости орбиты и скорость вращения. Данные факторы определяют инсоляцию Земли (облучение солнечной радиацией), а также гравитационное воздействие внешних сил, создающих как приливы, так и колебания характеристик орбитального движения и собственного вращения Земли, что приводит к колебаниям в распределении инсоляции на внешней границе атмосферы [7, 16, 17].

Изменение климата – одна из самых важных проблем современности [18-24].

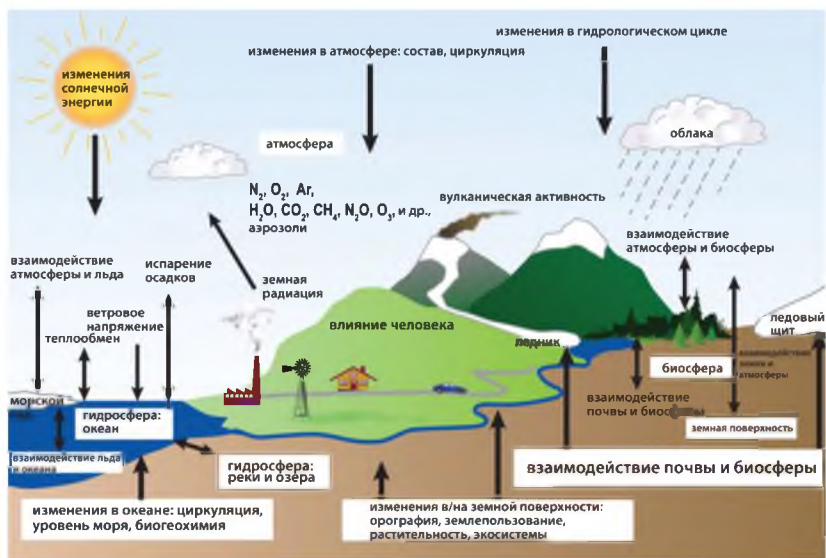


Рисунок 1. Схематическое изображение компонентов климатической системы, их процессов и взаимодействия

(https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/ru/faq-1-2.html)

Современный климат, к которому чаще всего относят климат последнего столетия, так же неоднозначен. Результаты многочисленных исследований, проведенных в последнее время, показали, что за последние 100 лет наблюдается постепенное повышение температуры воздуха как в глобальном масштабе, так и на всех континентах. Несмотря на то, что глобальное повышение температуры у поверхности Земли невелико и составляет всего 0,6-1,3 °C [6, 19, 25-27], наблюдается заметное изменение климатической системы. Изменение осадков происходило более хаотично. Однако на континентах в основном отмечается их увеличение [6, 28].

Для объяснения происходящих изменений климата используются следующие гипотезы. Первая – гелиофизическая гипотеза, связывающая изменения климата с колебаниями солнечной активности. Здесь для оценки солнечной активности привле-

каются различные физические характеристики: числа Вольфа, показатели вариаций солнечного ветра, протонных вспышек, магнитного поля Солнца. Вторая – вулканическая гипотеза, согласно которой во время извержений вулканов в атмосферу выбрасывается огромное количество камней, пепла, мелких и мельчайших минеральных частиц, водяного пара и газов. Часть этих выбросов образует атмосферный аэрозоль, который изменяет прозрачность атмосферы и уменьшает поток солнечной радиации, достигающей поверхности планеты. Третья – циркуляционная гипотеза, согласно которой современные изменения климата тесно связаны с изменением характера общей циркуляции атмосферы. Дзердзеевский Б.Д. показал, что эпохе потепления соответствует рост числа дней с зональной циркуляцией атмосферы, а холодной эпохе – рост числа дней с меридиональной циркуляцией [29].

В монографии [23] авторы подчеркивают актуальность исследования сложной динамики, лежащей в основе естественной изменчивости климатической системы, так как понимание сложных процессов естественной изменчивости климата имеет важное значение для будущего планеты.

Некоторые ученые-климатологи связывают потепление климата с антропогенной (хозяйственной) деятельностью. Работы академика РАН Михаила Ивановича Будыко, выполненные в конце 1960-х – начале 1970-х годов, сыграли важную роль в формировании современных научных взглядов на проблему антропогенных изменений климата. Благодаря своей научной прозорливости и активной исследовательской деятельности, Будыко М.И. констатировал неизбежность антропогенного глобального потепления в ближайшее столетие [30-34].

В 1962 г. в журнале «Метеорология и гидрология» появилась статья Будыко М.И. «О некоторых способах изменения климата», в которой ученый, основываясь на результатах изучения обратной связи между тепловым балансом и льдами, приходит к выводу о возможности быстрого антропогенного потепления в Арктике. Понимание важности обратной связи между льдами и климатом натолкнуло Будыко М.И. на создание математической модели глобального климата, в которой изменения температуры связаны не только с изменениями солнечной радиации, но и с

интенсивностью обратной связи между льдами и тепловым балансом. Такая модель была опубликована в 1968 г. в той же «Гидрологии и метеорологии», а в 1969 г. на английском языке – в журнале «Tellus». В том же 1969 г. Уильям Селлерс (William D. Sellers) опубликовал очень похожую модель глобального климата (Sellers 1969). Отличие от модели Будыко М.И. заключалось в параметризации меридионального потока тепла, который у Будыко выводился из данных наблюдений за энергетическим балансом, а у Селлерса – из соображений макродиффузии [35]. Впоследствии такой тип моделей стали называть моделями Будыко-Селлерса, хотя ученые-исследователи разработали эти модели независимо друг от друга.

В модели Будыко единственной неизвестной величиной является глобально осреднённая среднегодовая температура воздуха вблизи земной поверхности. Для её расчёта используется упрощённое уравнение бюджета энергии климатической системы, которое учитывает главные факторы, влияющие на тепловой баланс, прежде всего на содержание в атмосфере парниковых газов и альбедо подстилающей поверхности. К тому времени уже появились данные наблюдений, указывающие на заметное увеличение концентрации углекислого газа в атмосфере, которое многие исследователи связывали со сжиганием ископаемого топлива. О том, что углекислый газ обуславливает парниковый эффект и вызывает увеличение температуры поверхности Земли, было известно из работ шведского химика нобелевского лауреата Сванте Аррениуса ещё в конце XIX в. Оставалось лишь количественно описать этот эффект, а для этого нужно было оценить чувствительность климата к изменению концентрации углекислого газа в атмосфере [36].

Академик Израэль Ю.А. ввёл в науку термин «мониторинг», обосновал необходимость экологического мониторинга природных сред, впервые предложил и внедрил новую концепцию комплексного мониторинга окружающей среды. На основании этой концепции в конце 1970-х годов были созданы Сеть наблюдения и контроля загрязнения природных сред и Сеть комплексного фонового мониторинга окружающей среды [37-40].

В 1978 году произошло уникальное событие в исследовании мирового климата. По инициативе Всемирной метеорологичес-

кой организации (ВМО) в Египте собралась группа ученых из СССР (директор Института глобального климата и экологии, академик Израэль Ю.А. и еще два эксперта), США, Англии, Филиппин (в этой стране весьма активно занимаются проблемами климата). В таком «узком кругу» впервые начали обсуждать будущее всемирной климатической программы, и после длительных дебатов было предложено четыре направления: наука, прикладная климатология, наблюдение и новый раздел – «воздействие человека на климат и окружающую среду», т.е. раздел по изучению изменений климата, которые вызваны антропогенным воздействием [41]. В 1979 году прошла первая конференция по изменению климата, но об антропогенном направлении серьезного разговора тогда не было и речи, лишь упоминалось о нем и не более. Однако ко второй конференции, прошедшей в 1990 году, ситуация изменилась кардинально. На этот раз речь шла в основном об изменении климата под влиянием антропогенных воздействий. Дело в том, что за два года до этого под эгидой ООН и ВМО была создана Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), которая начала анализировать все исследования, проводимые в мире в этой области.

В период подготовки Первого оценочного доклада МГЭИК (1990 г.) академик Израэль Ю.А. являлся сопредседателем Рабочей группы II, а во время подготовки Третьего (2001 г.) и Четвёртого (2007 г.) оценочных докладов – вице-председателем МГЭИК [38]. В 2004 году он поднял вопрос о максимально допустимом антропогенном воздействии на климатическую систему и биосферу [42]. В связи с этим в Четвёртом оценочном докладе (2007) значительное внимание уделено не только тому, каково текущее состояние климатической системы и как оно эволюционирует во времени, но и тому, насколько оно удалено от своих критических границ, за которыми наступают недопустимые последствия изменения климата. За свою активную деятельность МГЭИК была присуждена Нобелевская премия за усилия по увеличению и распространению большего объёма знаний об антропогенном изменении климата, а также по созданию основ для мер, необходимых для противодействия таким изменениям [38].

Интенсификация промышленного производства и сжигание ископаемого топлива увеличивают выбросы в атмосферу продуктов сгорания и различных газов. Прежде всего, следует обратить внимание на углекислый газ, повышенная концентрация которого в атмосфере влияет на тепловой баланс и нарушает естественный углеродный цикл. Углекислый газ, а также другие малые газовые составляющие пропускают коротковолновую солнечную радиацию к поверхности Земли, но значительно ослабляют длинноволновое излучение. Благодаря этому развивается так называемый «парниковый эффект» в атмосфере, и температура приземных слоев воздуха повышается. Увеличение концентрации углекислого газа происходит также за счет вырубки лесов и уменьшения фитомассы. Одновременно из-за возрастания испарения в атмосфере увеличивается содержание водяных паров, которые также способствуют развитию парникового эффекта [6].

Чернукульский А. составил хронологию теории глобального потепления (рис. 2).

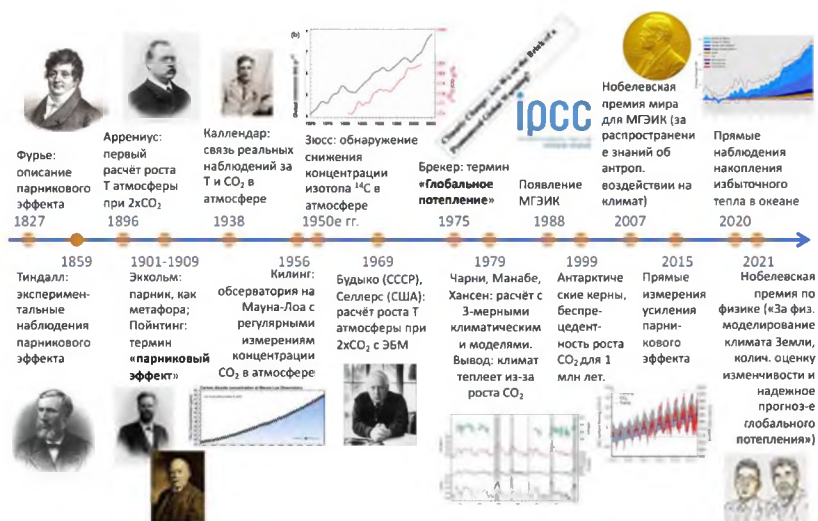


Рисунок 2. История развития научных знаний [43]

В то же время существуют и противоположные точки зрения. Например, общее потепление климата связывается с его

естественной цикличностью, а фиксирование различных необычных погодных явлений (экстремальные засухи, крупные паводки на больших реках, бури и т.п.) объясняется повышением информативности и качества оповещения населения о таких явлениях. Это, в свою очередь, иногда приводит к преувеличению как частоты появления климатических экстремумов, так и к тяжести их последствий. Именно поэтому для многих аномалий подобного рода трудно найти аналоги в прошлом. Локальные изменения климата, вызванные хозяйственной деятельностью, во многих промышленно развитых районах, на орошаемых землях, в районах действующих крупных водохранилищ бесспорны и очевидны [6, 44-48].

Как известно, наиболее важными показателями климата являются температура воздуха и количество атмосферных осадков (тепло и влага), которые определяют водный и тепловой баланс территорий.

Для характеристики состояния климатической системы вместо набора простых метеорологических величин нередко используют естественные метеорологические комплексы, которые позволяют решать множество прикладных задач, поскольку любой объект, чувствительный к климату, подвергается воздействию целого комплекса метеорологических факторов. Характеристиками комплексов метеорологических величин служат либо совместные статистические распределения составляющих комплекса, либо статистики некоторой новой величины, являющейся функцией компонентов комплекса [13].

В работе [49] для выявления естественных метеорологических комплексов был применен факторный анализ и было выделено два универсальных метеорологических комплекса. Первый – температурно-влажностный, который отражает связь влагосодержания воздуха с максимальной и минимальной температурами. Этот комплекс преобладает на континентах во все сезоны года. С увеличением воздухообмена между северными и южными широтами, между океаническими и континентальными районами возрастает вклад этого фактора в изменения важнейших климатических параметров – температуры и влажности воздуха. Второй комплекс – облачно-радиационный, определяется согласованными изменениями атмосферного давления,

облачности (или продолжительности солнечного сияния) и сумм осадков [50]. Метеорологические комплексы могут быть характерны только для определенного сезона года.

Существование двух универсальных метеорологических комплексов – температурно-влажностного и облачно-радиационного – позволяет говорить о двух видах климатообразующих процессов. Один из процессов крупномасштабный и связан с изменчивостью свойств воздушной массы в результате адвекции, что отражается на температурных характеристиках и характеристиках влажности воздуха. Другой носит локальный характер и характеризует вертикальное перемешивание и трансформацию воздушных масс, развитие облачности и связанные с ними осадки [13].

Таким образом, для исследования глобальных и региональных изменений климата необходимо учитывать как естественные, так и антропогенные факторы. Применение комплексов методик позволяет наиболее полно анализировать взаимодействие этих факторов. Комплексный учет всех факторов и применение современных технологий обеспечивают более точное понимание текущих и будущих изменений климата.

1.2. Глобальные изменения климата

Солнце, являясь основным источником энергии, поступающей на Землю, играет решающую роль в поддержании физических условий существования жизни на планете – среды обитания человека. В связи с этим исследование солярного климата Земли представляется важным для определения роли инсоляционного фактора в глобальных климатических событиях [51-57].

В регулировании поступления солнечной радиации к Земле (без учета атмосферы) и распределении ее по земной поверхности (солярный климат Земли) выделяются два механизма, имеющих различную физическую природу. Один механизм связан с изменением активности Солнца, другой – определяется небесно-механическими процессами, изменяющими элементы земной орбиты (расстояние Земля – Солнце, продолжительность

тропического года и др.), наклон оси вращения и связанные с ними изменения в поступлении солнечной радиации и ее распределении по широтам и сезонам [51].

В последние десятилетия научное сообщество вплотную приблизилось к пониманию того, что на атмосферу и климат, наряду с антропогенными факторами, воздействует целый ряд неизученных внешних агентов как естественного, так и внеземного происхождения. Причем воздействие естественных факторов во многих случаях является более существенным, а результаты этого воздействия – катастрофическими [58].

Главная причина изменения глобального климата – изменение меридионального градиента инсоляции, регулирующего изменения меридионального переноса тепла («тепловая машина первого рода» по Шулейкину) [51, 59]. На этот процесс накладываются более мелкие колебания, например 60-летнее колебание, а также колебания, связанные с сезонными и полупланетными вариациями инсоляции, инсоляционной сезонностью Земли и полушарий. Так, к примеру, характеристиками сезонной инсоляции Земли регулируется межполушарный теплообмен.

Теплообмен между океаном и атмосферой (связанный с сезонной сменой областей источника и стока тепла – «тепловой машиной второго рода» по Шулейкину), регулируется инсоляционной сезонностью в полушариях.

По мнению Фёдорова В.М., возникает интересный аспект в связи с изучением продолжительности современного потепления. Он связан с тем, что из-за более эффективного переноса радиационного тепла в Северном полушарии, чем в Южном, меридиональный температурный градиент в Северном полушарии уменьшается, а в Южном – увеличивается. Это связано с тем, что в Южном полушарии меридиональный перенос тепла блокируется в значительной степени «ревущими сороковыми» – зональным переносом в атмосфере, а в океане – Циркумantarктическим течением. В результате в южную область стока тепла его поступает меньше, а в области стока поступление радиационного тепла увеличивается. Температурный градиент в Южном полушарии, таким образом, увеличивается, тогда как в Северном полушарии он уменьшается из-за активного меридионального переноса тепла в область его стока.

В общем, температурные изменения в полушариях имеют асинхронный характер (рис. 3). Эти следствия, как эффекты отрицательной обратной связи в Северном полушарии и положительной обратной связи в Южном полушарии, придется учитывать при прогнозировании изменений климата [51].

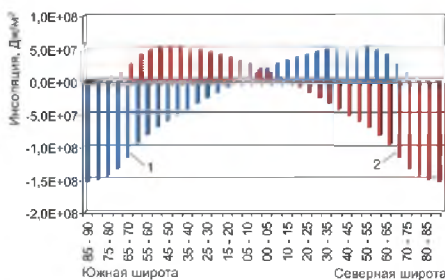


Рисунок 3. Широтное изменение инсоляции Земли в интервале с 3000 г. до н.э. по 2999 г. в зимнее (1) и летнее (2) полугодия (для северного полушария) [53]

Абдусаматов Х.И. является последовательным сторонником существенного похолодания в XXI веке вплоть до Малого ледникового периода (<https://www.azglobus.net/3942-uchenyy-v-etom-veke-nachinaetsya-lednikovyy-period.html>). Свои выводы ученый строит на тщательно изученных им закономерностях изменения светимости Солнца и солнечной постоянной. Им доказано, что в XXI веке солнечная постоянная имеет тенденцию к понижению, что связано с квазидвухвековыми циклами солнечной активности [60-63].

Установлено, что Солнце светит сильнее или слабее, подчиняясь строгим 11-летним циклам. Размах 11-летних сглаженных циклических вариаций солнечной постоянной в максимуме квазидвухвекового цикла составлял порядка $1,0 \text{ Вт/м}^2$, или около 0,07 %, и с начала 1990 г. постепенно начал уменьшаться (<https://www.gaoran.ru/russian/cosm/astr/>). По долговременным последовательным уменьшениям солнечной постоянной в минимумах между циклами 21/22 и 22/23 Абдусаматовым Х.И. установлено наличие и двухвековой составляющей в циклических вариациях солнечной постоянной [62]. Большая квазидвухвековая составляющая вариации солнечной постоянной последовательно уменьшается от 21-го цикла к 22-му, 23-му и 24-му циклам (рис. 4, верхний).

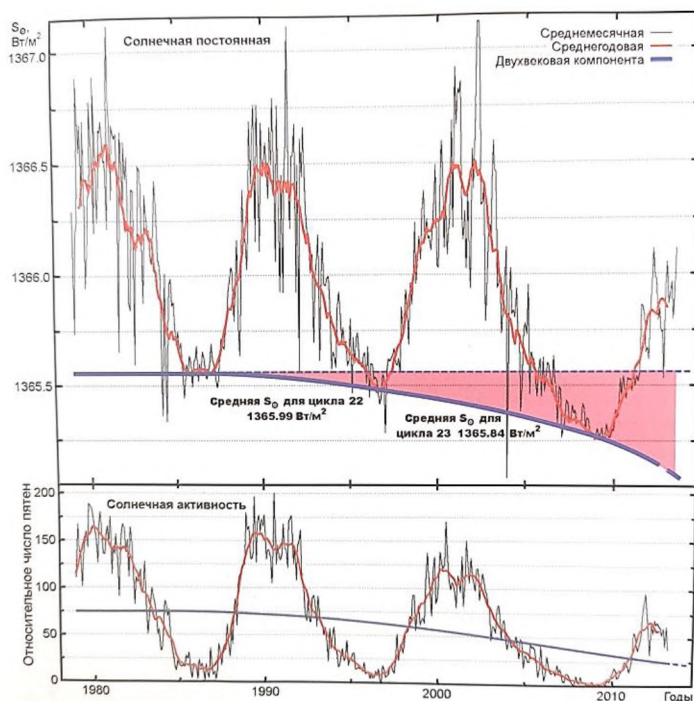


Рисунок 4. Квазидвухвековая, 11-летние, среднегодовые и среднемесечные вариации солнечной постоянной за период 16 ноября 1978 г. – 5 марта 2013 г. и дефицит поступающей солнечной энергии с 1990 г. (верхний рисунок); вариации солнечной постоянной и индекса солнечной активности в период 1978 – 2013 гг. (нижний рисунок) [61]

Сопоставление хода долговременных циклических вариаций солнечной постоянной и уровня пятнообразовательной активности показывает, что их 11-летние и квазидвухвековые циклические вариации, являясь следствием одних и тех же глубинных процессов, имеют взаимосвязанный и скоординированный идентичный ход как по фазе, так и по амплитуде (рис. 4, нижний). При этом размах квазидвухвековых вариаций солнечной постоянной может достигать 0,5 % [60, 61, 64].

Снижение солнечной активности к большому солнечному минимуму в 25-27 циклах на основе анализа главных компонент (PCA – Principal Component Analysis) к полным магнитограммам

диска с низким разрешением получены Жарковой В.В. и др. [65, 66]. Авторы обнаружили две волны, которые генерируются в разных слоях солнечных недр, имеющие близкие, но не равные частоты. Суммарная кривая этих двух магнитных волн показывает интерференцию, в результате которой образуются максимумы и минимумы солнечных циклов (<https://solargsm.com/grand-solar-cycle-and-minimum/>). Суммарная кривая двух магнитных волн объясняет многие особенности 11-летних циклов, такие как двойные максимумы в некоторых циклах или асимметрия солнечной активности в противоположных полушариях во время разных циклов.

Спектральный анализ усредненных чисел солнечных пятен, солнечной освещенности и суммарной кривой собственных векторов SBMF (solar background magnetic field) с использованием вейвлета Морле и преобразований Фурье позволил обнаружить некоторые более короткие или более длинные временные масштабы: двухгодичный цикл (2,0-2,7 года), цикл Глейсберга (80-100 лет) и цикл Гальштата (2100-2300 лет). С помощью анализа главных компонент (PCA) наблюдаемого фонового магнитного поля Солнца (SBMF) получен еще один период в 330-380 лет, или глобальный солнечный цикл (GSC – grand solar cycle), из суммарной кривой двух собственных векторов SBMF [67, 68].

Полученные результаты позволят оценить вклад вариаций солнечной активности в современные и будущие изменения глобального и регионального климата [51-68].

Национальное управление по аэронавтике и исследованию космического пространства опубликовало факты, показывающие, что текущее глобальное потепление нельзя объяснить только солнечным излучением (<https://science.nasa.gov/climate-change/causes/>). С 1978 года с помощью ряда спутниковых инструментов напрямую измеряют энергию, испускаемую Солнцем. Ученые используют показатель, называемый полной солнечной радиацией (TSI – Total Solar Irradiance), для измерения изменений энергии, которую Земля получает от Солнца. TSI включает 11-летний солнечный цикл и солнечные вспышки на поверхности Солнца. Исследования показывают, что солнечная изменчивость сыграла свою роль в прошлых изменениях климата. Например,

снижение солнечной активности в сочетании с возросшей вулканической активностью способствовало началу Малого ледникового периода (рис. 5).

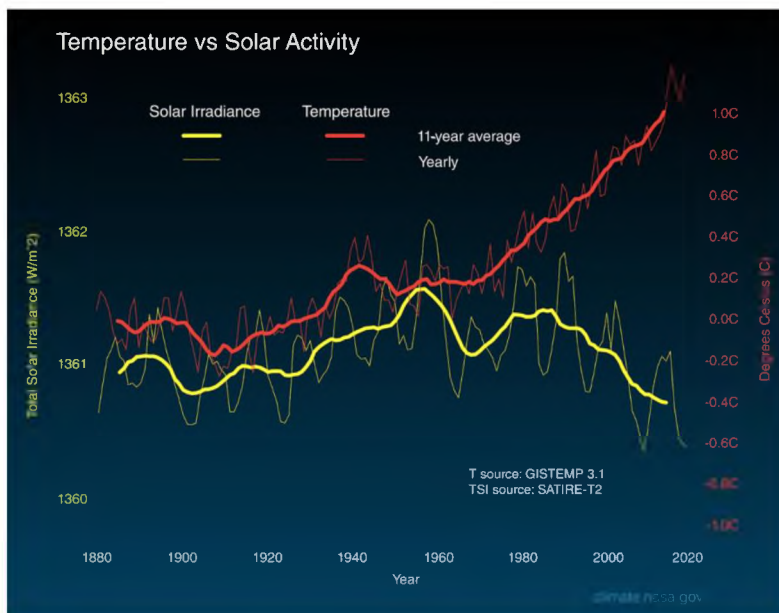


Рисунок 5. Изменения глобальной температуры (красная линия) и энергия Солнца, которую получает Земля (желтая линия) с 1880 года. Более тонкие линии показывают годовые уровни, а более толстые линии – 11-летние средние тенденции

<https://science.nasa.gov/climate-change/causes/>

Количество солнечной энергии, которую получает Земля, следовало естественному 11-летнему циклу Солнца, состоящему из небольших подъемов и падений, без какого-либо явного увеличения с 1880 года. За тот же период глобальная температура заметно повысилась. Поэтому крайне маловероятно, что Солнце стало причиной наблюдаемой тенденции глобального потепления температуры за последние полвека.

Логинов В.Ф. в своих исследованиях привел аргументы и факты в пользу антропогенной природы современного изменения климата и рассмотрел особенности изменения климата, которые

не укладываются в теорию их антропогенного происхождения [69, 70].

Генеральный секретарь ВМО Селеста Сауло в докладе «Единство в науке» [71, 72] сообщила, что изменение климата, вызванное деятельностью человека, привело к широкомасштабным и быстрым изменениям в атмосфере, океане, криосфере и биосфере. 2023 год стал самым теплым за всю историю наблюдений и сопровождался повсеместными экстремальными погодными условиями. Эта тенденция сохранилась и в первой половине 2024 года. Парниковые газы и глобальная температура находятся на рекордных уровнях. При нынешней политике вероятность глобального потепления на 3°C в этом столетии составляет 66 % [73].

Глобальная средняя годовая температура в 2023 году на $1,45 \pm 0,12^{\circ}\text{C}$ выше среднего значения за 1850–1900-е годы (рис. 6). Анализ основан на синтезе шести наборов данных о глобальной температуре.

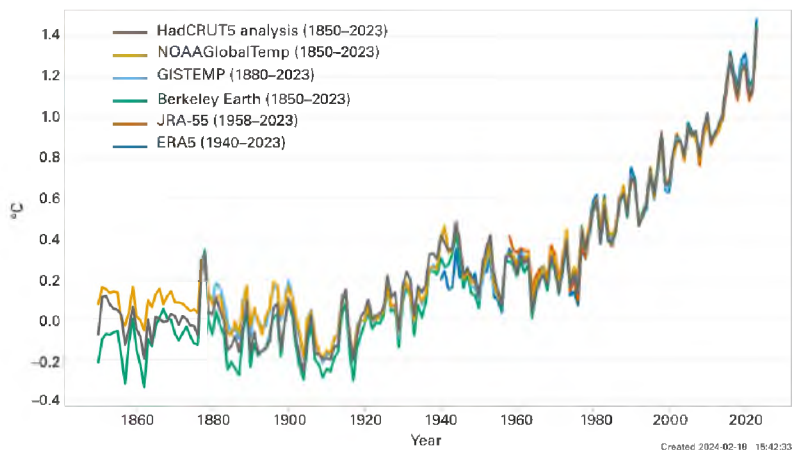


Рисунок 6. Аномалии глобальной средней годовой температуры воздуха относительно доиндустриальных условий (1850–1900 гг.) по шести наборам данных о глобальной температуре (1850–2023 гг.) [74]

2023 год стал самым теплым годом за 174-летний период инструментальных наблюдений в каждом из шести наборов

данных [74]. Последние девять лет – с 2015 по 2023 год – были девятью самыми теплыми годами за всю историю наблюдений. Двумя предыдущими самыми теплыми годами были 2016 год с аномалией $1,29 \pm 0,12$ °C и 2020 год с аномалией $1,27 \pm 0,13$ °C.

Все шесть международных наборов данных, используемых для мониторинга глобальной температуры и анализа, ставят 2023 год на первое место самых теплых лет за всю историю наблюдений в мире. Все шесть наборов данных также показывают, что глобальная температура в каждом месяце с июня по декабрь 2023 года устанавливала новые рекорды, при этом июль и август стали двумя самыми жаркими месяцами за всю историю наблюдений в глобальном масштабе [74].

Переход от связанного с Ла-Нинья похолодания (длился с середины 2020 года до начала 2023 года) к потеплению Эль-Ниньо к середине 2023 года четко отражен в повышении температуры по сравнению с прошлым годом. Учитывая, что Эль-Ниньо обычно оказывает наибольшее влияние на глобальную температуру после достижения пика, ожидается, что 2024 год, возможно, окажется еще более жарким [75, 76].

Около 90 % энергии, накопленной в системе Земля с 1971 года, хранится в океане. По мере накопления энергии в океане он нагревался, и глобальное содержание тепла в океане увеличивалось (рис. 7).

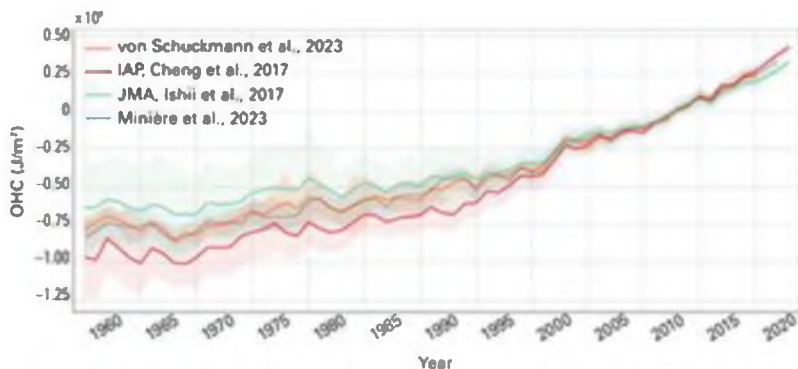


Рисунок 7. Аномалии глобального теплосодержания океана относительно среднего значения за 2005–2021 гг. для слоя глубиной 0–2 000 м, 1960–2023 гг. (оранжевый цвет) [74]

В период с поздней весны в северном полушарии до конца 2023 года *глобальная средняя температура поверхности моря* (ТПМ) также находилась на рекордно высоком уровне. Рекорды июля–сентября были побиты с большим отрывом (0,21–0,27 °C). Исключительно высокие температуры были зафиксированы в восточной части Северной Атлантики, Мексиканском заливе и Карибском бассейне, в северной части Тихого океана, а также на обширных территориях Южного океана, где наблюдались распространившиеся весьма широко морские волны тепла. Таким образом, в 2023 году теплосодержание океана достигло самого высокого уровня за 65 лет наблюдений [74].

В 2023 году глобальный средний уровень моря (ГСУМ) достиг рекордно высокого уровня за всю историю спутниковых наблюдений (1993–2023 гг.), что отражает продолжающееся потепление океана, а также таяние ледников и ледяных щитов.

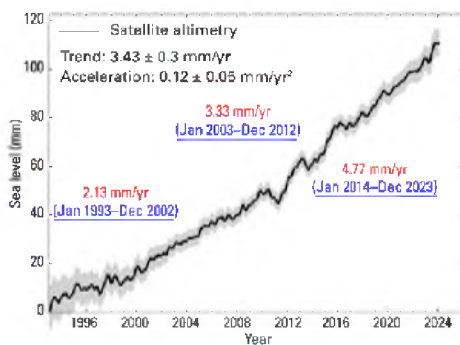


Рисунок 8. Изменение глобального среднего уровня моря с января 1993 г. по декабрь 2023 г. по данным спутниковой альтиметрии [74]

Темпы повышения ГСУМ (рис. 8) за последние 10 лет (2014–2023 гг.) увеличились в среднем на 4,77 мм в год, что более чем в два раза превышает темпы повышения уровня моря в первое десятилетие спутниковых наблюдений (1993–2002 гг.), когда уровень моря повышался в среднем на 2,13 мм в год.

Глобальный набор эталонных ледников пережил самую большую убыль льда за всю историю наблюдений (с 1950 года), вызванную экстремальным таянием как в западной части Северной Америки, так и в Европе [74].

В 2023 году площадь антарктического морского льда оказалась самой низкой за всю историю наблюдений: его максимальная протяженность в конце зимы была на 1 млн км² меньше, чем в предыдущий рекордный год, что эквивалентно площади Франции и Германии вместе взятых [74, 77–79].

Глобальное потепление оказывает сложное и неоднородное воздействие на региональный климат. Изменение регионального климата проявляется по-разному в различных географических регионах, делая погодные явления более экстремальными.

1.3. Региональные изменения климата

Изучение регионального климата и постоянный мониторинг его изменения являются одной из приоритетных задач национальной гидрометеорологической службы Казахстана РГП «Казгидромет» (<https://www.kazhydromet.kz>). С 2008 года РГП «Казгидромет» осуществляет выпуск ежегодных бюллетеней для предоставления достоверной научной информации о региональном климате, его изменчивости и изменении. Принимая во внимание географическое положение Казахстана и его обширную территорию, наблюдаемые изменения климатических условий в различных регионах Республики могут оказать как негативное, так и позитивное воздействие на биофизические системы, а также на экономическую деятельность и социальную сферу [80].

В 2023 году в среднем по Казахстану среднегодовая аномалия температуры воздуха составила $+2,58^{\circ}\text{C}$ относительно среднего многолетнего значения за период 1961–1990-х гг. ($5,4^{\circ}\text{C}$), это рекордная величина в ряду самых теплых лет в истории наблюдений с 1941 г., и она на $0,66^{\circ}\text{C}$ выше, чем предыдущий рекорд в 2020 году. С 1960-х гг. на территории Казахстана каждое последующее десятилетие было теплее предыдущего. Среднее годовое значение температуры воздуха за последнее десятилетие (2014–2023 гг.) составило $+6,82^{\circ}\text{C}$, оно превысило климатическую норму на $1,42^{\circ}\text{C}$. Это рекордная величина среди положительных декадных аномалий, предыдущее самое теплое десятилетие было в 2013–2022-х гг. с аномалией $+1,33^{\circ}\text{C}$. Последнее пятилетие (2019–2023 гг.) также было самым теплым со значением среднегодовой температуры воздуха $+7,30^{\circ}\text{C}$, которое превысило климатическую норму на $1,87^{\circ}\text{C}$ [79]. Шесть самых тёплых лет в Казахстане вошли в список десяти самых тёплых лет для Земного шара. 2023 и 2020-е годы оказались рекордно теплыми как в Казахстане, так и в целом по земному шару (табл. 1).

Таблица 1. Самые тёплые годы в истории наблюдений на Земном шаре (с 1850 г.) и в Казахстане за период 1941–2023 гг. и соответствующие аномалии среднегодовой температуры приземного воздуха, осредненные по территории Казахстана. Аномалии рассчитаны относительно периода 1961–1990-х гг. [79]

Ранг	Земной шар	Казахстан	Аномалия среднегодовой температуры, осредненная по территории Казахстана, °C
1	2023	2023	2,58
2	2020	2020	1,92
3	2016	2013	1,89
4	2019	2022	1,78
5	2017	1983	1,76
6	2022	2015	1,64
7	2015	2021	1,58
8	2021	2002	1,55
9	2018	2004	1,53
10	2014	2019	1,50

Ранжированный ряд среднегодовых аномалий температуры приземного воздуха, осреднённых по метеостанциям Казахстана за период с 1941 по 2023 год, показал, что 10 экстремально тёплых лет, как и в глобальном масштабе, приходятся на текущее столетие, исключение составляет 1983 год, который занимает пятое место в ранге самых теплых лет.

За период 1976–2023-х гг. в среднем по территории Казахстана повышение среднегодовой температуры воздуха составляет 0,36 °C каждые 10 лет, вклад в общую изменчивость температуры составляет 34 % (рис. 9).

В среднем по территории всех областей Казахстана наблюдается устойчивое повышение средней годовой температуры воздуха – коэффициенты детерминации находятся в пределах 13-57 %, тренды значимы на 5%-м уровне [79]. Более быстрыми темпами потепление происходит в западных, юго-западных и южных областях Казахстана (от 0,47 °C/10 лет до 0,56 °C/10 лет), а более медленными – в центральных, северо-восточных, восточных и юго-восточных областях (от 0,25 °C/10 лет до 0,30 °C/10 лет).

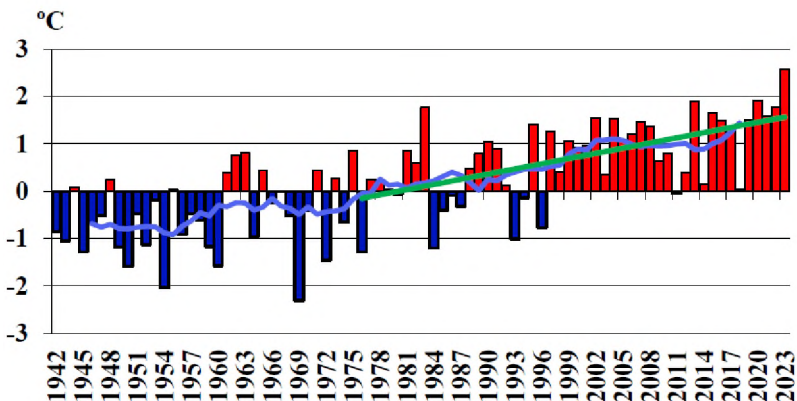


Рисунок 9. Временные ряды аномалий годовой температуры воздуха (°C), усредненной по территории Казахстана за период 1941–2023 гг. Аномалии рассчитаны относительно базового периода 1961–1990 гг. Линейный тренд за период 1976–2023 гг. выделен зеленым цветом. Сглаженная кривая получена методом 11-летнего скользящего осреднения [79]

Годовое количество осадков в среднем по территории Казахстана убывало в 1960 и 1970-х годах, в последний 40-летний период долгопериодные тенденции отсутствовали, наблюдалось чередование коротких периодов с положительными и отрицательными аномалиями количества атмосферных осадков. В период 1976–2023 гг. тенденции в средних относительных аномалиях годовых и сезонных сумм осадков по территории Казахстана практически отсутствуют – доля трендовой составляющей в общей дисперсии ряда в основном не превышает 3 %, положительный знак тренда наблюдается для зимних, весенних и годовых сумм осадков, а для летних и осенних – отрицательный (рис. 10).

В среднем по территории Казахстана в период 1976–2023 гг. наблюдается незначительная тенденция к увеличению годового количества атмосферных осадков на 0,5 % нормы/10 лет [79].

Современные климатические изменения в Казахстане приводят к изменению температуры воздуха и сумм осадков, а также к изменению продолжительности, интенсивности и частоты гидрометеорологических явлений. В работах [81–86] проведен детальный анализ изменения климата за 70-летний

период по территории Казахстана, также были проанализированы сезонные их изменения. В качестве основных показателей регионального климата использовались среднегодовая температура воздуха и среднегодовое количество осадков.

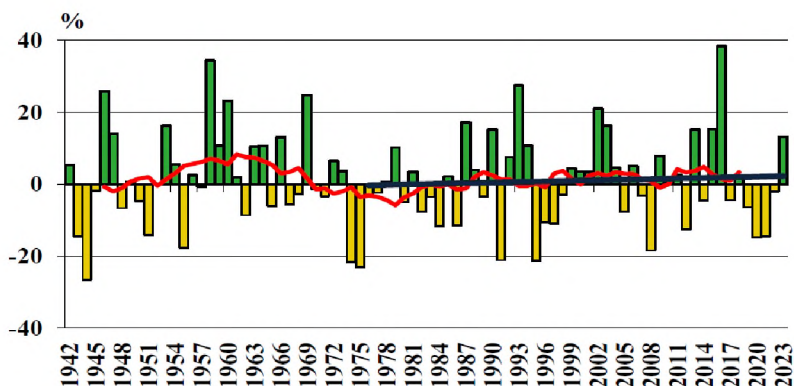


Рисунок 10. Временные ряды аномалий годовых сумм осадков (%) пространственно осредненных по территории Казахстана за период 1941 – 2023 гг. Аномалии рассчитаны относительно базового периода 1961 – 1990 гг. Линейный тренд за период 1976 – 2023 гг. выделен черным цветом. Сглаженная кривая получена методом 11-летнего скользящего осреднения [79]

Многие исследователи занимаются изучением изменения климата для различных регионов Казахстана [87-105]. Особое внимание уделяется выявлению экстремальности в рядах основных климатических величин через различные статистические показатели или индексы аномальности, например индекс Багрова Н.А., Токарева В.Г.

Наиболее часто вызывающими чрезвычайные ситуации в Казахстане являются сильный ветер, наводнения (половодья и паводки), аномальный холод, аномальная жара, засуха, ливневые осадки, метели, гололед, град. За последние шестнадцать лет (2007-2022 гг.) по сравнению с предыдущим шестнадцатилетием (1991-2006 гг.) увеличилось число стихийных метеорологических явлений (рис. 11), вызванных сильным снегопадом и градом (в 1,8 раза), сильным ветром и сильным дождем

(в 1,4 раза). Одновременно сократилось число случаев сильных туманов (на 29 %), сильной метели (на 17 %) [106, 107].

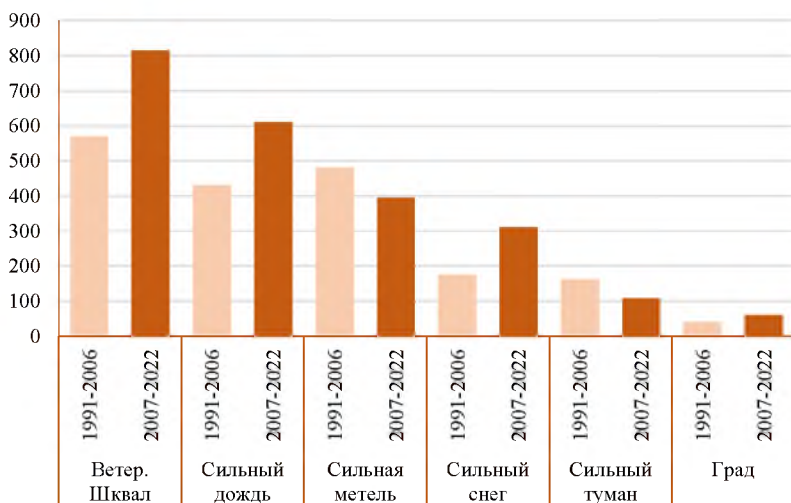


Рисунок 11. Распределение стихийных метеорологических явлений в Казахстане

Прикладное значение имеет изучение экстремальных метеорологических явлений, таких как волны тепла и холода, проливные дожди и снегопады, град, штормы и шквалы и др., которые могут спровоцировать или усугубить другие опасные явления, например засухи, наводнения, оползни, лесные пожары и лавины. Эти процессы увеличивают риски неблагоприятных воздействий на различные сферы жизнедеятельности человека и экономику страны [108-111]. К наиболее уязвимым сферам относятся сельское хозяйство, водные ресурсы, биоразнообразие, социальная инфраструктура и другие [112-114].

В настоящее время опубликовано достаточно множество исследований, в которых анализируются различные аспекты влияния изменения климата на различные отрасли в Казахстане, в частности на водные ресурсы, сели, ледники, снежный покров, пыльные бури, агросектор. Эти исследования показывают, что в последнее десятилетие повторяемость данных явлений

возросла. Для Казахстана в холодный период года характерны сильные снегопады и метели, сопровождаемые штормовыми ветрами, продолжительные сильные морозы, гололедно-изморозевые явления, поздние весенние заморозки, сильный туман, гололед и др. Для тёплого периода характерны сильные ливни, грозы, град, шквалы и пыльные бури. Наблюдаемые экстремальные явления могут приводить к резкому снижению урожайности сельскохозяйственных культур, а также увеличивать риски ущерба для других природоёмких отраслей экономики [115-193].

Публикационная активность свидетельствует о том, что изучение экстремальных природных явлений является достаточно актуальной задачей для Казахстана, решение которой является ключевым фактором в процессе создания системы раннего предупреждения, адаптации и снижения уязвимости.

1.4. Климатические индексы

В 2015 году Всемирный метеорологический конгресс постановил «стандартизировать метеорологическую, гидрологическую, климатическую, космическую метеорологическую и другую связанную с опасными явлениями и рисками окружающей среды информацию и разработать идентификаторы для каталогизации метеорологических, гидрологических и климатических экстремальных явлений» [194].

Существует пять критериев для индикаторов:

- *Соответствие*: каждый ключевой индикатор должен быть четким и понятным индикатором глобального изменения климата и удовлетворять широким потребностям разных пользователей.

- *Репрезентативность*: в совокупности индикаторы должны давать репрезентативную картину изменений в системе Земля, связанных с изменением климата.

- *Согласованность*: каждый индикатор должен рассчитываться с использованием согласованного на международном уровне метода.

– *Своевременность*: каждый индикатор должен рассчитываться регулярно.

– *Адекватность данных*: имеющиеся данные, необходимые для индикатора, должны быть достаточно обоснованными, надежными и достоверными.

Для мониторинга экстремальных значений климатических параметров, наиболее значимых для конкретных отраслей экономики и социальной сферы, в настоящее время используется комплекс специализированных климатических индексов, рекомендованных комиссией по климатологии ВМО [195]. Для их расчета используется программный продукт ClimPACT2 [196, 197], позволяющий анализировать экстремальные климатические явления, используя данные о погоде или климате, включая оценку изменения и интенсивности. ClimPACT2 предлагает индексы, полученные на основе данных о суточной температуре и осадках. С точки зрения изменения климата наибольший интерес сейчас представляют экстремальные климатические явления, которые оказывают большое воздействие на различные сектора экономики (здравоохранение, водные ресурсы, энергетика, сельское хозяйство и др.).

Все климатические индексы, используемые для оценки экстремальности погоды, условно разделены на четыре категории (табл. 2) [91, 198-200]:

- индексы, основанные на пороговых значениях;
- индексы, основанные на абсолютных значениях;
- индексы, основанные на перцентилях;
- индексы, основанные на продолжительности явления.

Индексы имеют ряд преимуществ, т.к. они выражены в количественной форме, являются объективными и показывают изменения с течением времени. Изменение частоты и/или интенсивности экстремальных метеорологических и климатических явлений в результате изменения и изменчивости климата является одним из наиболее важных последствий изменения климата [194].

Климатические индексы позволяют провести комплексный анализ режима температуры воздуха и осадков, выявить и проанализировать особенности их экстремумов. Использование данного подхода позволяет сравнить результаты анализа

экстремумов осадков и температуры на глобальном и региональном уровнях [201-205].

Таблица 2. Климатические индексы температуры воздуха и осадков (<https://climpact-sci.org/indices/>)

Индекс	Наименование индекса	Определение индекса	Отрасли экономики
1	2	3	4
Индексы, основанные на пороговых значениях			
FD	количество морозных дней	количество дней, когда суточный минимум температуры $< 0^{\circ}\text{C}$	– здравоохранение, – сельское хозяйство и продовольственная безопасность, – снижение риска стихийных бедствий
SU	количество жарких дней	количество дней, когда суточный максимум температуры $> 25^{\circ}\text{C}$	– здравоохранение, – снижение риска стихийных бедствий
ID	количество дней с морозом	количество дней, когда суточный максимум температуры $< 0^{\circ}\text{C}$	– сельское хозяйство и продовольственная безопасность, – снижение риска стихийных бедствий
R10mm	количество дней с сильным дождем	количество дней, когда суточное количество осадков ≥ 10 мм	– сельское хозяйство и продовольственная безопасность
R20mm	количество дней с очень сильным дождем	количество дней, когда суточное количество осадков ≥ 20 мм	– сельское хозяйство и продовольственная безопасность

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4
Индексы, основанные на абсолютных значениях			
TXx	абсолютный максимум температуры	максимум из суточных максимумов температуры воздуха	– сельское хозяйство и продовольственная безопасность, – энергетика, – снижение риска стихийных бедствий
TXn	минимум из суточных максимумов	минимальное значение суточной максимальной температуры	– криосфера
TNx	максимум из суточных минимумов	максимальное значение суточной минимальной температуры	– криосфера
TNn	абсолютный минимум температуры	минимум из суточных минимумов температуры воздуха	– сельское хозяйство и продовольственная безопасность, – энергетика
Индексы, основанные на процентилях			
TX10p	количество холодных (нежарких) дней	процент дней, когда максимальная температура была ниже 10-го процентиля	– энергетика
TN10p	количество экстремально холодных ночей	процент дней, когда минимальная температура была ниже 10-го процентиля	– энергетика
TX90p	количество экстремально теплых (жарких) дней	процент теплых дней с суточной максимальной температурой воздуха выше 90-го процентиля	– энергетика
TN90p	количество теплых ночей	процент теплых ночей с суточной минимальной температурой воздуха выше 90-го процентиля	– энергетика

1	2	3	4
Индексы, основанные на продолжительности явления			
WSDI	продолжительность волн тепла	количество дней, когда как минимум 6 последовательных дней суточная максимальная температура воздуха была выше 90-го процентиля	– здравоохранение, – сельское хозяйство и продовольственная безопасность, – водные ресурсы и продовольственная безопасность, – снижение риска стихийных бедствий
CSDI	продолжительность волн холода	сумма дней, когда как минимум 6 последовательных дней суточная минимальная температура воздуха была ниже 10-го процентиля	– здравоохранение, – сельское хозяйство и продовольственная безопасность, – водные ресурсы и продовольственная безопасность, – снижение риска стихийных бедствий
CDD	продолжительность бездождных периодов	количество дней, когда суточное количество осадков составляло менее 1 мм (осадки отсутствовали)	– здравоохранение, – сельское хозяйство и продовольственная безопасность, – снижение риска стихийных бедствий
CWD	продолжительность периодов с осадками	количество дней, когда как минимум 6 последовательных дней количество выпавших осадков было больше или равно 1 мм	– сельское хозяйство и продовольственная безопасность, – снижение риска стихийных бедствий

С 2017 года Научно-исследовательский центр РГП «Казгидромет» активно применяет климатические индексы, рекомендованные ВМО, для анализа частоты и интенсивности экстремальных климатических явлений [205].

В статье [200] представлены результаты исследования по оценке современных пространственно-временных тенденций

экстремальных значений температуры воздуха и осадков по территории Республики Казахстан за период с 1971 по 2020 год.

В качестве примера можно привести пространственное распределение количества экстремально теплых (TX90p) и холодных (TX10p) дней, а также количества экстремально холодных (TN10p) и теплых (TN90p) ночей (рис. 12).

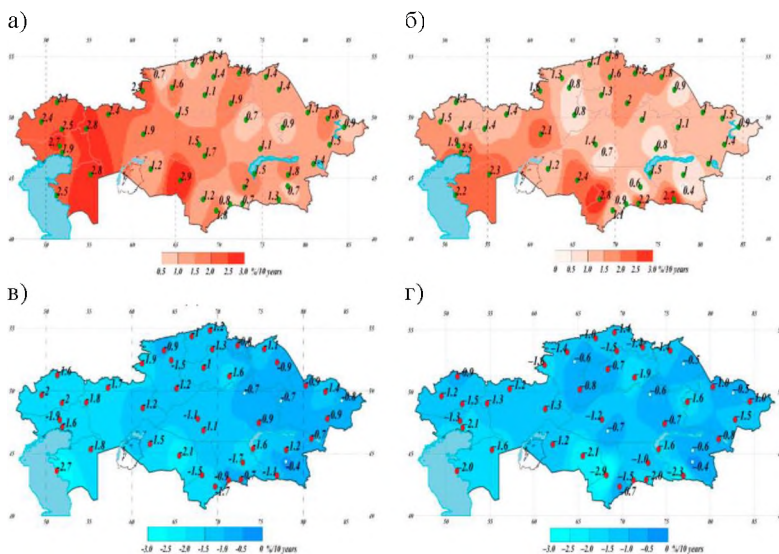


Рисунок 12. Пространственное распределение индексов, характеризующих долю экстремально теплых дней (а) и теплых ночей (б), долю холодных дней (в) и экстремально холодных ночей (г) и тренды этих показателей за период 1971-2020 гг.

Доля экстремально теплых дней (TX90p) в целом неравномерно увеличивается по территории Казахстана с востока на запад (рис. 12а). Наибольшие положительные значения тренда TX90p отмечаются в Западном, Центральном и Южном Казахстане (1,5-2,9 %/10 лет), на территории Северного и Восточного Казахстана значения уменьшаются до 0,7 %/10 лет.

Пространственное распределение теплых ночей (TN90p) определенных закономерностей не показало (рис. 12б). Доля теплых ночей носит пятнистый характер, наибольшее значение TN90p отмечается в Мангистауской, Кызылординской,

Туркестанской и юге Алматинской областях и составляет 2,2-2,8 %/10 лет. На остальной территории Казахстана тренд меняется незначительно – от 0,7 до 1,5 %/10 лет.

Доля нежарких дней (ТХ10р) и экстремально холодных ночей (ТН10р) показывает в общем противоположные ТХ90р тенденции, уменьшаясь с запада на восток республики (рис. 12в, 12г). Наибольшие значения отмечены в Западном Казахстане (минус 1,7 ÷ минус 2,7 %/10 лет), наименьшие – на юго-востоке и востоке исследуемой территории (0,4-0,9 %/10 лет).

Для всей территории Казахстана характерны значимые климатические тенденции. Противоположный характер трендов логично вписывается в ожидаемые изменения климата, подтверждая значимость и достоверность результатов исследования.

В то же время более детальное сравнение карт трендов в ТХ90р и ТН10р демонстрирует правомерность условного деления территории Казахстана на юго-западную и северо-восточную части, характеризующиеся различной степенью изменения климата. Так, в юго-западной части наблюдается значимая тенденция роста как экстремально высоких дневных, так и экстремально низких ночных температур, а в северо-восточной части данная тенденция менее выражена как для экстремально высоких дневных, так и экстремально низких ночных температур. Таким образом, ряд индексов демонстрирует тенденцию к повышению температуры. В этой связи представляет интерес рассмотрение дополнительных индексов, характеризующих волны тепла и холода, продолжительность бездождного периода и другие параметры, позволяющие более наглядно оценить факт повышения температуры и имеющейся тенденции.

Распределение продолжительности волн тепла (WSDI) показывает четкое выраженное увеличение с востока на запад Казахстана (рис. 13).

Индекс продолжительность волны тепла (WSDI) увеличивался с юга-востока на запад Казахстана. На юго-востоке продолжительность волны тепла составила 1-2 дня, постепенно увеличиваясь к востоку и центру республики до 4-5 дней. На западе продолжительность волн тепла достигала 9-11 дней.

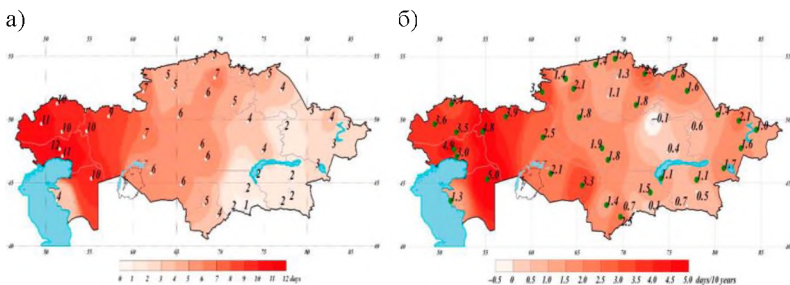


Рисунок 13. Пространственное распределение индекса (а), характеризующего распределение продолжительности волн тепла (WSDI) и трендов (б) этого параметра за период 1971-2020 гг.

Распределение трендов волн тепла также показывает их большие значения на западе Казахстана – до 5 дней/10 лет, в меньшей степени тренды проявляются на юге и центре – до 3 дней/10 лет. На юго-востоке и восточной части республики отмечаются наименьшие значения. Индекс WSDI имеет значимые тренды на всей территории республики и варьируется в пределах 2–5 дней.

Между тем распределение продолжительности волн холода (CSDI) не показывает такой четкой картины распределения и имеет более пятнистый характер с отдельными очагами (рис. 14). Интересно, что высокие значения отмечается на юге и юго-западе Казахстана (с максимумом в Туркестане). Хотя на этих территориях следует ожидать более низкие значения, так как в целом на этих территориях фиксируется потепление.

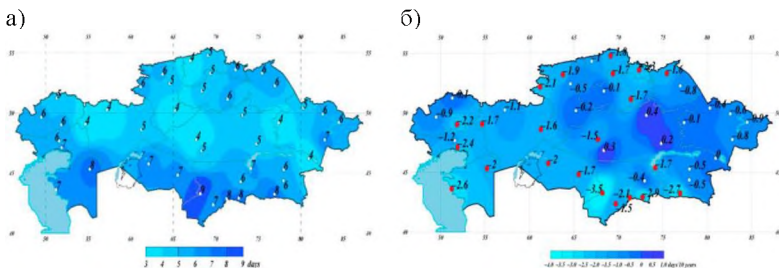


Рисунок 14. Пространственное распределение индекса (а), характеризующего распределение продолжительности волн холода (CSDI) и трендов (б) этого параметра за период 1971-2020 гг.

Учитывая, что данный индекс рассматривается как показатель экстремальности, правомерно заключить, что южные районы страны более экстремальные. В целом значения индекса CSDI варьируются от 3 до 9 дней. При этом почти все значения трендов отрицательные, показывая уменьшение количества волн холода, лишь на востоке республики отмечаются незначительные положительные значения тренда (0,2-0,7 дней/10 лет). На западе и юге страны волн холода ожидаемо меньше. Тренды распределения волн холода являются значимыми на большей части территории республики.

Обнаруженные тенденции WSDI и CSDI подтверждаются данными [206] о том, что повсеместно происходит увеличение общей продолжительности волн тепла и сокращение общей продолжительности волн холода.

Распределение осадков по территории Казахстана и тенденции изменений годовых и экстремальных осадков рассматривается также с использованием специализированных индексов. Общим показателем годовой суммы осадков является индекс годовой суммы осадков (PRCPTOT). Значения PRCPTOT увеличиваются с запада на восток республики с отдельными максимумами в горных и предгорных районах (477-660 мм) и минимумами (111-294 мм) в районе озера Балхаш, а также в пустынных и полупустынных районах на юге и западе Казахстана (рис. 15).

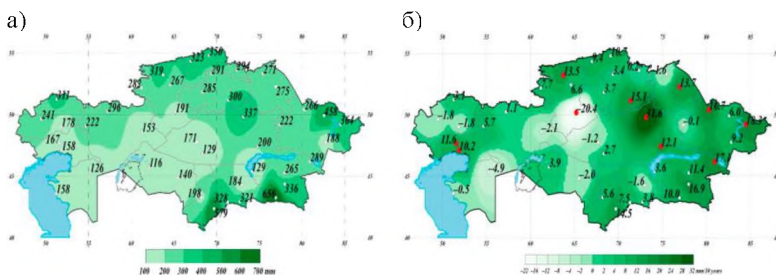


Рисунок 15. Пространственное распределение индекса (а), характеризующего индекс годовой суммы осадков (PRCPTOT) и трендов (б) этого параметра за период 1971-2020 гг.

Тренды данного индекса являются незначимыми на большей части территории исследования (рис. 156). Тренды положительные и значимые лишь на севере-востоке и востоке республики, а также на Прикаспийском низменности, составляя от 10,2 до 31,6 мм за 10 лет. По данным Национальной гидрометслужбы [207], в период 1971-2020 гг. в Казахстане наблюдается тенденция к увеличению годового количества атмосферных осадков на 4,3 мм/10 лет. Таким образом, результаты данного исследования подтверждают общую для Казахстана тенденцию к увеличению осадков [200].

По итогу проведенного анализа климатических рядов среднесуточной температуры воздуха, максимальной и минимальной температур и сумм суточных осадков по территории Казахстана за период 1971-2020 гг. выявлен не только факт значительных климатических изменений, но и их пространственная неоднородность по степени проявления. Полученные результаты показывают сохранение неопределённости в некоторых ключевых тенденциях изменения климата и актуальность дальнейших исследований для максимальной адаптации к климатическим вызовам текущего столетия.

Учет климатических условий и оценка их изменений необходимы для определения потенциальных последствий и принятия своевременных и адекватных мер адаптации, и, в конечном итоге, для обеспечения устойчивого развития Казахстана [79].

1.5. Климат и устойчивое развитие

Текущее понимание устойчивого развития утвердили в 1983 году, когда ООН созвала Международную комиссию по окружающей среде и развитию во главе с премьер-министром Норвегии Гру Харлем Брунтланн.

Комиссия была создана в связи с растущей озабоченнос-



тью «по поводу быстрого ухудшения состояния окружающей среды, человека и природных ресурсов, и последствий ухудшения экономического и социального развития» [111, 208].

Устойчивое развитие возможно при балансе трех основных составляющих: экономического роста, социальной ответственности и экологического равновесия .

Переход к устойчивому развитию не подразумевает резкого ограничения экономического роста и консервации природной среды. Это стратегия деятельности человечества, призванная обеспечить и гарантировать его существование и развитие в долгосрочной перспективе за счет выстраивания нового щадящего взаимодействия с окружающей средой [111, 209].

2015 год знаменует собой решающий момент в стремлении мирового сообщества обеспечить более устойчивое будущее для населения нашей планеты. Глобальная повестка дня в области развития на период до 2030 года содержит 17 Целей устойчивого развития (ЦУР).

Вопрос об измерении устойчивого развития чрезвычайно важен. В настоящее время в мире существует несколько вариантов измерения устойчивого развития [210, 211]:

- первый – построение интегрированного индикатора, выражающего суть устойчивого развития системы в целом;
- второй – построение набора индикаторов, отражающих отдельные аспекты устойчивого развития исследуемой системы.



Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан (АСПР РК) совместно с членами 5-ти Межведомственных рабочих групп, созданных в рамках Координационного совета по вопросам Целей устойчивого развития, рассмотрело 278 глобальных и национальных показателей ЦУР, из

них 16 глобальных показателей признаны нерелевантными для Казахстана (<https://stat.gov.kz/ru/sustainable-development-goals/goal/>). Система национальных показателей для мониторинга ЦУР включает 200 показателя [212]:

- 96 глобальных показателей приняты без изменений;
- 41 глобальный показатель включает незначительные изменения;
- предложено 27 альтернативных/прокси показателей;
- дополнительно включены 36 национальных показателей.

Изменение климата представляет собой серьезную угрозу устойчивому развитию. В повестке дня в области развития на период до 2030 года изменение климата определено как «одна из величайших проблем нашего времени», и отмечается, что «его неблагоприятные последствия подрывают способность всех стран достичь устойчивого развития». Несомненно прочная взаимосвязь между изменением климата и устойчивым развитием [111].



Последствия изменений климата в будущем могут быть как негативными, так и позитивными. Однако, учитывая, что существующая инфраструктура создана в целом под климатические условия прошлых десятилетий, изменения климата, как правило, приводят к отрицательным последствиям, особенно в засушливых регионах, и зачастую имеют весьма значительный характер. Прежде всего, это связано с увеличением вероятности и интенсивности волн жары, а также изменениями в гидрологическом цикле [213].

Чтобы избежать опасных последствий изменения климата, нужно действовать в двух направлениях:

- уменьшить воздействие на климатическую систему путем сокращения выбросов парниковых газов в атмосферу;
- адаптироваться к уже наблюдаемым и ожидаемым изменениям [111, 213].

В феврале 2023 года принята «Стратегия достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года» [214], чему предшествовала большая и многопрофильная работа по реализации «Концепции перехода Республики Казахстан к «зеленой экономике»», разработке и внедрению государст-

венных программ индустриально-инновационного развития, имплементации Целей устойчивого развития ООН.

Статистические показатели изменения климата Республики Казахстан, разработанные на основе Глобального набора, рекомендованные ЕЭК ООН (СПИК), характеризуют процессы экологизации экономики за счет сохранения и рационального использования природных ресурсов и влияния данных процессов на развитие социальной сферы (<https://stat.gov.kz/ru/climate-change/>). Национальный набор СПИК сформирован на основе Глобального набора показателей изменения климата, разработанного ЕЭК ООН [212].

СПИК распределены по 5 направлениям:

1) драйверы/факторы – показатели, характеризуют факторы, влияющие на изменение климата;

2) воздействие – показатели отражают влияние на окружающую среду и последствия воздействия на изменение климата;

3) уязвимость – показатели характеризуют влияние последствий изменения климата на качество и условия жизни населения через процессы загрязнения воздуха и воды, изменения климата;

4) смягчение – показатели характеризуют экономические и политические возможности поддержки государства и роль бизнеса в участии по смягчению воздействия на изменение климата;

5) адаптация – показатели отражают возможность, осведомленность в участии и проведении адаптирования к последствиям изменения климата.

Показатели изменения климата (рис. 16) включены в экологические индикаторы мониторинга и оценки окружающей среды и включают в себя индикаторы по температуре воздуха, атмосферным осадкам и выбросам парниковых газов (ПГ).

Бюро национальной статистики АСПР РК подготовлен Статистический сборник [215], в котором представлена информация, характеризующая динамику состояния окружающей среды, наличие и использование природных ресурсов. В целях наиболее полной характеристики состояния окружающей среды в сборнике публикуются материалы по охране атмосферного воздуха, водных, земельных, лесных, охотничьих ресурсов, образованию и использованию отходов производства и потреб-

ления, особо охраняемым природным территориям, сведения о затратах на охрану окружающей среды за 2019-2023 гг.

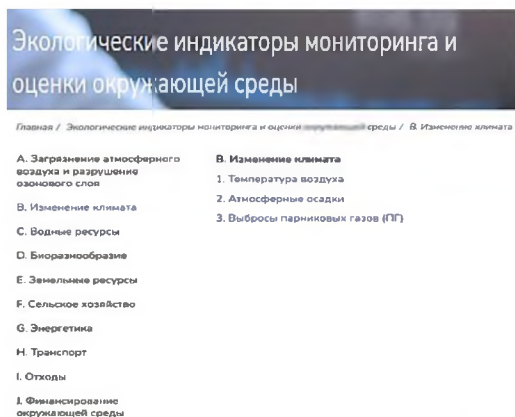


Рисунок 16. Фрагмент сайта Бюро национальной статистики АСНП РК (<https://stat.gov.kz/ru/ecologic-indicators/28427/>)

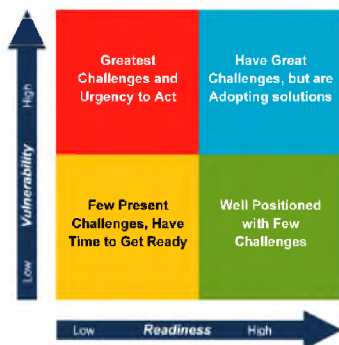
Люди, правительства и корпорации все чаще сталкиваются с необходимостью справляться с воздействием экстремальных климатических явлений. Глобальная инициатива по адаптации Нотр-Дам (ND-GAIN) направлена на помощь частному и государственному секторам в определении приоритетов адаптации к изменениям климата, что, в конечном счете, снижает риски и повышает готовность. Благодаря данным ND-GAIN, лидеры могут оценивать страны и города по ключевым экологическим, экономическим и социальным секторам (<https://gain.nd.edu/>).

Растет глобальное движение, направленное на повышение устойчивости человеческих сообществ и экосистем к экстремальным климатическим воздействиям. Глобальный индекс адаптации ND-GAIN (Notre Dame Global Adaptation Initiative) оценивает эффективность адаптации к изменению климата для 180 стран за последние 20 лет по 45 индикаторам.

Индекс страны ND-GAIN – это инструмент измерения, который суммирует уязвимость страны к изменению климата и другим глобальным проблемам, сочетая эти данные с готовностью страны повышать свою устойчивость. Индекс ND-GAIN

помогает правительствам, предприятиям и сообществам изучать риски, усугубляемые изменением климата, такие как перенаселенность, отсутствие продовольственной безопасности, неадекватная инфраструктура и гражданские конфликты [216].

ND-GAIN можно представить как диаграмму разброса готовности против уязвимости, то есть как Матрицу ND-GAIN. Эта матрица представляет собой визуальный инструмент для быстрого сравнения страны и отслеживания их прогресса во времени [217].



Красный (верхний левый) квадрант: страны с высоким уровнем уязвимости к изменению климата, но низким уровнем готовности. Эти страны испытывают острую потребность в инвестициях для повышения готовности и остро нуждаются в принятии мер по адаптации.

Желтый (нижний левый) сектор: страны с низким уровнем готовности, но также и с низкой степенью уязвимости к изменению климата. Хотя их уязвимость может быть относительно низкой, их адаптация может запаздывать из-за более низкой готовности.

Синий (верхний правый) сектор: страны с высоким уровнем уязвимости к изменению климата и высокой степенью готовности. В этих странах потребность в адаптации велика, но они готовы реагировать. Частный сектор, возможно, с большей вероятностью примет участие в адаптации здесь, чем в странах с более низкой готовностью.

Зеленый (правый нижний) сектор: страны с низким уровнем уязвимости к изменению климата и высоким уровнем готовности. Хотя эти страны менее уязвимы, им все еще необходимо адаптироваться, но, возможно, они имеют для этого хорошие возможности.

В мировом рейтинге 2022 г. Казахстан занимает 35 место по индексу ND-GAIN = 59,9 (рис. 17).

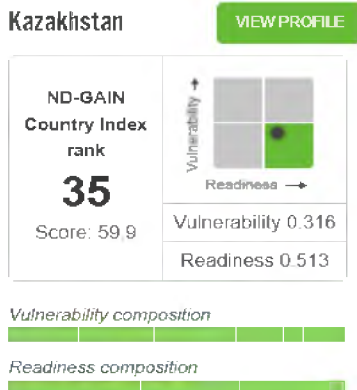


Рисунок 17. Место Казахстана в мировом рейтинге и динамика индекса ND-GAIN за период 1995-2022 гг. (<https://gain-new.crc.nd.edu/ranking>)

За период 1995-2022 гг. индекс изменялся от 50,7 в 1996 г. до 59,9 в 2022 г. (рис. 18а). Самое низкое 50-е место в мировом рейтинге зафиксировано в 2006 г., а самое высокое 33-е место в период 2016-2019 гг.

Индекс развития страны ND-GAIN состоит из показателей уязвимости и готовности (рис. 18б, 18в).

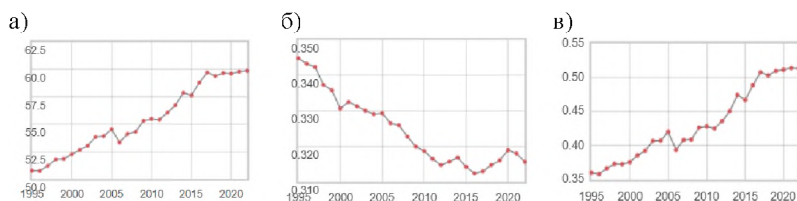


Рисунок 18. Динамика индекса ND-GAIN (а) и его показателей уязвимости (б) и готовности (в) для Казахстана за период 1995-2022 гг.

Уязвимость (Vulnerability) измеряет подверженность страны негативному воздействию изменения климата, ее чувствительность и способность адаптироваться к нему. ND-GAIN измеряет общую уязвимость, рассматривая уязвимость в шести жизнеобеспечивающих секторах – продовольствии, водоснабжении, здравоохранении, экосистемных услугах, среде обитания человека и инфраструктуре.

Готовность (Readiness) измеряет способность страны привлекать инвестиции и преобразовывать их в меры по адаптации. Индекс ND-GAIN измеряет общую готовность с учетом трех компонентов – экономической готовности, готовности к управлению и социальной готовности.

Низкий показатель уязвимости (0,316) и высокий показатель готовности (0,513) Казахстана помещают его в правый нижний (зеленый) квадрант матрицы ND-GAIN (рис. 17) – проблемы адаптации все еще существуют, но Казахстан имеет хорошие возможности для адаптации. Казахстан занимает 170-е место по уязвимости и 53-е место по готовности [216].

Для того чтобы лучше адаптироваться к будущим изменениям климата и связанным с климатом проблемам, необходимо повысить уровень готовности страны.

Республика Казахстан, как и все мировое сообщество, активно ищет пути адаптации к глобальным и региональным климатическим изменениям, стремясь обеспечить устойчивый и поступательный рост, социальную интеграцию и защиту окружающей среды в условиях партнерства и мира [111].

2. КЛИМАТ

ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА

2.1. Общие сведения

Западно-Казахстанский регион (рис. 19) расположен в западной части Казахстана, он граничит с 5 областями России, 3 областями Казахстана, с Узбекистаном и Туркменистаном [218]:

1. Российская Федерация: на западе – с Астраханской областью; на северо-западе – с Волгоградской и Саратовской областями; на севере – с Самарской и Оренбургской областями.

2. Республика Казахстан: на северо-востоке – с Костанайской областью; на востоке – с Улытауской и Кызылординской областями.

3. Узбекистан: на юго-востоке – с Республикой Каракалпакстан Узбекистана.

4. Туркменистан: на юге – с Балканским велятом.

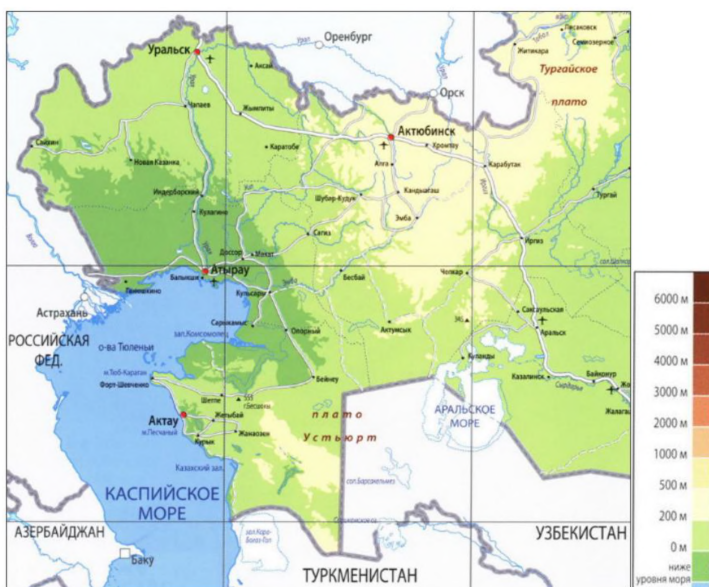


Рисунок 19. Западно-Казахстанский регион
(<https://steppes.kspi.kz/pages/Kazakhstan.html>)

Западно-Казахстанский регион включает в себя 4 области Казахстана [219] общей площадью 736,1 тыс. км² (рис. 20, табл. 3). ЗКР составляет 27 % от общей площади республики. Плотность населения по региону – 4,3 человека на 1 км². На долю городских жителей приходится 59,3 % численности населения ЗКР. Наибольшую площадь занимает Актыубинская область, что составляет 40,8 % от площади ЗКР.



Рисунок 20. Области Западно-Казахстанского региона

Однако для данной области характерна наименьшая плотность населения – 3,2 чел/км². Наименьшая площадь у Атырауской области – 118,6 тыс. км² (16,1 %) с максимальной плотностью населения. Площади Западно-Казахстанской и Мангистауской областей приблизительно одинаковые и составляют от площади ЗКР 20,6 % и 22,5 % соответственно (табл. 3).

На севере ЗКР находятся отроги Общего Сырта и Предуральского плато (отроги Южного Урала). На западе в пределах Прикаспийской низменности расположены песчаные массивы Нарынкума: Кокузенкум, Аккум, Карагандыкум и другие. Плато Мангистау и Устюрт – на юге, а на юго-востоке – массивы бугристых песков – Приаральские Каракумы и Большие и Малые Барсуки. На северо-востоке ЗКР заходит Тургайское плато, изрезанное оврагами [218].

Большая часть ЗКР представляет собой равнину, расчленённую долинами рек, высотой 100–200 м (55,3 % территории) и выше 200 м (22,5 %). В средней части Актюбинской области простираются Мугоджары (высшая точка – гора Большой Бактыбай, 657 м). На юге имеется несколько впадин, включая самую низкую точку Казахстана – впадину Карагие на полуострове Мангышлак – минус 132 м. Территория, расположенная ниже уровня моря, составляет 22,2 % от общей площади ЗКР.

Таблица 3. Характеристика ЗКР по состоянию на 1 ноября 2024 г. [212]

Область	Административный центр	Численность населения, тыс. человек			Площадь территории, тыс. км ² [219]	Плотность населения, чел/км ²
		всего	городские жители	сельские жители		
Актюбинская	г. Актобе	948,3	715,5 (75,5 %)	232,8 (24,5 %)	300,6	3,2
Атырауская	г. Атырау	709,8	390,6 (55,0 %)	319,2 (45,0 %)	118,6	6,0
Западно-Казахстанская	г. Уральск	695,6	397,2 (57,1 %)	298,4 (42,9 %)	151,3	4,6
Мангистауская	г. Актау	801,9	368,8 (46,0 %)	433,1 (54,0 %)	165,6	4,8
Западно-Казахстанский регион		3 155,6	1 872,1 (59,3 %)	1 283,5 (40,7 %)	736,1	4,3

Западная часть ЗКР омывается Каспийским морем, при этом побережье на западе образует полуостров Мангышлак с глубокими заливами: Мёртвый Култук, Мангышлакский, Казахский, Кендерли. В Каспийском море расположены Тюленьи острова. Крупные реки региона – Урал с притоками Орь и Илек, Чаган, Деркул, Кушум, Большой и Малый Узень, Эмба, а также Тургай с притоками Ирғиз, Уил и Сағиз. В Западно-Казахстанской области – 144 озера, из которых 94 являются солёными. Наиболее значительные из них – Шалкар, Рыбный Сакрыл и система Камыш-Самарских озёр [218].

2.2. Климатические зоны

Территория ЗКР расположена в трех климатических зонах (рис. 21) – степной, полупустынной, пустынной, границы которых имеют широтную протяженность. Южные границы зон определяются в основном тепло- и влагообеспеченностью теплого периода года и определенным соотношением осадков и испаряемости за летний период. Большую часть территории ЗКР составляют пустыни и полупустыни [220].

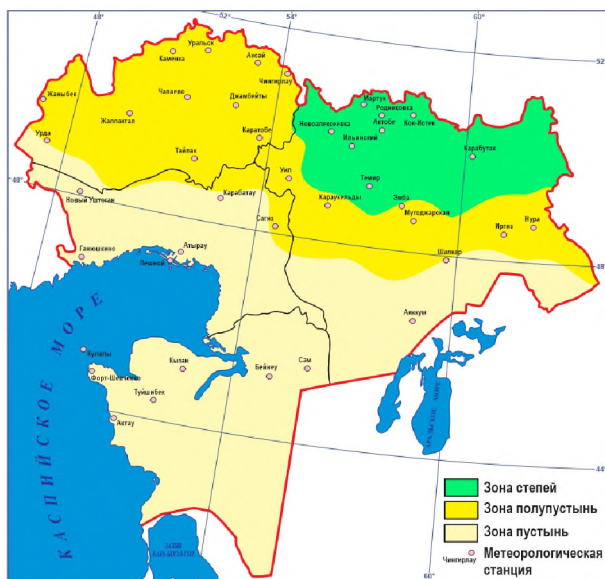


Рисунок 21. Климатические зоны и сеть метеорологических станций ЗКР

Степная климатическая зона. Зона относится к наиболее обеспеченной влагой, однако испаряемость здесь значительно превышает атмосферные осадки за летний период (в 5-7 раз) [221]. Годовое количество осадков изменяется от 240 до 400 мм. Максимум осадков приходится на теплое полугодие, когда выпадает 65-80 % годовой суммы осадков.

Особенностью зоны является то, что при ясной погоде и низких температурах за счет увеличения барического градиента

на периферии антициклонального поля возможны сильные ветры и поземки. Степная зона отличается значительным развитием ветровой эрозии.

Средняя годовая температура положительная, и за год она составляет 3-4 °С.

Полупустынная климатическая зона. Среднегодовые температуры изменяются от 6 °С до 8 °С на западе и от 3 °С до 5 °С в центре и на востоке. Годовое количество осадков изменяется от 134 до 330 мм. Для зоны сохраняется преобладание осадков теплого периода – до 55-70 % годовой их суммы.

В пределах зоны следует выделить западнее Мугоджар самостоятельный район с более мягкими по сравнению с другими частями зоны климатическими условиями и лучшей увлажненностью. Внутри него, в свою очередь, можно выделить подрайон, примыкающий к Каспийскому морю и испытывающий его наибольшее влияние. ЗКР находится в сфере проявления атлантических, черноморских и частично каспийских циклонов.

В холодное полугодие над полупустынной зоной располагается полоса высокого давления, что обуславливает преобладание здесь ясной и маловетреной погоды. В то же время при нередких сменах холодных вторжений теплыми вторжениями увеличивается облачность и усиливается ветер.

Средняя годовая температура – 5-7 °С. В полупустынной зоне значительно увеличиваются повторяемость атмосферных засух, суховеjno-засушливых погод. Из сезонов года наиболее четко выражены зима и лето. Причем зима короче, чем лето [221].

Пустынная климатическая зона. Зона характеризуется скудными условиями увлажнения. За год испаряемость превышает осадки в 10 раз, а за три летних месяца – в 20-70 раз.

Средние годовые температуры в этом регионе составляют 9-12 °С. Зимой возможны редкие потепления, когда температура может достигать в отдельные дни 15-25 °С. При прохождении холодных фронтов обычно наблюдаются пыльные бури. Характерной особенностью теплого полугодия является большая повторяемость атмосферных засух на фоне умеренно засушливых и суховеjno-засушливых погодных условий. Засушливый характер погод обусловлен не только высокими температурами,

но и низкой относительной влажностью воздуха в сочетании с небольшим количеством осадков.

Количество осадков, наоборот, уменьшается до 100-200 мм в год. В целом климат этой зоны отличается продолжительным жарким летом, холодной зимой для данных широт, большими годовыми и суточными амплитудами температур, большой сухостью воздуха, малой облачностью [221].

Ветры в зоне пустынь слабые, повторяемость штилей большая. Суточный ход ветра типично материковый: вечером и ночью преобладает затишье, днем ветер усиливается, достигая максимума в послеполуденные часы.

Для описания климата ЗКР использовались данные наблюдений 40 метеорологических станций (рис. 21, табл. 4).

Таблица 4. Метеорологические станции Западно-Казахстанского региона

Область	Метеорологическая станция
Актюбинская	Актобе, Аяккум, Ильинский, Иргиз, Карабутак, Караулкельды, Кос-Истек, Мартук, Мугоджарская, Новоалексеевка, Нура, Родниковка, Темир, Уил, Шалкар, Эмба
Атырауская	Атырау, Ганюшкино, Карабау, Новый Уштоган, Пешной, Сагиз
Западно-Казахстанская	Аксай, Джамбейты, Жаныбек, Жалпактал, Каменка, Каратобе, Тайпак, Уральск, Урда, Чапаево, Чингирлау
Мангистауская	Актау, Бейнеу, Кулалы, Кызан, Сам, Туйшибек, Форт-Шевченко

В Актюбинской области имеются все три климатические зоны: на севере – степная, в центральной части – полупустынная и на юге – пустынная (рис. 21). Для Атырауской области свойственна полупустынная зона, лишь на крайнем севере и северо-востоке области – полупустынная зона. Западно-Казахстанская область находится в зоне полупустынь, и только на крайнем юго-западе отмечается пустынная зона. Мангистауская область полностью относится к зоне пустынь.

2.3. Радиационный режим

Солнечная радиация – элемент, который очень изменчив во времени и пространстве. Данные о приходе солнечной радиации за различные интервалы времени свидетельствуют о её значительной изменчивости в течение года, сезона, суток. Эта изменчивость обусловлена астрономическими факторами, прозрачностью атмосферы и режимом облачности [222]. Основными актинометрическими характеристиками притока солнечной радиации являются данные о прямой, суммарной радиации, а также продолжительности солнечного сияния по отдельным географическим районам.

Прежде чем достичь земной поверхности, солнечная радиация проходит длинный путь через атмосферу. На этом пути к Земле часть переносимой энергии поглощается в слое атмосферы, преобразуясь при этом в другие виды энергии, главным образом в тепловую. Значительная доля ее рассеивается в атмосфере как молекулами газов, так и взвешенными мельчайшими частицами; наконец, часть энергии поглощается и отражается облаками. При этом лучи разных длин волн, входящие в состав солнечной радиации, поглощаются и рассеиваются неодинаково. Все это приводит к тому, что при прохождении солнечной радиации через атмосферу уменьшается приток энергии. Таким образом, поступившая на поверхность Земли в виде параллельных лучей от Солнца так называемая прямая солнечная радиация будет как количественно, так и качественно отличаться от солнечной радиации за пределами атмосферы [83, 223].

Возможной суммой называется количество прямой солнечной радиации, которое поступало бы в данном месте при средней прозрачности атмосферы и полном отсутствии облаков за определенный промежуток времени на единичную горизонтальную площадку, находящуюся на земной поверхности [224]. По мере развития и совершенствования радиометрических наблюдений, а также накопления данных о солнечной радиации значения возможной солнечной суммарной радиации уточнялись [225]. Было также предложено ввести новое понятие – максимально возможная солнечная радиации на уровне земной поверхности, которое давало бы представление о величине поступающей солнечной энергии «в экстремально благоприят-

ных» для этого условиях. В качестве таковых служат сочетание высокой степени прозрачности атмосферы с наличием на небосводе разорванной облачности при полностью открытом солнечном диске, а в некоторых случаях – и при высоком альбедо подстилающей поверхности.

Действительной суммой прямой радиации называется фактическое ее количество, поступившее за тот или иной промежуток времени на единичную горизонтальную площадку, находящуюся на земной поверхности [226]. Действительные суммы прямой радиации находят путем обработки записей из наблюдений по актинометру с учетом продолжительности солнечного сияния, устанавливаемой по записям гелиографа.

Кроме прозрачности атмосферы и облачности, большое влияние на прямую и рассеянную радиацию оказывает характер подстилающей поверхности. По мере увеличения отражательной способности подстилающей поверхности значительно возрастает поток рассеянной радиации. При наличии снежного покрова возрастает отражение прямой солнечной радиации, вторичное рассеяние которой в атмосфере приводит к увеличению рассеянной радиации.

В таблице 5 приведены рассчитанные теоретические S_t , возможные S_v и действительные S_d месячные суммы прямой солнечной радиации, выраженные в МДж/м^2 , для срединных месяцев сезона по территории ЗКР [227].

Таблица 5. Месячные суммы прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность (МДж/м^2), за 1998-2000 гг. [222]

Станция	S_t	S_v	S_d	$S_v/S_t, \%$	$S_d/S_v, \%$	S_t	S_v	S_d	$S_v/S_t, \%$	$S_d/S_v, \%$
	Январь					Апрель				
Теректы	1078	157	53	15	34	1779	586	321	33	55
Уральск	1084	109	42	10	38	1761	523	273	30	52
Жаныбек	1067	141	40	13	28	1773	574	270	32	47
Актау	1204	200	52	17	26	1788	568	306	32	54
	Июль					Октябрь				
Теректы	2359	765	474	32	62	1505	344	155	23	45
Уральск	2360	696	410	29	59	1463	297	103	20	35
Жаныбек	2359	713	428	30	60	1492	317	129	21	41
Актау	2333	691	486	30	70	1572	365	187	23	51

Согласно данным таблицы 5, в ослаблении солнечной радиации большую роль играет атмосфера. Земная поверхность получает в виде возможной прямой солнечной радиации относительно теоретической: в январе – от 10 % до 17 %, в апреле – от 30 до 33 %, в июле – от 29 до 32 %, а в октябре – от 20 до 23 %.

Действительные суммы прямой солнечной радиации тесно связаны с коэффициентом прозрачности атмосферы, который зависит от содержания в атмосфере водяного пара и аэрозолей: чем их больше, тем меньше значение коэффициента прозрачности при прочих равных условиях. В реальных условиях коэффициент прозрачности атмосферы обычно колеблется от 0,60 до 0,85. На станции Теректы среднее многолетнее значение коэффициента прозрачности атмосферы составляет 0,82 (зимой) и 0,74 (летом) [228].

Облачность значительно уменьшает приход прямой солнечной радиации S_d , и по сравнению с возможными суммами солнечной энергии она составляет в январе 26-38 %, в апреле – 47-55 %, в июле – 59-70 % и в октябре – 35-51 % [222, 229].

Продолжительность солнечного сияния напрямую определяет приток радиации к земной поверхности. Наиболее распространенными характеристиками продолжительности солнечного сияния являются: возможная продолжительность, т.е. продолжительность солнечного сияния при отсутствии облачности; действительная продолжительность – продолжительность солнечного сияния в условиях облачности; отношение действительной продолжительности солнечного сияния к возможной длительности светового дня; число дней без Солнца. Возможная продолжительность солнечного сияния является наиболее устойчивой и достоверной характеристикой [230]. Она определяется по времени восхода и захода Солнца с учетом его рефракции, т.е. является чисто астрономическим показателем.

Продолжительность солнечного сияния – это время, в течение которого интенсивность прямой солнечной радиации равна или более $0,14 \text{ кВт/м}^2$ ($0,2 \text{ кал/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})}$) [226]. Практически продолжительность солнечного сияния – это время, когда солнечные лучи оставляют прожог на ленте гелиографа, т.е. когда солнце находится над горизонтом и не скрыто за облаками, туманом, мглой и т.п. Продолжительность солнечного сияния

выражается в часах с пределом допустимой погрешности $\pm 0,1$ час [231].

На территории Западно-Казахстанского региона продолжительность солнечного сияния изменяется от 2283 ч до 2767 ч [232], при среднем ее значении 2523 ч. (табл. 6). Наибольшая продолжительность солнечного сияния отмечается в весенне-летний период с максимумом летом (июль), а наименьшая – в осенне-зимний период с минимумом зимой (декабрь).

Таблица 6. Продолжительность солнечного сияния (ч) по областям ЗКР

Область	Сезон				Год
	зима	весна	лето	осень	
Актюбинская	306	741	1002	497	2546
Атырауская	330	724	1007	574	2635
Западно-Казахстанская	244	693	928	431	2297
Мангистауская	377	685	966	585	2614
ЗКР	314	711	976	522	2523

Северные районы ЗКР (Западно-Казахстанская область и север Актюбинской области) имеют наименьшую годовую продолжительность (менее 2400 ч), которая увеличивается к Атырауской и Мангистауской областям (2400-2600 ч), т.е. прослеживается ее увеличение в южном направлении. Максимальная продолжительность наблюдается на юге Актюбинской области (юго-восток ЗКР) и достигает более 2700 ч (рис. 22).

Облачность уменьшает продолжительность солнечного сияния. В таблице 7 представлено число дней без солнца для территории исследования.

Наибольшей продолжительности солнечного сияния соответствует наименьшее число дней без солнца. Летом солнце закрыто облаками 0,1-0,7 дней в месяц, в пределах 1-7 дней в месяц – весной. В осенне-зимний период число дней без солнца наибольшее: осенью составляет 12,7-22,3 дня, зимой – 26,1-39,2 дня (табл. 7).

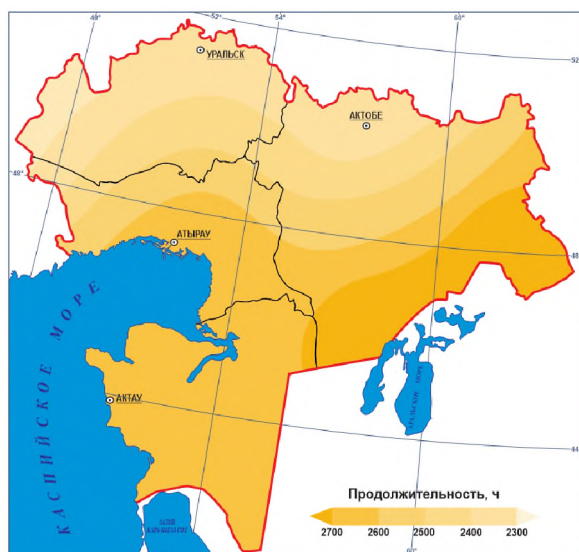


Рисунок 22. Распределение годовой продолжительности солнечного сияния на территории ЗКР

Таблица 7. Число дней без солнца по областям ЗКР

Область	Сезон				Год
	зима	весна	лето	осень	
Актюбинская	29,1	8,2	0,7	15,8	53,8
Атырауская	29,4	8,3	0,9	12,7	51,3
Западно-Казахстанская	39,2	10,3	1,4	22,3	73,2
Мангистауская	26,1	12,2	1,4	13,4	53,1
ЗКР	31,0	9,7	1,1	16,1	57,9

Годовой ход продолжительности солнечного сияния и числа дней без солнца для метеорологических станций ЗКР, осуществляющих наблюдения с помощью гелиографа, представлен на рисунке 22.

Продолжительность солнечного сияния в Актюбинской области в среднем за год изменяется от 2326 ч (МС Актобе) на севере до 2767 ч (МС Иргиз) и более на юге, причем зимой она в 3,5-4,5 раза меньше, чем летом. Среднее число дней без солнца возрастает от лета 0,7 дня (0,6-0,9 дня) к зиме 29,1 дня

(24,1-34,2 дня) со средним годовым значением 53,8 дня (43,9-63,8 дня) (табл. 7, рис. 22). Средняя годовая продолжительность за день с солнцем за год составляет 7,2-8,2 ч. В среднем за год отношение наблюдавшейся продолжительности к возможной составляет 48-59 % с наименьшей величиной зимой (22-39 %) [233].

Для Западно-Казахстанской области продолжительность солнечного сияния составляет 2283-2310 ч за год (МС Жаныбек и МС Уральск) на северо-западе, возрастая к югу и юго-востоку до 2400-2500 ч (рис. 23).

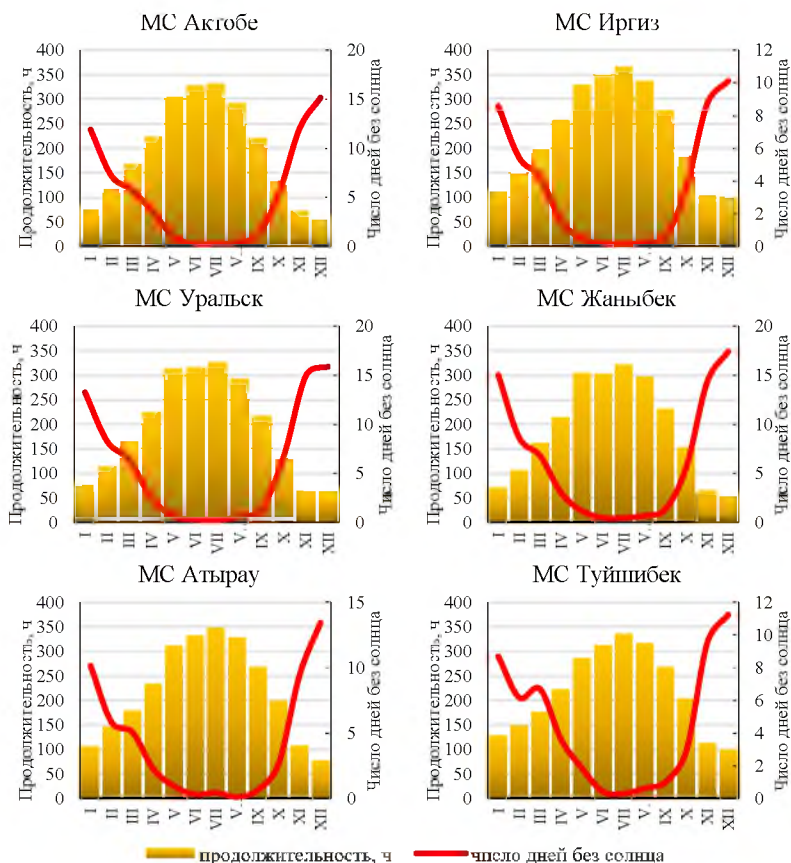


Рисунок 23. Продолжительность солнечного сияния и число дней без солнца на метеорологических станциях ЗКР

На рисунке 23 показано, что наибольшая продолжительность солнечного сияния наблюдается летом и колеблется от 293 ч. до 326 ч в месяц, при этом отмечается наименьшее число дней с солнцем (0,2-0,7 дней). Отношение наблюдавшейся продолжительности к возможной колеблется от 21 % до 67 % (в среднем за год 48 %), с наибольшими значениями в теплый период года. Средняя продолжительность за день с солнцем повторяет ход продолжительности солнечного сияния и составляет зимой 4,0-5,6 ч, а летом – 9,6-10,6 ч. Годовая продолжительность за день с солнцем составляет 7,3 ч.

В среднем за год на большей части территории Атырауской области продолжительность солнечного сияния составляет более 2600 ч (2635 ч – МС Атырау), уменьшаясь на севере, западе и северо-востоке до 2500 ч, а на северо-западе – до 2300-2400 ч (рис. 23). В летние месяцы отмечается максимум продолжительности – 328-347 ч, а минимум – с ноября по февраль и составляет 25-34 ч (рис. 23). Ход числа дней без солнца противоположен продолжительности солнечного сияния и изменяется от 0,1-0,6 дня с июня по сентябрь до 9-13 дней с ноября по январь (рис. 23). Отношение наблюдавшейся продолжительности к возможной составляет в среднем за год 51 % с наибольшей величиной в теплый период года. В среднем за год продолжительность солнечных дней составляет 8,0 ч, увеличиваясь от зимы (4,3-5,2 ч) к лету (10,4-11,4 ч).

В Мангистауской области продолжительность солнечного сияния составляет 2600-2700 ч, лишь на крайнем северо-востоке возможно увеличение до более 2700 ч (рис. 23). Средняя продолжительность солнечного сияния на МС Туйшибек составляет 2614 ч в год со значительным увеличением от зимы (100-149 ч) к лету (313-363 ч). Число дней без солнца имеет обратную динамику по сравнению с продолжительностью солнечного сияния, увеличиваясь от лета к зиме, со среднегодовым значением 53 дня (рис. 23). В течение года средняя продолжительность за день с солнцем составляет 8,1 ч, при этом она меньше зимой (5,0-6,7 ч) и больше летом (10,4-11,0 ч). Соотношение фактической продолжительности светового дня к возможной в среднем за год составляет 57 %, достигая максимума летом (68-73 %).

Таким образом, летом ЗКР получает солнечную радиацию в течение почти всего светлого времени суток.

В распределении месячных сумм прямой радиации прослеживается ярко выраженная зональность, при которой месячные суммы увеличиваются с севера на юг, что отражает общеизвестный факт зависимости прямой солнечной радиации от широты; эта закономерность прослеживается в течение всего года (табл. 8).

Таблица 8. Суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при ясном небе, МДж/м² [232]

Географическая широта, °с.ш.	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
40	322	417	639	757	893	897	891	803	654	510	358	298
44	261	365	603	724	872	889	886	768	619	465	308	234
48	207	324	565	702	862	881	877	736	589	406	254	184
52	164	270	528	678	850	880	882	719	540	344	194	126
56	113	220	467	650	840	873	875	695	486	267	127	84

На рисунках 24 и 25 представлено распределение годовых сумм прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность и суммарной солнечной радиации при различных условиях облачности для территории ЗКР.

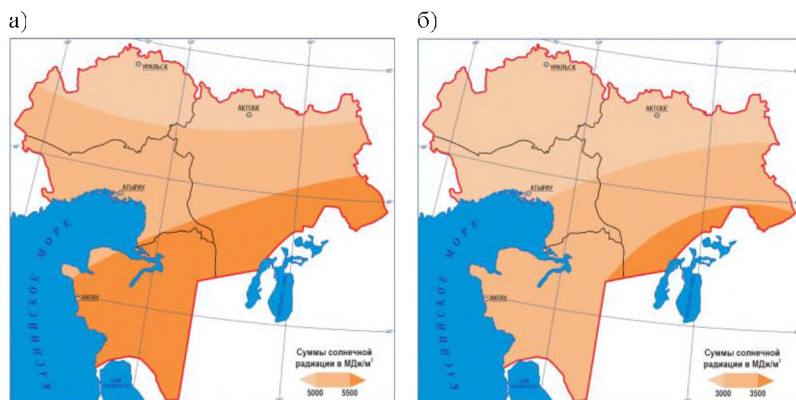


Рисунок 24. Распределение годовых сумм прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе (а) и при средних условиях облачности (б) для ЗКР

Годовые суммы прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе (рис. 24а) уменьшаются с севера (МС Уральск, 4849 МДж/м²) на юго-восток (МС Теректы, 5487 МДж/м²). Наибольший приток отмечается в период с мая по июль, изменяясь от 694-731 МДж/м² до 721-771 МДж/м², а наименьшие значения приходятся на декабрь и составляют 90-177 МДж/м² [229].

Годовые суммы прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности имеют аналогичное распределение по территории ЗКР. Облачность уменьшает суммы прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность на 42-48 %, причем чем южнее, тем на меньшую величину они изменяются. Диапазон изменения составляет 2627-3179 МДж/м² (рис. 24б).

Суммарная солнечная радиация представляет собой сумму двух потоков коротковолновой радиации: прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность и рассеянной.

Аналогичная закономерность прослеживается в распределении годовых сумм суммарной радиации (рис. 25).

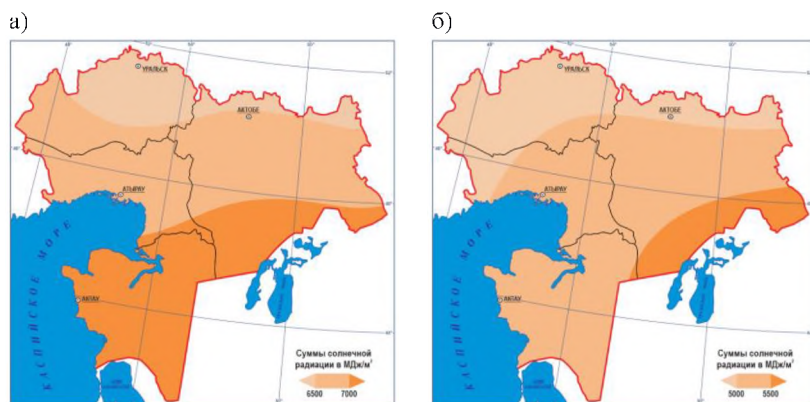


Рисунок 25. Распределение годовых сумм суммарной солнечной радиации при ясном небе (а) и при средних условиях облачности (б) для ЗКР

Годовые суммы суммарной солнечной радиации при ясном небе изменяются от 6355 МДж/м² до 7000 МДж/м² и более (рис. 25а). Доля рассеянной радиации не превышает 21-24 %. Облач-

ность уменьшает прямую солнечную радиацию, но увеличивает долю рассеянной радиации. При средних условиях облачности суммы суммарной солнечной радиации уменьшаются на 24-27 % и колеблются в пределах 4726-5368 МДж/м² и более (рис. 25б).

На земной поверхности и в атмосфере одновременно наблюдаются различные потоки радиации, как коротковолновой (солнечная прямая и рассеянная), так и длинноволновой (излучение Земли и атмосферы). Таким образом, в любой момент времени на земной поверхности происходит приход и расход радиации. Приходо-расход лучистой энергии, поглощаемой и излучаемой подстилающей поверхностью, называют радиационным балансом [229].

Годовое значение радиационного баланса деятельной поверхности при средних условиях облачности (рис. 26) в течение большей части года положительное, что свидетельствует о преобладании поглощаемой доли радиации над длинноволновым излучением. Период с отрицательным радиационным балансом на юге ЗКР продолжается 2-3 месяца, на севере – 3-4 месяца (ноябрь – февраль).

Однако отрицательные месячные значения радиационного баланса сравнительно малы – обычно 5-41 МДж/м². В годовом ходе баланса его минимум чаще всего отмечается в январе. В июне его значения почти повсеместно составляют 326-352 МДж/м², лишь на юго-западе ЗКР они уменьшаются до 237-270 МДж/м².



Рисунок 26. Распределение годового радиационного баланса при средних условиях облачности ЗКР

Годовые величины радиационного баланса на большей части ЗКР превышают 1700 МДж/м^2 (в Актюбинской, Атырауской и Западно-Казахстанской областях), постепенно уменьшаясь на юге. В Мангистауской области годовые значения составляют менее 1700 МДж/м^2 , постепенно уменьшаясь с северо-востока на юго-запад до 1404 МДж/м^2 .

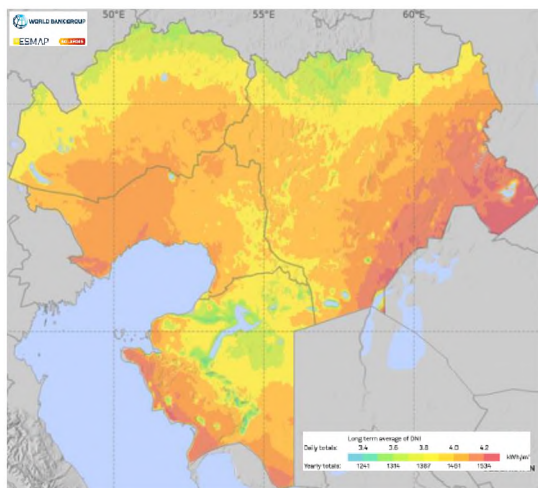
Для оценки потенциала солнечной энергии ЗКР использовался Глобальный солнечный атлас (GSA), который создан и поддерживается компанией Solargis, являющейся глобальным поставщиком данных о солнечной энергии, по инициативе Всемирного банка (<https://globalsolaratlas.info/>).

Распределение теоретического потенциала прямой и суммарной солнечной радиации для ЗКР за период 1999-2023 гг. представлено на рисунках 27 и 28. Диапазон изменения прямой солнечной радиации на нормальную к лучу поверхность (DNI – Direct normal irradiation) для ЗКР составляет $3,63\text{--}4,05 \text{ кВтч/м}^2$, при среднем значении $3,84 \text{ кВтч/м}^2$ для региона (рис. 27). В 54 % случаев DNI колеблется в пределах $3,80\text{--}4,00 \text{ кВтч/м}^2$, в 32,3 % случаев – в пределах $3,60\text{--}3,80 \text{ кВтч/м}^2$.

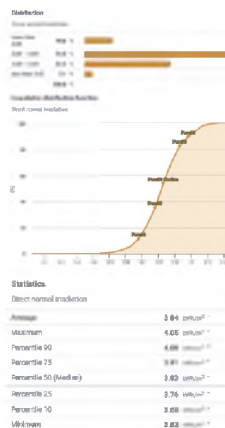
Распределение теоретического потенциала прямой солнечной радиации по территории ЗКР имеет широтный характер, уменьшаясь с севера и северо-запада на восток и юго-восток территории исследования. Однако для областей ЗКР величина DNI имеет свои особенности распределения.

Актюбинская область имеет наибольшую протяженность с севера на юг, поэтому DNI изменяется в широком диапазоне – от $3,66 \text{ кВтч/м}^2$ до $4,08 \text{ кВтч/м}^2$, и практически совпадает с диапазоном, характерным для региона. Наибольшие значения отмечаются на юге и юго-востоке области, а наименьшие – на севере. В 19,2 % случаев DNI – более $4,00 \text{ кВтч/м}^2$, в большинстве случаев (53,6 %) приток радиации изменяется в пределах $3,80\text{--}4,00 \text{ кВтч/м}^2$.

Западно-Казахстанская область расположена на северо-западе ЗКР, поэтому приток прямой радиации несколько ниже – $3,66\text{--}3,93 \text{ кВтч/м}^2$. Однако в 51,9 % случаев DNI составляет более $3,80 \text{ кВтч/м}^2$, что соответствует центральным и южным территориям области. Лишь в 1,5 % случаев наблюдается приток ниже $3,60 \text{ кВтч/м}^2$.



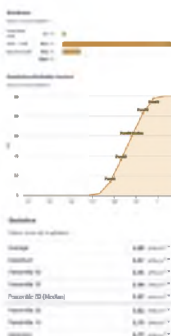
Западно-Казхастанский регион



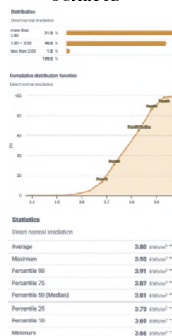
Актюбинская область



Атырауская область



Западно-Казхастанская область



Мангистауская область



Рисунок 27. Распределение теоретического потенциала прямой солнечной радиации (кВтч/м^2) Западно-Казхастанского региона за период 1999-2023 гг. <https://globalsolaratlas.info>

В Атырауской области среднее значение DNI $3,88 \text{ кВтч/м}^2$. В западной части области отмечаются наибольшие значения, в 2,3 % случаев более $4,00 \text{ кВтч/м}^2$. Величина притока прямой радиации в 83,9 % случаев составляет $3,80\text{-}4,00 \text{ кВтч/м}^2$.

Для Мангистауской области распределение DNI в диапазонах $3,60\text{-}3,80 \text{ кВтч/м}^2$ и $3,80\text{-}4,00 \text{ кВтч/м}^2$ приблизительно одинаково и составляет 45,6 % и 38,2 % соответственно. Отдельные

очаги высокого притока прямой радиации (более $4,00 \text{ кВтч/м}^2$ – $7,1 \%$) наблюдаются на юго-западе области, вблизи Каспийского моря. Наименьшие значения (менее $3,60 \text{ кВтч/м}^2$ – $9,1 \%$) отмечены в центральной части области.

Теоретический потенциал суммарной солнечной радиации (DHI – Diffuse horizontal irradiation) имеет ярко выраженное широтное распределение (рис. 28).

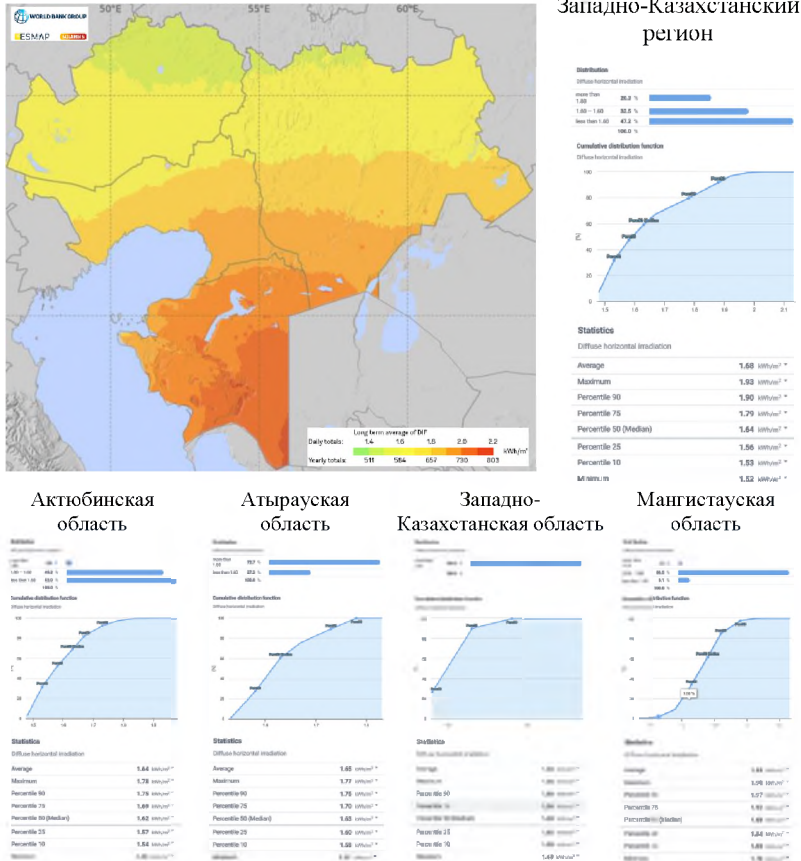


Рисунок 28. Распределение теоретического потенциала суммарной солнечной радиации (кВтч/м^2) Западно-Казакстанского региона за период 1999-2023 гг. <https://globalsolaratlas.info>

Диапазон изменения ДНІ по территории ЗКР составляет 1,52-1,93 кВтч/м², увеличиваясь с севера на юг. Большая часть региона (север ЗКР) получает суммарную радиацию менее 1,60 кВтч/м² (47,2 %), и лишь южные районы – более 1,80 кВтч/м² (20,3 %). Среднее значение ДНІ для ЗКР составляет 1,68 кВтч/м².

В Актюбинской области наблюдается наибольший размах суммарной радиации – в среднем 1,53-1,78 кВтч/м². Северные районы области (большая часть территории) получают менее 1,60 кВтч/м² (52,0 %), а крайние южные – более 1,80 кВтч/м² (2,8 %).

Для Западно-Казахстанской области (ЗКО) характерно наименьшее поступление ДНІ (1,49-1,56 кВтч/м²). С продвижением на юг ЗКР величина суммарной радиации возрастает. Так, в Атырауской области среднее значение ДНІ составляет 1,65 кВтч/м², а диапазон ее изменения – 1,57-1,77 кВтч/м². В 72,7 % случаев территория области имеет приток более 1,60 кВтч/м², и лишь в 27,3 % – менее данного порога. В Мангистауской области ДНІ достигает наибольших значений, отмечающихся в ЗКР (1,78-1,98 кВтч/м²). Среднее значение суммарной радиации для области равно 1,88 кВтч/м². В отдельных случаях приток может составлять более 2,00 кВтч/м² (2,4 %), в 88,5 % случаев изменение ДНІ отмечено в пределах 1,80-2,00 кВтч/м².

Сегодня электроэнергетика является одной из приоритетных и требующих внимания отраслей экономики Казахстана. Установленный вектор и целевые показатели развития еще раз подтверждают приверженность нашего государства принятым обязательствам в рамках всех действующих международных соглашений.

Принятая Казахстаном в 2013 году «Концепция по переходу Республики Казахстан к «зеленой экономике» до 2050 года предусматривает принципы «зеленой экономики» как направление будущего развития (увеличение доли возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в общем объеме производства электроэнергии до 6 % к 2025 г., до 15 % – к 2030 г. и до 50 % к 2050 году с учетом альтернативной энергетики). С каждым годом в энергосистеме Казахстана растет доля ВИЭ, участвующих в производстве электрической энергии.

В соответствии с законодательством в области ВИЭ функцию провайдера баланса для объектов ВИЭ осуществляет ТОО «Расчетно-финансовый центр по поддержке ВИЭ». На конец сентября 2022 года общая установленная мощность объектов ВИЭ по Казахстану достигла 2325 МВт (согласно данным Министерства энергетики Республики Казахстан). Современные тренды развития ВИЭ в Казахстане указывают на то, что вовлеченность инвесторов в проекты строительства солнечных электростанций преобладает над остальными типами ВИЭ (доля установленной мощности солнечных электростанций составляет более 49 %) [234].

Южные территории Западно-Казахстанского региона имеют достаточный потенциал солнечной энергии. Так, средний показатель коэффициента использования установленной мощности (КИУМ) солнечных электростанций (СЭС) по Мангистауской области составляет 18 % [234]. В области установлена ТОО «Group Independent» солнечная электростанция мощностью 2 МВт близ поселка Батыр (<https://rfc.kz/ru/>) с выдачей электроэнергии в сети Мангистауского атомного энергокомбината (МАЭК). Площадь СЭС – более 6 гектаров. Производится централизованный и удаленный мониторинг станции. Годовая выработка СЭС составляет около 2664 МВт·ч энергии (<https://mek.kz/projects/too-group-independent/>).

В 2019 году, в первые дни нового учебного года состоялась официальная церемония ввода в эксплуатацию пилотной солнечной станции в г. Актау, на территории Назарбаев Интеллектуальной Школы химико-биологического направления. Проект строительства солнечной станции реализован компанией «Шелл Казахстан Б.В.» в рамках программы «Солнечная энергия школам» при поддержке Акимата Мангистауской области, Министерства Энергетики РК и АОО «Назарбаев Интеллектуальные Школы». Установленная солнечная система позволит покрыть до 30% годового энергопотребления школы и направить излишки произведенной электроэнергии в городскую сеть, что существенно снизит затраты на потребление электроэнергии.

Проект также направлен на стимулирование интереса молодого поколения к программам изучения точных наук (STEM) и повышение осведомленности относительно преимуществ и новых возможностей в области возобновляемых источников

энергии (ВИЭ) посредством запуска образовательной программы Shell Nxplorers, основанной на новых технологиях мышления (https://www.kazenergy.com/ru/press-center/news/1758/?sphrase_id=65849).

Данные факты подтверждают природно-климатический потенциал региона и указывают на наличие достаточно высоких ресурсных показателей для проектов СЭС.

2.4. Термический режим

Термический режим ЗКР определяется радиационными факторами, которые резко изменяются в силу большой широтной протяженности и физико-географической неоднородности территории. На режим температуры воздуха оказывают влияние Каспийское море и водные объекты Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна.

Основной водной артерией ЗКР является река Жайык (Урал), протекающая через территории Российской Федерации и Республики Казахстан. В Казахстане река принимает ряд притоков, основными из которых являются Елек, Ор, Шынгырлау (Утва), Шаган, Ембулатовка и Рубежка.

С западной части бассейна на юг стекают реки Чижа 1-я, Чижа 2-я, Караозен и Сарыозен (Большой и Малый Узени). Область питания последних двух рек находится в Саратовской области.

На юге региона текут реки Ойыл, Сагиз и Жем, не имеющие постоянного устья и теряющие свои воды в песках на фильтрацию и испарение [235].

Средние месячные температуры воздуха являются одной из основных характеристик термического режима. Средняя годовая температура воздуха ЗКР за период 1961-2023 гг. положительна и изменяется от 5,8 °С в Актюбинской области до 11,5 °С в Мангистауской области, в среднем составляя 8,3 °С, данный факт говорит о преобладании положительных величин радиационного баланса.

Средняя месячная температура воздуха самого теплого месяца – июля составляет 25,3 °С, а самого холодного – января – минус 9,8 °С. Годовая амплитуда температуры воздуха ЗКР

составляет 34,2 °С (табл. 9). Экстремальные значения температуры воздуха зафиксированы в январе 1969 г. (минус 32,9 °С в Актюбинской области) и в июле 2018 г. (39,6 °С в Мангистауской области).

С сентября по апрель на территории ЗКР отмечаются как положительные, так и отрицательные температуры воздуха.

Зимой число дней с отрицательной средней суточной температурой воздуха в среднем составляет 22-28 дней, постепенно уменьшаясь в переходные сезоны года (рис. 29). Положительные средние суточные температуры воздуха зимой могут повышаться до 10 °С (3-6 дней), а в отдельные дни – до 15 °С. Летом 25-27 дней в месяц наблюдаются температуры в диапазоне 15-30 °С, повышаясь в отдельные дни до 40 °С.

Для областей, входящих в ЗКР, годовое распределение температуры воздуха и наступление экстремума одинаково, лишь наблюдаются изменения ее величины. Самыми холодными были 60 и 70-е годы XX века, а самыми теплыми – последнее десятилетие XXI века (приложение А).

В Актюбинской области средняя годовая температура воздуха за период исследования составляет 5,8 °С с диапазоном изменения от 3,5 °С на севере (МС Мартук) до 8,2 °С на юге (МС Аяккум). Январь является типичным зимним месяцем, когда наблюдаются самые низкие температуры, средний из абсолютных минимумов температуры воздуха достигает минус 29 °С. Абсолютный минимум температуры воздуха зафиксирован в январе 1969 г. и составил минус 32,9 °С (МС Карабутак). Летом наблюдаются самые высокие температуры воздуха, средний из абсолютных максимумов температуры воздуха составляет 33 °С. Абсолютный максимум температуры воздуха зафиксирован в июле 1984 г. и равен 37,3 °С (МС Аяккум).

Среднее число дней с отрицательной средней суточной температурой воздуха наблюдается с сентября по март. Однако зимой наблюдается от 27 до 30 дней в месяц, в марте и ноябре 19-25 дней (чаще отмечается температура от 0 °С до минус 10 °С), а в остальные месяцы весны и осени не превышает 4 дней с температурой от 0 °С до минус 5 °С, редко достигая минус 15 °С (рис. 29).

Таблица 9. Средние и экстремальные температуры воздуха по областям ЗКР за период 1961-2023 гг.

Регион	Температура	Месяцы												Год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Актюбинская область	средняя	-13,0	-12,5	-4,9	8,0	16,3	21,7	23,9	21,8	14,8	5,8	-2,5	-9,4	5,8
	минимальная	-32,9	-27,1	-21,8	-6,1	1,8	6,8	9,7	7,2	0,9	-10,1	-19,2	-26,2	-32,9
	максимальная	0,3	4,0	13,3	25,8	31,8	36,0	37,3	36,9	29,0	21,5	10,8	2,1	37,3
Атырауская область	средняя	-8,0	-7,5	0,1	10,8	18,6	23,8	26,1	24,2	17,1	8,4	1,0	-4,9	9,1
	минимальная	-26,8	-24,5	-15,1	-0,1	6,3	12,5	14,8	12,4	5,8	-5,0	-15,0	-22,7	-26,8
	максимальная	4,5	6,1	15,0	25,9	31,7	36,2	38,4	38,0	30,4	20,4	12,1	5,2	38,4
Западно-Казахстанская область	средняя	-10,6	-10,4	-3,1	8,9	16,8	21,7	24,1	22,3	15,3	6,7	-1,0	-7,3	6,9
	минимальная	-29,1	-27,4	-19,1	-2,9	3,9	9,1	10,8	10,8	4,2	-7,2	-15,0	-24,0	-29,1
	максимальная	4,5	4,6	14,0	25,3	31,5	35,8	38,4	37,2	29,1	19,7	10,6	3,7	38,4
Мангистауская область	средняя	-4,0	-3,4	3,0	11,9	19,1	24,5	27,1	25,8	19,4	11,2	4,0	-1,3	11,5
	минимальная	-25,1	-21,7	-10,6	1,3	9,0	14,4	16,3	15,6	8,0	-1,9	-11,1	-18,2	-25,1
	максимальная	6,6	10,1	17,9	27,5	33,4	37,8	39,9	39,1	30,6	22,6	15,8	10,7	39,9
Западно-Казахстанский регион	средняя	-8,9	-8,5	-1,2	9,9	17,7	22,9	25,3	23,5	16,7	8,0	0,4	-5,7	8,3
	минимальная	-32,9	-27,4	-21,8	-6,1	1,8	6,8	9,7	7,2	0,9	-10,1	-19,2	-26,2	-32,9
	максимальная	6,6	10,1	17,9	27,5	33,4	37,8	39,9	39,1	30,6	22,6	15,8	10,7	39,9
Примечание: числитель – температура воздуха, °С; знаменатель – год экстремального значения температуры воздуха.														

Положительные значения средней суточной температуры воздуха отмечаются ежемесячно в Актюбинской области. Так, в зимние месяцы их число составляет 1-2 дня и не превышает 5 °С, возрастая к лету до 30-31 дня (в 50 % случаев температура изменяется в пределах 20-25 °С, достигая более высоких значений в июле – до 30 °С).

В качестве примера на рисунке 30 представлен годовой ход температуры воздуха на метеостанциях, расположенных на севере и юге Актюбинской области.

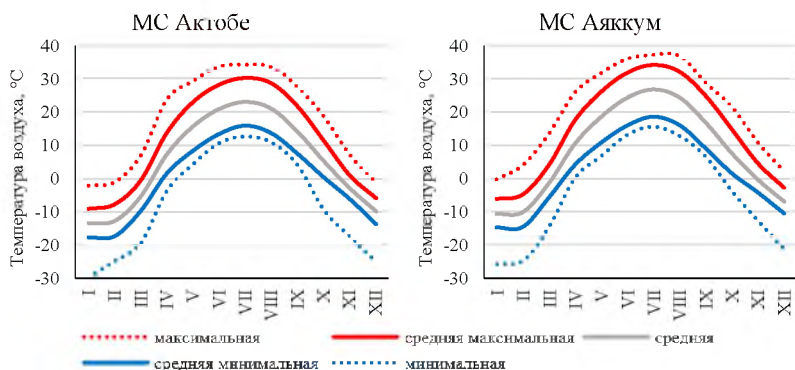


Рисунок 30. Годовой ход температуры воздуха на метеостанциях Актюбинской области за период 1961-2023 гг.

Средняя годовая температура воздуха ЗКО меняется от 5,7 °С на МС Каменка до 8,9 °С МС Урда, в среднем по области ее значение составляет 6,9 °С. Самые низкие температуры воздуха зафиксированы зимой – в январе, а самые высокие – летом, в июле. Средняя месячная температура ЗКО в течение года меняется от минус 10,6 °С до 24,1 °С. Средний из абсолютных минимумов и максимумов температуры воздуха составляет минус 27 °С и 36 °С соответственно. Экстремальные температуры воздуха на территории области наблюдались в январе 1972 г. (минус 29,1 °С) и июле 2010 г. (38,4 °С).

Годовой ход средней месячной температуры воздуха, а также средней максимальной и минимальной температур на метеостанциях Западно-Казахстанской области, расположенных на разных широтах, показан на рисунке 31. На МС Уральск

годовая амплитуда средней температуры воздуха равна $34,4^{\circ}\text{C}$, а на МС Тайпак – $35,8^{\circ}\text{C}$. Более высокие температуры отмечаются на МС Тайпак (расположена на юге области), а более низкие – на МС Уральск. По величине температур различия незначительны, так как ЗКО вытянута по широте, в отличие от Актюбинской области.

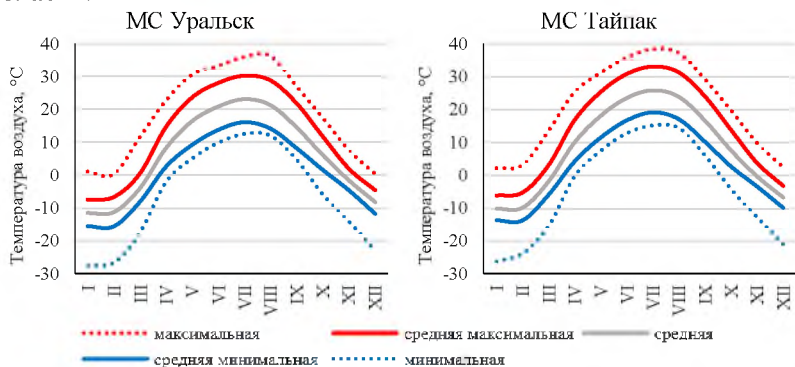


Рисунок 31. Годовой ход температуры воздуха на метеостанциях Западно-Казахстанской области за период 1961-2023 гг.

Для ЗКО отрицательные средние суточные температуры воздуха наблюдаются с октября по апрель с минимальными значениями зимой. В среднем отмечается 26-30 дней в месяц с отрицательной температурой воздуха до минус 20°C (рис. 29). Положительные температуры зафиксированы в течение всего года с наибольшей величиной летом – в среднем 18-24 дня с температурой $20-30^{\circ}\text{C}$, повышаясь в отдельные дни до 35°C (1-3 дня).

Среднее годовое значение температуры воздуха для Атырауской области – $9,1^{\circ}\text{C}$ с изменениями в пределах $7,8-10,0^{\circ}\text{C}$. На рисунке 32 представлен годовой ход температуры воздуха на метеорологических станциях, расположенных вблизи и вдали от Каспийского моря.

Средние месячные температуры воздуха в Атырауской области колеблются от минус $4,9-8,0^{\circ}\text{C}$ зимой до $23,8-26,1^{\circ}\text{C}$ летом. В январе наблюдаются самые низкие температуры, средний из абсолютных минимумов температуры воздуха достигает минус 23°C . Абсолютный минимум температуры воздуха зафиксирован в январе 1969 г. и составил минус $26,8^{\circ}\text{C}$ (МС Сагиз).

В июле наблюдаются самые высокие температуры воздуха, средний из абсолютных максимумов температуры воздуха составляет 38 °С. Абсолютный максимум температуры воздуха зафиксирован в июле 2010 г. и равен 38,4 °С (МС Новый Уштоган).

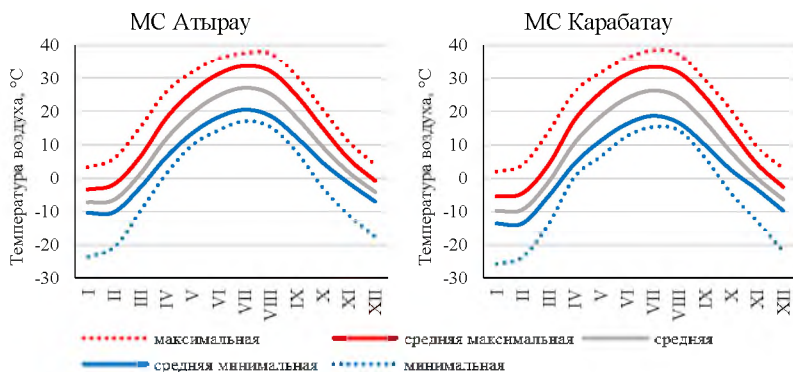


Рисунок 32. Годовой ход температуры воздуха на метеостанциях Атырауской области за период 1961-2023 гг.

Положительные значения средней суточной температуры воздуха отмечаются ежемесячно на территории Атырауской области, однако в период с мая по сентябрь отрицательных значений температуры воздуха не наблюдается. Летом наибольшее число дней (22-25 дней) приходится на диапазон температуры 20-30 °С, температура выше 30 °С поднимается в среднем 1-3 дня. В апреле и октябре число дней с положительной средней суточной температурой составляет 27-28 дней. Зимой средняя суточная температура воздуха поднимается до 5 °С, количество дней с положительной температурой воздуха составляет 2-10 дней (рис. 29).

Интервал изменения средней годовой температуры воздуха составляет 2,3 °С в Мангистауской области: от 10,1 °С (МС Сам) до 12,4 °С (МС Форт-Шевченко). Среднее ее значение составляет 11,5 °С, что является наибольшей величиной среди областей ЗКР, из-за географического положения области. Рисунок 33 демонстрирует изменение температуры воздуха внутри года по метеостанциям Мангистауской области.

Наименьшая годовая амплитуда температуры воздуха отмечается вблизи Каспийского моря и составляет на МС Актау 25,9 °С, а на МС Сам – 36,1 °С. Зимой и летом отмечаются экстремальные значения температуры воздуха. Так, в Мангистауской области в январе средний из абсолютных минимумов температуры воздуха составляет минус 18 °С. Абсолютный минимум температуры воздуха зафиксирован в январе 1977 г. и составил минус 25,1 °С (МС Сам). В июле наблюдаются самые высокие температуры воздуха, средний из абсолютных максимумов температуры воздуха составляет 37 °С. Абсолютный максимум температуры воздуха зафиксирован в июле 2018 г. и равен 39,9 °С (МС Бейнеу).

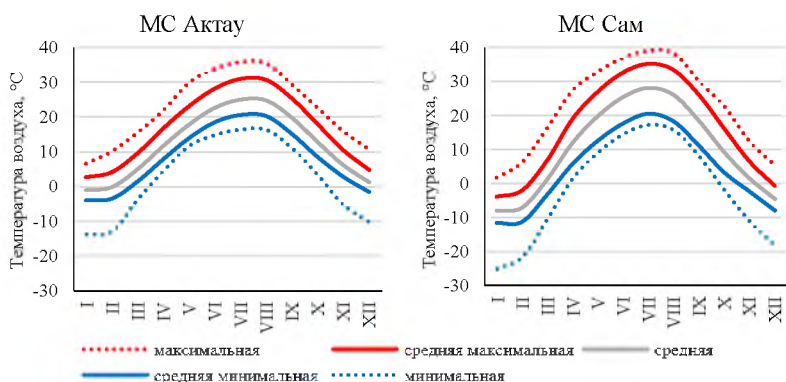


Рисунок 33. Годовой ход температуры воздуха на метеостанциях Мангистауской области за период 1961-2023 гг.

В холодный период года на территории Мангистауской области отмечаются положительные и отрицательные температуры воздуха, причем зимой в 15-24 днях в месяц температура воздуха не опускается ниже минус 15 °С. В теплый период года наибольшие значения положительной температуры отмечаются летом. Ежемесячно летом в 23-25 днях температура воздуха изменяется в диапазоне 20-30 °С, а в 2-8 днях превышает 30 °С, достигая экстремальной температуры в июле (рис. 29).

Сезонное и годовое распределение температуры воздуха по территории ЗКР за период 1961-2023 гг. представлено на рисунке 34. Общей особенностью можно отметить повышение температуры с северо-востока региона на юго-запад.

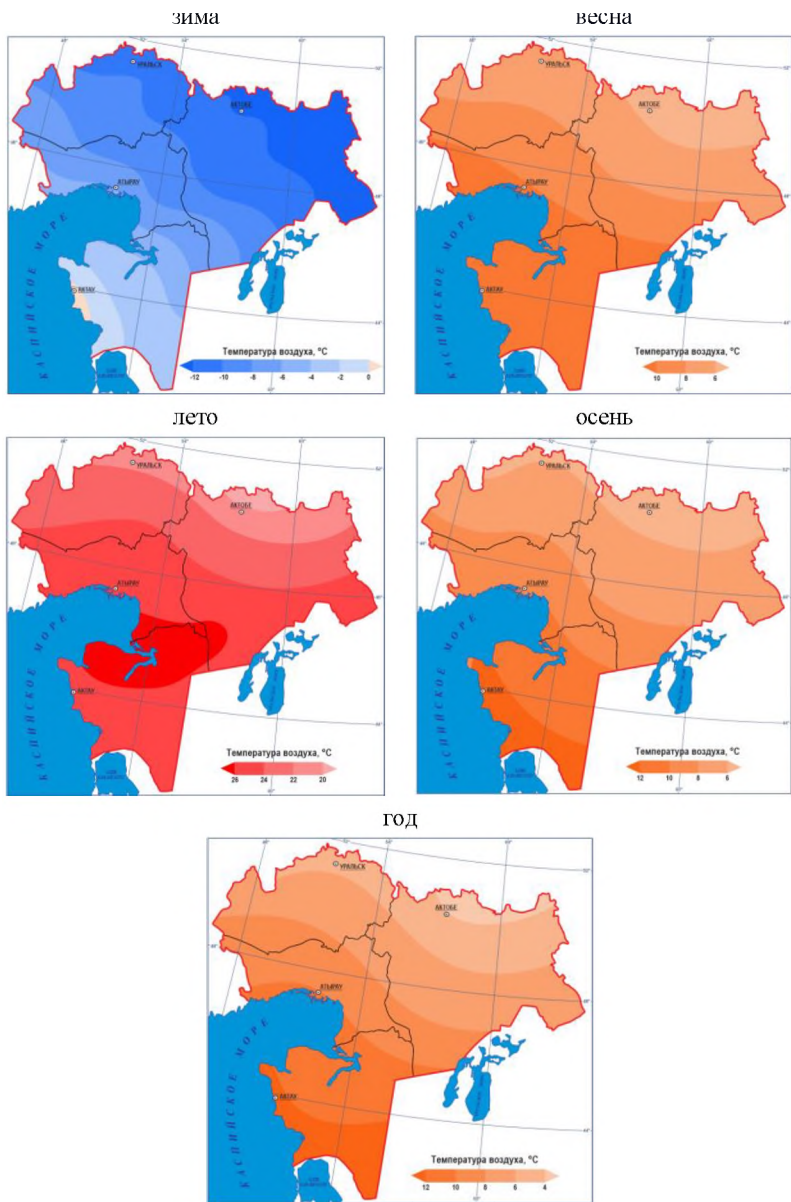


Рисунок 34. Сезонное и годовое распределение температуры воздуха по территории ЗКР за период 1961-2023 гг.

Зимой низкие температуры воздуха зафиксированы в степной зоне, т.е. на северо-востоке ЗКР, здесь среднемесячная температура сезона опускается ниже минус 12 °С (МС Карабутақ – минус 13,9 °С).

Каспийское море зимой оказывает обогревающее действие. Вблизи северной акватории моря температура воздуха повышается в 1,5-2 раза по сравнению с материковой территорией, а на юге зафиксированы положительные температуры (МС Актау – 0,1 °С). Весной наблюдается нарастание температуры, диапазон изменения составляет 4,8-11,5 °С. Аналогично зиме, наименьшие значения зафиксированы на севере и северо-востоке Актюбинской области (ниже 6 °С). С продвижением на юго-запад температура возрастает, и на территории Мангистауской области в среднем за сезон составляет более 10 °С с наибольшими значениями на МС Форт-Шевченко, МС Актау, МС Туйшибек (рис. 34).

Максимальные температуры воздуха зафиксированы на территории ЗКР летом. На большей территории региона температура выше 24 °С, а именно на крайнем юге ЗКО, южных районах Актюбинской, Атырауской и Мангистауской областей. Выделяется очаг с температурой более 26 °С, который охватывает крайний юг Атырауской и Актюбинской областей и северные территории Мангистауской области – зона пустынь.

К осени температура постепенно понижается и достигает значений 3,8-6,0 °С на крайнем севере региона, в центральной части – 6-8 °С, а на юге – 10-13,3 °С. Осеннее распределение температуры воздуха повторяет ход температуры весной, но отмечается более плавный переход в южной части ЗКР.

Распределение температуры воздуха в среднем за год аналогично осеннему распределению. При сопоставлении термического режима областей ЗКР можно заметить, что Актюбинская область отличается резкими зимними холодами (суровая зима), но летом средние температуры остаются умеренными (лето умеренно жаркое). Западно-Казахстанская область имеет схожий климат с Актюбинской областью, но более мягкую зиму. Наибольшие температурные контрасты наблюдаются в Актюбинской и Западно-Казахстанской областях. Атырауская область теплее Актюбинской, а Мангистауская область самая теплая в

регионе, с мягкими зимами и самыми высокими летними температурами (лето здесь очень жаркое). Таким образом, на термический режим ЗКР в большей степени влияют приток солнечной радиации, особенности рельефа и близость к морю.

2.5. Режим атмосферных осадков

Разнообразие климатических и орографических условий ЗКР предопределяет неравномерное распределение осадков по его территории.

На территории ЗКР в среднем за год выпадает 213 мм осадков. За период 1961-2023 гг. годовое количество осадков изменялось от 134 мм в 1996 г. до 327 мм в 2016 г. В годовом распределении осадков имеется тенденция их уменьшения к югу. Наибольшее количество осадков отмечается на крайнем севере ЗКР (более 300 мм). В отдельные годы годовая сумма может превышать среднее значение в 1,5-2 раза, например, на МС Каменка в 2023 г. выпало 577 мм, а на МС Кок-Истек в 1992 г. Зафиксировано 559 мм осадков. На большей территории Актюбинской и Западно-Казахстанской областей в среднем за год выпадает 200-300 мм осадков. В Атырауской области годовые осадки не превышают 200 мм. В Мангистауской области осадков выпадает менее 150 мм, за исключением полосы в направлении МС Кызан – МС Тушибек – МС Актау, где осадки достигают 170 мм (рис. 35). В 2021 г. зафиксированы наименьшие годовые суммы осадков на МС Форт-Шевченко (43 мм) и МС Бейнеу (46 мм).

Наибольшее среднее количество осадков (128 мм) выпадает в теплый период года (апрель-октябрь), изменяясь с течением времени от 58 мм в 1972 г. до 216 мм в 2003 г. (рис. 36). Распределение осадков теплого периода года повторяет годовое их распределение (рис. 35). На севере ЗКР суммы осадков с апреля по октябрь составляют более 160 мм, уменьшаясь к югу до 60-85 мм. Максимальные суммы осадков за теплый период зарегистрированы на МС Кок-Истек в 2003 г. (421 мм) и на МС Каменка в 2023 г. (395 мм), минимальные – на МС Кызан в 1972 г. (11 мм), МС Бейнеу в 2021 г. (14 мм) и на МС Сам в 1975 г. (15 мм).

На холодный период приходится 40 % годовых осадков – в среднем 85 мм (рис. 36). С ноября по март наименьшее количество осадков отмечалось в 1984 г. и составило 48 мм, а наибольшее в 2016 г. – 138 мм. На юге ЗКР в холодный период выпадает менее 50 мм, увеличиваясь к северу до 100-150 мм (рис. 35). В отдельные годы суммы осадков холодного периода года могут возрастать (282 мм в 1963 г. на МС Уральск, 279 мм в 2016 г. на МС Актобе) или понижаться (3 мм в 1976 г на МС Сам, 7 мм в 1977 г на МС Форт-Шевченко) относительно среднего значения.

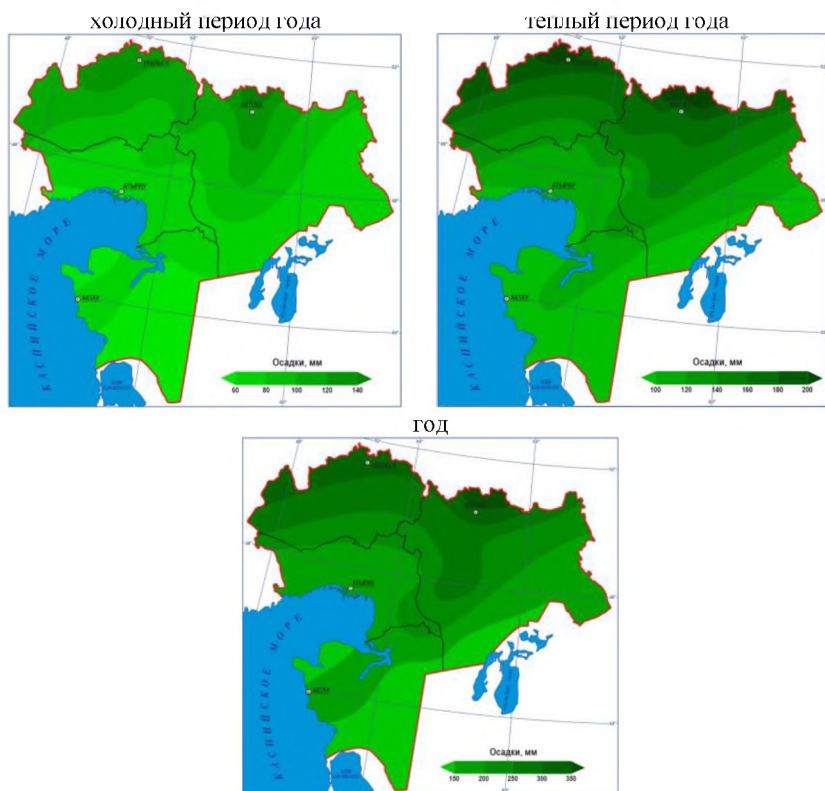


Рисунок 35. Распределение атмосферных осадков за холодный и теплый периоды и за год по территории ЗКР

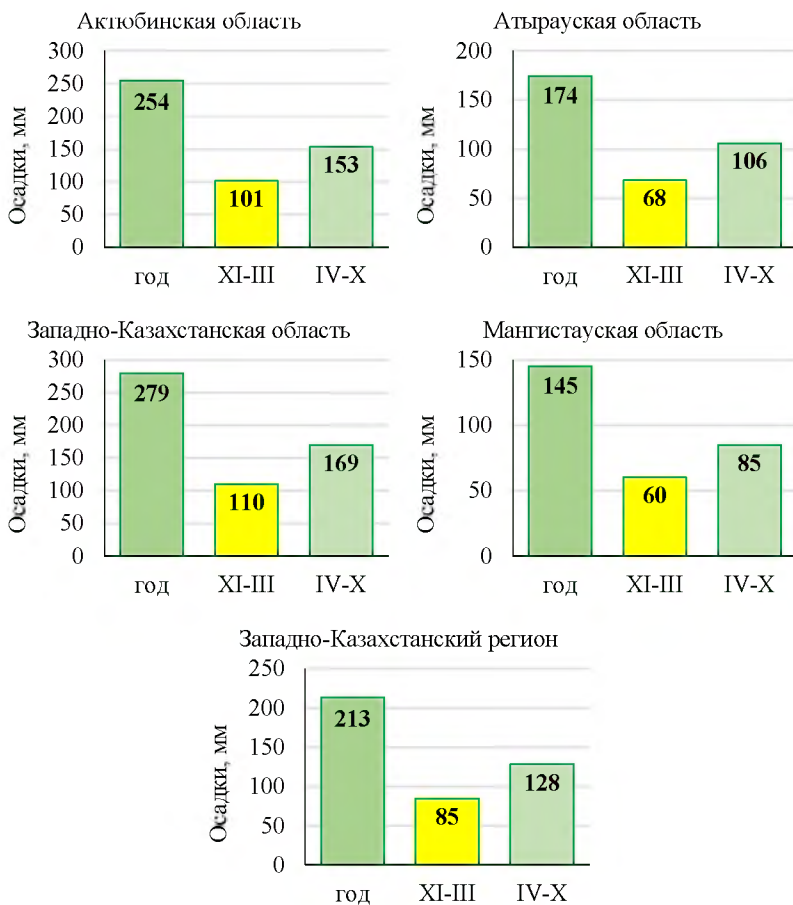


Рисунок 36. Количество осадков за год и холодный и теплый периоды (1961-2023 гг.)

Средняя месячная сумма осадков в ЗКР составляет 13-21 мм, причем в мае, июне, октябре и ноябре осадков выпадает более 20 мм (табл. 10). Максимальные месячные суммы осадков на территории ЗКР составили более 200 мм и зафиксированы в ЗКО в январе 1974 г. на МС Уральск (205 мм) и в июле 2023 г. на МС Каменка (203 мм).

Таблица 10. Среднее и экстремальное количества осадков по областям ЗКР за период 1961-2023 гг.

Регион	Температура	Месяцы												Год	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
Актюбинская область	средняя	19	16	20	23	25	23	24	16	16	25	24	23	254	
	минимальная	<u>0,0</u> 1969	<u>0,0</u> 2012	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1975	<u>0,0</u> 1975	<u>0,0</u> 2010	<u>0,0</u> 1967	<u>0,0</u> 2021	<u>0,0</u> 1971	<u>0,0</u> 1974	<u>0,0</u> 2005	<u>0,0</u> 1976		
	максимальная	81 1972	75 1998	108 2016	132 1981	118 2022	150 2003	154 2003	118 1981	124 1973	104 2017	103 2001	103 1995		
Атырауская область	средняя	12	11	14	16	20	16	14	11	12	16	17	15	174	
	минимальная	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1984	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1964	<u>0,0</u> 1975	<u>0,0</u> 1998	<u>0,0</u> 1975	<u>0,0</u> 1972	<u>0,0</u> 1964	<u>0,0</u> 1974	<u>0,0</u> 1966	<u>0,0</u> 1984		
	максимальная	67 2016	63 1985	56 1997	76 2007	113 2016	101 2003	81 1973	83 1970	76 1969	88 2005	63 2007	62 2004		
Западно-Казахстанская область	средняя	22	18	19	21	24	29	27	19	22	27	26	25	279	
	минимальная	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1984	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1986	<u>0,0</u> 1961	<u>0,0</u> 1981	<u>0,0</u> 2017	<u>0,0</u> 1972	<u>0,0</u> 1994	<u>0,0</u> 1987	<u>0,0</u> 2019	<u>0,0</u> 1976		
	максимальная	205 1974	76 1979	72 2021	129 1991	135 2003	129 1984	203 2023	106 1993	109 2016	95 2001	96 2023	76 1995		
Мангистауская область	средняя	10	9	15	17	17	13	11	6	9	11	14	13	145	
	минимальная	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1974	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1986	<u>0,0</u> 1972	<u>0,0</u> 1972	<u>0,0</u> 1962	<u>0,0</u> 1972	<u>0,0</u> 1964	<u>0,0</u> 1972	<u>0,0</u> 1964	<u>0,0</u> 2010		
	максимальная	49 2002	45 1983	71 1975	117 1973	192 1991	103 1963	97 1961	82 2011	101 1969	62 1977	65 1967	79 1972		
Западно-Казахстанский регион	средняя	16	13	17	19	21	21	19	13	15	20	20	19	213	
	минимальная	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1984	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1986	<u>0,0</u> 1975	<u>0,0</u> 2010	<u>0,0</u> 1962	<u>0,0</u> 1972	<u>0,0</u> 1964	<u>0,0</u> 1974	<u>0,0</u> 1966	<u>0,0</u> 1976		
	максимальная	205 1974	76 1979	108 2016	132 1981	192 1991	150 2003	203 2023	118 1981	124 1973	104 2017	103 2001	103 1995		

Примечание: числитель – количество осадков, мм; знаменатель – год экстремальных осадков.

Таблица 11. Среднее число дней с осадками различной величины

Область	Осадки, мм							
	$\geq 0,1$	$\geq 0,5$	$\geq 1,0$	$\geq 2,0$	$\geq 5,0$	$\geq 10,0$	$\geq 20,0$	$\geq 30,0$
Актюбинская	81,1	60,4	45,8	30,2	11,9	3,8	0,6	0,2
Атырауская	69,8	51,7	38,2	25,0	9,8	3,1	0,7	0,2
Западно-Казахстанская	93,4	69,8	53,2	35,5	14,3	4,6	0,9	0,3
Мангистауская	47,7	35,7	26,5	16,6	7,2	2,5	0,6	0,2
ЗКР	73,0	54,4	40,9	26,8	10,8	3,5	0,7	0,2

Среднее число дней с осадками $\geq 0,1$ мм ЗКР изменяется от 3,8-5,2 в теплый период года до 6,1-9,1 в холодный период. Годовое среднее число дней с осадками $\geq 0,1$ мм составляет 73 (табл. 11). Среднее число дней с осадками $\geq 1,0$ мм колеблется от 2,4 до 4,3 с максимумом в декабре и минимумом в августе, не превышая за год 40,9 дней. Число дней с осадками $\geq 10,0$ мм за год составляет 3,5, максимум приходится на апрель-июль и сентябрь (0,4-0,5 дня).

Среднее число дней с осадками $\geq 20,0$ мм не превышает 0,1 дня в месяц для ЗКР и не наблюдается зимой (рис. 37). Летом может выпасть осадков более 30 мм продолжительностью 0,1 дня в месяц. Количество дней с осадками более 20 мм для территории ЗКР не превышает 1 дня за год.

Так как на территории региона четыре климатические зоны, то распределение осадков по областям имеет свои особенности (приложение Б). Годовое количество осадков в Актюбинской и Западно-Казахстанской областях превышает 200 мм, в Атырауской и Мангистауской областях не превышает 180 мм. Для всех областей ЗКР наибольшее количество осадков выпадает в теплый период и составляет 59-61 % годовой суммы (рис. 36).

В Актюбинской области в среднем за год выпадает 254 мм осадков. Месячные суммы осадков составляю 16-25 мм с минимумом в феврале, августе, сентябре и максимумом в мае и октябре (табл. 10). Максимальная сумма осадков за период 1961-2023 гг. зафиксирована в июле 2003 г. на МС Кок-Истек – 154 мм.

В Актюбинской области среднее число дней с осадками за год составляет 234, чаще выпадают осадки $\geq 0,1$ мм (81,1 день), реже – более 20 мм (табл. 11). Среднее число дней с осадками $\geq 0,1$ мм

изменяется от 4,0-5,7 в теплый период года до 7,1-10,1 в холодный период. Осадки $\geq 1,0$ мм выпадают в среднем 2,5-4,9 дней в месяц с максимумом в декабре. В 93 % случаев среднее число дней с осадками – менее 2 мм (рис. 37).

На территории Западно-Казахстанской области выпадает за год наибольшее количество осадков – 279 мм (рис. 36). В месяц выпадает в среднем 18-29 мм, причем лишь в феврале, марте, августе отмечается осадков менее 20 мм (табл. 10).

Максимальная месячная сумма осадков на территории ЗКО зафиксирована в январе 1974 г. (205 мм – МС Уральск) и в июле 2023 г. (203 мм – МС Каменка).

В среднем за год на территории ЗКО осадки выпадают в 272 днях, что составляет 75 % от общего числа дней в году. Среднее число дней с осадками $\geq 0,1$ мм за год составляет 93,4 дня, при этом изменяясь от 5,5-6,9 дней в теплый период года до 7,8-11,8 дней в холодный (рис. 37). Среднее число дней с осадками $\geq 1,0$ мм колеблется от 3,7-3,9 дней весной до 5,0-5,8 дней во второй половине осени и зимой с максимумом в декабре, за год отмечается 53,2 дня. Осадки более 5 мм наблюдаются в среднем в 20,1 днях в году. В период с марта по октябрь зафиксированы осадки $\geq 30,0$ мм с максимумом летом (табл. 11).

Территории Атырауской и Мангистауской областей относятся к пустынной зоне, непосредственно прилегающей к Каспийскому морю. Годовая сумма осадков за 1961-2023 гг. в среднем составляет 174 мм и 145 мм соответственно (рис. 36).

Месячные суммы осадков в Атырауской области изменяются от 11 мм до 20 мм, с максимумом в мае (табл. 10). Максимальная сумма осадков зафиксирована в мае 2016 г. на МС Сагиз – 113 мм. В теплый период года наибольшие суммы осадков могут составить 76-101 мм, а в холодный – 56-67 мм.

В Атырауской области в 198,5 днях зафиксированы осадки в среднем за год. В 35 % случаев выпадают осадки $\geq 0,1$ мм с минимумом в теплый период (3,6-5 дней) и максимумом в холодный (5,7-8,9 дней). Аналогичная тенденция отмечается в распределении среднего числа дней с осадками $\geq 1,0$ мм. Минимальное число (2,2-2,7 дней) зафиксировано в июле-сентябре, максимальное (3,9-4,0 дня) – в ноябре-январе. Число дней с осадками более 10 мм составляет 4,0 дня в год, с максимумом летом (рис. 37, табл. 11).

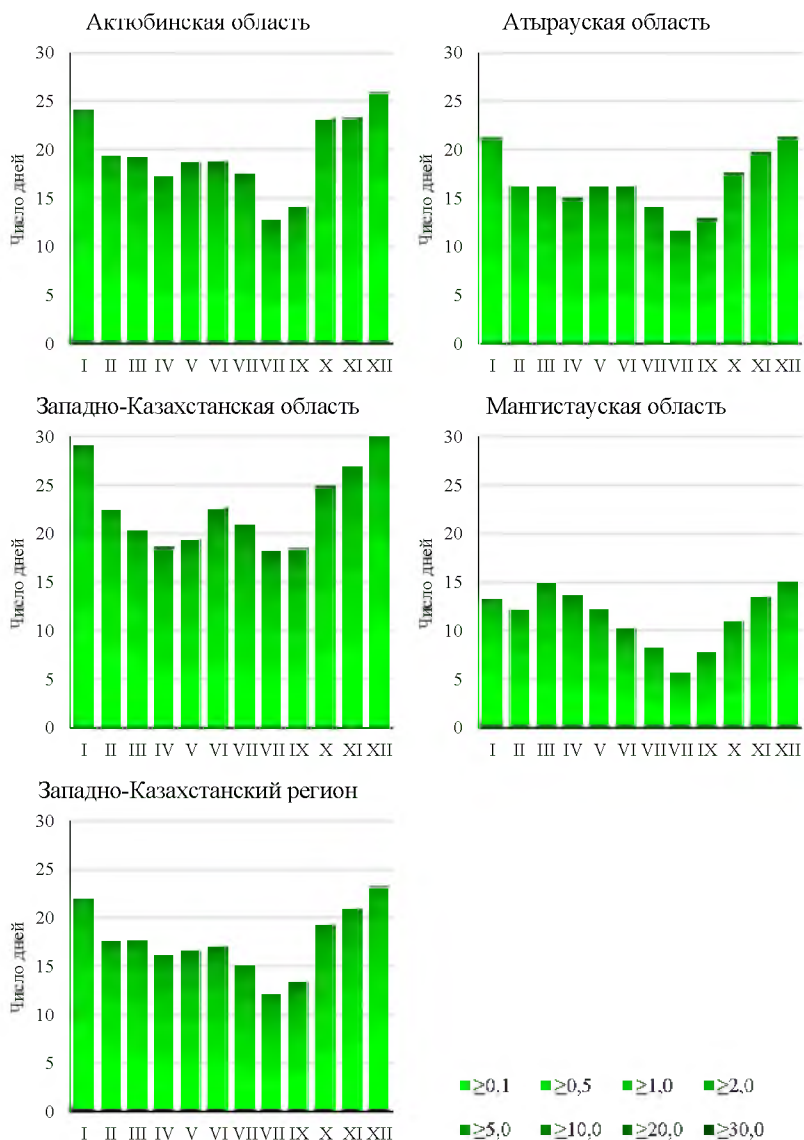


Рисунок 37. Среднее число дней с осадками разной величины для областей ЗКР за период 1961-2023 гг.

В Мангистауской области месячные суммы осадков изменяются от 6 мм до 17 мм с максимумом в апреле и мае (табл. 10). В большинстве месяцев сумма осадков – более 10 мм, однако в январе, феврале, августе и сентябре – менее 10 мм. Максимальная сумма осадков зафиксирована в мае 1991 г. на МС Тушибек – 192 мм. В теплый период года наибольшие суммы осадков могут достигать 82-116 мм, а в холодный – 45-79 мм.

Среднее число дней с осадками $\geq 0,1$ мм изменяется от 1,9-4,2 в теплый период года до 3,6-5,9 в холодный период (рис. 37). Годовое среднее число дней с осадками $\geq 0,1$ мм составляет 47,7 (табл. 11). Среднее число дней с осадками $\geq 1,0$ мм колеблется от 1,1 до 3,0 за год, не превышая 26,5 дней, с максимумом в марте и минимумом в августе. Число дней с осадками $\geq 10,0$ мм за год равно 2,5, максимум приходится на весну (0,3-0,4 дня). Среднее число дней с осадками $\geq 20,0$ мм не превышает 0,1 дня в месяц с максимумом с апреля по июнь. Среднее число дней с осадками $\geq 30,0$ мм составляет 0,2 в год с наибольшим значением 0,06 в апреле, октябре и декабре. Количество дней с осадками более 20 мм для территории Мангистауской области не превышает 0,8 дня за год.

Сезонное распределение осадков по территории ЗКР за период 1961-2023 гг. представлено на рисунке 38. Так же как и в годовом распределении осадков, здесь прослеживается общая тенденция их увеличения с юга на север во все сезоны года.

Зимой диапазон изменения сумм осадков на территории ЗКР колеблется от 21 мм (МС Кулалы) до 84 мм (МС Родниковка, МС Кок-Иstek). В Актюбинской области выпадает в среднем за зиму 31-84 мм осадков. В пустынной зоне количество осадков не превышает 40 мм, минимальное значение 7,8 мм зафиксировано зимой 1968-1969 гг. на МС Аяккум. Наибольшее количество осадков выпадает в степной зоне области – 65-84 мм. Максимальные суммы осадков отмечались на МС Мартук зимой 2015-2016 гг. – 162 мм и на МС Новоалексеевка в 1991-1992 гг. – 157 мм. В ЗКО сумма осадков изменяется от 48 мм (МС Тайпак) до 76 мм (МС Уральск). Экстремальные суммы осадков зафиксированы на МС Уральск – зима 1973-1974 гг. 241 мм и 11-12 мм в 2008-2009 гг. на МС Каратобе и МС Джамбейты соответственно. Так, суммы осадков в Атырауской области имеют меньший диапазон изменения – от 28 мм на МС Ганюшкино до

45 мм на МС Карабатау. На МС Пешной за период 1961-2023 гг. отмечались экстремальные осадки. Так, зимой 2015-2016 гг. выпало максимальное количество осадков по области – 116 мм, а минимальное зафиксировано зимой 1968-1969 гг. – 7 мм. Зимние осадки Мангистауской области в среднем изменяются от 21 мм (МС Кулалы) до 46 мм (МС Актау).

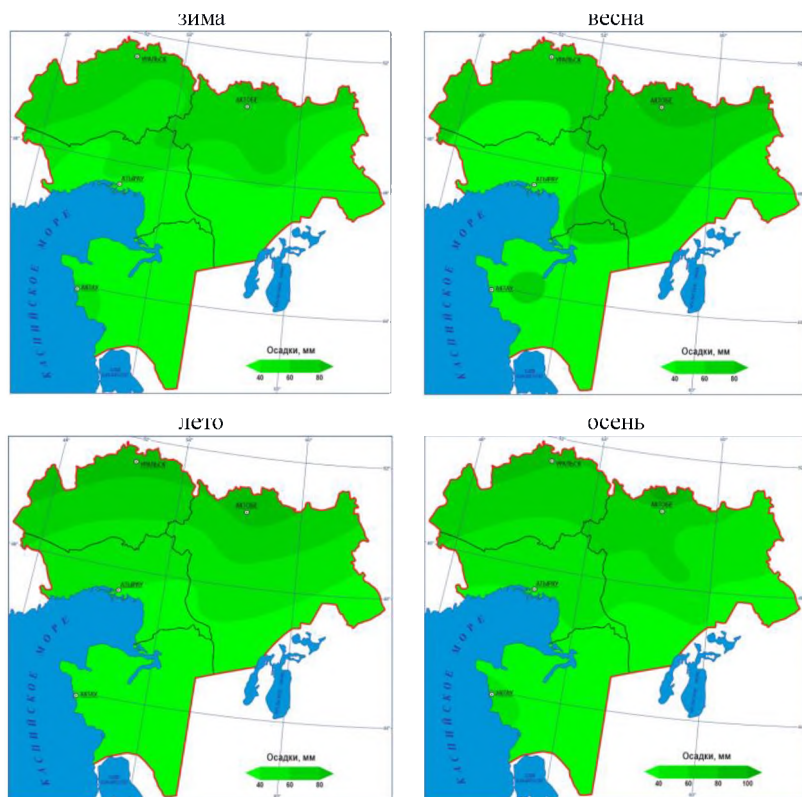


Рисунок 38. Сезонное и годовое распределение атмосферных осадков по территории ЗКР за период 1961-2023 гг.

Максимальные суммы осадков в Мангистауской области зафиксированы зимой 2015-2016 гг. на МС Атырау и составили 110 мм, минимальные суммы наблюдались зимой 1979-1980 гг. на МС Кызан – 3,4 мм.

Весной количество осадков на территории ЗКР выпадает несколько больше, чем зимой. Выделяется очаг осадков более 80 мм на севере Актюбинской области (95 мм на МС Родниковка), в центральной и северо-западной частях региона выпадает 60-80 мм (рис. 38), а на большей части – 40-60 мм (минимальное среднее значение – 37 мм МС Кулалы). В Актюбинской области отмечается наибольший размах изменения осадков – от 48 мм на МС Нура до 95 мм на МС Кок-Истек. Причем на большей территории области выпадает 60-80 мм, лишь на крайнем севере весенние осадки составляют 80-95 мм. Западные, юго-западные и южные районы области имеют наименьшее количество осадков за сезон – менее 60 мм. Экстремальные максимальные осадки – 197 мм – наблюдались в 2016 г. на МС Новоалексеевка, а минимальные – 3 мм – в 2021 г. на МС Иргиз. Интервал весенних сумм осадков ЗКО приблизительно такой же, как зимой, – от 51 мм (МС Тайпак) до 73 мм (МС Жаныбек), однако увеличилась территория с большим количеством осадков (более 60 мм), только на юге ЗКО имеется ареал с осадками менее 60 мм за сезон. Для данной области также можно представить экстремальные сезонные осадки: максимальное количество осадков зафиксировано в 1991 г. на МС Урда – 159 мм или в 1964 г. на МС Аксай – 153 мм, минимальные осадки выпали в 1985 г. на МС Тайпак – 6 мм. Весной в Атырауской и Мангистауской областях выпадает осадков менее 60 мм, но имеются ареалы на северо-востоке областей, юго-востоке Атырауской области и локальный очаг в районе МС Тушибек, где осадков более 60 мм. Амплитуда весенних осадков для Прикаспийских областей составляет в Атырауской области 19 мм (42-61 мм, соответственно на МС Ганюшкино и МС Сагиз), а в Мангистауской области – 27 мм (38-65 мм, на МС Кугалы и МС Тушибек соответственно). В областях максимальные сезонные осадки зафиксированы на МС Сагиз в 2016 г. – 199 мм и на МС Тушибек в 1991 г. – 281 мм, минимальные осадки за сезон отмечены на МС Карабатау в 1986 г. – 3,3 мм и на МС Форт-Шевченко в 1977 г. – 1 мм.

Суммы летних осадков в ЗКР меняются от 22 мм на МС Кулалы до 98 мм на МС Мартук, прослеживается широтное распределение осадков, убывающее с севера на юг (рис. 38). На территорию Актюбинской области за сезон выпадает в среднем

40-80 мм. На крайнем севере области имеется ареал с осадками более 80 мм (максимальное сезонное количество осадков в 266 мм наблюдалось на МС Ильинский в 2003 г.), а на юге и юго-востоке зона осадков – менее 40 мм (с минимальными суммами осадков в 1,1 мм на МС Аяккум в 1976 г.). Распределение сезонных осадков в ЗКО аналогично их распределению в Актыобинской области с размахом от 49 мм на МС Тайпак до 95 мм на МС Уральск. В 2023 г. на МС Каменка зафиксирована наибольшая сумма летних осадков за период 1961-2023 гг., которая составляет 286 мм, наименьшая сумма наблюдалась в 1972 г. на МС Тайпак – в 2,6 мм. Большая территория Атырауской области за лето получает более 40 мм осадков, с наибольшей суммой 48 мм на МС Новый Уштоган, лишь на юго-востоке области осадков выпадает менее 40 мм – МС Пешной (28 мм). Экстремальные осадки наблюдались: максимальные – 147 мм на МС Ганюшкино в 1981 г., 137 мм в 1974 г. на МС Атырау; минимальные – 1,1 мм в 1975 г. на МС Атырау, 1,2 мм в 1972 г. на МС Пешной. Летом в Мангистауской области осадков более 40 мм не наблюдается (22-38 мм, МС Кулалы и МС Кызан соответственно). Однако на МС Кулалы зафиксированы экстремальные летние осадки: наибольшее количество – 147 мм в 1963 г., наименьшее – 0,0 мм в 1977 г.

Осенью суммы осадков ЗКР колеблются в диапазоне от 29 мм (МС Кугалы, МС Бейнеу) до 104 мм (МС Родниковка), картина распределения осадков повторяет летнее распределение осадков. Практически вся территория Актыобинской области получает от 40 мм до 80 мм осадков за осенние месяцы, однако на юге и юго-востоке области отмечаются районы с осадками менее 40 мм, на МС Аяккум в 2005 г. зафиксировано наименьшее осеннее количество осадков – 7 мм. На крайнем севере области осадки превышают 100 мм (104 мм на МС Родниковка), наибольшая сумма осадков – 221 мм наблюдалась на данной метеостанции в 2001 г. Для ЗКО характерно изменение осадков от 67 мм (МС Каратобе) до 92 мм (МС Уральск). На большей территории области осадков выпадает в диапазоне 60-80 мм, однако на севере и юге области имеются полосы с осадками выше и ниже этого интервала. Максимальная за сезон сумма осадков 180 мм зарегистрирована на МС Каменка в 1973 г., а минимальная – 14 мм

выпала в 2014 г. на МС Чапаево. В Атырауской и Мангистауской областях амплитуда изменения сезонных осадков составляет 12 мм. Так, в Атырауской области минимальное значение (39 мм) зафиксировано на МС Ганюшкино, а максимальное (51 мм) – на МС Новый Уштоган. Экстремальные суммы осадков наблюдались на МС Пешной в 1991 г. (2,7 мм) и на МС Сагиз в 1969 г. (129 мм). Среднее сезонное количество осадков в Мангистауской области изменяется от 30 мм на МС Кулалы до 42 мм на МС Актау, с экстремальными значениями: 1 мм в 2012 г. на МС Форт-Шевченко и 135 мм на МС Куланы в 1969 г.

Распределение осадков по территории ЗКР в большей степени определяется циркуляционными условиями и рельефом местности.

2.6. Режим ветра

Ветер играет важную роль в различных отраслях экономики и деятельности человека. В ряде случаев он может значительно пополнить местные природные энергетические ресурсы, особенно в пустынных и степных районах ЗКР. Чтобы эффективно использовать полезную энергию ветра и максимально смягчить его вредное влияние, необходимо учитывать особенности ветрового режима, метеорологические условия его возникновения и иметь возможность прогноза ветер в различных регионах с разной заблаговременностью [236].

Ветер возникает в результате неравномерного распределения атмосферного давления. Из-за постоянных изменений давления во времени и пространстве скорость и направление ветра так же постоянно меняются. Таким образом, режим ветра определяется барико-циркуляционными условиями.

В среднем за год на территории ЗКР господствует восточный ветер с повторяемостью 17 %, с меньшей повторяемостью (15 %) дует юго-восточный ветер (рис. 39). Повторяемость остальных румбов составляет 10-13 %. В среднем за год повторяемость штиля равна 15 %.

Направление ветра отличается в зависимости от времени года. Так, в холодный период года восточный и юго-восточный

ветры имеют наибольшую повторяемость – 21 % и 18 % соответственно. Наименьшая повторяемость у северного и северо-восточного ветров (8-9 %). В теплое время года на территории ЗКР доминирует также восточный ветер (15 %), но его повторяемость несколько ниже, чем в холодный период. Низкую повторяемость имеют южный и юго-западный ветры (9-10 %). Повторяемость ветра по остальным румбам составляет 12-14 % (рис. 39).

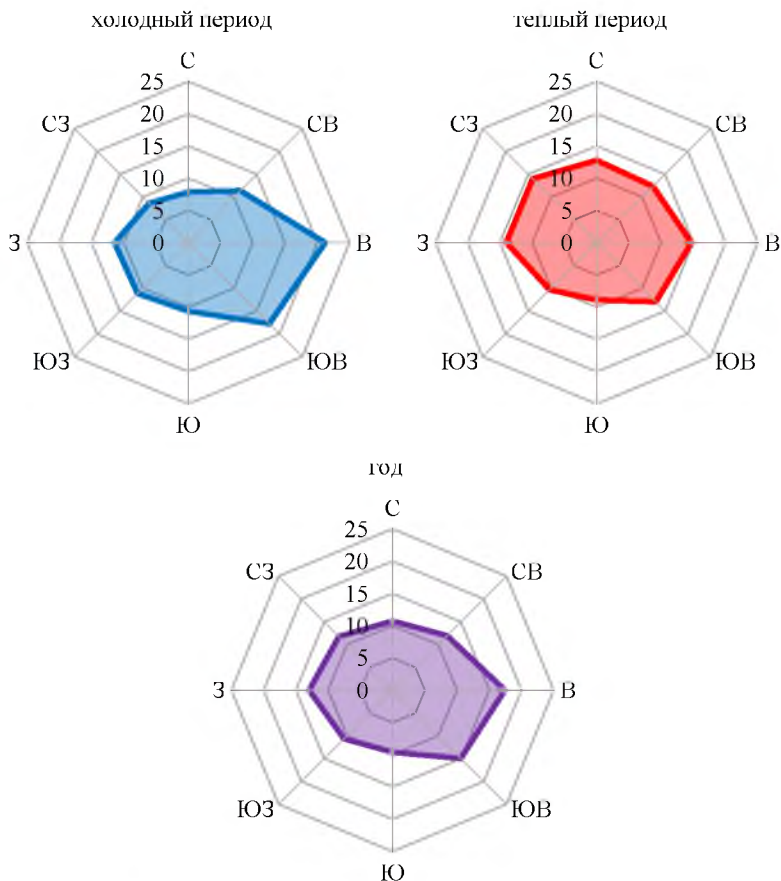


Рисунок 39. Повторяемость направления ветра (%) за год, холодный и теплый периоды для ЗКР

Сезонная и годовая повторяемость направления ветра по областям ЗКР представлена в таблице 12. Согласно данным таблицы 12, восточный ветер является доминирующим зимой и весной для всех областей ЗКР. Его повторяемость зимой составляет 16-27 %, при этом в Актюбинской и Западно-Казахстанской областях отмечается более низкая повторяемость – 16 % и 18 % соответственно, а в Прикаспийских областях повторяемость возрастает до 22-27 % (табл. 12). В связи с обширной территорией Актюбинской области зимой наряду с восточным ветром также господствует ветер с южной составляющей (15-16 %).

Весной повторяемость восточного ветра (18-23 %) несколько выше, чем зимой. Исключение зафиксировано в Мангистауской области, где повторяемость восточного ветра понизилась до 23 %. Летом чаще дует северо-западный ветер, повторяемость которого изменяется от 15-16 % в Атырауской и Западно-Казахстанской областях до 18 % в Актюбинской и Мангистауской областях. Наряду с северо-западным ветром, в ЗКО и Мангистауской области наибольшую повторяемость имеет северный ветер, а в Атырауской области – западный ветер. Осенью наибольшая повторяемость приходится на западный ветер в Актюбинской (17 %) и Западно-Казахстанской (16 %) областях. Несколько чаще в Атырауской (18 %) и Мангистауской (21 %) областях дует юго-восточный ветер. В Мангистауской области с аналогичной повторяемостью (21 %) господствует восточный ветер. В течение года восточный ветер доминирует над ветром других румбов для всех областей ЗКР (табл. 12).

Средняя месячная скорость ветра ЗКР изменяется от 3,3-3,4 м/с в июле-сентябре до 4,0-4,4 м/с зимой (рис. 40). Средняя годовая скорость ветра составляет 3,9 м/с. Наибольшая средняя скорость ветра – 4,5 м/с наблюдается в Мангистауской области, а с меньшей силой ветер дует в Актюбинской и Западно-Казахстанской областях – 3,5 м/с (табл. 13).

Максимальные скорости ветра ЗКР изменяются в диапазоне от 24 м/с до 44 м/с, наибольшие значения отмечаются в переходные периоды года. Порывы ветра могут достигать 40 м/с и более. В Актюбинской области зафиксированы наибольшие максимальные скорости ветра, а также его порывы. В Атырауской области максимальные ветры ослабевают до 18-29 м/с.

Таблица 12. Сезонная и годовая повторяемость направления ветра по областям Западно-Казахстанского региона

Сезон	Румбы							Штиль	
	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
Актюбинская область									
зима	7	12	16	15	16	16	12	7	18
весна	11	15	18	13	11	10	12	11	17
лето	15	14	13	9	8	8	15	18	19
осень	8	9	12	13	13	14	17	12	19
год	10	13	15	13	12	12	14	12	18
Атырауская область									
зима	7	10	22	19	9	12	12	9	9
весна	9	13	23	17	8	10	10	9	10
лето	13	13	11	10	8	14	15	15	14
осень	9	10	16	18	9	12	14	12	13
год	10	11	18	16	8	12	13	11	11
Западно-Казахстанская область									
зима	7	10	18	17	15	15	12	8	13
весна	10	14	20	15	10	11	11	9	14
лето	16	14	13	9	8	9	15	16	17
осень	9	9	13	15	14	15	16	11	17
год	11	12	16	14	12	12	13	11	15
Мангистауская область									
зима	9	11	27	22	6	5	10	10	16
весна	11	13	23	17	7	7	11	11	15
лето	18	14	13	10	6	7	15	18	19
осень	12	11	21	21	7	5	10	13	18
год	12	12	21	18	7	6	12	13	17
Западно-Казахстанский регион									
зима	7	11	21	18	11	12	12	8	14
весна	10	14	21	16	9	9	11	10	14
лето	16	14	12	10	7	10	15	17	17
осень	10	10	16	17	11	12	14	12	17
год	11	12	17	15	10	11	13	12	15

Таблица 13. Характеристики скорости ветра (м/с) по областям ЗКР

Скорость ветра	Месяц												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Актюбинская область													
средняя	3,9	4,0	4,0	3,9	3,5	3,4	3,1	3,0	3,1	3,4	3,6	3,6	3,5
максимальная	38	36	36	36	28	34	25	30	34	24	34	44	44
порыв	40	40	40	40	34	40	38	40	40	32	40	48	48
Атырауская область													
средняя	4,3	4,5	4,5	4,5	3,9	3,7	3,4	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1	3,9
максимальная	22	26	22	29	24	22	20	20	18	22	20	20	29
порыв	30	34	24	34	27	28	24	24	30	24	25	28	34
Западно-Казахстанская область													
средняя	3,9	4,0	3,9	3,8	3,3	3,2	2,9	2,8	3,1	3,3	3,5	3,7	3,5
максимальная	28	28	25	24	27	25	24	20	25	24	28	28	28
порыв	34	34	30	34	31	34	30	28	30	28	34	34	34
Мангистауская область													
средняя	4,7	5,0	5,0	4,9	4,3	4,1	3,9	4,0	4,1	4,4	4,7	4,6	4,5
максимальная	24	30	28	34	28	34	28	24	28	24	28	30	34
порыв	28	34	40	40	34	40	34	28	34	30	45	34	45
Западно-Казахстанский регион													
средняя	4,2	4,4	4,3	4,3	3,8	3,6	3,4	3,3	3,4	3,7	3,9	4,0	3,9
максимальная	38	36	36	36	28	34	28	30	34	24	34	44	44
порыв	40	40	40	40	34	40	38	40	40	32	45	48	48

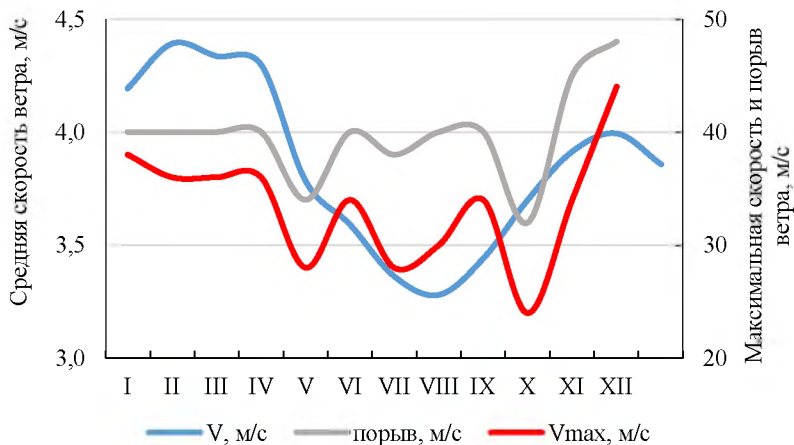


Рисунок 40. Годовой ход средней (V , м/с) и максимальной ($V_{\max}$, м/с) скоростей, порыва ветра ЗКР

По данным ТОО «Расчетно-финансовый центр по поддержке ВИЭ», суммарная установленная мощность объектов по использованию энергии ветра для территории ЗКР составляет 312,85 МВт (табл. 14). Актыбинская область лидирует по установленной мощности объектов, что соответствует природному (ветровому) потенциалу области. Согласно исследованиям, для развития ВИЭ область подходит лишь частично. Оптимальные условия для установки ВЭС характерны для нескольких районов, в том числе Мартукский и Каргалинский [237].

В настоящее время в области функционируют 3 ВЭС и ведется строительство станции мощностью 50 МВт в Мугалжарском районе.

Таблица 14. Суммарная установленная мощность объектов по использованию энергии ветра на 2022 г. (<https://rfc.kz/ru/res-sector/>)

Область	Суммарная установленная мощность, МВт	Доля в общей установленной мощности в РК, %
Актыбинская	146,45	4,8
Атырауская	52,80	1,7
Западно-Казахстанская	-	-
Мангистауская	113,60	3,7

В декабре 2018 года в селе Бадамша Каргалинского района запущен проект «Wind Farm». Компании «Eni» и «GE Renewable Energy» приступили к строительству крупнейшей в западном Казахстане ветроэлектростанции (ВЭС) мощностью 48 мегаватт. Через местную дочернюю компанию ТОО «Arm Wind» итальянская компания «Eni» успешно завершила строительство Ветровой электрической станции «Бадамша» (высота башни – 85 м, диаметр ротора – 130 м). Ежегодно региону поставляется 198 гигаватт-час электроэнергии из возобновляемых источников, а также это ведет к сокращению выбросов углекислого газа на 172 тысячи тонн в год [237]. В конце 2019 г. ТОО «Arm Wind» приступило к реализации проекта по расширению ВЭС «Бадамша» мощностью 48 МВт. Электростанция «Бадамша-2» была введена в коммерческую эксплуатацию в сентябре 2021 года. Установленная мощность ВЭС «Бадамша-2» составляет 48 МВт, что равно установленной мощности ветровой электро-

станции «Бадамша-1», которая была введена в эксплуатацию в начале 2020 год. На сегодня ветровые турбины «Бадамша-2» являются крупнейшими из установленных в Казахстане по размеру. Так, диаметр ротора составляет 158 метров, высота оси – 101 метр, мощность – 4,8 МВт каждая. Планируется, что ветротурбогенераторы ежегодно будут вырабатывать электроэнергию до 200 ГВтч, что эквивалентно потреблению энергии примерно 37 000 домохозяйств и предотвращению выбросов 173 000 тонн углекислого газа в год [238].

В Мартукском районе, около посёлка Кенсахара в 2022 г. компанией ТОО «Желэнерго» размещена ветроустановка AN/BONUS 450/37 немецкого производства (общая высота – 35 метров, масса – 50,5 тонны, диаметр лопастей – 37 м, частота вращения – до 30 оборотов в мин.), вырабатывает 450 кВт энергии [237].

Китайская компания ТОО «Next Green Energy» в ноябре 2022 г. выиграла онлайн-аукцион на строительство ветровой электростанции мощностью 50 МВт в Мугалжарском районе Актюбинской области. Согласно постановлению правительства, проект должен быть реализован в течение 36 месяцев с момента заключения договора о строительстве (<https://sknews.kz/news/view/aukcion-na-stroitelystvo-vetrostancii-vyigrala-kitayskaya-kompaniya--minenergo-rk>).

В Мангистауской области, где отмечается наибольшая средняя месячная скорость ветра среди областей ЗКР, имеется 5 ветровых электрических станций с суммарной установленной мощностью 113,60 МВт (табл. 14).

В 2019 г. ТОО «БЕСТ-Групп НС» запустило ветровую электростанцию мощностью 5 МВт в селе Акшукур Тупкараганского района Мангистауской области. Объект состоит из трех ветроэнергетических установок: два ветрогенератора обладают мощностью 1,5 МВт и один – 2 МВт. Их роторы могут работать на ветре западного, северного и восточного направлений, что позволит вырабатывать от 7 млн до 13 млн кВт/ч в год (<https://www.inbusiness.kz/ru/last/v-mangistauskoj-oblasti-vvedena-v-ekspluataciyu-ves>).

В селе Жетыбай Каракиянского района в 2020 г. введены в эксплуатацию две электростанции: 1. ВЭС «Жетыбай», инвестор

– ТОО «ВЭС Сервис», мощность – 10 МВт/ч; 2. «ВЭС Жетыбай», инвестор – ТОО «ВЭС Жангиз», мощность – 5 МВт/ч.

ТОО «Совместное предприятие КТ «Редкометальная компания» реализовало совместно с ТОО «Компания «UNEXSTROY» проект «Ветряной электростанции мощностью 43,6 МВт в городе Форт-Шевченко Тупкараганского района Мангистауской области РК». Данный проект является сегодня одним из наиболее крупных проектов, реализовывавшихся в Мангистауской области по возобновляемым источникам энергии за последние 20 лет. Для населения региона и экологии в целом проект является значимым прежде всего как чистая/зеленая энергия, доля выбросов вредных веществ от работы данных ветровых электроустановок равна нулю (<https://www.unexstroy.kz/>).

В 2024 г. частная компания Chevron Direct Investment Fund Ltd. (CDIF) заключила инвестиционное соглашение с казахстанской энергетической компанией ТОО «СП «КТ Редкометальная компания» об объединении трёх ветроэлектростанций в Мангистауской области: ВЭС Форт-Шевченко, ВЭС Сервис и ВЭС Жангиз. Целью данной сделки является создание крупнейшей группы ветроэлектростанций в регионе с общей мощностью выработки электроэнергии 58,6 МВт (<https://qazaqgreen.com/news/kazakhstan/2269/>).

Инвестиционный проект по строительству ветроэлектростанции, разработанный компанией «Sarkylmas Kuat» (Гонконг, специальный административный район Китайской Народной Республики), планируется запустить в 2025 г. в селе Мунайшы Каракиянского района Мангистауской области. Установленная мощность ветростанции составит 50 МВт. Намечено построить 8 ветрогенераторов. Эта ветроэлектростанция необходима в связи с реализацией в Каракиянском районе нескольких крупных проектов. Среди них – строительство многофункционального морского терминала компанией «Семруг Инвест», завода трубной продукции компанией «Казпетродрилинг», завода по опреснению морской воды «Аксу КМГ» в Токимаке, металлургического завода «YDA Group» и придорожного сервисного центра «Capian Union Group» (https://dknews.kz/ru/chitayte-v-nomere-dk/339520-zapryagut-veter-v-provoda)).

ТОО «ВетроЭнергоТехнологии» в 2018 году в Атырауской области построена и введена в эксплуатацию ветряная электростанция в окрестностях села Манаш Исатайского района. Мощность станции составляет 52,8 МВт при полной ветряной нагрузке. Установлено 36 единиц асинхронных трехлопастных ветряных электроустановок.

Западно-Казахстанский регион имеет достаточный климатический потенциал для развития ВИЭ. Зеленая энергетика – это неизбежный путь к процветающему, инновационному и экологически чистому Казахстану.

3. КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОГО РЕГИОНА

При описании климатических изменений Западно-Казахстанского региона особое внимание уделяется таким метеорологическим величинам, как температура воздуха у поверхности Земли и количество атмосферных осадков. Эти величины играют ключевую роль в деятельности человека и одновременно являются индикаторами других характеристик климатической системы. Например, температура воздуха связана с притоком солнечной радиации, радиационным балансом, а также с процессами теплообмена в атмосфере и океане. Атмосферные осадки, обусловлены определенными процессами общей циркуляции атмосферы и в некоторой степени отражают их динамику. Кроме того, количество осадков зависит от термических условий вблизи земной поверхности.

Для выявления климатических изменений за период 1961-2023 гг. использовались месячные, сезонные и годовые значения температуры воздуха и суммы осадков по 40 метеорологическим станциям Западно-Казахстанского региона.

3.1. Изменение температуры воздуха

Для характеристики тенденций температурных изменений по территории ЗКР рассмотрим, как менялись средние годовые и сезонные температуры воздуха по десятилетиям (табл. 15).

Средняя годовая температура первых двух десятилетий сохранила свое значение и наблюдается её стабильное повышение с 80-х годов XX века. За период исследования годовая температура в среднем повысилась на 2,6 °С. За период 2011-2023 гг. (6-7 десятилетия) самыми теплыми являются 7 лет из 10 как в среднем за год, так и по сезонам.

Сезонные температуры воздуха в 1-4 десятилетия либо повышались, либо понижались, либо оставались без изменения. С 2000-х годов на территории ЗКР каждое последующее десятилетие было теплее предыдущего, за исключением осени,

когда в 6 десятилетия (2011-2020 гг.) отмечается падение температуры (табл. 15). Для весенне-летнего периода свойственно наибольшее изменение температуры воздуха (+2,2 °С весной и +2,8 °С летом), а в осенне-зимний период – наименьшее (+1,9 °С осенью и +2,2 °С зимой).

На рисунках 41 и 42 представлены ранжированные ряды среднегодовых и среднесезонных аномалий температуры воздуха (ΔT , °C), осреднённых по метеостанциям ЗКР за период с 1961 по 2023 год. В масштабе Западно-Казахстанского региона 7 экстремально тёплых лет приходится на текущее столетие. Для территории Казахстана 2023 г. стал самым теплым за всю историю метеорологических наблюдений. Исключением не стал и Западно-Казахстанский регион, здесь в 2023 году годовая аномалия температуры воздуха составила +2,3 °C, что на 0,5 °C выше предыдущего рекордного года – 2021 г. (табл. 16).

Таблица 15. Осредненные по десятилетиям средние годовые и сезонные температуры воздуха (°C) по территории ЗКР

№	Десятилетие	Сезон				Год
		зима	весна	лето	осень	
1	1961-1970	-8,5	8,4	23,0	7,8	7,6
2	1971-1980	-9,5 ↓	8,4	23,3 ↑	8,0 ↑	7,6
3	1981-1990	-7,3 ↑	7,8 ↓	23,8 ↑	7,9 ↓	8,0 ↑
4	1991-2000	-7,3	8,2 ↑	23,6 ↓	7,9	8,1 ↑
5	2001-2010	-7,2 ↑	9,4 ↑	24,2 ↑	9,5 ↑	9,0 ↑
6	2011-2020	-6,8 ↑	10,0 ↑	25,0 ↑	8,5 ↓	9,1 ↑
7	2021-2023	-6,3 ↑	10,9 ↑	25,8 ↑	9,7 ↑	10,2 ↑
1961-2023		+2,2	+2,5	+2,8	+1,9	+2,6

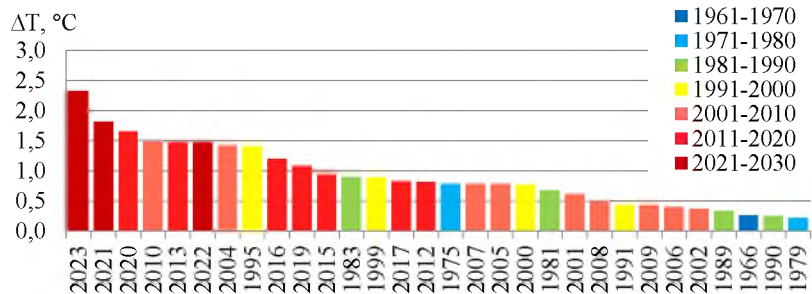


Рисунок 41. Ранжированный ряд положительных аномалий среднегодовых температур воздуха, осреднённых по территории ЗКР за период 1961-2023 гг.

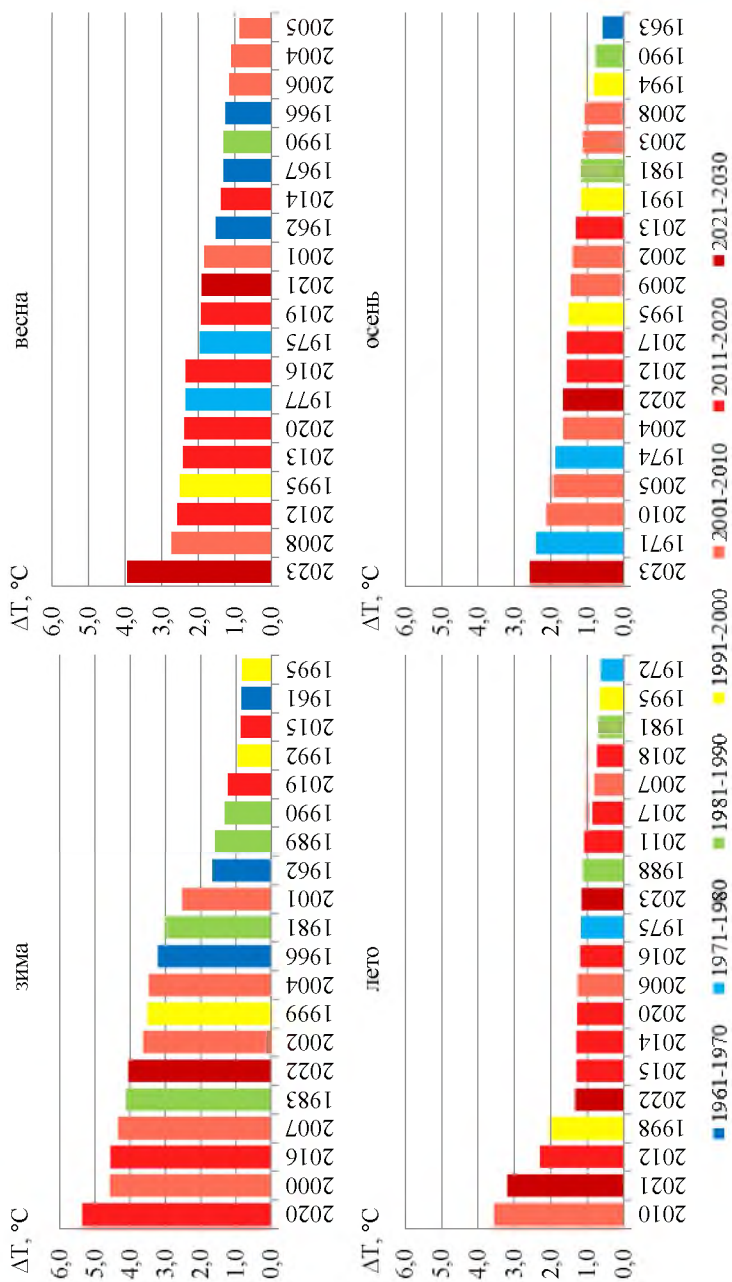


Рисунок 42. Ранжированные ряды положительных аномалий среднесезонных температур воздуха, осреднённых по территории ЗКР за период 1961-2023 гг.

Таблица 16. Самые тёплые годы за период 1961-2023 гг. и соответствующие аномалии среднегодовой и среднесезонной температуры воздуха, осредненные по областям ЗКР

Область	Сезоны										Область	Сезоны										Год									
	зима		весна		лето		осень					зима		весна		лето		осень													
	год	ΔT	год	ΔT	год	ΔT	год	ΔT	год	ΔT		год	ΔT	год	ΔT	год	ΔT	год	ΔT	год	ΔT	год	ΔT								
Актюбинская	2020	5,7	2023	4,1	2010	3,4	1971	2,9	2023	2,4	Западно- Казахстанская	2020	6,4	2023	4,2	2010	4,4	2023	2,5	2023	2,3	2020	6,4	2023	4,2	2010	4,4	2023	2,5	2023	2,3
	2016	5,4	2008	3,7	2012	3,2	2023	2,6	2013	1,7		2007	5,6	1995	3,4	2021	3,7	1971	2,4	2020	1,9	1983	5,4	2008	3,1	2012	2,5	2010	2,1	2021	1,9
	1983	5,1	2020	3,2	1998	2,3	2004	2,1	2021	1,6		2000	5,3	1977	2,8	1998	2,1	2005	1,9	1995	1,7	2007	5,1	1977	2,9	1988	1,5	1991	1,9	2010	1,5
	2000	4,7	2013	2,8	1975	1,4	2012	1,9	2004	1,4		2022	4,1	2012	2,5	1988	1,8	1974	1,7	2013	1,6	2022	4,0	2013	2,5	1972	1,6	2022	1,7	2022	1,5
	1999	4,2	2016	2,8	2023	1,3	2013	1,8	1983	1,4		2002	4,0	2013	2,5	1972	1,6	2022	1,7	2022	1,5	1999	3,8	1975	2,5	2016	1,5	2009	1,7	2004	1,3
	2004	3,7	1995	2,4	2014	1,2	1974	1,7	2016	1,3		2001	3,7	2016	2,4	2022	1,4	2017	1,6	2016	1,2	2004	3,4	1967	2,4	1975	1,3	2013	1,6	2015	1,2
	1966	2,5	2019	2,4	2015	1,1	2017	1,7	2012	1,2		2020	4,4	2023	3,4	2010	3,3	2023	2,5	2023	2,1	2016	4,1	2008	2,3	2021	3,1	2010	2,4	2021	1,8
	2000	4,8	2012	2,5	2021	3,1	1971	2,3	2021	1,9		2016	4,0	1977	2,5	1998	1,8	1974	2,0	2020	1,7	2022	4,0	2013	2,3	2020	1,7	2005	1,9	2022	1,6
	2022	4,0	2013	2,3	2020	1,7	2005	1,9	2022	1,7		1966	3,8	1995	2,3	2012	1,7	2022	1,8	1995	1,5	1983	3,8	2016	2,2	2022	1,4	2010	1,7	2004	1,5
	2007	3,7	2020	2,1	2023	1,4	1995	1,6	2010	1,4		1981	3,6	2008	1,9	2014	1,4	2004	1,5	2013	1,3	2004	3,6	2019	1,8	2011	1,3	2009	1,5	2019	1,2
	1999	3,2	2021	1,8	2015	1,2	2003	1,3	2016	1,2		2020	5,4	2023	3,9	2010	3,6	2023	2,6	2023	2,3	2000	4,6	2008	2,7	2021	3,2	1971	2,4	2021	1,8
	2000	4,6	2012	2,6	2012	2,3	2010	2,1	2020	1,7		2016	4,6	2012	2,6	2012	2,3	2010	2,1	2020	1,7	2007	4,3	1995	2,5	1998	1,9	2005	1,9	2010	1,5
Западно- Казахстанский регион	1983	4,1	2013	2,4	2022	1,3	1974	1,9	2013	1,5	Мангистауская	1981	3,0	2013	2,0	2015	1,6	2022	1,7	2019	1,3	2022	4,0	2020	2,4	2015	1,3	2004	1,7	2022	1,5
	2022	4,0	2020	2,4	2015	1,3	2004	1,7	2022	1,5		2004	3,2	2016	2,0	2014	1,7	2002	1,8	2020	1,3	2007	3,0	1995	1,9	1998	1,5	2017	1,6	2013	1,3
	2002	3,6	1977	2,3	2014	1,3	2022	1,7	2004	1,4		1999	2,8	2020	1,7	2016	1,5	2004	1,4	2016	1,1	2002	2,6	1975	1,6	2020	1,4	1995	1,4	2007	1,1
	1999	3,5	2016	2,3	2020	1,3	2012	1,6	1995	1,4		2002	2,6	1975	1,6	2020	1,4	1995	1,4	2007	1,1	1966	3,2	2019	1,9	2016	1,2	1995	1,5	2019	1,1
	2004	3,5	1975	2,0	2006	1,3	2017	1,6	2016	1,2																					

Для весны и осени 2023 г. также стал самым теплым годом по областям ЗКР. Весной аномалия температуры изменялась от +3,4 °С в Мангистауской области до +4,2 °С в ЗКО, осенью аномалии несколько ниже – от +2,5 °С в Западно-Казахстанской и Мангистауской областях до +2,7 °С в Атырауской области. Лишь в Актюбинской области 1971 г. имеет наивысшую аномалию температуры воздуха +2,9 °С (табл. 16). Зима 2019-2020 г. стала самой теплой для региона, аномалия составила +5,4 °С. В ЗКО средняя температура за зиму 2019-2020 г. поднялась на 6,4 °С относительно среднего многолетнего значения за 1961-2023 г. Летом лидерство сохранилось за 2010 годом, в этот год для ЗКР аномалия температуры составила +3,6 °С, возрастая с южных районов к северным – +3,2 ÷ +4,4 °С. Временной ход годовой и сезонных аномалий температуры воздуха ЗКР за 1961-2023 гг. представлен на рисунке 43.

За период 1961-2023 гг. средняя годовая температуры воздуха ЗКР растет со скоростью 0,37 °С за 10 лет (рис. 44). Однако сезонные температуры воздуха имеют разную скорость роста: наибольшая скорость роста отмечается зимой (0,43 °С/10 лет) и летом (0,40 °С/лет), несколько ниже весной (0,38 °С/10 лет) и осенью (0,24 °С/10 лет).

Более обоснованные выводы могут быть получены за счёт применения статистических критериев для обнаружения монотонных трендов. При анализе метеорологических данных часто используются такие критерии, как тест Манна – Кендалла (Mann-Kendall test – МК-тест) и значимость коэффициентов линейной регрессии [239-244].

МК-тест – непараметрический тест для выявления трендов в данных временных рядов [242]. Используя линейную регрессию, скорость тренда m_1 определяется по уравнению:

$$y = m_1 x_t + c_0, \quad (1)$$

где x – метеорологическая величина.

С помощью t -критерия проводится проверка значимости m_1 . Положительные и отрицательные значения m_1 показывают тенденцию к увеличению и уменьшению метеорологической величины.

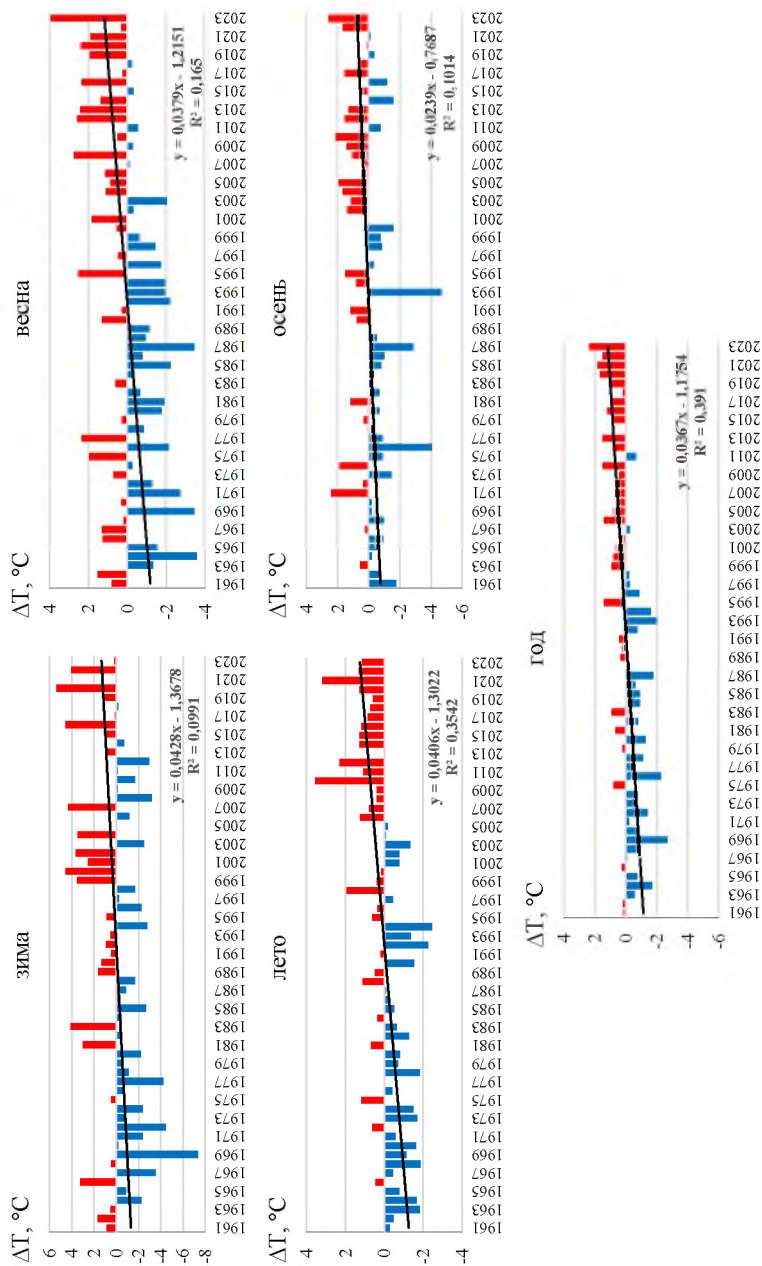


Рисунок 43. Временной ход годовых и сезонных аномалий температуры воздуха (°C) ЗКР за 1961-2023 гг.

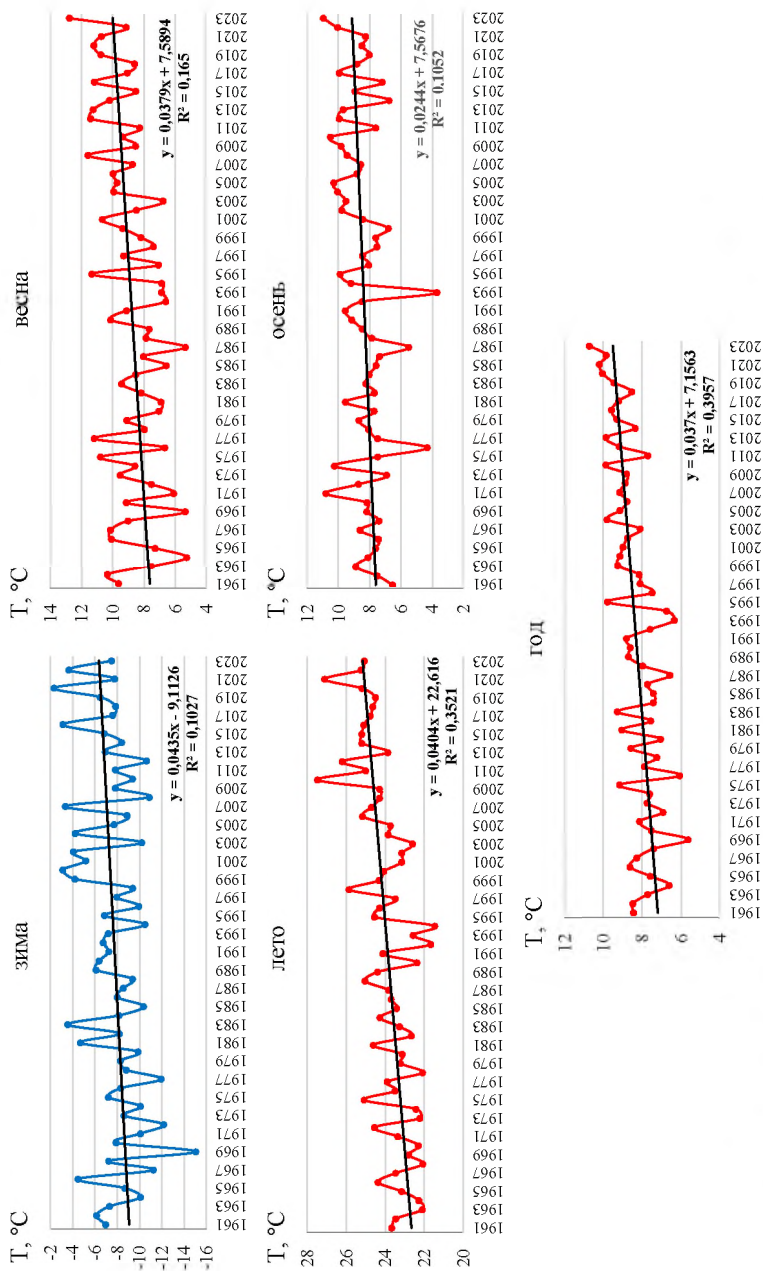


Рисунок 44. Временной ход годовых и сезонных температур воздуха ($^\circ\text{C}$) ЗКР за 1961-2023 гг.

Статистика теста МК (S) определяется уравнением:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \operatorname{sgn}(X_j - X_k), \quad (2)$$

$$\operatorname{sgn}(X_j - X_k) = \begin{cases} \operatorname{if}(X_j - X_k) > 0, +1 \\ \operatorname{if}(X_j - X_k) = 0, 0 \\ \operatorname{if}(X_j - X_k) < 0, -1 \end{cases}, \quad (3)$$

где n – длина набора данных, X_j, X_k – значения данных в моменты времени j и k , sgn – знаковая функция, которая принимает значения $-1, 0$ и $+1$.

Результирующее значение S показывает восходящий или нисходящий тренд в наборах климатических данных:

$$\operatorname{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{k=1}^p t_k(t_k-1)(2t_k+5)}{18}, \quad (4)$$

где p – связанная группа, t_k – количество наблюдений в k -й группе.

Стандартизированная тестовая статистика (STS) определяется по формуле:

$$Z_S = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0, \\ \frac{S+1}{\sqrt{\operatorname{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

где Z_S показывает значимость тренда.

STS применяется для проверки нулевой гипотезы H_0 , если $Z_S > Z_{\alpha/2}$, а α показывает уровень достоверности. Тренд метеорологической величины является статистически значим при уровне значимости $\alpha = 0,01$ (или 99 % доверительных интервалов), $\alpha = 0,05$ (или 95 % доверительных интервалов) и $\alpha = 0,1$ (или 90 % доверительный интервал). При уровне значимости 1 %, 5 % и 10 % нулевая гипотеза об отсутствии тренда отклоняется, если $Z_S > 1,45$, $Z_S > 1,96$, и $Z_S > 2,56$ соответственно [244-246].

Хамед и Рао [247] предложили использовать модифицированный тест Манна – Кендалла для оценки трендов данных последовательной корреляции. Позднее был представлен непараметрический модифицированный метод тренда Манна-Кендалла, который подходит для автокоррелированных данных на основе измененного значения дисперсии тестовой статистики [248]. Выявлено, что точность нового модифицированного теста с точки зрения его эмпирической значимости превосходит исходный тест тенденции Манна – Кендалла.

В программном продукте RStudio имеется пакет библиотек «modifiedmk», разработанный на R-языке. Пакет «modifiedmk» применим для вычисления непараметрических критериев Манна – Кендалла и всех модифицированных версий его критериев. Выражение скорректированной дисперсии вычисляется по формуле:

$$V(S) = Var(S) \times \frac{n}{n_S^*} = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \times \frac{n}{n_S^*}, \quad (6)$$

$$\frac{n}{n_S^*} = 1 + \frac{2}{n(n-1)(n-2)} \times \sum_{i=1}^{n-1} (n-i)(n-i-2)\rho_S(i) \quad (7)$$

где n/n_S^* показывает поправку из-за автокорреляции в данных, n – фактическое количество наблюдений, $\rho_S(i)$ – автокорреляция рангов наблюдений [248].

Модифицированный тест Манна – Кендалла более выгоден, чем другие методы обнаружения тренда во временных рядах осадков [249].

В научных исследованиях тест Манна – Кендалла дополняют тестом Сена (Sen's slope), который количественно оценивает динамику изменения метеорологических величин: наклон и величину тренда. Наклон пары данных n рассчитывают с использованием уравнения:

$$Q = \frac{X_j - X_k}{j - k} \text{ if } k < j, \quad (8)$$

где X_j, X_k , – значения данных в моменты времени j и k .

Медиана значений n от Q является оценкой наклона Сена. Положительные и отрицательные значения Q представляют тренд к увеличению и уменьшению в наборах метеорологических данных. Наклоны Q значений n ранжированы от низкого к высокому. Оценка Сена может быть рассчитана с использованием уравнения:

$$\begin{aligned} \text{Оценка Сена} &= Q_{\frac{n+1}{2}} \text{ если } n \text{ нечетное,} \\ &= \frac{1}{2} \left[Q_{\frac{n}{2}} + Q_{\frac{n+1}{2}} \right] \text{ если } n \text{ четное.} \end{aligned} \quad (9)$$

Данный подход является надежным с точки зрения резко выделяющихся значений (всплесков) и отсутствующих данных и не требует нормального распределения данных.

Для обнаружения единственной точки изменения во временном ряду метеорологических величин с непрерывными данными применяется подход Петтитта (Pettitt's test) [250]. Обычно, если в ряду существуют соседние точки изменения K_T , максимальное значение будет определяться как точка изменения:

$$K_T = \max |U_{t,T}|, 1 < t < T, \quad (10)$$

$$U_{t,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j). \quad (11)$$

Если $|U_{t,T}|$ увеличивается со временем t значит последовательность не имеет точки разладки, а если $|U_{t,T}|$ имеется тенденция к уменьшению в зависимости от времени t , то в ряду есть точка резкого изменения. Точка изменения ряда находится в K_T при условии, что статистика значима. Вероятность значимости K_T аппроксимируется для $p < 0,05$ с

$$p = 2 \exp \left(\frac{-6K_T^2}{T^3 + T^2} \right). \quad (12)$$

Таким образом, при заданном уровне значимости α , если $p < \alpha$, нулевая гипотеза H_0 о том, что два распределения равны.

В работе расчет модифицированного теста Манна – Кендалла, Петтитта и наклон Сена при 5 %-м уровне значимости

получены с использованием программного обеспечения RStudio версии 4.4.2.

Применение модифицированного теста Манна – Кендалла для температуры воздуха ЗКР за период 1961-2023 г. подтвердило факт монотонного повышения температуры. Годовой и сезонные тренды температуры воздуха являются значимыми ($p\text{-value} < 0,05$). Месячные тренды так же значимы ($Z\text{-value} > 2$), за исключением апреля, мая, ноября и декабря (табл. 17). Скорость роста годовой температуры воздуха совпала с наклоном Сена и составила $0,37\text{ }^{\circ}\text{C}$ за 10 лет. В сезонных скоростях изменения температуры воздуха отмечаются следующие различия: зимой и летом Sen's slope ниже, а весной и осенью выше скорости изменения температуры воздуха, представленной на рисунке 44. Величина расхождения между наклоном линейного тренда и Sen's slope – не более $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, однако зимой она наибольшая и достигает $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет. Таким образом, сезонная скорость изменения температуры воздуха ЗКР составляет: зимой $-0,34\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, весной $-0,39\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, летом $-0,39\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, осенью $-0,25\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет. Следовательно, наибольшие изменения температура воздуха испытывает в весенне-летний период.

Рассмотрим скорость изменения температуры воздуха и значимость трендов для областей ЗКР. В годовых, сезонных и месячных трендах температуры воздуха во всех областях ЗКР отмечается положительное значение $Z\text{-value}$, исключением является ноябрь ($Z\text{-value} = -0,17$) на территории Актюбинской области. Сезонные и годовые тренды температуры воздуха значимы, лишь зима в Актюбинской области имеет незначимую тенденцию, так как $p\text{-value} = 0,10$.

В Прикаспийских областях, как и для ЗКР, месячные тренды значимы, за исключением апреля, мая, ноября и декабря. В Атырауской области в апреле $p\text{-value} = 0,02$, т.е. тренд значим. В Актюбинской и Западно-Казахстанской областях в большинстве месяцев тренды незначимы, а в июне, августе и октябре отмечаются значимые тренды. В ЗКО значимые тренды наблюдаются в феврале и марте (табл. 17). Для значимых трендов скорость роста месячной температуры – более $0,30\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, наибольшие значения наблюдаются в феврале и марте – $0,64\text{--}0,81\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Таблица 17. Модифицированный критерий Манна – Кендалла и наклон Сена для трендов месячной, сезонной и годовой температур воздуха по областям ЗКР

Месяц / время года	Актыобинская область			Атырауская область			Западно- Казахстанская область			Мангыстауская область			Западно- Казахстанский регион		
	Z-value	P-value	Sen's slope	Z-value	P-value	Sen's slope	Z-value	P-value	Sen's slope	Z-value	P-value	Sen's slope	Z-value	P-value	Sen's slope
Январь	1,20	0,23	0,027	2,11	0,04	0,042	1,84	0,07	0,044	2,48	0,01	0,043	2,08	0,04	0,042
Февраль	1,69	0,09	0,066	2,14	0,03	0,081	2,01	0,04	0,075	2,39	0,02	0,067	2,43	0,01	0,074
Март	1,27	0,20	0,056	2,94	0,00	0,065	2,59	0,01	0,067	3,56	0,00	0,066	2,46	0,01	0,064
Апрель	1,70	0,09	0,033	2,30	0,02	0,025	1,61	0,11	0,023	1,55	0,12	0,024	1,80	0,07	0,026
Май	1,08	0,28	0,018	1,12	0,26	0,016	1,64	0,10	0,022	1,19	0,24	0,021	1,21	0,23	0,020
Июнь	3,63	0,00	0,033	3,31	0,00	0,041	3,50	0,00	0,035	4,13	0,00	0,051	4,27	0,00	0,042
Июль	1,73	0,08	0,022	2,11	0,04	0,029	1,89	0,06	0,028	3,03	0,00	0,037	2,10	0,04	0,029
Август	3,59	0,00	0,045	4,13	0,00	0,047	3,52	0,00	0,049	4,19	0,00	0,052	4,07	0,00	0,045
Сентябрь	1,73	0,08	0,016	3,23	0,00	0,024	1,52	0,13	0,019	3,77	0,00	0,034	2,94	0,00	0,023
Октябрь	3,31	0,00	0,042	3,31	0,00	0,041	3,55	0,00	0,044	3,29	0,00	0,045	3,42	0,00	0,043
Ноябрь	-0,17	0,87	-0,002	0,15	0,88	0,002	0,97	0,33	0,014	0,17	0,87	0,002	0,20	0,84	0,003
Декабрь	0,41	0,68	0,004	0,57	0,57	0,007	1,86	0,06	0,023	0,54	0,59	0,007	0,69	0,49	0,006
Зима	1,64	0,10	0,028	2,62	0,01	0,046	2,09	0,04	0,041	2,22	0,03	0,040	2,40	0,02	0,034
Весна	2,06	0,04	0,038	6,11	0,00	0,040	3,32	0,00	0,038	4,31	0,00	0,041	3,39	0,00	0,039
Лето	4,47	0,00	0,031	5,05	0,00	0,041	3,63	0,00	0,039	5,78	0,00	0,048	5,08	0,00	0,039
Осень	2,34	0,02	0,021	2,85	0,00	0,024	3,80	0,00	0,027	3,49	0,00	0,031	2,94	0,00	0,025
Год	4,60	0,00	0,033	5,25	0,00	0,039	6,63	0,00	0,039	5,65	0,00	0,039	5,36	0,00	0,037

Значения, выделенные жирным шрифтом, являются значимыми при $p < 0,05$.

Тест Сена показал, что скорость роста годовой температуры воздуха для областей ЗКР составляет $0,39\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, лишь в Актюбинской области она ниже и равна $0,33\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. Зимой наименьший (не значимый) рост отмечается в Актюбинской области ($0,28\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$), для остальных областей ЗКР – значимая скорость роста в диапазоне от $0,40\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ (Мангистауская область) до $0,46\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ (Атырауская область). Весной величина наклона Сена изменяется от $0,38\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ в Актюбинской и Западно-Казахстанской областях до $0,41\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ в Мангистауской области. Летом скорость роста температуры воздуха имеет диапазон изменения от $0,31\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ в Актюбинской области до $0,48\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ в Мангистауской. Для ЗКО и Атырауской области летний рост температуры воздуха составляет $0,39\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ и $0,41\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ соответственно. Осенью отмечаются самые низкие скорости изменения температуры воздуха – до $0,30\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, лишь в Мангистауской области наклон Сена составляет $0,31\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$. Наибольшие сезонные значения Sen's slope по областям ЗКР зафиксированы зимой и летом (табл. 17).

Месячные температуры воздуха имеют наибольший диапазон изменения. Во всех областях ЗКР минимальные скорости роста отмечаются в ноябре и декабре ($0,02\text{--}0,07\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$), за исключением ЗКО, где средние значения изменяются от $0,16\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ до $0,52\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$, а максимальные зафиксированы в феврале ($0,66\text{--}0,81\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$) и марте ($0,26\text{--}0,67\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$).

Тест Петтитта позволил выявить в рядах годовой и сезонных температур воздуха год резкого изменения. Тест проверяет наличие изменений в обе стороны от данного года. В таблице 18 представлены результаты расчета Pettitt's test.

Чем выше значение статистики теста U-value, тем более вероятно наличие точки изменения в ряду. Для сезонных температур воздуха ЗКР U-value изменяется от 448 зимой до 694 летом, а для годовой температуры U-value равно 760 (табл. 18). Таким образом, Pettitt's test показал, что для рядов температуры воздуха ЗКР имеется значимая точка резкого изменения, которая приходится на конец XX – начало XXI века.

Таблица 18. Параметры теста Петтитта для годовой и сезонных температур воздух ЗКР

Сезон	U-value	p-value	Год резкого изменения	T_{CP1}	T_{CP2}	$T_{CP1} - T_{CP2}$
Зима	448	0,03	1988	-8,6	-7,0	1,6 ↑
Весна	518	0,01	2003	8,2	10,0	1,8 ↑
Лето	694	0,00	2005	23,4	25,2	1,8 ↑
Осень	482	0,01	2000	7,9	9,1	1,2 ↑
Год	760	0,00	1998	7,8	9,2	1,4 ↑

Значения, выделенные жирным шрифтом, являются значимыми при $p < 0,05$.

Год резкого изменения температуры воздуха поделил временной ряд 1961-2023 гг. на два периода с разным количеством лет. Временной ход годовых и сезонных температур воздуха ЗКР до и после года резкого изменения представлен на рисунке 45. Для каждого периода найдено среднее значение температуры воздуха: до точки разладки – T_{CP1} , после данной точки – T_{CP2} (табл. 18).

Из таблицы 18 следует, что T_{CP2} выше T_{CP1} и разница между ними для годовой температуры составляет 1,4 °С, а для сезонных изменяется в диапазоне от 1,2 °С осенью до 1,8 °С весной и летом.

Таким образом, для территории ЗКР отмечается значимый рост сезонной и годовой температуры воздуха.

Экстремальность в рядах температуры воздуха. Высокие и низкие температуры воздуха относятся к потенциально опасным региональным процессам. Центральное место при исследовании крупных аномалий погоды занимает вопрос критерия. По мнению Г.Н. Чичасова [104], применение «нежесткого» критерия позволяет в дальнейшем иметь дело с материалами больших выборок и получить статистически обоснованные выводы. В то же время большое число случаев с крупными аномалиями не дает четкую картину их формирования. Для этих целей целесообразно использовать более «жесткий» критерий, который выделит месяцы с крупными аномалиями температуры воздуха [82].

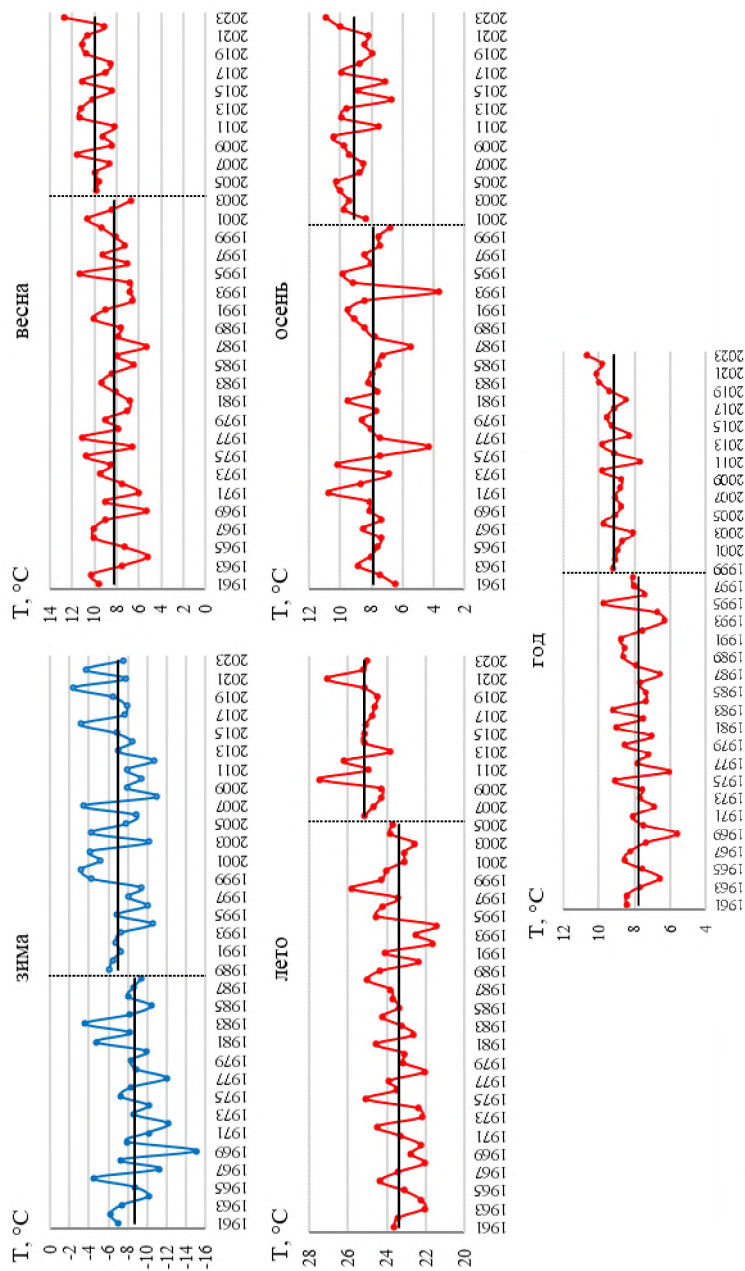


Рисунок 45. Временной ход годовых и сезонных температур воздуха (°C) ЖР до и после года разлады

Наиболее распространенным способом выделения экстремумов является сопоставление значений метеорологических величин с их средним квадратическим отклонением (σ). В класс крупных аномалий относят случаи, которые превышают $1,2\sigma$. При условии нормальности распределения метеорологических величин вероятность превзойти указанное значение для аномалий обоих знаков не превышает 0,24, а для одного знака – 0,12. Данный критерий относится к числу «нежестких», т.к. в разряд крупных аномалий попадает почти каждый четвертый случай [104].

В приложении Б приведены крупные аномалии средней месячной температуры воздуха ($|\Delta T| \geq \sigma$) по территории Западно-Казахстанского региона за 1961-2023 гг. Анализ показал, что количество положительных (n_+) аномалий температуры воздуха с 1998 г. преобладает над отрицательными (n_-) аномалиями.

Для выделения крупных аномалий средней месячной температуры воздуха предлагается использовать два варианта классификации: $|\Delta T| \geq \sigma$ и $|\Delta T| \geq 1,5\sigma$. Месяц считается экстремальным, если аномалия одного знака наблюдается на 75 % территории (более жесткий критерий) или если величина аномалии на более чем 50 % площади превышает среднее квадратическое отклонение (менее жесткий критерий) [82].

По более жесткому критерию и для $|\Delta T| \geq 1,5\sigma$ составлен ежемесячный каталог экстремально холодных (ЭХ) и экстремально теплых (ЭТ) лет для территории Западно-Казахстанского региона за 1961-2023 гг. (приложение В). Общее количество экстремальных месяцев за период исследования составило 56, однако экстремально теплых зафиксировано 32 случая, что составляет 57 % от общего количества (табл. 19). Можно отметить, что наибольшее число экстремально холодных месяцев приходится на зимы 1961-1998 гг. и составляет 18 случаев (75 %), а на конец XX – начало XXI века – лишь 6 случаев (25 %). Средняя аномалия средней месячной температуры воздуха в экстремальный год в холодный период больше (минус $7,0 \pm$ минус $9,7$ °C), чем в теплый (минус $3,3 \pm$ минус $5,9$ °C). Обратная картина наблюдается для экстремально теплых месяцев,

наибольшее их количество наблюдается в период 1999-2023 гг. и составляет 26 случаев, т.е. 81 % от общего количества экстремально теплых месяцев. Наибольшие средние аномалии средней месячной температуры воздуха в холодный период несколько выше (4,8-7,0 °C), чем в теплый (3,3-5,0 °C).

Таблица 19. Месячное и сезонное число случаев экстремально холодных (ЭХ) и экстремально теплых (ЭТ) лет с аномалией средней месячной температуры воздуха Западно-Казахстанского региона за 1961-2023 гг.

Месяц / Сезон	ЭХ годы				ЭТ годы			
	число лет	ΔT_{cp}	ΔT_{min}	ΔT_{max}	число лет	ΔT_{cp}	ΔT_{min}	ΔT_{max}
Январь	4	-8,9	-12,2	-4,9	2	6,7	5,1	10,1
Февраль	3	-7,2	-9,1	-5,9	4	7,0	6,1	9,1
Март	2	-5,9	-7,4	-3,8	4	6,4	6,3	8,3
Апрель	2	-5,2	-6,5	-3,2	3	5,0	4,9	7,7
Май	2	-3,9	-4,7	-2,6	2	3,9	3,3	5,2
Июнь	1	-4,1	-4,8	-3,4	4	3,7	3,2	4,4
Июль	2	-3,3	-4,7	-1,9	2	3,3	2,3	4,9
Август					5	3,7	2,7	5,1
Сентябрь	3	-3,6	-5,0	-2,2	1	3,7	2,8	4,3
Октябрь	1	-8,1	-9,4	-6,7	2	3,6	3,1	4,1
Ноябрь	1	-9,7	-10,8	-9,0	2	4,9	3,6	5,7
Декабрь	3	-7,0	-10,1	-3,2	1	4,8	3,9	6,0
	24				32			
Зима	1	-9,2	-12,2	-6,6	1	6,6	4,5	8,0
Весна								
Лето					2	3,8	2,3	5,1
Осень	1	-6,5	-10,8	-2,2				
	2				3			

ΔT_{cp} – средняя аномалия средней месячной температуры воздуха;

ΔT_{min} – наименьшая аномалия средней месячной температуры воздуха;

ΔT_{max} – наибольшая аномалия средней месячной температуры воздуха

За период 1961-2023 гг. на территории ЗКР наблюдались 2 экстремальные зимы: холодная в 1969 г. и теплая в 2020 г. Жаркое лето зафиксировано в 2010 и 2021 гг. Холодная осень была в 1993 г., а экстремальных весен не отмечено.

Анализ экстремальности в рядах месячных и сезонных температур воздуха говорит о значимом региональном повышении температуры в XXI веке.

Тенденции в экстремумах температуры воздуха. Повышение температуры воздуха ведет к сдвигам сроков фенологических событий у растений и животных, границ растительных зон, в основном к северу, а также к изменению структуры экосистем.

На большей территории ЗКР наблюдается увеличение продолжительности вегетационного периода (индекс GSL) на 1-5 суток за 10 лет. Статистически значимое увеличение на 3–5 суток/10 лет [79] прослеживается по данным большинства станций Западно-Казахстанской и Актюбинской областей (рис. 46а). Кроме увеличения продолжительности вегетационного периода, по всей территории региона наблюдается статистически значимое увеличение суммы температур в период вегетации (индекс GDDgrow10). В южной части ЗКР суммы температур значительно выше, чем в северной части (рис. 46б). Наибольшее и статистически значимое увеличение, более чем на 80 градусо-дней/10 лет, прослеживается по данным большинства станций юго-западной части Западно-Казахстанской, Атырауской, Мангистауской областей.

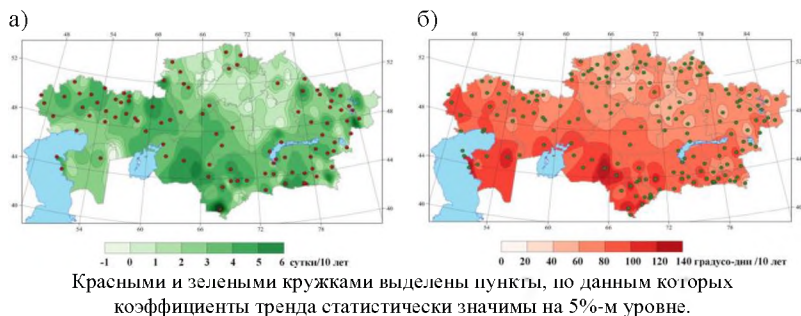
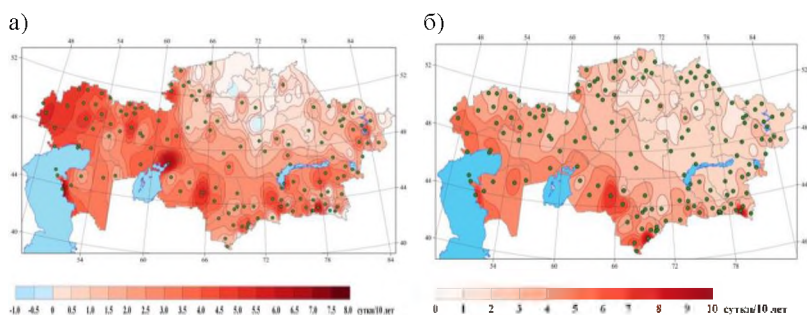


Рисунок 46. Темпы изменения индекса GSL – продолжительности вегетационного сезона (а) и индекса GDDgrow10 – суммы температур в период вегетации (б) в период 1961-2023 гг. [79]

Повышается не только средний уровень температуры воздуха, но и увеличивается повторяемость высоких летних температур. В условиях жаркого и засушливого лета в ЗКР это оказывает негативное воздействие не только на растительность, но и на

организм человека и животных. Например, практически повсеместно увеличивается число дней с температурой выше 30 °С – на 4-7 дней за 10 лет (рис. 47а). Наибольшая скорость увеличения повторяемости высоких летних температур наблюдалась на МС Актау (7,5 суток/10лет, Мангистауская область) [79]. На большей части территории исследования наблюдается статистически значимая положительная тенденция общей продолжительности волн жары в теплый период (волна жары это 3 и более суток подряд, когда коэффициент избытка тепла имеет положительное значение, индекс HWF/EHF). Наблюдается наибольшая значимая положительная тенденция (более 6-9 суток/10лет) на территории ЗКР (рис. 47б).

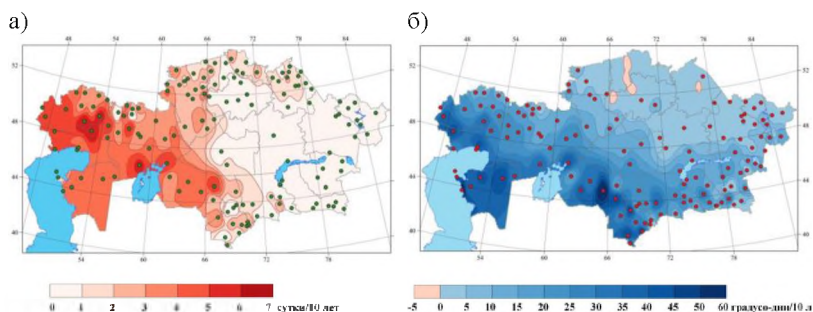


Красными кружками выделены пункты, по данным которых коэффициенты тренда статистически значимы на 5%-м уровне.

Рисунок 47. Темпы изменения индекса TXge30 – количества суток, когда максимальная суточная температура равна или выше 30 °С (а) и индекса HWF/EHF – общей продолжительности волн тепла в теплый период (б) в период 1961-2023 гг. [79]

Повышение температуры воздуха во все сезоны года ведет к увеличению общей за год продолжительности волн тепла (когда как минимум 6 последовательных дней суточная максимальная температура воздуха была выше 90-го перцентиля, индекс WSDI). Наиболее существенное увеличение (на 3-6 суток/10лет) наблюдается на территории ЗКР (рис. 48а). Следствием повышения температуры воздуха в большинстве месяцев теплого времени года является увеличение дефицита холода [79], или необходимости поддержания в помещении благоприятной температуры,

с порогом в 23 °С (индекс CDDcold23). На территории ЗКР наблюдается увеличение дефицита холода более чем на 10 °С каждые 10 лет (рис. 48б). Максимальное увеличение дефицита холода наблюдается в Атырауской области (30-50 °С/10 лет).



Красными кружками выделены пункты, по данным которых коэффициенты тренда статистически значимы на 5%-м уровне.

Рисунок 48. Темпы изменения индекса WSDI – общей за год продолжительности волн тепла (а) и индекса CDDcold23 – дефицита холода (б) в период 1961-2023 гг. [79]

Сокращение количества дней с отрицательными температурами ведет к повсеместному сокращению дефицита тепла в холодный период года (индекс HDDheat23). На большей части ЗКР диапазон сокращения дефицита тепла находится в пределах 60-100 градусо-дней за каждые 10 лет, местами составляя 140-160 градусо-дней/10 лет [79].

Климатические индексы подтверждают значимые тенденции повышения температуры воздуха ЗКР.

3.2. Изменение атмосферных осадков

В отличие от температуры воздуха, изменение режима атмосферных осадков на территории ЗКР за период 1961-2023 гг. представляет собой более пеструю картину (табл. 20). Годовые суммы осадков, осредненные по десятилетиям, изменялись в диапазоне от 200 мм до 221 мм, при среднем значении 214 мм.

Изменчивость осадков не превышает 6 %. В период 2021-2023 гг. средняя годовая сумма была наибольшей и составила 225 мм.

Зимой отмечается наименьшая изменчивость сумм осадков от десятилетия к десятилетию, в среднем на 2-6 %, а наибольшая свойственна переходным периодам года: весной – 10-21 %, осенью – 2-21 %. В теплый период года в среднем выпадает 52 % годовых осадков (табл. 20).

Таблица 20. Осредненные по десятилетиям годовые и сезонные суммы осадков (мм) по территории ЗКР

№	Десятилетие	Сезон				Год
		зима	весна	лето	осень	
1	1961-1970	44	50	59	60	213
2	1971-1980	46 ↑	51 ↑	47 ↓	58 ↓	202 ↓
3	1981-1990	50 ↑	58 ↑	58 ↑	55 ↓	221 ↑
4	1991-2000	49 ↓	57 ↓	60 ↑	51 ↓	217 ↓
5	2001-2010	47 ↓	70 ↑	49 ↓	54 ↑	220 ↑
6	2011-2020	49 ↑	58 ↓	45 ↓	48 ↓	200 ↓
7	2021-2023	47 ↓	64 ↑	46 ↑	68 ↑	225 ↑
	1961-2023	47	58	52	56	213

На рисунке 49 представлены временные ряды аномалий годовых и сезонных сумм осадков за период 1961-2023 гг. Наибольшие аномалии осадков отмечаются в весенне-летний период и достигают более 80 % от средней многолетней суммы. В осенне-зимний период аномалии осадков не превышают 80 %.

Сезонные суммы осадков за период исследования возрастают зимой и весной. Скорость увеличения осадков весной составляет 2,7 мм/10 лет, что почти в 4 раза больше, чем зимой (0,7 мм/10 лет). Летом и осенью отмечается уменьшение сезонных сумм осадков на 2,1 мм/10 лет и 1,1 мм/10 лет соответственно (рис. 50). Годовые суммы осадков незначительно увеличились на 0,2 мм за 10 лет. Для территории ЗКР тенденция изменения годовых и сезонных сумм осадков статистически незначимая, за исключением весны, когда тенденция к увеличению осадков статистически значимая и имеет наибольшую скорость.

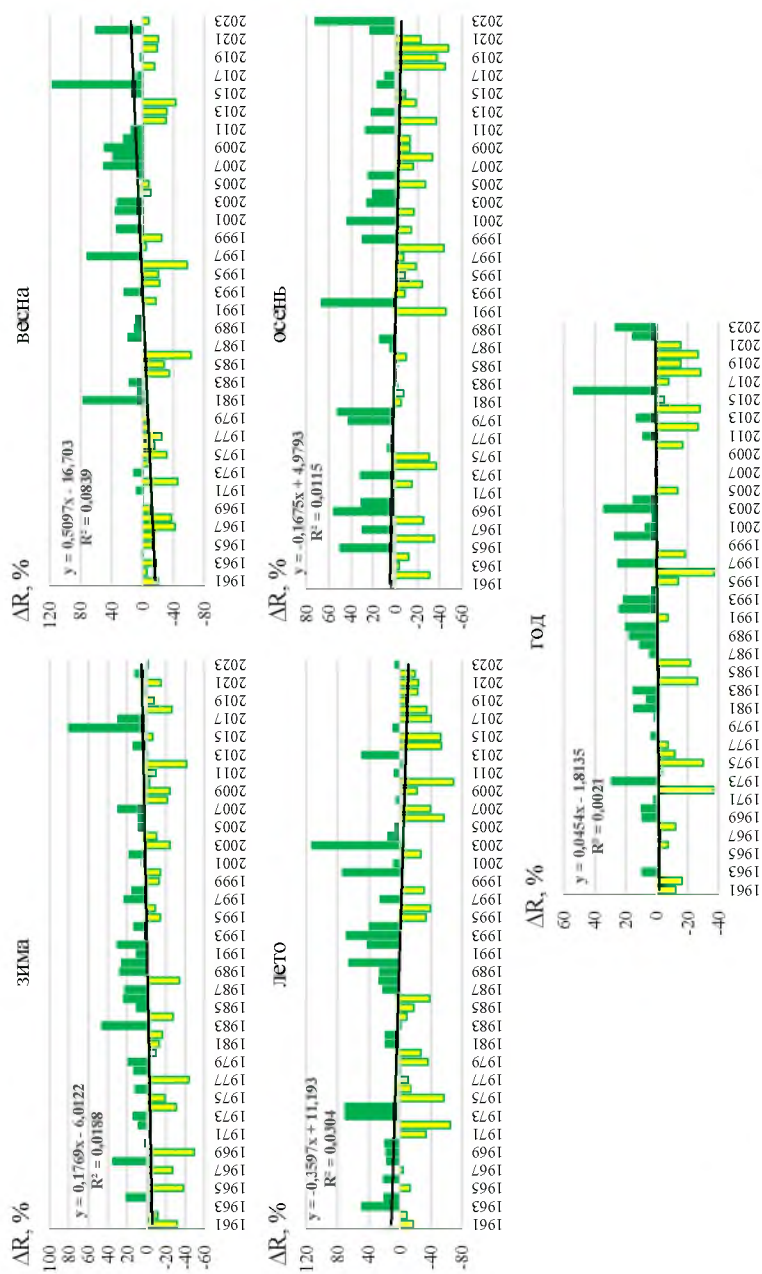


Рисунок 49. Временной ход годовых и сезонных аномалий сумм осадков (%) ЗКР за 1961-2023 гг.

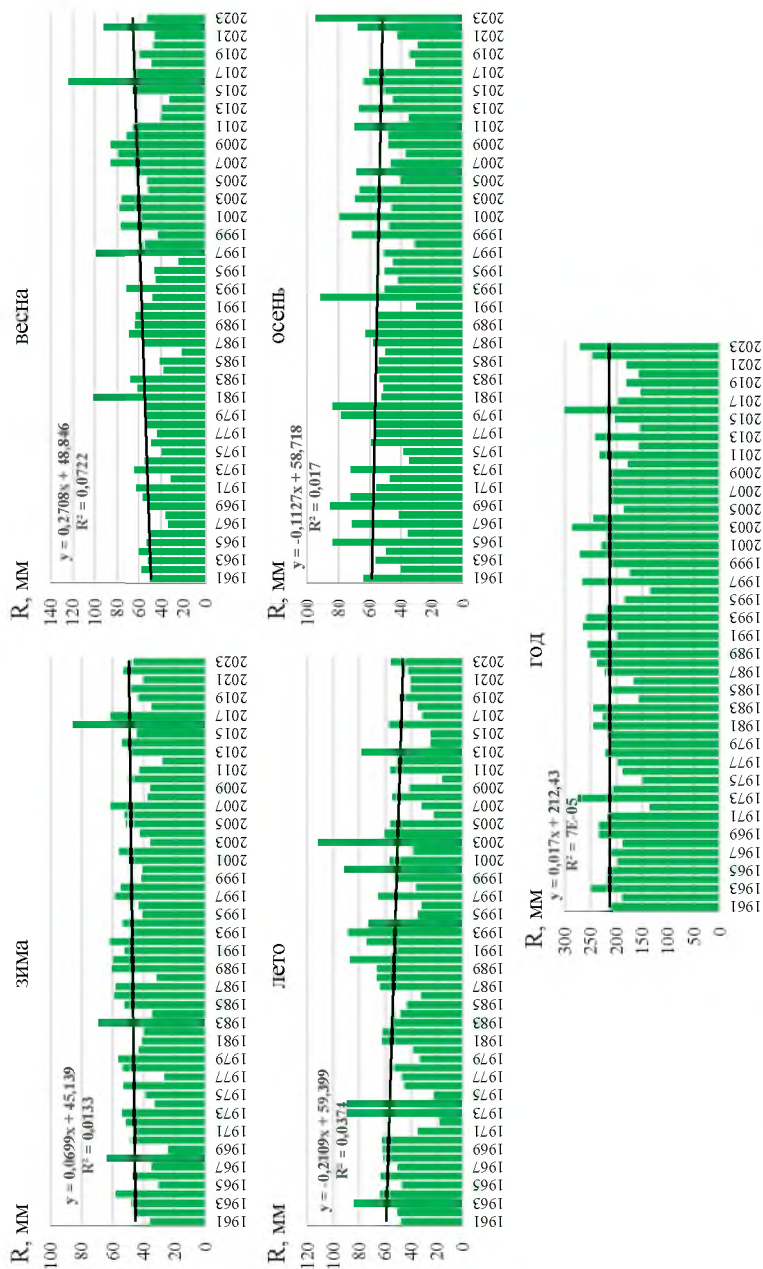


Рисунок 50. Временной ход годовых и сезонных сумм осадков (мм) ЗКР за 1961-2023 гг

Тенденции изменения атмосферных осадков, аналогично температуре воздуха, проверены непараметрическими критериями Манна – Кендалла, Сена и Петтита для 5 %-го уровня значимости.

Применение оценки наклона Сена совместно с модифицированным тестом Манна – Кендалла позволит выявить наличие статистически значимого тренда и количественно оценить его величину для областей ЗКР (табл. 21).

Месячные суммы осадков ЗКР имеют положительную тенденцию в период с декабря по май, при этом лишь в феврале и мае отмечается значимая скорость роста, равная 1,8 мм/10 лет и 5,4 мм/10 лет соответственно (табл. 21). С июня по ноябрь зафиксировано уменьшение осадков, со значимой тенденцией в августе (5,4 мм/10 лет).

Для областей ЗКР ярко выраженной общей тенденции в изменении месячных сумм осадков не наблюдается, лишь с июня по ноябрь отмечается в основном незначимое их уменьшение (табл. 21). Так, в Актюбинской области значимая тенденция снижения осадков присуща для июня и составляет 2 мм за 10 лет, с декабря по май имеется незначительный рост месячных осадков. В ЗКО период снижения сумм осадков увеличился на два месяца (декабрь и январь), а значимый тренд зафиксирован только в августе, составляющий 2 мм/10 лет. В Атырауской области увеличение месячных сумм наблюдается с февраля по май и в декабре. Слабый, но значимый рост осадков зафиксирован в феврале и составил 0,7 мм/10 лет, а в мае скорость роста существенно возрастает и достигает 2,5 мм/10 лет. В Мангистауской области слабые положительные тенденции зафиксированы в январе и мае, однако только в январе скорость роста осадков значимая (0,7 мм/10 лет). Слабые значимые тенденции снижения осадков отмечаются летом, в июне (0,9 мм/10 лет) и августе (0,6 мм/10 лет).

Сезонные суммы осадков растут зимой и весной, а летом и осенью отмечается их уменьшение, но тенденции незначимы. Весной в Атырауской и Западно-Казахстанской областях имеет место значимый рост сезонных сумм осадков на 4,2 мм/10 лет и 3,5 мм/10 лет соответственно. Осенью лишь в Мангистауской области наблюдается значимое медленное уменьшение осадков на 0,4 мм/10 лет (табл. 21). Для территории ЗКР значимые тренды сезонных сумм осадков зафиксированы весной (рост на 8,2 мм/10 лет) и летом (уменьшение на 7,8 мм/10 лет).

Таблица 21. Модифицированный критерий Манна – Кендалла и наклон Сена для трендов месячных, сезонных и годовых сумм осадков по областям ЗКР

Месяц / время года	Актобинская область			Атырауская область			Западно- Казахстанская область			Мангистауская область			Западно- Казахстанский регион		
	Z-value	p-value	Sen's slope	Z-value	p-value	Sen's slope	Z-value	p-value	Sen's slope	Z-value	p-value	Sen's slope	Z-value	p-value	Sen's slope
Январь	0,38	0,70	0,023	-0,11	0,91	-0,005	-0,18	0,86	-0,006	2,04	0,04	0,065	0,23	0,82	0,048
Февраль	1,91	0,06	0,076	4,13	0,00	0,074	1,26	0,21	0,081	-0,15	0,88	-0,005	2,71	0,01	0,184
Март	0,90	0,37	0,068	1,77	0,08	0,070	1,14	0,25	0,097	-0,67	0,50	-0,037	1,16	0,25	0,274
Апрель	0,26	0,79	0,031	1,01	0,31	0,068	1,96	0,05	0,117	-0,89	0,37	-0,066	0,39	0,69	0,073
Май	1,33	0,18	0,150	5,36	0,00	0,254	1,33	0,18	0,119	1,43	0,15	0,072	2,38	0,02	0,535
Июнь	-2,29	0,02	-0,207	-1,41	0,16	-0,095	-0,95	0,34	-0,083	-2,03	0,04	-0,093	-1,48	0,14	-0,492
Июль	-0,21	0,83	-0,030	0,64	0,52	0,033	-0,22	0,83	-0,012	-0,23	0,82	-0,012	-0,03	0,98	-0,018
Август	-1,01	0,31	-0,088	-1,88	0,06	-0,086	-2,81	0,00	-0,202	-2,23	0,03	-0,063	-2,12	0,03	-0,540
Сентябрь	-1,02	0,31	-0,077	-0,84	0,40	-0,028	0,24	0,81	0,011	-1,86	0,06	-0,076	-1,07	0,28	-0,209
Октябрь	-0,91	0,36	-0,096	0,43	0,67	0,037	-0,21	0,83	-0,024	-0,40	0,69	-0,023	-0,31	0,76	-0,084
Ноябрь	-0,14	0,89	-0,017	-0,72	0,47	-0,043	-1,04	0,30	-0,115	0,39	0,70	0,021	-0,49	0,63	-0,190
Декабрь	0,20	0,84	0,032	0,14	0,89	0,008	-0,41	0,68	-0,039	-0,69	0,49	-0,032	-0,34	0,73	-0,076
Зима	0,65	0,51	0,104	0,86	0,39	0,092	0,28	0,78	0,033	-0,08	0,93	-0,004	0,58	0,56	0,179
Весна	1,70	0,09	0,233	2,63	0,01	0,418	2,21	0,03	0,348	-0,19	0,85	-0,035	2,21	0,03	0,823
Лето	-1,81	0,07	-0,285	-1,23	0,22	-0,153	-1,45	0,15	-0,275	-1,12	0,26	-0,117	-2,81	0,00	-0,777
Осень	-1,04	0,30	-0,158	0,00	1,00	-0,001	-0,72	0,47	-0,136	-2,01	0,04	-0,151	-1,49	0,14	-0,717
Год	-0,08	0,93	-0,044	1,12	0,26	0,305	-0,62	0,54	-0,171	-1,59	0,11	-0,273	-0,08	0,94	-0,123

Значения, выделенные жирным шрифтом, являются значимыми при $p < 0,05$.

Годовые суммы осадков имеют незначимую отрицательную тенденцию для всех областей ЗКР, только в Атырауской области отмечается положительный тренд. Средние и экстремальные суммы осадков по метеостанциям Западно-Казахстанского региона за 1961-2023 гг. представлены в приложении Г.

Тест Петтита показал, что летом и в теплый период года для территории ЗКР имеет место год резкого изменения осадков, который отмечается в начале XXI века (табл. 22).

Таблица 22. Параметры теста Петтита для годовых и сезонных сумм осадков для территории ЗКР

Сезон	U-value	p-value	Год резкого изменения	R _{CP1}	R _{CP2}	R _{CP1} – R _{CP2}
Зима	192	0,90	2007			
Весна	268	0,43	1986			
Лето	466	0,02	2005	57	42	15 ↓
Осень	298	0,30	1992			
XI-III	128	1,00	2007			
IV-X	288	0,03	2004	132	120	12 ↓
Год	298	0,30	2004			

Значения, выделенные жирным шрифтом, являются значимыми при $p < 0,05$.

Временной ход летних сумм осадков ЗКР, а также осадков за теплый период представлен на рисунке 51.

Для лета 2005 год стал годом резкого уменьшения осадков в ЗКР. Для первого периода средняя сезонная сумма осадков составила $R_{CP1} = 57$ мм, а для второго – $R_{CP2} = 42$ мм (табл. 22). Соответственно, летние осадки уменьшились на 26 % (15 мм). В теплый период года переломным является 2004 год, осадков в среднем после данного года стало меньше на 9 %.

Следовательно, значимые тенденции уменьшения атмосферных осадков отмечаются летом, что приводит к их снижению в теплый период года.

Экстремальность в рядах осадков. Для выявления месяцев с экстремальным количеством осадков воспользуемся общеизвестной классификацией [84]. Определим вероятность событий выпавших осадков R :

$$R = \frac{R_i}{\bar{R}} \cdot 100\%, \quad (13)$$

где R_i – количество выпавших осадков за данный месяц, мм;
 $\bar{R}$ – среднее многолетнее количество осадков за данный месяц, мм.

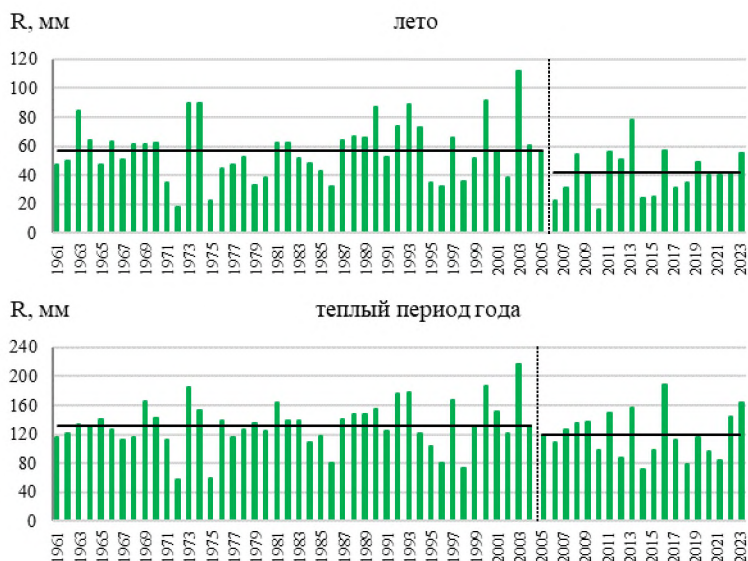


Рисунок 51. Временной ход летних сумм осадков и за теплый период года (мм) ЗКР до и после года разладки

Если месячные значения R менее 80 %, оцениваем как месяц с дефицитом осадков, значения в пределах 80-120 % – норма, а более 120 % – месяцы с избыточным количеством осадков.

В приложении Д представлены месячные, сезонные и годовые суммы осадков за период 1961-2023 гг. по территории ЗКР. Можно заметить, что месячные суммы осадков имеют значительную пестроту, при этом в равных долях наблюдается как избыток, так и дефицит осадков. Внутри года в 20-30 случаях осадки выпадают ниже нормы, что составляет 32-46 % от общего количества лет. Осадки, превышающие норму, зафиксированы в 18-24 случаях (29-38 %), а в 19-35 % случаев отмечается норма осадков.

В таблице 23 приведено число случаев с дефицитом, нормой и избытком осадков по областям ЗКР по сезонам и за год в целом за период 1961-2023 гг.

Таблица 23. Число случаев с дефицитом, нормой и избытком осадков по областям ЗКР по сезонам и за год в целом за период 1961-2023 гг.

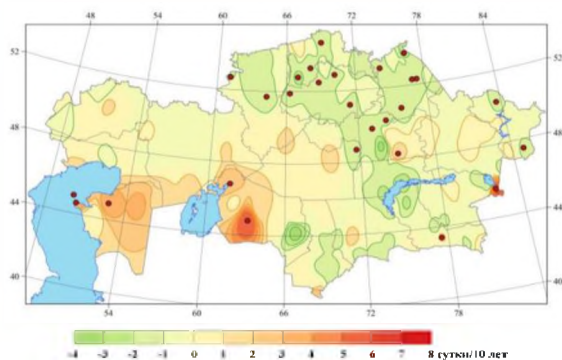
Категория	Сезон				Год
	зима	весна	лето	осень	
	Актобинская область				
Дефицит	17	18	20	20	12
Норма	28	30	24	32	40
Избыток	18	15	19	11	11
	Атырауская область				
Дефицит	17	22	24	20	11
Норма	32	25	19	30	42
Избыток	14	16	20	13	10
	Западно-Казахстанская область				
Дефицит	14	20	24	18	7
Норма	35	25	21	31	44
Избыток	14	18	18	14	12
	Мангистауская область				
Дефицит	22	21	23	22	12
Норма	23	25	21	22	41
Избыток	18	17	19	19	10
	Западно-Казахстанский регион				
Дефицит	13	16	20	15	9
Норма	38	35	27	31	46
Избыток	12	12	16	17	8

Зимой в Актыобинской и Западно-Казахстанской областях количество случаев с дефицитом и избытком осадков одинаково, чаще всего осадков выпадает в пределах нормы. В областях, граничащих с Каспийским морем, имеется незначительное превышение осадков ниже нормы над избытком, однако в Атырауской области чаще выпадает норма осадков. В остальные сезоны года случаев с дефицитом осадком несколько больше, но они не превышают норму осадков.

Для ЗКР осадков ниже нормы выпадает в среднем 21-25 % (13-15 случаев) во все сезоны года, лишь летом число случаев возрастает до 20 и составляет 32 %. Наибольшее число случаев с избытком осадков отмечается летом и осенью (25-27 %), а зимой и весной отмечено только 12 случаев из 63. Таким образом, в регионе чаще всего отмечается осадков в пределах нормы, лишь с большим количеством случаев зимой и весной (56-60 %), уменьшающихся к лету и осени до 43-49 %.

За период исследования на территории ЗКР отмечались годы с дефицитом (9 лет) и избытком (8 лет) осадков (табл. 23). При этом за последние 11 лет зафиксирован дефицит осадков в 2012, 2014, 2018 и 2020 гг., а избыток – лишь в 2016 и 2023 гг. (приложение Д).

Тенденции в экстремумах атмосферных осадков. На рисунке 52 представлено изменение максимальной продолжительности бездождного периода [79], когда суточное количество осадков составляло менее 1 мм (индекс CDD).



Красными кружками выделены пункты, по данным которых коэффициенты тренда статистически значимы на 5%-м уровне.

Рисунок 52. Темпы изменения индекса CDD – максимальной продолжительности бездождного периода в 1961-2023 гг. [79]

По территории ЗКР отмечены слабые тенденции, как в сторону уменьшения, так и в сторону увеличения бездождного периода на 1-3 дня/10 лет. Тренды в основном незначимы, за исключением некоторых станций Мангистауской области, где зафиксировано статистически значимое увеличение максимальной продолжительности бездождного периода.

Таким образом осадки ЗКР изменяются в основном в пределах нормы и лишь в 13-14 % случаев могут быть экстремальными в течение года. Чаще всего наблюдается экстремальность в месячных суммах осадков.

4. АТМОСФЕРНАЯ ЦИРКУЛЯЦИЯ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ

4.1. Многолетние колебания общей циркуляции атмосферы и распределение аномалий температуры воздуха и осадков

Атмосферная циркуляция формирует пространственную структуру полей температуры воздуха и осадков, перераспределяя тепло и влагу атмосферными течениями. Долгопериодные изменения в системе атмосфера – океан – суша приводят к изменениям в структуре крупномасштабной циркуляции, которые, что, в свою очередь, проявляется в региональных особенностях изменения климата и естественной климатической изменчивости. Это подчеркивает важность анализа атмосферной циркуляции и ее изменений для понимания региональных изменений климата [83].

Многолетние колебания атмосферной циркуляции исследуются с помощью различных индексов и классификаций, характеризующих количественно или качественно те или иные циркуляционные структуры [251].

Одной из наиболее известных является классификация Г.Я. Вангенгейма – А.А. Гирса, в которой все процессы общей циркуляции атмосферы (ОЦА) в атлантико-евразийском секторе северного полушария обобщены в три формы: западную *W*, восточную *E* и меридиональную *C*. Классификация Г.Я. Вангенгейма основана на учете характера длинных термобарических волн, наблюдаемых в тропосфере и нижней стратосфере. Особенности этих волн во многом определяют основные черты распределения приземных полей температуры и осадков, свойственных формам циркуляции [252].

Процессам западной циркуляции *W* соответствует наличие очага холода в приполярном районе и зоны тепла в низких широтах, при этом градиенты температуры воздуха и давления в

значительной толще тропосферы увеличены и направлены с юга на север. При зональной циркуляции значительная доля величины температурного контраста между полюсами и экватором сосредоточена в сравнительно узкой зоне шириной 500 - 1000 км. Эта зона обычно опоясывает кругом все полушарие и является основной планетарной высотной фронтальной зоной (ПВФЗ). В тропосфере наблюдаются волны малой амплитуды, быстро смещающиеся с запада на восток [253].

При меридиональной форме циркуляции *C* в тропосфере отмечаются стационарные волны большой амплитуды в пределах атлантико-евразийского сектора полушария. ПВФЗ характеризуется двумя высотными гребнями – над Западной Европой и Западной Сибирью и Казахстаном. Между этими гребнями располагается глубокая ложбина над европейской территорией России (ЕТР). В отдельных случаях тот или иной высотный гребень может быть развит слабо или усиливаться лишь эпизодически. Возможны также случаи, когда, например, западный гребень сильно развит в северо-восточном направлении, а на участке ПВФЗ над Казахстаном наблюдаются волны, смещающиеся сравнительно быстро в восточном направлении. В этом случае погода над Казахстаном существенно отличается от той, которая характерна для гребневого положения ПВФЗ над этой территорией.

При другой меридиональной форме циркуляции *E*, часто называемой восточной формой, основной особенностью длинных термобарических волн также является их стационарность. Высотный гребень располагается над ЕТР и Украиной. К западу и востоку от этого гребня обычно находятся глубокие холодные ложбины, направленные из Гренландии на Европу и из районов Таймыра на Западную Сибирь и Казахстан, которым соответствуют на приземных картах циклоны, обуславливающие в своем тылу вторжение холодных воздушных масс [253].

Формы атмосферной циркуляции Г.Я. Вангенгейма хорошо согласуются с географическим положением областей аномалий температуры воздуха, давления и осадков атлантико-евразийского сектора северного полушария. При зональных процессах (*И*) отрицательные аномалии температуры воздуха и давления наблюдаются в высоких, а положительные – в умеренных и субтропических широтах рассматриваемого сектора северного

полушария. При меридиональных формах E и C положительные аномалии температуры воздуха и давления в среднем отмечаются в гребнях, а отрицательные – в ложбинах. При этом области положительных аномалий температуры воздуха и осадков формируются под западными частями высотных гребней.

Следует отметить, что изучением свойств общей циркуляции атмосферы, ее форм и характера погоды, свойственного каждой форме, в 60-70-е годы XX в. для территории Казахстана обстоятельно занимался М.Х. Байдал [253, 254].

Количественной характеристикой классификации служит число дней N с той или иной формой циркуляции (N_W , N_E , N_C) или их аномалий (ΔN_W , ΔN_E , ΔN_C). Изучение многолетних колебаний атмосферной циркуляции осуществлялось на основе данных о повторяемости форм циркуляции W , E и C , которые за 1891-1972 гг. опубликованы в монографии А.А. Гирса [252], а с 1972 по 2023 год любезно предоставлены ГУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (АНИИ).

В монографии проведен анализ числа дней с формами циркуляции Г.Я. Вангенгейма за 1891-2023 гг., который показал, что годовое число дней с формой W уменьшалось от 180-220 сут/год (начало 1890-х гг.) до 120-160 сут/год (2000-2015 гг.) со скоростью 35 сут/100 лет (рис. 53). Однако в период 1963-1983 гг. число дней с формой W не превышало 100 при среднем значении 121 сут/год (табл. 24). Среднее число дней с формой C равно 92 сут/год. Данная форма циркуляции также уменьшается, но с меньшей скоростью – 12 сут/100 лет. Можно выделить периоды, когда число дней с формой циркуляции C превышает 100 сут/год (1893-1917; 1940-1948; 1956-1973; 1991-1997 гг.), но данный факт имеет место лишь в 30 % случаев за 1891-2023 гг. Годовое число дней с формой E , напротив, увеличивалось от 42-80 сут/год (1891-1899 гг.) до 200-262 сут/год (1966-1986 гг.) со скоростью 47 сут/100 лет. Диапазон изменения наиболее встречающихся значений – 100-200 сут/год, при среднем значении 152 сут/год. Рисунок 53 свидетельствует о постепенных изменениях атмосферной циркуляции в атлантико-евразийском секторе северного полушария за 133 года. Наряду с этим для сезонов года также рассчитано число дней с формами циркуляции W , C и E за тот же период (рис. 54).

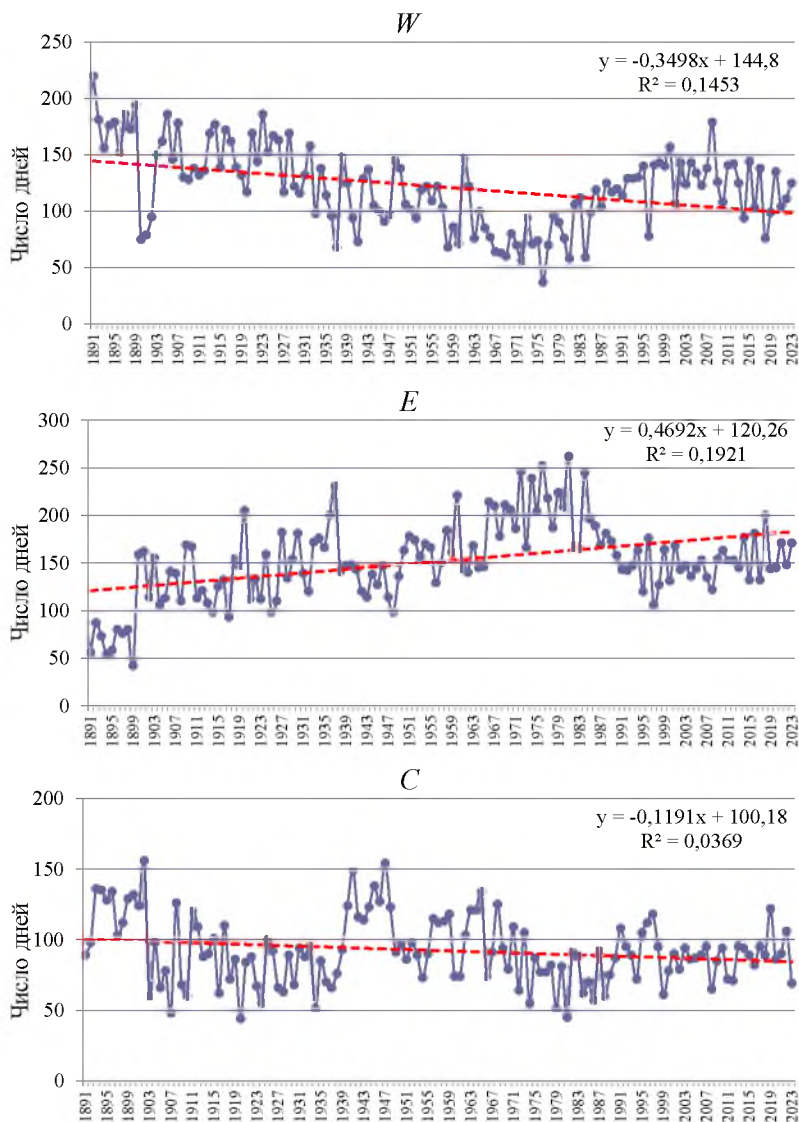


Рисунок 53. Изменение во времени числа дней за год с формами атмосферной циркуляции *W*, *E* и *C* в атлантико-евразийском секторе северного полушария

Таблица 24. Общее, среднее, максимальное и минимальное число дней с формами циркуляции *W*, *E* и *C* за 1891-2023 гг.

Форма циркуляции	Показатель	Месяцы												Год	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII		
<i>W</i>	общее	1505	1163	1337	1011	996	1206	1204	1417	1602	1680	1474	1546	16141	
	среднее	13	10	11	9	9	10	10	11	13	13	12	13	121	
	минимальное	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>37</u>	
		1893	1955	1896	1950	1971	1936	1967	1937	1976	1915	1968	1897	1976	
	максимальное	29	24	<u>31</u>	<u>25</u>	24	<u>25</u>	31	<u>31</u>	30	31	29	29	220	
		1932	1914	1961	1899	1924	1931	1928	1907	1891	1895	1913	1905	1891	
<i>E</i>	амплитуда	27	23	30	24	23	23	30	30	28	29	28	28	183	
	общее	1665	1734	1775	1788	1826	1472	1707	1820	1436	1473	1720	1760	20176	
	среднее	14	14	14	15	14	13	14	15	12	12	14	14	152	
	минимальное	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>3</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	42	
		1918	1891	1940	1919	1896	1935	1893	1897	1947	1997	1913	1957	1899	
	максимальное	<u>31</u>	<u>29</u>	<u>31</u>	<u>30</u>	<u>31</u>	<u>30</u>	<u>31</u>	<u>29</u>	<u>26</u>	<u>27</u>	<u>30</u>	<u>31</u>	<u>262</u>	
<i>C</i>		1900	1984	1904	1918	1906	1972	1927	1940	1949	1901	1900	1903	1981	
	амплитуда	29	28	28	29	30	28	29	28	25	26	29	29	220	
	общее	953	860	1011	1191	1300	1312	1212	886	955	970	796	817	12263	
	среднее	9	8	9	10	11	11	10	8	9	9	8	8	92	
	минимальное	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>1</u>	<u>1</u>	44	
		1934	1940	1903	1970	1932	1915	1922	1951	1946	1910	1962	1990	1920	
	максимальное	<u>25</u>	<u>26</u>	<u>28</u>	<u>27</u>	<u>31</u>	<u>26</u>	<u>28</u>	<u>21</u>	<u>23</u>	<u>24</u>	<u>20</u>	<u>23</u>	<u>156</u>	
		1963	1932	1948	1893	1947	1940	1944	1914	1894	1922	1901	1940	1902	
	амплитуда	24	25	27	25	30	25	26	20	22	22	19	22	112	

Числитель – максимальное и минимальное число дней с формой циркуляции, знаменатель – год экстремального значения

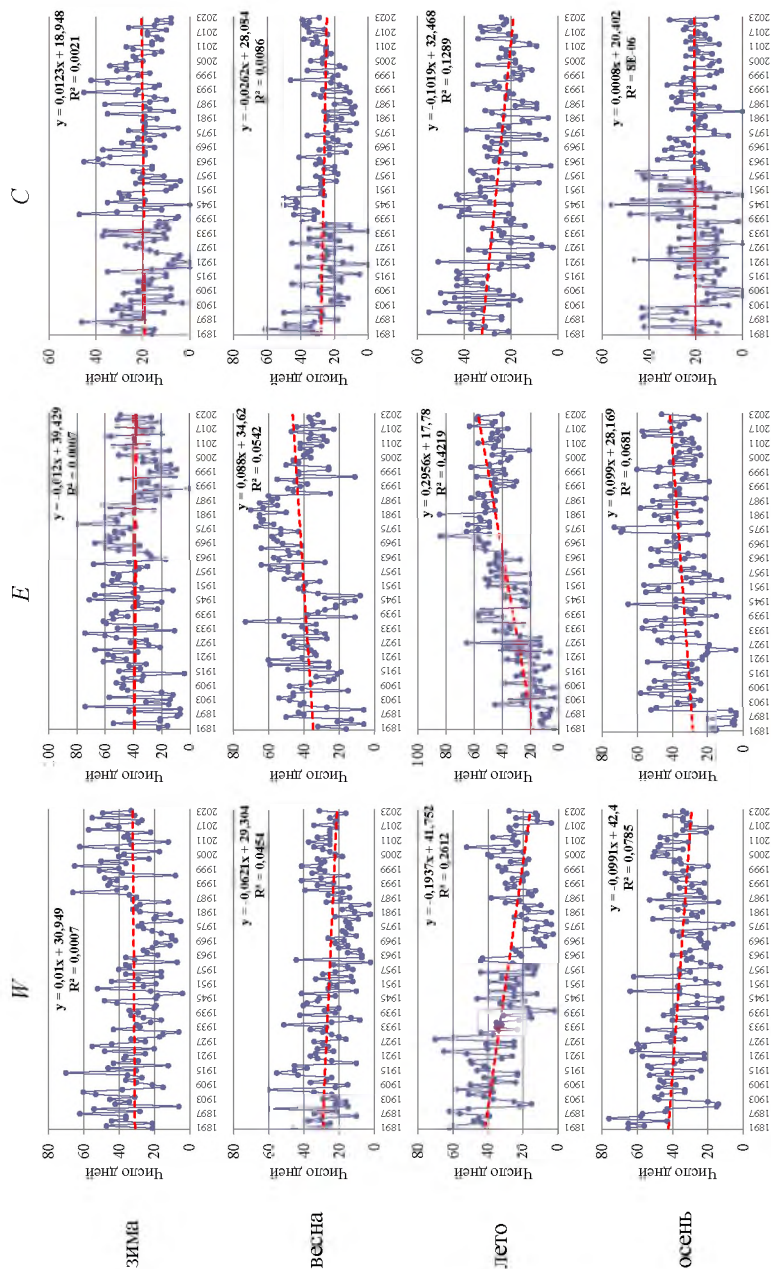


Рисунок 54. Временной ход сезонного числа дней с формами атмосферной циркуляции W, E и C

В осенне-зимний период тренды всех форм циркуляции статистически незначимы. Осенью наблюдается незначимое увеличение числа дней с формами циркуляции E (со скоростью 10 сут/100 лет) и уменьшение числа дней с формой циркуляции W . Зимой зафиксировано слабое повышение числа дней с формами циркуляции W и C , а для E – незначительное уменьшение (скорость изменения составляет 1 сут/100 лет).

В весенне-летний период наблюдается противоположная зиме картина: убывание числа дней с формой циркуляции W , C и увеличение с формой циркуляции E . Причем скорость роста является наибольшей и составляет весной 9 сут/100 лет, а летом – 30 сут/100 лет. Наименьшая скорость падения свойственна для формы циркуляции C (весной – 3 сут/100 лет, летом – 10 сут/100 лет) и в 2 раза больше у формы циркуляции W (весной – 6 сут/100 лет, летом – 19 сут/100 лет). Весенние тренды незначимы, а летом значимы для форм циркуляции W и E (рис. 54).

Полученные результаты согласуются с результатами исследований, проведенных Н.С. Сидоренковым, И.А. Орловым, Ю.П. Переведенцевым, Г.К. Турулиной, В.Г. Сальниковым, С.Е. Поляковой, Ж.К. Наурузбаевой [7, 83, 121, 166, 255-257].

Одним из доказательств существования многолетних колебаний общей циркуляции атмосферы являются значительные изменения повторяемости макропроцессов W , C и E в атлантико-евразийском секторе северного полушария (табл. 24). Многолетнее число дней указанных форм циркуляции за 1891-2023 гг. составило 16 141 для W , 20 176 – для E и 12 263 – для C , среднее многолетнее число дней (норма) для W равно 121, для E – 152, для C – 92. Наибольшие межгодовые изменения претерпевает повторяемость процессов формы E (220 дней); процессы этой формы имеют и наибольшую повторяемость за 1891-2023 гг.; а наименьшие изменения присущи процессам формы C (112 дней) [83, 251].

Интерес представляют особенности тех лет, когда наблюдаются значительные отклонения от средних многолетних значений числа дней с той или иной формой атмосферной циркуляции, т.е. когда повторяемость той или иной формы составляет $\geq 40\%$ общего числа случаев при отклонении от нормы более 30 дней (табл. 25).

Таблица 25. Годы максимальных положительных аномалий числа дней с различными формами атмосферной циркуляции за 1891-2023 гг.

Год	Преобладающая форма	Отклонение от нормы, дни	Повторяемость формы, %	Остальные формы (отклонение от нормы), дни
1	2	3	4	5
1891	<i>W</i>	99	60,3	E(-96), C(-3)
1892	<i>W</i>	60	49,5	E(-65), C(6)
1893	<i>W</i>	35	42,7	E(-79), C(44)
1894	<i>W</i>	55	48,2	E(-98), C(43)
1895	<i>W</i>	58	49,0	E(-94), C(36)
1896	<i>W</i>	31	41,5	E(-72), C(42)
1897	<i>W</i>	65	51,0	E(-76), C(11)
1898	<i>W</i>	52	47,4	E(-72), C(20)
1899	<i>W</i>	73	53,2	E(-110), C(37)
1902	<i>C</i>	64	42,7	W(26), E(-38)
1904	<i>W</i>	41	44,3	E(-39), C(-26)
1905	<i>W</i>	65	51,0	E(-46), C(6)
1907	<i>W</i>	57	48,8	E(-13), C(-44)
1913	<i>W</i>	48	46,3	E(-44), C(-4)
1914	<i>W</i>	56	48,5	E(-54), C(-2)
1916	<i>W</i>	51	47,0	E(-20), C(-30)
1917	<i>W</i>	41	44,4	E(-59), C(18)
1920	<i>E</i>	53	56,0	W(-4), C(-48)
1921	<i>W</i>	48	46,3	E(-40), C(-8)
1923	<i>W</i>	65	51,0	E(-40), C(-25)
1925	<i>W</i>	46	45,8	E(-54), C(8)
1926	<i>W</i>	42	44,7	E(-42), C(0)
1928	<i>W</i>	48	46,2	E(-18), C(-29)
1932	<i>W</i>	37	43,2	E(-32), C(-4)
1936	<i>E</i>	48	54,6	W(-25), C(-22)
1937	<i>E</i>	79	63,3	W(-53), C(-26)
1941	<i>C</i>	57	40,8	W(-48), E(-9)
1947	<i>C</i>	62	42,2	W(-24), E(-38)
1958	<i>E</i>	32	50,4	W(-53), C(21)
1960	<i>E</i>	69	60,4	W(-50), C(-18)
1966	<i>E</i>	62	58,6	W(-44), C(-18)
1967	<i>E</i>	58	57,5	W(-57), C(-1)
1969	<i>E</i>	59	57,8	W(-61), C(2)
1970	<i>E</i>	54	56,4	W(-41), C(-13)
1971	<i>E</i>	34	51,0	W(-51), C(17)
1972	<i>E</i>	94	67,2	W(-65), C(-28)
1974	<i>E</i>	87	65,5	W(-50), C(-37)
1975	<i>E</i>	52	55,9	W(-47), C(-5)

1	2	3	4	5
1976	<i>E</i>	100	68,9	W(-84), C(-15)
1977	<i>E</i>	66	59,7	W(-51), C(-15)
1979	<i>E</i>	72	61,4	W(-31), C(-41)
1980	<i>E</i>	57	57,1	W(-45), C(-11)
1981	<i>E</i>	110	71,8	W(-63), C(-47)
1984	<i>E</i>	93	66,9	W(-62), C(-30)
1985	<i>E</i>	44	53,7	W(-22), C(-22)
1986	<i>E</i>	37	51,8	W(-2), C(-35)
2000	<i>W</i>	36	42,9	E(-21), C(-14)
2008	<i>W</i>	58	48,9	E(-30), C(-27)
2018	<i>E</i>	48	54,8	W(-45), C(-3)

Следует отметить, что крупные положительные аномалии макроциркуляционных процессов отмечались во второй половине XX в. Самая крупная положительная аномалия формы *E* наблюдалась в 1981 г. (262 дня, т.е. на 110 дней больше нормы), формы *C* – в 1947 г. (154 дня, т.е. на 62 дня больше нормы). В эти годы процессы формы *E* и *C* имели в среднем непрерывную продолжительность более 10 дней. Повторяемость зональной формы циркуляции всегда меньше повторяемости меридиональных, и, тем не менее, в начале XXI в. преобладала именно эта форма циркуляции. Так, в 2000 году она составила 157 дней, что на 36 дня больше средних многолетних значений, а в 2008 году – 179 дней, или на 58 дней больше нормы (табл. 25).

Также были выделены годы, когда число дней с каждой формой циркуляции близко к средним многолетним значениям ($\pm 5\%$). Из всего ряда наблюдений удалось выделить лишь 7 таких лет:

- 1929 г. (*W* – 122 дня, *E* – 154 дня, *C* – 89 дней),
- 1939 г. (*W* – 125 дней, *E* – 147 дней, *C* – 93 дня),
- 1953 г. (*W* – 119 дней, *E* – 157 дней, *C* – 89 дней),
- 1990 г. (*W* – 120 дней, *E* – 158 дней, *C* – 87 дней),
- 2003 г. (*W* – 124 дня, *E* – 147 дней, *C* – 94 дня),
- 2006 г. (*W* – 123 дня, *E* – 153 дня, *C* – 89 дней),
- 2013 г. (*W* – 125 дней, *E* – 145 дней, *C* – 95 дней).

В эти годы крупномасштабные процессы отличались малой устойчивостью, непрерывная их продолжительность составляла в основном 3-7 дней, редко превышая 10.

Безусловный практический интерес представляют особенности распределения аномалий температуры воздуха и осадков по территории ЗКР для трех форм циркуляции. Для территории Казахстана такая работа была выполнена еще в 60-е гг. XX в. М.Х. Байдалом. За ряд лет (1930-1955 гг.) им были отобраны одноименные месяцы, в которых преобладал тот или иной тип циркуляции, затем для каждой группы месяцев были составлены карты аномалий температуры воздуха и осадков, которые широко использовались при составлении долгосрочных прогнозов погоды [253]. В данной работе проведен аналогичный анализ для всех сезонов года с 1961 по 2023 год. Для каждого сезона года выбирались месяцы с преобладанием определенной формы циркуляции (более 15 дней) и построены карты средней аномалии температуры воздуха и аномалии осадков в процентах от среднего многолетнего значения.

4.1.1. Особенности распределения аномалии температуры воздуха для различных форм циркуляции

При западной (*W*) форме циркуляции могут наблюдаться как положительная, так и отрицательная аномалия температуры воздуха. Зимой и весной на территории ЗКР отмечается положительная аномалия температуры воздуха. Наибольшие положительные аномалии температуры воздуха зафиксированы зимой и составляют в среднем 2-4 °С, причем очаг максимальных значений наблюдается на северо-западе и северо-востоке ЗКР. Весной тенденция сохраняется, но аномалия температуры воздуха несколько ниже – до 2 °С [258]. Летом и осенью отмечаются незначительные отрицательные аномалии температуры воздуха – от минус 0,2 °С до минус 0,7 °С. Летом на крайнем севере и в центральной части ЗКР, а осенью на западе Мангистауской области выделяются ареалы с более низкими аномалиями температуры воздуха, достигающими значений от минус 1,0 °С до минус 1,3 °С. Очаг положительных значений аномалии температуры воздуха (0,1-0,2 °С) наблюдается на северо-западе Западно-Казахстанской области осенью (рис. 55).

Меридиональная форма циркуляции *E* характеризуется отрицательными аномалиями температуры воздуха во все сезоны

годы (рис. 56), лишь летом в Западно-Казахстанской и Атырауской областях отмечаются положительные аномалии.

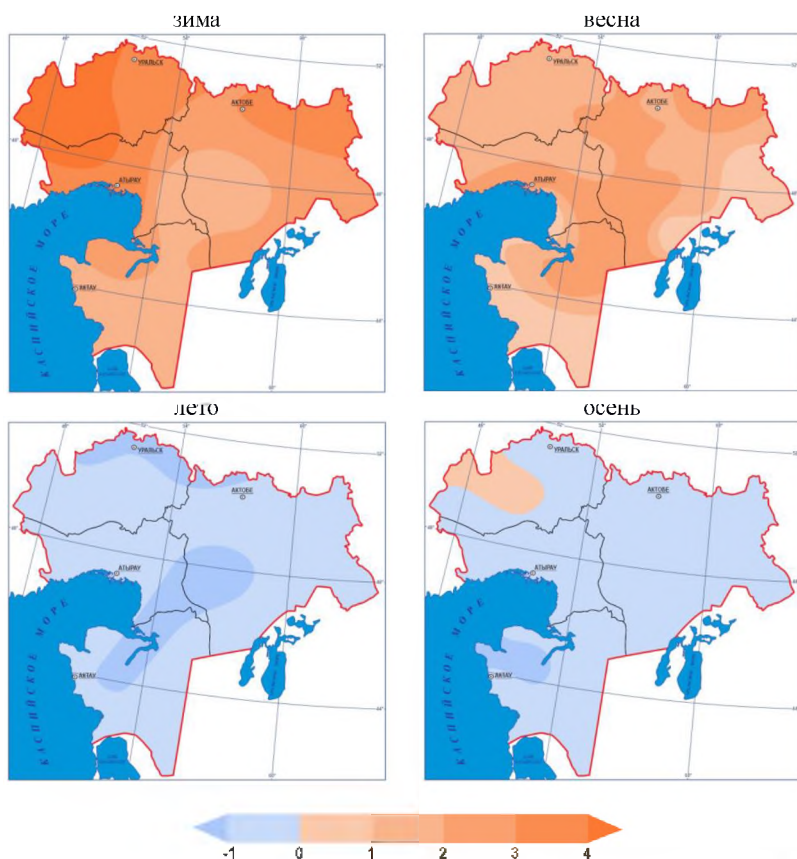


Рисунок 55. Сезонное распределение аномалий температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) по территории ЗКР для формы циркуляции *W*

Зимой отрицательные аномалии температуры воздуха достигают наибольших значений (ниже минус 7°C) на востоке ЗКР. В переходные сезоны года аномалия температуры воздуха составляет от минус $0,8^{\circ}\text{C}$ до минус $2,9^{\circ}\text{C}$ весной и от минус $2,7^{\circ}\text{C}$ до минус $3,8^{\circ}\text{C}$ осенью. Летом диапазон изменения аномалии температуры воздуха варьируется от минус $1,3^{\circ}\text{C}$ на востоке до $1,5^{\circ}\text{C}$ на западе ЗКР (рис. 56).

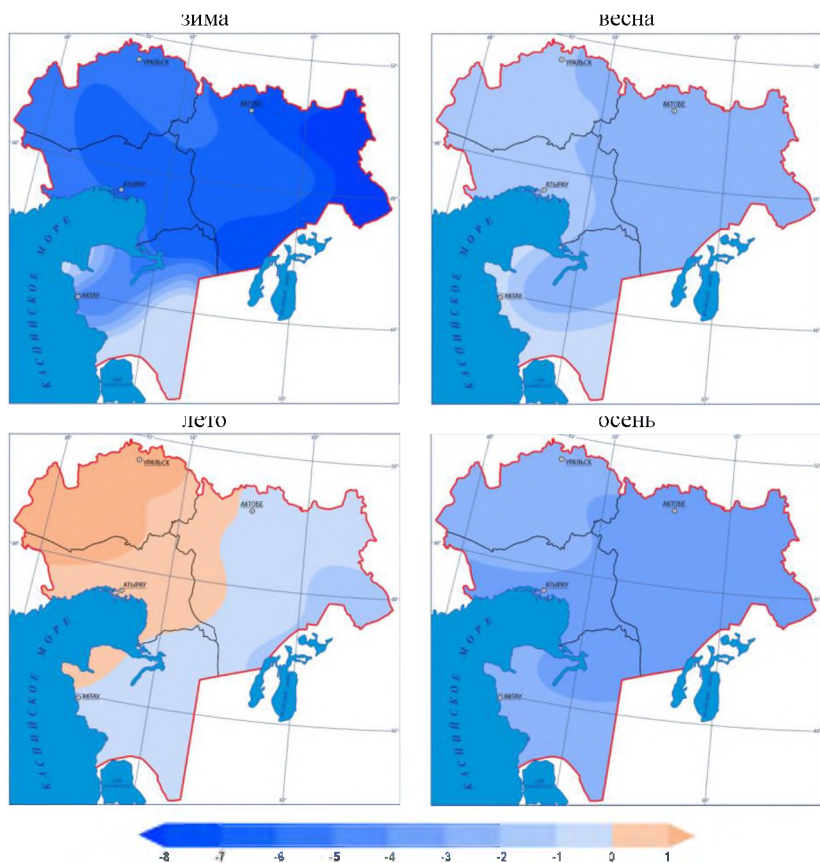


Рисунок 56. Сезонное распределение аномалий температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) по территории ЗКР для формы циркуляции *E*

При меридиональной форме *C* в течение всего года положительные аномалии температуры воздуха наблюдаются над большей частью Казахстана. Максимальные значения аномалии температуры воздуха составляют $2-3^{\circ}\text{C}$ и смещаются от зимы к лету из центральных районов на восток [258]. Исключение составляют западные районы ЗКР, где зимой и весной имеют место небольшие отрицательные аномалии, а летом и осенью – небольшие положительные аномалии (рис. 57).

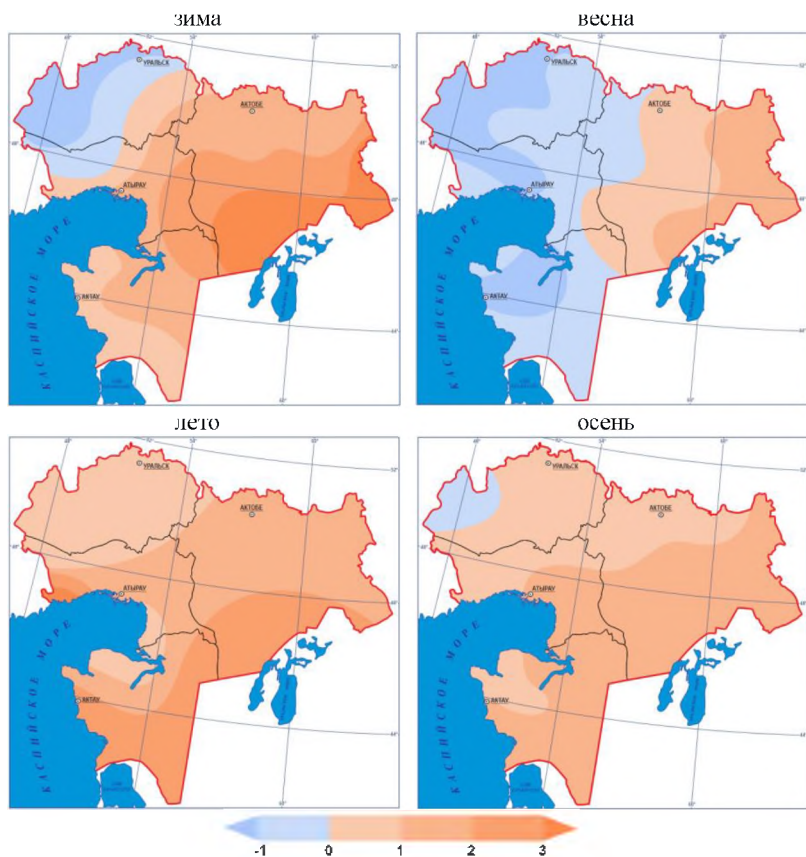


Рисунок 57. Сезонное распределение аномалий температуры воздуха ($^{\circ}\text{C}$) по территории ЗКР для формы циркуляции С

Приведенные особенности поля температуры воздуха для трех форм циркуляции являются средними характеристиками каждого сезона, в котором преобладает та или иная форма. В отдельные же месяцы (преимущественно зимние) отрицательные значения аномалии при форме *E* достигают $8-10^{\circ}\text{C}$; а положительные значения при форме *C*, особенно летом, – до $5-6^{\circ}\text{C}$. Эти экстремальные значения зависят не только от формы циркуляции, но и от ее продолжительности [258].

4.1.2. Особенности распределения аномалии сезонного количества осадков для различных форм циркуляции

Западная форма циркуляции зимой и летом характеризуется нормой осадков на значительной части территории ЗКР, однако имеются очаги дефицита и избытка осадков. Зимой на севере и северо-востоке ЗКР имеется область избыточного увлажнения, где осадков выпадает более чем 120 % от нормы. Так, на МС Каратобе, МС Сагиз, МС Эмба выпадает более 150 % от нормы осадков, а на МС Новоалексеевка – более 200 %. Другой очаг избыточного увлажнения сформирован в Мангистауской области, вблизи Каспийского моря. Наибольшее количество осадков зафиксировано на МС Кызан – более 155 % от нормы. Дефицит осадков зафиксирован на северо-западе Каспийского и Аральского морей (рис. 58). Летом на большей части Мангистауской и юго-западе Актюбинской областей при форме циркуляции *W* выделяется зона избыточного увлажнения. Наибольшие сезонные суммы осадков зафиксированы на МС Бейнеу и составляют около 170 % от нормы. На крайнем севере и северо-востоке также осадков выпадает больше нормы, суммы осадков за лето не превышают 150 %. Зона дефицита осадков проходит небольшой полосой с северо-запада на юго-восток Актюбинской области и на северо-западе Мангистауской области, вблизи Каспийского моря.

Весной дефицит осадков охватывает территории с востока ЗКО и северо-запада Актюбинской областей на северо-запад Мангистауской области. По обе стороны от зоны дефицита осадков располагаются районы избыточного увлажнения с сезонной суммой, превышающей 150 % (левый ареал), а в правом ареале – более 220 % от нормы. Осенью большая часть ЗКР подвержена избыточному увлажнению (на востоке Актюбинской области избыток осадков достигает 150% и более. Лишь на севере Каспийского моря и на западе ЗКО отмечаются зоны дефицита осадков (рис. 58).

При меридиональной циркуляции формы *E* количество осадков испытывает значительные колебания от сезона к сезону. В осенне-зимний период ЗКР подвержен дефициту осадков, однако вблизи Каспийского моря отмечается ареал, где осадков за сезон выпадает в пределах нормы (80-120 %), а осенью на

севере Мангистауской области имеется зона более 120 % от нормы (рис. 59).

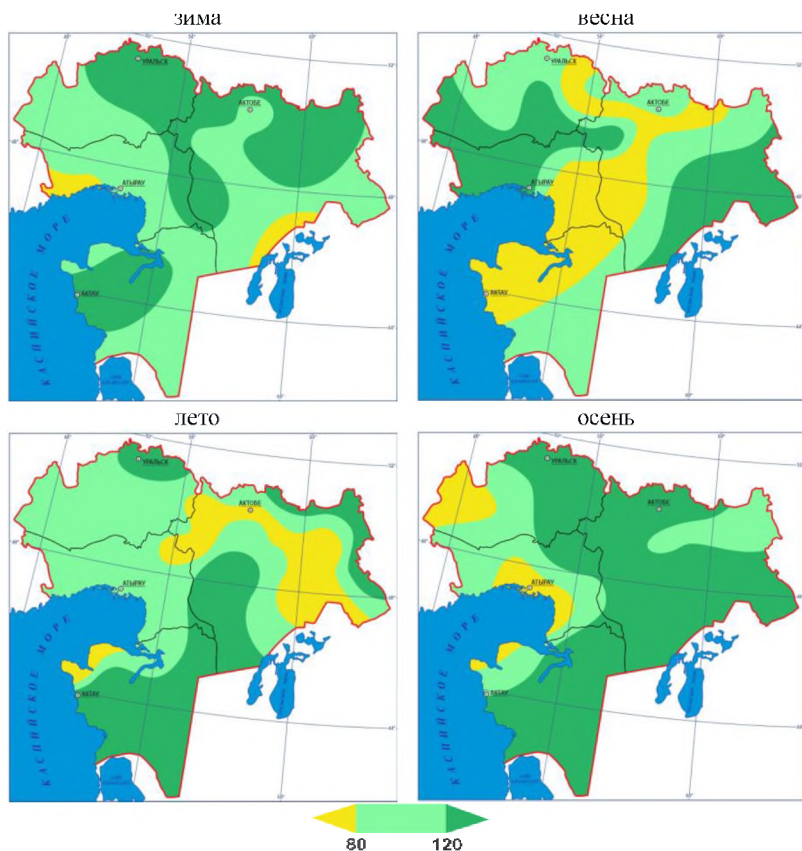


Рисунок 58. Сезонное распределение аномалий осадков (в % от нормы) по территории ЗКР для формы циркуляции *W*

В весенне-летний период при форме циркуляции *E* практически на всей территории ЗКР зафиксирован избыток осадков, только на северо-западе Западно-Казахстанской и юго-западе Атырауской областей весной выпадает сезонное количество осадков, составляющее 80-120 % от нормы (рис. 59). К лету область осадков в пределах нормы увеличивается на юго-восток ЗКР, и появляется зона дефицита осадков.

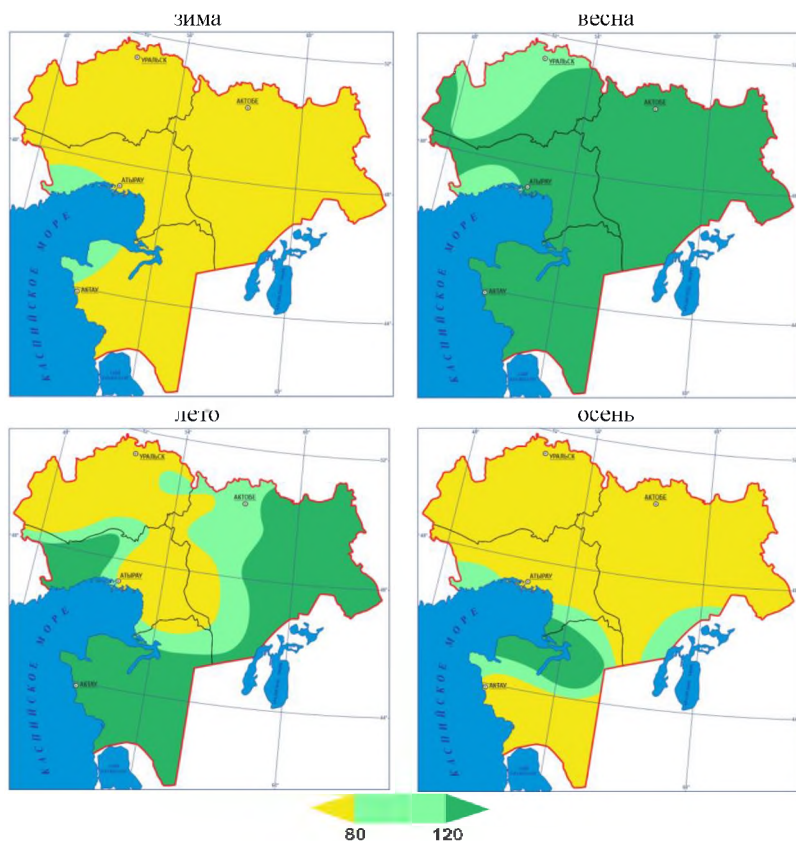


Рисунок 59. Сезонное распределение аномалий осадков (в % от нормы) по территории ЗКР для формы циркуляции *E*

При меридиональной форме циркуляции *C* зимой и летом территория ЗКР подвержена дефициту сезонных осадков. Локальные очаги избыточного увлажнения зимой расположены на севере и северо-западе региона (достигая на некоторых метеостанциях Актыубинской области 200-300 % от нормы), которые летом смещаются на юг, не превышая 150-180 % количества сезонных осадков (рис. 60). Весной вся территория исследования находится в зоне избыточного увлажнения, с локальными очагами нормы (в Актыубинской области) и дефицита (на западе Мангистауской области) осадков.

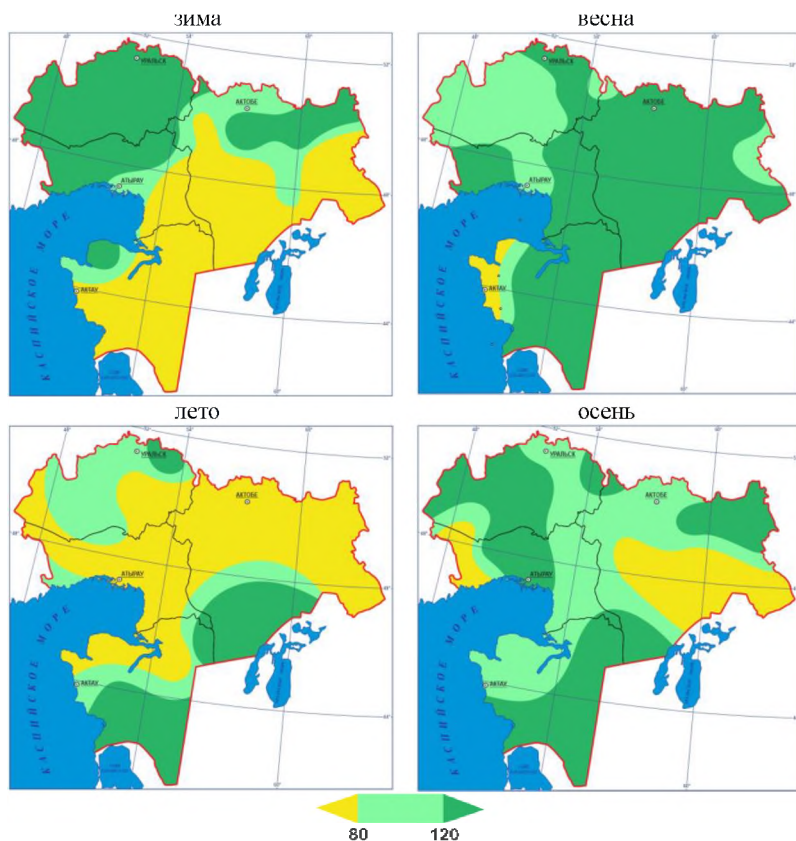


Рисунок 60. Сезонное распределение аномалий осадков (в % от нормы) по территории ЗКР для формы циркуляции С

Осенью количество осадков испытывает значительные колебания, т.е. изменяется от нормы осадков как в сторону дефицита, так и их избытка (рис. 60).

Распределение аномалии температуры воздуха и осадков по территории ЗКР в отдельные сезоны может отличаться от приведенного выше, особенно если наблюдалась комбинированная циркуляция, которая здесь не рассматривалась. Заметим, что в сезоны с комбинированной циркуляцией распределение аномалий температуры воздуха и осадков по рассматриваемой территории имеет более сложный характер [83, 258].

4.2. Эпохи атмосферной циркуляции и длительные тенденции в изменении температуры воздуха и осадков

В середине XX в. Г.Я. Вангенгейм, А.А. Гирс [252] и М.Х. Байдал [254, 259] установили, что в изменении годовых характеристик трех основных форм атмосферной циркуляции (W , E , C) можно выделить длительные периоды, в течение которых аномальное развитие получают одна или две формы циркуляции. Особенно четко эти периоды, названные ими эпохами циркуляции, обнаруживаются на интегральных кривых аномалий числа дней с той или иной формой циркуляции.

Многолетняя изменчивость крупномасштабных процессов с 1891 по 2023 год в виде отклонений от нормы с определенной формой циркуляции представлена на рисунке 61.

На рисунке 61 довольно четко выделяются длительные периоды, в течение которых отмечается систематическое превышение нормы повторяемостью одной (или двух) формы циркуляции, а повторяемость остальных форм систематически оказывается ниже средних многолетних значений. Так, с 1900 по 1928 год было отмечено систематическое превышение нормы повторяемостью процессов формы W и ослаблением процессов форм C и E .

Из каталога, приведенного в монографии [252], следует, что из 29 лет, отнесенных к этому периоду, в 24 годовая повторяемость процессов W превысила норму, и лишь в 5 годах она была ниже нормы или близка к ней. Число дней с процессами формы W за эти годы было равно 4209 дням, что составило 40 % общего числа дней за 29 лет (10 593 дня). При нормальном развитии процессы W в этот период заняли бы 3509 дней.

Следовательно, превышение нормы составляет 700 день, или 20 % нормального числа дней за эту эпоху (3509 дней). Повторяемость процессов двух других форм (E и C) в эти годы была ниже нормы и заняла соответственно 3871 день (36 %) и 2513 дней (24 %) соответственно из общего числа дней за 29 лет.

Все это, а также учет моментов перелома в ходе кривых многолетних изменений ряда характеристик атмосферы и гидросферы, дали основание А.А. Гирсу и М.Х. Байдалу отнести данный период лет к эпохе западной (W) циркуляции.

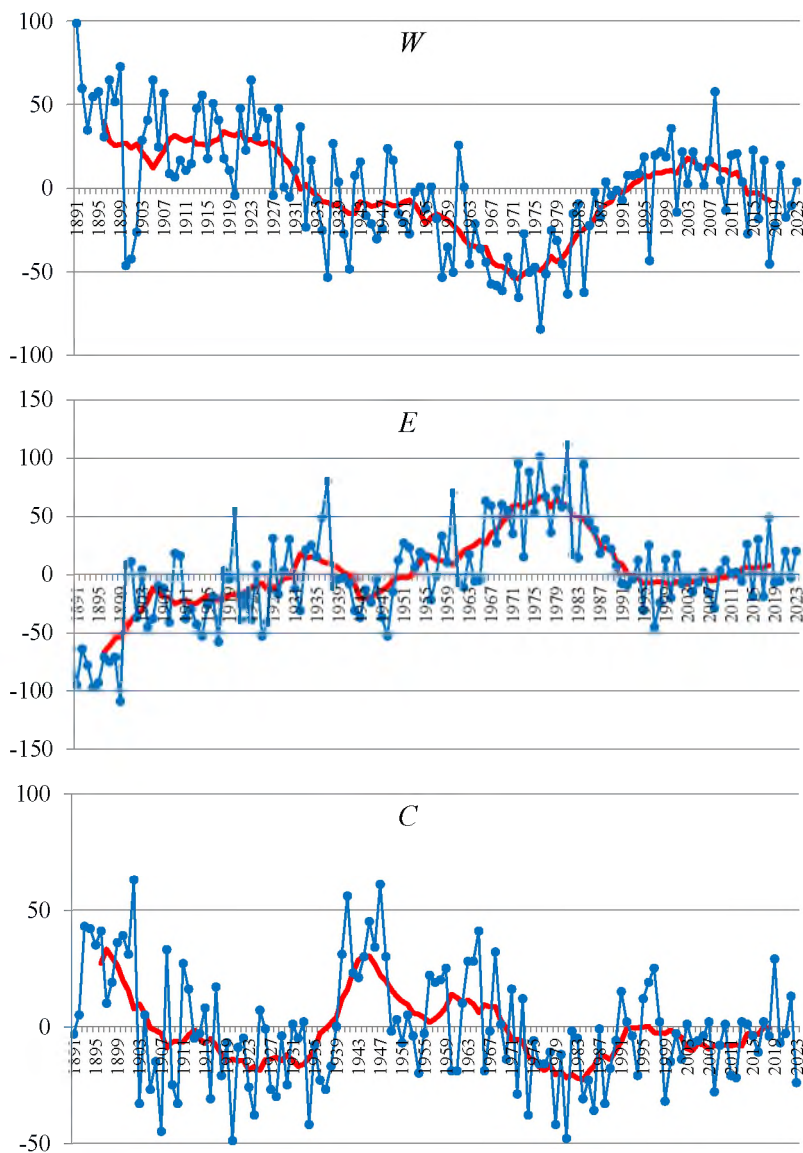


Рисунок 61. Многолетняя изменчивость аномалий числа дней с формами циркуляции *W*, *E* и *C* (красная линия – по скользящим 11-летиям)

Календарь циркуляционных эпох, который был составлен А.А. Гирсом [252] и М.Х. Байдалом [259] до конца 60-х гг. XX в. и продолжен А.А. Дмитриевым и В.А. Белязо [260] по настоящее время с прогнозом до конца XXI в., приведен в таблице 26.

Таблица 26. Календарь эпох циркуляции атмосферы

Номер эпохи	Период эпохи	Продолжительность эпохи	Преобладающая форма циркуляции
1	1803 – 1815 гг.	13 лет	<i>C</i>
2	1816 – 1828 гг.	13 лет	<i>C+W</i>
3	1829 – 1836 гг.	8 лет	<i>W</i>
4	1837 – 1847 гг.	11 лет	<i>E</i>
5	1848 – 1859 гг.	12 лет	<i>C</i>
6	1860 – 1871 гг.	12 лет	<i>C+ W</i>
7	1872 – 1880 гг.	9 лет	<i>W</i>
8	1881 – 1892 гг.	12 лет	<i>E</i>
9	1893 – 1905 гг.	13 лет	<i>C</i>
10	1906 – 1918 гг.	13 лет	<i>W+C</i>
11	1919 – 1928 гг.	10 лет	<i>W</i>
12	1929 – 1939 гг.	11 лет	<i>E</i>
13	1940 – 1948 гг.	9 лет	<i>C</i>
14	1949 – 1958 гг.	10 лет	<i>E+C</i>
15	1959 – 1968 гг.	10 лет	<i>E+C</i>
16	1969 – 1978 гг.	10 лет	<i>E</i>
17	1979 – 1988 гг.	10 лет	<i>E</i>
18	1989 – 2000 гг.	12 лет	<i>W</i>
19	2001 – 2011 гг.	11 лет	<i>W</i>
20	2012 – 2021 гг.	10 лет	<i>E</i>
21	2022 – 2031 гг.	10 лет	<i>C</i>
22	2032 – 2042 гг.	11 лет	<i>E+C</i>
23	2043 – 2051 гг.	9 лет	<i>E+C</i>
24	2052 – 2060 гг.	9 лет	<i>E+W</i>
25	2061 – 2071 гг.	11 лет	<i>W+C</i>
26	2072 – 2081 гг.	10 лет	<i>W</i>
27	2082 – 2091 гг.	10 лет	<i>W</i>

Следует обратить внимание на то, что для отнесения некоторого ряда лет к определенной эпохе необязательно преобладание процессов данной формы по сравнению с другими формами – необходимо превышение нормы их повторяемости [261]. В самом деле, в 1900-1928 гг. процессы формы *W* заняли всего

лишь 40 % дней за 29 лет, а процессы *E* и *C* вместе взятые преобладали и заняли 60 % времени. Однако повторяемость процессов *W* превысила норму на 20 %, а повторяемость процессов *E* и *C* была ниже нормы. Именно поэтому указанный период и отнесен к эпохе формы *W*. При анализе многолетних колебаний основных форм циркуляции установлено неодинаковое проявление эпох и в отдельных месяцах. В этот период наблюдалось превышение нормы повторяемости западной *W* формы циркуляции во все месяцы года, кроме марта, октября и ноября. Особенно повышена ее повторяемость в январе, феврале и в период с мая по сентябрь. В марте, октябре и декабре превышала норму повторяемость меридиональной циркуляции формы *E*. В летние месяцы повторяемость формы *C* также была превышена.

Как видно из рисунка 61, в течение следующих 11 лет (1929-1939 гг.) систематически превышала среднее многолетнее значение повторяемость процессов формы *E* и были ослаблены процессы форм *W* и *C*. Повторяемость процессов *E* превысила норму в 8 из 11 лет. Они заняли 45 % общего числа дней за 11 лет, что на 14 % превышает нормальное число дней с формой *E* за эти годы. Повторяемость процессов форм *W* и *C* была ниже нормы и заняла соответственно 33 и 22 % времени. В эту эпоху процессы основной формы были особенно усилены в холодном полугодии – ноябре, декабре и январе, а в теплом – мае, июле и августе. В остальные месяцы года эти процессы были ослаблены и развивались процессы формы *C* в феврале, формы *W* – в марте, сентябре и октябре. Поэтому указанный период отнесен [252, 259] к эпохе формы атмосферной циркуляции *E*.

Период 1940-1948 гг. отнесен к эпохе меридиональной (*C*) циркуляции. Повторяемость этих процессов превысила норму во всех 9 годах и составила 36 % общего числа дней за 9 лет, что на 38 % выше нормы. Процессы остальных двух форм (*E* и *W*) были ослаблены. Они составили соответственно 34 % и 30 % от общего числа дней. Процессы основной формы развивались во все месяцы, кроме февраля и августа. Особенно повышенной форма *C* была в октябре-январе и марте-июле. Данная эпоха наступила после эпохи *E*, повторяемость этой формы предыдущей эпохи развивалась в январе, феврале и августе. Процессы западной формы *W* в эту эпоху были ослаблены, и только в апреле повторяемость их превысила норму (табл. 27).

Период 1949-1968 гг. характеризовался одновременным или поочередным развитием процессов форм *E* и *C* и ослаблением процессов формы *W*. При этом процессы формы *E* усилились с февраля по август и ноябрь-декабрь, а в остальные месяцы преобладали процессы формы *C*. Это дало основание отнести рассматриваемый период к эпохе комбинированной *E+C*-циркуляции.

В 1969-1978 и 1979-1988 гг. преобладали процессы формы *E*. Анализ показал, что в рассматриваемую эпоху процессы восточной циркуляции усиливались во все месяцы, наиболее развиты они были с ноября по сентябрь. Очень ослаблены были процессы формы *W* во все месяцы года.

В последнее десятилетие XX века и в начале XXI века (1989-2011 гг.) преобладала только форма циркуляции *W*, процессы западной циркуляции усиливались во все месяцы, кроме июля-сентября, что позволило авторам [260] отнести этот период к эпохе *W* (табл. 27).

Авторы [260] дали прогноз эпох однородной циркуляции атмосферы на Земле до 2091 г. на основе учета совпадения продолжительности солнечных циклов и колебаний целого ряда земных процессов (табл. 26). Заметим, что еще М.Х. Байдалом был проведен сравнительный анализ повторяемости форм циркуляции с ходом солнечной активности [259]. В результате оказалось, что границы эпох атмосферной циркуляции с точностью 1-2 года совпадают с максимумами 11-летних циклов солнечной активности. Тем самым были доказаны возможность совершенно объективного способа определения границ эпох циркуляции и тесная связь этих эпох с солнечной активностью. Действительно, если последняя каким-либо образом влияет на атмосферную циркуляцию, то наибольшим влияние будет в периоды максимума. В эти периоды устойчивость сохранения однотипного процесса наименьшая, т.е. происходит частая смена форм циркуляции. Это соответствует выводам других авторов о повышении интенсивности атмосферной циркуляции в периоды максимума солнечной активности.

Прогноз, данный на период 2012-2021 гг. А.А. Дмитриевым и В.А. Беязо [260], подтвердился. В 43 % случаев преобладала форма циркуляции *E*, наиболее активно проявляющаяся в теплый период.

Таблица 27. Число дней с формами циркуляции по эпохам

Форма цирку- ляции	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1900 – 1928 гг. (эпоха <i>W</i>)													
<i>W</i>	384	308	276	274	317	346	348	432	445	341	393	345	4209
<i>E</i>	329	380	411	376	320	200	219	235	255	406	316	424	3871
<i>C</i>	186	132	212	220	262	324	332	232	170	152	161	130	2513
1929 – 1939 гг. (эпоха <i>E</i>)													
<i>W</i>	130	75	132	81	83	121	95	133	131	177	96	61	1315
<i>E</i>	176	135	113	148	167	94	163	168	114	115	201	233	1827
<i>C</i>	35	100	96	101	91	115	83	40	85	49	33	47	875
1940 – 1948 гг. (эпоха <i>C</i>)													
<i>W</i>	68	74	85	129	48	69	61	90	101	83	84	79	971
<i>E</i>	128	130	81	37	82	84	78	132	84	73	118	122	1149
<i>C</i>	83	51	113	104	149	117	140	57	85	123	68	78	1168
1949 – 1968 гг. (эпоха <i>E+C</i>)													
<i>W</i>	204	115	183	82	106	180	148	166	207	240	134	208	1973
<i>E</i>	244	308	280	357	298	248	270	314	219	198	321	277	3334
<i>C</i>	172	142	157	161	216	172	202	140	174	182	145	135	1998
1969 – 1978 гг. (эпоха <i>E</i>)													
<i>W</i>	58	42	68	53	33	28	45	35	56	80	129	81	708
<i>E</i>	197	190	185	169	205	176	209	195	170	141	128	150	2115
<i>C</i>	55	50	57	78	72	96	56	80	74	89	43	79	829
1979 – 1988 гг. (эпоха <i>E</i>)													
<i>W</i>	92	38	60	58	37	48	70	83	114	110	101	137	948
<i>E</i>	156	175	215	173	221	188	193	174	126	145	134	108	2008
<i>C</i>	62	70	35	69	52	64	47	53	60	55	65	65	697
1989 – 2011 гг. (эпоха <i>W</i>)													
<i>W</i>	324	276	276	179	197	222	175	214	241	342	246	312	3004
<i>E</i>	191	207	269	350	293	277	380	356	285	237	300	222	3367
<i>C</i>	198	166	168	161	222	191	158	143	167	134	144	179	2031
2012 – 2021 гг. (эпоха <i>E</i>)													
<i>W</i>	106	106	109	73	69	59	90	62	87	116	129	154	1160
<i>E</i>	135	125	93	103	147	138	146	186	139	123	124	121	1580
<i>C</i>	69	52	108	124	94	103	74	62	74	71	47	35	913

В последние годы убедительно показано, что в периодах различного сочетания планет, солнечной активности и колебаний атмосферной циркуляции присутствует один и тот же набор ритмов, что свидетельствует о взаимосвязанности всех этих явлений. Сложная система вращения планет вокруг Солнца является достаточно отлаженным механизмом, задающим ритмику явлений как на самом Солнце, так и на других планетах Солнечной системы. В результате всестороннего анализа А.А. Дмитриевым и В.А. Белязо [260] сделаны следующие выводы:

- во второй половине первого десятилетия XXI века на ветви спада нечетного 11-летнего цикла солнечной активности ожидается преобладание формы *W*-циркуляции;

- во втором десятилетии можно ожидать увеличение повторяемости формы *E*-циркуляции в связи с развитием четного 11-летнего цикла солнечной активности;

- в третьем десятилетии века есть основание ожидать преобладание формы *C*-циркуляции; аналогичная ситуация наблюдалась в 1920 и 1967 гг.;

- в четвертом десятилетии века на фоне максимума векового цикла (2040 г.) ожидается увеличение меридиональных форм *E+C*-циркуляции;

- в пятом десятилетии века на фоне начала спада векового цикла солнечной активности ожидается также преобладание меридиональных форм атмосферной циркуляции; направленность этого процесса усугубляется еще и тем, что данный период совпадает с нечетным 11-летним циклом;

- в шестом десятилетии века можно ожидать чередования форм циркуляции, но все же при некотором преобладании западной (*W*) формы;

- в седьмом десятилетии будут наблюдаться пониженный уровень солнечной активности в вековом цикле и уменьшение межширотного обмена (преобладание формы *W*-циркуляции);

- в последние три десятилетия есть основание ожидать преобладания формы *W*-циркуляции (табл. 26).

Следует отметить, что границы эпох атмосферной циркуляции, определенные А.А. Дмитриевым и В.А. Белязо, очень

близки к данным М.Х. Байдала, а также Н.С. Сидоренкова и И.А. Орлова [255], которые дают прогноз эпох атмосферной циркуляции на основе флуктуации скорости вращения Земли. Таким образом, в течение XXI века, согласно [255, 260], будут наблюдаться как периоды потепления, так и периоды похолодания.

Каждая форма циркуляции характеризуется определенным распределением аномалий метеорологических величин, в течение указанных циркуляционных эпох преобладает определенный режим погоды.

Основные причины возникновения циркуляционных эпох. Факторы, определяющие различные особенности атмосферной циркуляции, авторы [252, 261] делят на две группы: устойчивые и неустойчивые.

Ответственными за возникновение циркуляционных эпох и их стадий могут быть лишь те факторы, которые в своем изменении обнаруживают длительные тенденции, сопоставимые по времени с продолжительностью циркуляционных эпох и их стадий. Такие длительные тенденции однозначного изменения обнаруживают лишь внешние факторы, о чем подробно рассмотрено в [260].

Как показано в ряде исследований, солнечная активность способствует возрастанию повторяемости меридиональных процессов, т.е. процессов форм E и C . Это значит, что в период повышенной солнечной активности учащаются преобразования зональных процессов W в меридиональные E и C . В результате годовое число дней с меридиональными формами возрастает, а число дней с W убывает. Так формируются эпохи меридиональных форм циркуляции (рис. 62).

В период ослабления солнечной активности зональная циркуляция, свойственная земной атмосфере (ввиду неравномерности распределения тепловой энергии с широтой и вращения Земли), нарушается реже, т.е. зональные формы циркуляции реже преобразуются в меридиональные. Вследствие этого годовое число дней с зональной циркуляцией начинает превышать норму, а с меридиональной становится ниже нормы – возникает эпоха западной циркуляции. Таким образом, эпоха западной циркуляции возникает не в связи с усилением солнечной активности, а

из-за ослабления ее возмущающего воздействия на зональную циркуляцию, свойственную (по указанным выше причинам) земной атмосфере.

Существенная роль в формировании циркуляционных эпох принадлежит и другим внешним факторам, прежде всего таким, как приливные явления в океане и атмосфере, нутации полюсов Земли, изменения скорости вращения Земли и др. [255, 260].

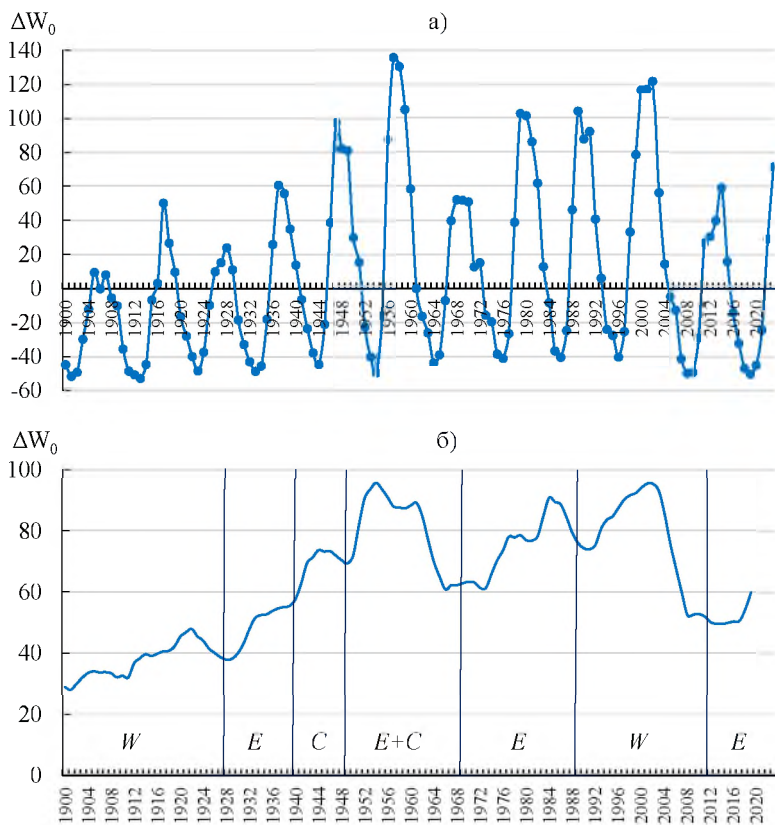


Рисунок 62. Многолетние изменения аномалий годовых значений чисел Вольфа (а) и их значений по скользящим 11-летиям (б)

Совокупность этих сил деформирует уровенную поверхность Мирового океана, наклоняя ее в сторону экватора или полюса. В первом случае ослабевают океанические течения Гольф-стрим и Куроисио, а следовательно, и приток теплых вод (и воздуха) в высокие широты, усиливается температурный контраст полюс–экватор, что способствует усилению западного переноса воздуха, т.е. возникновению эпохи западной циркуляции. В случае наклона уровенной поверхности в сторону полюсов контраст полюс–экватор ослабевает, что способствует возникновению эпох меридиональных (*E* и *C*) форм атмосферной циркуляции.

Циркуляционные эпохи можно рассматривать как реакцию атмосферы на процессы и явления, протекающие в космическом пространстве, на Солнце и в недрах Земли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Казахстан относится к ведущим нефтедобывающим государствам мира, добывая более 80 млн тонн нефти и газового конденсата в год. Нефтегазовый сектор является одной из ведущих отраслей экономики страны. Запасы нефти и газа в основном сосредоточены в западных областях республики. В связи с этим Западно-Казахстанский регион обладает уникальной минерально-сырьевой базой и является стратегическим районом, играющим важную роль в устойчивом развитии страны.

Кроме того, ЗКР богат природно-климатическим потенциалом. Территория региона включает в себя 4 области Казахстана, которые расположены в трех климатических зонах: степной, полупустынной и пустынной. С запада ЗКР омывается Каспийским морем, а также в регионе протекают крупные реки Урал и Тургай с притоками.

Энергия Солнце – основной источник света и тепла на планете. Эта энергия в значительной мере управляет климатом и погодой и является основой жизни. Продолжительность солнечного сияния за год на территории ЗКР имеет широтный характер распределения и изменяется от 2283 ч (Западно-Казахстанская область) до 2767 ч (Мангистауская область), при среднем ее значении 2523 ч. Наибольшая продолжительность отмечается в весенне-летний период с максимумом летом (июль), а наименьшая – в осенне-зимний период с минимумом зимой (декабрь).

Продолжительность солнечного сияния в значительной степени определяет суммы прямой, рассеянной и суммарной солнечной радиации. Годовые суммы суммарной солнечной радиации при ясном небе изменяются от 6355 МДж/м² до 7000 МДж/м² и более. При средних условиях облачности суммы радиации уменьшаются на 24-27 %. Радиационный баланс деятельной поверхности в течение большей части года положительный, что свидетельствует о доступном потенциале солнечной энергии, особенно в южных районах ЗКР.

Термический режим находится в прямой зависимости от притока солнечной радиации. Средняя месячная температура воздуха самого теплого месяца – июля составляет 25,3 °С, а

самого холодного – января – минус 9,8 °С. Годовая амплитуда температуры воздуха ЗКР составляет 34,2 °С, что говорит о резко континентальном климате региона. Экстремальные значения температуры воздуха зафиксированы в январе 1969 г. (минус 32,9 °С – в Актюбинской области) и в июле 2018 г. (39,6 °С – в Мангистауской области).

В монографии представлены сезонные и годовые распределения температуры воздуха по территории ЗКР за период 1961-2023 гг. Наибольшие температурные контрасты наблюдаются в Актюбинской и Западно-Казахстанской областях. Атырауская область теплее Актюбинской, а Мангистауская область является самой теплой в регионе, с мягкими зимами и самыми высокими летними температурами (лето особенно жаркое).

Осадки неравномерно распределены по территории Западно-Казахстанского региона, и в среднем за год выпадает 213 мм осадков. За период 1961-2023 гг. количество осадков изменялось от 134 мм в 1996 г. до 327 мм в 2016 г. В годовом распределении осадков имеется тенденция их уменьшения к югу, о чем свидетельствуют сезонные и годовые карты распределения осадков за период исследования. Наибольшее количество осадков отмечается на крайнем севере ЗКР (более 300 мм). В отдельные годы годовая сумма может превышать среднее значение в 1,5-2 раза. В 2021 году зафиксированы наименьшие годовые суммы осадков – 43-46 мм в Мангистауской области. В теплый период года выпадает большее количество осадков, в среднем 52 % от годовой суммы.

Потенциал ветра в ЗКР достаточно велик. В среднем за год господствуют восточный и юго-восточный ветры. Средняя месячная скорость ветра ЗКР изменяется от 3,3-3,4 м/с в июле-сентябре до 4,0-4,4 м/с зимой. Средняя годовая скорость ветра составляет 3,9 м/с. Наибольшая средняя скорость ветра – 4,5 м/с – наблюдается в Мангистауской области, а с меньшей силой ветер дует в Актюбинской и Западно-Казахстанской областях – 3,5 м/с.

Климатический потенциал ЗКР достаточен для использования и развития ВИЭ. Такой вектор развития позволит Казахстану достичь взятых обязательств по углеродной нейтральности к 2060 году.

Глобальное потепление климата влияет и на региональные изменения основных метеорологических параметров, таких как температура воздуха и атмосферные осадки. Для территории ЗКР 7 экстремально тёплых лет приходится на текущее столетие, самым теплым стал 2023 год, годовая аномалия температуры воздуха составила $+2,3^{\circ}\text{C}$, что на $0,5^{\circ}\text{C}$ выше предыдущего рекордного года – 2021 года.

В работе рассчитаны модифицированный тест Манна-Кендалла, Петтита и наклон Сена при 5 %-м уровне значимости для температуры воздуха и осадков. Наблюдаются устойчивые значимые тенденции роста сезонной и годовой температуры воздуха ЗКР. Тест Сена показал, что скорость роста годовой температуры воздуха ЗКР составляет $0,37^{\circ}\text{C}/10$ лет, в весенне-летний период отмечается наибольшая сезонная скорость роста температуры – $0,39^{\circ}\text{C}/10$ лет. Тест Петтита зафиксировал значимые точки резкого изменения сезонной и годовой температуры воздуха, которые приходятся на конец XX – начало XXI века. Значимые тренды сезонных сумм осадков зафиксированы весной (рост на $8,2$ мм/10 лет) и летом (уменьшение на $7,8$ мм/10 лет). Летом и в тёплый период года для территории ЗКР имеет место год резкого изменения осадков, который отмечается в начале XXI века (2005 г. и 2004 г. соответственно).

Атмосферная циркуляция формирует поля основных метеорологических параметров, поэтому был проведен анализ числа дней с формами циркуляции Г.Я. Вангенгейма – А.А. Гирса за период 1891-2023 гг. Годовое число дней с формой циркуляции *W* уменьшалось от 180-220 сут/год (начало 1890-х гг.) до 120-160 сут/год (2000-2015 гг.) со скоростью 35 сут/100 лет. Однако в период 1963-1983 гг. число дней с формой *W* не превышало 100, при среднем значении 121 сут/год. Среднее число дней с формой *C* равно 92 сут/год. Данная форма циркуляции также уменьшается, но с меньшей скоростью – 12 сут/100 лет. Можно выделить периоды, когда число дней с формой циркуляции *C* превышает 100 сут/год (1893-1917; 1940-1948; 1956-1973; 1991-1997 гг.), но данный факт имеет место лишь в 30 % случаев за 1891-2023 гг. Годовое число дней с формой *E*, напротив, увеличивалось от 42-80 сут/год (1891-1899 гг.) до 200-262 сут/год (1966-1986 гг.) со скоростью

47 сут/100 лет. Диапазон изменения наиболее встречающихся значений – 100-200 сут/год при среднем значении 152 сут/год.

В монографии рассмотрены сезонные особенности распределения аномалии температуры воздуха и осадков для различных форм циркуляции по территории ЗКР. Также представлен календарь эпох атмосферной циркуляции, который позволит в перспективе определить тенденции в изменении основных климатических параметров.

Изучение регионального климата и постоянный мониторинг его изменений являются важнейшими составляющими устойчивого развития государства, поскольку от качественной и своевременной информации зависит правильность принятия адаптационных мер для снижения последствий природных бедствий.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВМО подтверждает, что 2024 год станет самым теплым годом за всю историю наблюдений: температура будет примерно на 1,55°C выше доиндустриального уровня. – Электронный ресурс: <https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level>
2. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Николаев А.А. Современные изменения климата северного полушария Земли // Ученые записки Казанского государственного университета. – 2005. – Том 147. – Книга 1. – С. 90-106.
3. Петерсен Г., Бош Р., Дядин Д., Каттаросси А., Кристи К. Оценка рисков и уязвимости к изменению климата. Национальный отчет для Казахстана. – 2021. – 78 с.
4. Страновой доклад о климате и развитии: КАЗАХСТАН. – Всемирный банк, 2022. – 96 с.
5. Климатология / О.А. Дроздов, В.А. Васильев; Н.В. Кобышева, А.Н. Раевский, Л.К. Смекалова, Е.П. Школьный. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 568.
6. Мякишева Н.В. Климатическая система Земли: прошлое и настоящее: учебное пособие. – СПб: РГГМУ, 2022. – 194 с.
7. Переведенцев Ю.П. Теория климата. – Казань: Издательство Казанского университета, 2009. – 503 с.
8. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 406 с.
9. Монин А.С. Введение в теорию климата. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 246 с.
10. Sinha B., Sevellec F., Robson J., Nurser G. Surging of global surface temperature due to decadal legacy of ocean heat uptake // Journal of Climate; Boston. – 2020. – Vol. 33, Iss. 18. – PP. 8025-8045. [DOI:10.1175/JCLI-D-19-0874.1](https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0874.1)
11. Ocean and climate. – Scientific Fact Sheets, 2019. – 130 p. – Electronic resource: www.ocean-climate.org
12. Алиев Р. Что случилось с климатом. – М.: Паулсен, 2022. – 336 с.
13. Мордвинов В.И., Латышева И.В., Девятова Е.В. Теория климата: учебное пособие. – Иркутск: Издательство Иркутского государственного университета, 2013. – 187 с.
14. Кислов А.В. Климатология: учебник. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 224 с.
15. Кароль И.Л. Введение в динамику климата Земли. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 215 с.
16. Nikolov T., Petrov N. Main factors influencing climate change: A review // Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 67. – № 11. – P. 1455-1476.
17. Монин А.С., Шишков Ю.А. Климат как проблема физики // Успехи физических наук. – 2000. – Том 170. – №4. – 419-445.
18. Всемирная метеорологическая организация. – Электронный ресурс. <https://wmo.int/ru>

19. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК – IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change). – Электронный ресурс. <https://archive.ipcc.ch/organization/organization.shtml>

20. Климатическая шкатулка: Пособие для школьников по теме «Изменение климата» / В. Бердин, Е. Грачёва, Ю. Добролюбова, Д. Замолодчиков, П. Константинов, Н. Рыжова, Е. Смирнова. – М.: Программа развития ООН, 2018. – 254 с. <https://climate-box.com/ru/textbooks/the-problem-of-climate-change-ru/>

21. Climate Change 2023: Synthesis Report. – Geneva, Switzerland: IPCC, 2024. – 184 p. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

22. Фигерес К., Риветт-Карнак Т. Какое будущее мы выбираем. Климатический кризис: промедление недопустимо. – М.: Издательство «Синдбад», 2021. – 252 с.

23. Climate Dynamics: Why Does Climate Vary? / De-Zheng Sun and Frank Bryan editors. Published by the American Geophysical Union as part of the Geophysical Monograph Series. – New Jersey: John Wiley & Sons Limited, 2013. – Vol. 189. – 216 p.

24. Gabriele C. Hegerl, Francis W. Zwiers, Pascale Braconnot, Nathan P. Gillett, Yong Luo, Jose A. Marengo Orsini, Neville Nicholls, Joyce E. Penner, Peter A. Stott, M. Allen, et al. Understanding and Attributing Climate Change. – 2021. – 85 p. – Electronic resource: <https://hal.science/hal-03375749v1>

25. Lindsey R. Dahlman L. Climate Change: Global Temperature. – Electronic resource: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>

26. Core Writing Team, Lee H., Romero J. (eds.) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. – 34 p. [doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001)

27. Академик Семенов: Каждое десятилетие климат теплеет! 24 февраля 2024. – Электронный ресурс. <https://www.interfax.ru/russia/947467>

28. Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования / Под ред. академика РАН И.И. Мохова, члена-корреспондента РАН А.А. Маковского, к.ф.-м.н. А.В. Чернокульского. – М.: РАН, 2024. – 360 с.

29. Дзерdzeвский Б.Л. Общая циркуляция атмосферы. – М.: Наука, 1975. – 290 с.

30. Будыко М.И. Тепловой баланс земной поверхности. – Л.: Гидрометеоздат, 1956. – 255 с.

31. Будыко М.И. Климат и жизнь. – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – 470 с.

32. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – 351 с.

33. Борзенкова И.И., Будыко М.И., Бютнер Э.К. и др. Антропогенные изменения климата / Под ред. М.И. Будыко, Ю.А. Израэля. – Л.: Гидрометеоздат, 1987. – 406 с.

34. Будыко Михаил Иванович. Избранные работы. – СПб.: ООО «Америт»: Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова, 2020. – 206 с.

35. Лапенис А. Г. Выдающийся российский климатолог: памяти М.И. Будыко // Век глобализации. – 2011. – № 1. – С. 182-189.

36. Анисимов О.А. Климат – это не всегда константа. К 100-летию со дня рождения академика РАН М.И. Будыко // Вестник Российской академии наук. – 2020. – Том 90. – № 1. – С. 71-81.

37. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 376 с.

38. Рыбальский Н.Г., Черногаева Г.М., Зайцева Н.А., Снакин В.В. Глобальный эколог: к 90-летию со дня рождения академика Ю.А. Израэля // Наука и жизнь. – 2020. – Том 42. – № 3. – С. 343-354. DOI 10.29003/m1487.0514-7468.2020_42_3/343-354

39. Академик Юрий Антониевич Израэль. Человек и ученый / Под редакцией А.И. Бедрицкого, Ю.С. Цатурова. – М.: Росгидромет, 2018. – 296 с.

40. Израэль Ю.А. Как это было. – М.: НИЦ «Планета», 2015. – 159 с.

41. Губарев В. Академик Ю.А. Израэль: какую погоду ждать на Земле? // Наука и жизнь. – 2002. – № 1. – С. 2-9. – Электронный ресурс: <https://www.nkj.ru/archive/articles/3797/>

42. Израэль Ю.А. О концепции опасного антропогенного воздействия на климатическую систему и возможностях биосферы // Метеорология и гидрология. – 2004. – № 4. – С. 30-37.

43. Чернокульский А. Глобальные климатические изменения: факты и мифы. – Электронный ресурс: <https://www.permwinterschool.ru/files/Chernokulskv.pdf>

44. Шихов А.Н., Чернокульский А.В., Ажигов И.О. Пространственно-временное распределение ветроватов в лесной зоне Западной Сибири в 2001–2020 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2022. – Т. 19. – № 3. – С. 186-202.

45. Seneviratne S.I., Zhang X., Adnan M., Badi W., Dereczynski C., Luca A.D., Ghosh S., Iskandar I., Kossin J., Lewis S., Otto F., Pinto I., Satoh M., Vicente-Serrano S.M., Wehner M., Zhou B., Allan R. Weather and climate extreme events in a changing climate. In: Masson-Delmotte V.P., Zhai A., Pirani S.L., Connors C. (eds.) Climate Change 2021: The Physical Science Basis: Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge: Cambridge University Press, UK. – 2021. – P. 1513-1766.

46. Royer D.L. Climate Sensitivity in the Geologic Past // Annual Review of Earth and Planetary Sciences. – 2016. – Vol. 44. – P. 277-293. DOI: 10.1146/annurev-earth-100815-024150

47. Бондаренко Л.В., Маслова О.В., Белкина А.В., Сухарева К.В. Глобальное изменение климата и его последствия // Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова. – 2018. – № 2 (98). – С. 84-93. DOI: <http://dx.doi.org/10.21686/2413-2829-2018-2-84-93>

48. Nikolov T., Petrov N. Main factors influencing climate change: A review // Proceedings of the Bulgarian Academy of Sciences. – 2014. – Т. 67. – № 11. – P. 1455-1476.

49. Сазонов Б.И. Суровые зимы и засухи. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 240 с.

50. Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатическая обработка метеорологической информации. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 654 с.

51. Фёдоров В.М. Соллярная теория изменений климата // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2021. – № 2. – С. 78-93.
52. Фёдоров В.М. Солнечная радиация и климат Земли. – М.: Физматлит, 2018. – 324 с.
53. Федоров В.М. Пространственные и временные вариации соллярного климата земли в современную эпоху // Геофизические процессы и биосфера. – 2015. – Т. 14. – № 1. – С. 5-22.
54. Scafetta N. Empirical assessment of the role of the Sun in climate change using balanced multi-proxy solar records // Geoscience Frontiers. – 2023. – Vol. 14. – Issue 6. 101650. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2023.101650>
55. Brian A. Tinsley Solar Activity, Weather, and Climate: The Elusive Connection // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2023. – Vol. 104. – Issue 12. – P. 2171–2191. DOI: <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-23-0065.1>
56. Frohlich C., Lean J. The Sun's total irradiance: cycles and trends in the past two decades and associated climate change un-certainties // Geophys. Res. Lett. – 1998. – Vol. 25. – P. 4377-4380.
57. Fröhlich C. Variability of the solar constant / In: Long and Short-Term Variability of Climate. – New York: Springer – Verlag, 1988. – P. 6–17.
58. Касаткина Е.А. Воздействие солнечных и межпланетных факторов на атмосферу и климат Земли / Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Специальность 25.00.29 – Физика атмосферы и гидросферы. – М., 2016. – 39 с.
59. Федоров В.М., Фролов Д.М. Особенности изменения меридионального градиента инсоляции в современную эпоху // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2022. – № 2. – С. 61-76.
60. Abdussamatov H.I. Most of the Long-Term Solar Radiation Forcing on the Climate Is Due to the Strong Feedback Mechanisms // Journal of Environmental & Earth Sciences. – 2024. – Vol. 6. – Issue 3. – Article ID: 6502. DOI: <https://doi.org/10.30564/jees.v6i3.6502>
61. Абдусаматов Х.И. Глубокий минимум мощности солнечного излучения приведет к Малому ледниковому периоду. – СПб.: Издательство «Нестор-История», 2013. – 246 с.
62. Абдусаматов Х.И. Солнце определяет климат // Наука и жизнь. – 2009. – №1. – С. 34-42.
63. Абдусаматов Х.И. Солнце диктует климат Земли. – СПб.: Логос, 2009. – 197 с.
64. Фёдоров В.М., Фролов Д.М. Малый ледниковый период в жизни Земли и его возможные причины // Жизнь Земли. –2020. – Т. 42. – № 1. – С. 4-12. DOI: [10.29003/m875.05147468.2020_42_1/4-12](https://doi.org/10.29003/m875.05147468.2020_42_1/4-12)
65. Zharkova V.V., Shepherd S.J. Eigen vectors of solar magnetic field in cycles 21-24 and their links to solar activity indices // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2022. – Volume 512. – Issue 4. – P. 5085-5099. DOI: [10.1093/mnras/stac781](https://doi.org/10.1093/mnras/stac781)
66. Zharkova V., Shepherd S.J., Popova E., Zharkov S.I. Heartbeat of the Sun from Principal Component Analysis and prediction of solar activity on a millenium timescale // Scientific Reports. – 2015. – № 5. – P. 15689. <https://doi.org/10.1038/srep15689>

67. Zharkova V.V., Vasilieva I., Shepherd S.J., Popova E. Periodicities in Solar Activity, Solar Radiation and Their Links with Terrestrial Environment // *Natural Science*. – 2023. – Vol. 15. – № 3. – P. 111-147. DOI: [10.4236/ns.2023.153010](https://doi.org/10.4236/ns.2023.153010)

68. Zharkova V.V., Vasilieva I., Popova E., Shepherd S.J. Comparison of solar activity proxies: eigenvectors versus averaged sunspot numbers // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. – 2023. – Vol. 521. – Issue 4. – P. 6247–6265. <https://doi.org/10.1093/mnras/stad1001>

69. Логинов В.Ф. Влияние солнечной активности и других внешних факторов на климат Земли // *Фундаментальная и прикладная климатология*. – 2015. – №1. – С. 163-182.

70. Логинов В.Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата. – Минск: Белорусская наука, 2012. – 266 с.

71. Saulo C. United in Science: Reboot climate action. – WMO. 18 September 2024. – Electronic resource: <https://wmo.int/news/media-centre/united-science-reboot-climate-action>

72. United in Science 2024. – Electronic resource: <https://library.wmo.int/records/item/69018-united-in-science-2024>

73. Единство в науке: перезагрузка действий по борьбе с изменением климата. – ВМО. – Электронный ресурс: <https://wmo.int/ru/news/media-centre/edinstvo-v-nauke-perezagruzka-devstviy-po-borbe-s-izmeneniyem-klimata>

74. State of the Global Climate 2023. WMO № 1347. – Electronic resource: <https://library.wmo.int/records/item/68835-state-of-the-global-climate-2023>

75. 2024 год признан самым жарким в истории наблюдений. – Электронный ресурс: <https://news.un.org/ru/story/2025/01/1460226>

76. Самый жаркий год в истории. Глобальное потепление уверенно продолжается в 2024 году после рекордного 2023-го. – Электронный ресурс: <https://www.bbc.com/russian/articles/c8v28mdjn2vo>

77. ВМО: показатели изменения климата достигли рекордных уровней в 2023 году. – Electronic resource: <https://wmo.int/ru/news/media-centre/wmo-pokazатели-izmeneniya-klimata-dostigli-rekordnykh-urovney-v-2023-godu>

78. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. – IPCC, Geneva, Switzerland, 2024. – 184 p. doi: [10.59327/IPCC/AR6-9789291691647](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647)

79. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2023 год. – Астана: РГП «Казгидромет», 2024. – 90 с.

80. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2022. – Электронный ресурс: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana>

81. Salnikov V., Turulina G., Polyakova S., Petrova Ye., Skakova A. Climate change in Kazakhstan during the past 70 years // *Quaternary International*. – 2015. – № 358. – P. 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.008>

82. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е., Петрова Е.Е. Изменение климата и его региональные проявления в Казахстане // *Гидрометеорология и экология*. – 2014. – № 2. – С. 17-31.

83. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Таланов Е.А., Полякова С.Е., Долгих С.А., Петрова Е.Е. Климат Казахстана – основа формирования водных ресурсов: монография / 30-томная монография «Водные ресурсы Казахстана: оценка, прогноз, управление». – Алматы: Институт географии, 2011. – Том 5. – 430 с.

84. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е., Долгих С.А. Особенности пространственно-временного распределения осадков в Казахстане // Вестник КазНУ, Серия географическая. – 2009. – №2 (29). – С. 70-77.

85. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е., Долгих С.А. Современные тенденции изменения климата // Университеты XXI века: инновации и новые технологии. Материалы международной научной конференции, посвященной 75-летию КазНУ им. аль-Фараби, 14-15 октября 2009 г.). – Алматы: Қазақ университеті, 2009. – С. 216-220.

86. Долгих С.А. Об исследованиях климата Казахстана и его изменений // Гидрометеорология и экология. – 1997. – № 1. – С. 108-113.

87. Мунайтпасова А., Жексенбаева А., Оракова Г., Мусралинова Г., Нышанбай Ә. Қазақстанның Шығысындағы климаттың заманауи өзгерулері // Гидрометеорология және экология. – 2024. – № 3. – Б. 31-39. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2024-114-3-31-39>

88. Чередниченко А.В., Чередниченко В.С., Әшім І.Б. Динамика климатических параметров в северо-западном регионе Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2024. – № 1. – С. 54-64. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2024-112-1-54-64>

89. Абдолла Н., Нысанбаева А., Әбдіразақ А. Қызылорда облысындағы ауа температурасының 1961.2020 жылдар аралығында өзгеруі // Гидрометеорология және экология. – 2024. – № 1. – С. 65-78. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2024-112-1-65-78>

90. Ерисковская Л.А. Изменения климатических условий на леднике Туйтыксу // География и водные ресурсы. – 2023. – № 2. – С. 26-33. https://doi.org/10.55764/2957-9856/2023-2-26-33_9

91. Белдеубаев Е., Долгих С. О температурном режиме приземного воздуха в холодный период в Прибалкашье и его изменения в последние десятилетия // Гидрометеорология и экология. – 2019. – № 4. – С. 171-183.

92. Дускаев К.К., Ахметова С.Т., Сулейменова А.Р., Оракова Г.О. Динамика изменения температуры воздуха и осадков в городе Алматы // Гидрометеорология и экология. – 2018. – № 3. – С. 52-62.

93. Оракова Г.О., Тиллакарим Т.А. Многолетние колебания осадков на востоке Казахстана в XX – начале XXI в. // Молодой ученый. – 2018. – № 22 (208). – С. 75-80.

94. Бижанова А.Ж., Жексенбаева А.К., Нысанбаева А.С. Климатические особенности распределения атмосферных осадков в Северном Казахстане // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2016. – №1(42). – С. 100-106.

95. Стамбеков М.Д., Турулина Г.К. Особенности температурного режима на западе и востоке Казахстана весной в последние десятилетия // Гидрометеорология и экология. – 2016. – №4. – С. 7–23.

96. Кожакметов П.Ж., Елеуова К.Т., Баймагамбетов Б.О., Жунисова М.А. Районирование территорий Казахстана по температурным воздействиям // Гидрометеорология и экология. – 2015. – № 3. – С. 7-14.

97. Долгих С.А., Илякова Р.М., Кожакметов П.Ж., Никифорова Л.И., Петрова Е.Е. Оценочный доклад об изменении климата на территории Казахстана. – Астана: Казгидромет, 2014 – 55 с.

98. Балтабаева Д.Б., Боголюбова Е.В. Анализ статистических характеристик климатических параметров в Центральном Казахстане, в Акмолинской области // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2012. – №1(34). – С. 78-89.

99. Нысанбаева А.С., Оракова Г.О., Мунайпасова А.Н. Оңтүстік Қазақстанда жаз мезгіліндегі ауа температурасының климаттық ерекшеліктері // ҚазҰУ хабаршысы. География сериясы. – 2011. – №2 (33). – С. 53-58.

100. Наурызбаева Ж.К. Климатические характеристики осадков и температуры воздуха на территории южного и юго-восточного Казахстана в теплый период // Гидрометеорология и экология. – 2011. – № 3. – С. 95-101.

101. Боголюбова Е.В., Усманова З.С. Сравнительный анализ месячных сумм осадков на западе и востоке Казахстана в холодное время года // Гидрометеорология и экология. – 2010. – № 2(31). – С. 88-95.

102. Турулина Г.К., Абенова А.Е. Пространственно-временная структура средней месячной температуры воздуха зимних месяцев на востоке Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2009. – № 1(28). – С. 20-23.

103. Калелова А.Б. Распределение температуры воздуха и скорости ветра с высотой в Алматы с использованием данных телебашни в январе // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2004. – № 1 (18). – С. 75-79.

104. Чичасов Г.Н. Технология долгосрочных прогнозов погоды. – СПб.: Гидрометеиздат, 1991. – 304 с.

105. Мурадов М.А. Об аномальности полей средней месячной температуры воздуха в холодном полугодии Казахстана // Труды Гидрометцентра СССР. – 1978. – Вып. 198. – С. 61-68

106. Обзор об особенностях климата на территории Казахстана в 2022 году. – Астана, 2023. – 40 с.

107. Национальный доклад о состоянии окружающей среды и об использовании природных ресурсов Республики Казахстан за 2022 год. – Астана, 2023. – 548 с.

108. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. – IPCC, Geneva, Switzerland. – 2023. – 81 p. [doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647](https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647)

109. Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2022. URL: www.undrr.org/GAR2022

110. IPCC. Sixth Assessment Report. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. – IPCC, Geneva, Switzerland. – 2021. – 2409 p. URL: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-i/>

111. Полякова С.Е., Сальников В.Г., Таланов Е.А. Климатическая политика в контексте целей устойчивого развития ООН / Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом № 39868 от «24» октября 2023 года

112. UNDRR Strategic Framework 2022-2025.
URL: <https://www.undrr.org/publication/undrr-strategic-framework-2022-2025>
113. Европейская Экономическая Комиссия, Международная Сеть Бассейновых Организаций Проблемы воды и адаптации к изменению климата в трансграничных бассейнах: извлеченные уроки и передовая практика.
URL: https://www.riob.org/sites/default/files/HB-Climate_Change_RU.pdf
114. Саилов С.Б., Алимбаева Д.К., Серікбай Н.Т., Елтай А.Г., Тілләкәрім Т.А. Расчет минимального количества гидрологических пунктов наблюдения сети гидрометеорологической службы в Республике Казахстан // Гидрометеорология и экология. – 2024. – № 1. – С. 39–46. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2024-112-1-39-46>
115. Абилов А., Абдрахимов Р., Саилов С. Годовой сток рек бассейна Обь и северного склона хребта Калба в условиях климатических изменений // Гидрометеорология и экология. – 2024. – № 1. – С. 7-15. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2024-112-1-7-15>
116. Madibekov A.S., Ismukhanova L.T., Zhadi A.O., Mussakulkyzy A., Bolatov K.M. Ranking the territory of the Almaty agglomeration according to the degree of pollution // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences. – 2023. – Volume 3. – Number 459. – P. 130-148. DOI: [10.32014/2023.2518-170X.305](https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.305)
117. Белдеубаев Е.Е., Марченко С.М., Сальников В.Г., Полякова С.Е. Особенности ледообразования на озере Балкаш в экстремально холодные и экстремально теплые месяцы // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2023. – № 2 (69). – С. 84-95. DOI: <https://doi.org/10.26577/JGEM.2023.v69.i2.08>
118. Akhmetova S., Polyakova S., Duskayev K., Chigrinets A. Water resources and regional climate change: Almaty metropolis case // Central Asian Journal of Sustainability and Climate Research. – 2023. – Vol. 2(2). – P. 69-84. <https://doi.org/10.29258/CAJSCR/2023-R1.v2-2/69-84.eng>
119. Экологические проблемы дельты реки Иле и пути их решения / М.Ж. Бурлибаев, Д.М. Бурлибаева, Н.П. Огарь, Е.Ж. Муртазин, С.К. Алимкулов, М.А. Аскарлова, А.А. Турсунова, Р.К. Кайдарова, С.Р. Тимирханов, В.А. Ковшарь, К.М. Пачикин, Д.К. Алимбаева, С.М. Мукатаев, Р. Салмурзаұлы, Е.Р. Байдавлетов. – Алматы: Каганат, 2022. – 576 с.
120. Бурлибаева Д.О Современном состоянии гидролого-гидрохимического режима реки Жайык // Гидрометеорология и экология. – 2022. – № 3. – С. 22-30. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2022-106-3-22-30>
121. Лобанов В.А., Наурызбаева Ж.К. Влияние изменения климата на ледовый режим Северного Каспия: монография. – СПб.: РГГМУ, 2021. – 140 с.
122. Кисебаев Д.К., Бейсенбаева С.Ж. Характерные черты осеннего ледового режима р. Жайык (Урал) // Гидрометеорология и экология. – 2021. – № 1. – С. 50-56. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-100-1-50-56>
123. Ivkina N.I., Galayeva A.V. Assessment of fluctuations in the Caspian sea level under the influence of climate change for the future until 2050 // Hydrometeorology and ecology. – 2021. – № 1. – С. 70-77. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-100-1-70-77>

124. Давлетталиев С.К., Раймбекова Ж.Г., Жумабек А.Ф. Жайык-Каспий алабының өсуіне езендердің су қорын анықтау // География және геоэкология мәселелері. – 2020. – №1. – Б. 19-27.

125. Abdrahimov R., Amirgaliyeva A., Tastambek K., Zhmalipov A., Polyakova S. Annual river runoff of the Ile-Balkash basin and prospects of its assessment due to climatic changes and water economy activities // International Journal of GEOMATE. – 2020. – Vol. 18. – Issue 69. – P. 230-239. <https://doi.org/10.21660/2020.69.32068>

126. Кисебаев Д.К. Изменение стока реки Жайык в условиях антропогенного воздействия и изменения климата // Вопросы географии и геоэкологии. – 2020. – № 2. – С. 40-45.

127. Давлетталиев С.К., Мусина А.К. Оценка слоя весеннего стока рек Жайык-Каспийского бассейна при отсутствии данных наблюдений // Гидрометеорология и экология. – 2018. – №3. – С. 125–132. <https://journal.kazhydromet.kz/index.php/kazgidro/article/view/908>

128. Давлетталиев С.К., Медеу Н.Н. Сценарные прогнозы ресурсов речного стока Жайык-Каспийского водохозяйственного бассейна по отдельным участкам // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2017. – №2 (45). – С. 28-39.

129. Нысанбаев Е.Н., Медеу А.Р., Турсунова А.А. Водные проблемы Центральной Азии // Вопросы географии и геоэкологии. – 2016. – № 3. – С. 11-16.

130. Salnikov V., Turulina G., Polyakova S., Moldahmetov M., Mahmudova L. Climatic variations of general atmospheric circulation, precipitation and river flow of the territory of Kazakhstan // Sciences in Cold and Arid Regions. – 2013. – Vol. 5. – Issue 1. – P. 109-113. DOI: [10.3724/SP.J.1226.2013.00109](https://doi.org/10.3724/SP.J.1226.2013.00109)

131. Полякова С.Е., Таланов Е.А. Климатические и энергетические показатели процесса опустынивания для Казахстана // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2012. – №2(35). – С. 45-53.

132. Давлетталиев С.К. Поверхностные водные ресурсы рек Жайык-Каспийского бассейна в границах Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология. – 2011. – №1. – С. 56–65. <https://journal.kazhydromet.kz/index.php/kazgidro/article/view/416>

133. Жданов В.В., Кузачельдина Н.У., Камалбекова А.Н., Алдабергелі Ұ.Р. Типизация зим в Иле Алатау по снежности и лавинной активности // Гидрометеорология и экология. – 2024. – №1. – С. 89-99.

134. Мусина А.К., Абдуллаева Ә.С. Іле Алатауының орталық бөлігіндегі өзен алаптарының сел қауіптілігін бағалау және зоналау // Гидрометеорология және экология. – 2023. – № 4. – Б. 34-60. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-111-4-34-60>

135. Ғаббасова М., Нысанбаева, А. Қазақстанның шығысында анықтардың таралу ерекшеліктері // Гидрометеорология және экология. – 2023. – № 2. – Б. 52-63. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2023-109-2-52-63>

136. Исабекова Ж.К., Сакимова М.Н., Веревкина И.В., Сайлыбаева Л.К., Ибраев С.Е., Муканов Е.Н., Бубенева К., Ивкина Н.И., Васенина Е.И., Жездібаева Б.Т., Кузачельдина Н. Обзор стихийных гидрометеорологических явлений, наблюдавшихся на территории Республики Казахстан в 2021 году // Гидрометеорология и экология. – 2023. – №1. – С. 42-77.

137. Naurozbayeva Zh.K., Shishkina G.M. Characteristics of fogs in the Kazakhstan sector of the Caspian sea // Hydrometeorology and Ecology. – 2022. – № 1. – P. 9-16. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2022-104-1-9-16>
138. Кисебаев Д.К., Мусралинова Г.Т., Марченко С.М. Весенние ледовые процессы на р. Жайык (Урал) // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2022. – № 66(3). – С. 42–52. <https://doi.org/10.26577/JGEM.2022.v66.i3.04>
139. Стамбеков М.Д., Полякова С.Е. Метеорологические условия возникновения штормового ветра и пыльной бури в Атырауской области в январе 2021 г. // Географический вестник. ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет». – 2021. – №3(58). – С. 130-141. [DOI:10.17072/2079-7877-2021-3-130-141](https://doi.org/10.17072/2079-7877-2021-3-130-141)
140. Медеу А.Р., Благовещенский В.П., Касаткин Н.Е., Капица В.П., Касенов М.К., Раймбекова Ж.Т. Гляциальные сели в Заилийском Алатау за последние 120 лет // Лёд и Снег. – 2020. – Т. 60. – № 2. – С. 213-224. [doi: 10.31857/S2076673420020035](https://doi.org/10.31857/S2076673420020035)
141. Kapitsa V., Shahgedanova M., Severskiy I., Kasatkin N., White K., Usmanova Z. Assessment of Changes in Mass Balance of the Tuyuksu Group of Glaciers, Northern Tien Shan, Between 1958 and 2016 Using Ground-Based Observations and Pleiades Satellite Imagery // Frontiers in Earth Science. – 2020. – Vol. 8. – P. 1-14. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.00259>
142. Долгих С.А., Исабекова Ж.К., Веревкина И.В., Ибраев С.Е., Муканов Е.Н., Амирова И.М., Ивкина Н.И., Васенина Е.И., Смирнова Е.Ю., Жездиебаева Б.Т. Стихийные гидрометеорологические явления, наблюдавшиеся на территории Казахстана в 2020 году // Гидрометеорология и экология. – 2021. – № 4. – С. 53-86. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2021-103-4-53-86>
143. Долгих С.А., Смирнова Е.Ю. Об изменении повторяемости неблагоприятных и экстремальных метеорологических явлений на территории бассейна Ертыс // Гидрометеорология и экология. – 2020. – № 4. – С. 135-153.
144. Сальников В.Г., Куликова И.А., Турулина Г.К., Таланов Е.А., Полякова С.Е. Технологии управления рисками возникновения засух в Республике Казахстан: монография. – Алматы: ИД Казак университеті, 2019. – 180.
145. Таланов Е.А., Полякова С.Е., Болатов К.М., Никифорова Л.Н., Касенов М.К., Кисебаев Д.К. Количественная оценка гляциальной селевой опасности при прорыве моренного озера в бассейне реки Киши Алматы // Вопросы географии и геоэкологии. – 2018. – №1. – С. 3-9.
146. Shahgedanova M., Afzal M., Severskiy I., Usmanova Z., Saidaliyeva Z., Kapitsa V., Kasatkin N., Dolgikh S. Changes in the mountain river discharge in the northern Tien Shan since the mid-20th Century: Results from the analysis of a homogeneous daily streamflow data set from seven catchments // Journal of Hydrology. – 2018. – Vol. 564. – P. 1133-1152. [doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.08.001](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.001)
147. Таланов Е.А., Полякова С.Е., Кисебаев Д.К., Болатов К.М. Статистическая структура последовательности экстремальных атмосферных волн холода и тепла (на примере Иле Алатау) // Вопросы географии и геоэкологии. – 2017. – №4. – С. 19-26.
148. Ахметова С.Т., Сулейменова А.Р., Оракова Г.О. Метеорологические условия формирования пыльных бурь в Западном Казахстане // Молодой ученый. – 2017. – № 7 (141). – С. 157-161. <https://moluch.ru/archive/141/38445/>

149. Оракова Г.О., Мусралинова Г.Т. Туманы на территории юго-востока Казахстана // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2016. – №1 (42). – С. 148-154.

150. Кожакметов П.Ж., Кожакметова Э.П. Экстремальные метеорологические явления в Казахстане в условиях глобального потепления климата // Гидрометеорология и экология. – 2016. – №2. – С. 7-19.

151. Salmikov V., Turulina G., Talanov Y., Polyakova S.E., Tazhibayeva T., Dolgikh S., Skakova A. The large-scale atmospheric processes and drought in Kazakhstan // Bulletin d'EUROTALENT-FIDJIP. – 2015. – № 8. – P. 14-18.

152. Таланов Е.А., Полякова С.Е., Полякова И.А. Методология оценки воздействия засух и определения рисков сельскохозяйственных потерь // Bulletin d'EUROTALENT-FIDJIP. – 2015. – № 7. – С. 63-67.

153. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Таланов Е.А., Полякова С.Е., Кауазов А.М., Воротынцева В.В. Структура многолетних колебаний образования и разрушения снежного покрова в Северном Казахстане // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2015. – Вып. 358. – С. 133-144.

154. Сулейменова Г.Т., Ахметова С.Т. Засухи на территории Северного и Западного Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2015. – № 2. – С. 7-15.

155. Пиманкина Н.В. Изменения климата и опасность сильных снегопадов и снеговых нагрузок в горах Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2014. – № 3. – С. 34-44.

156. Полякова С.Е., Барабошина А.Н. Метеорологические условия образования туманов в аэропорту города Алматы и их влияние на работу авиации // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2012. – №2(35). – С. 59-71.

157. Полякова С.Е., Когутенко Л.В. Особенности распределения высоких температур воздуха в Северной половине Казахстана // Вестник КазНУ, Серия географическая. – Алматы: Қазақ университети, 2010. – №2 (31). – С. 96-101.

158. Bultekov N.U., Salmikov V.G., Turulina G.K., Assylbekova A.A. Synoptic conditions of dust storms genesis in Western Kazakhstan // Oxidation Communications. – 2015. – Vol. 38. – Issue 2. – P. 869-879

159. Таланов Е.А. Региональная оценка эколого-экономического риска от водной эрозии и селей: монография. – Алматы: ОО «ДОИВА Медеуского р-на г. Алматы», 2007. – 351 с.

160. Скаков А.А. Оттепели и морозы в Казахстане. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 173 с.

161. Кожакметов П.Ж., Никифорова Л.Н. Погодные стихии в Казахстане в условиях глобального изменения климата. – Астана, 2016. – 36 с.

162. Таланов Е.А., Имангалиева А.К. Управление качеством среды обитания в г.Алматы на основе результатов оценки экологического риска // Доклады к международной конференции «Новые подходы и методы в изучении природных и природно-хозяйственных систем». – 2000. – С. 114-122.

163. Медеу А.Р., Тасболат Б., Киренская Т.Л., Ботпаев А.К. Концептуально-методологические основы оценки селевого риска // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2005. – № 2(21). – С. 26-30.

164. Благовещенский В.П., Егоров А.Б., Кокарев А.Л. Лавинная опасность и лавинный риск в горах Илейского Алатау // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2005. – № 2(21). – С. 216-223.

165. Кауазов А.М., Тиллякарим Т.А., Сальников В.Г., Полякова С.Е. Оценка изменений площади снежного покрова в Казахстане с 2000 по 2022 год // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2023. – Т. 20. – № 1. – С. 298-305. [DOI: 10.21046/2070-7401-2023-20-1-298-305](https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-1-298-305)

166. Воеводина В.А., Турулина Г.К., Полякова С.Е. Циркуляционные особенности формирования многоснежных и малоснежных зим на юге Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2022. – № 1. – С. 31-39. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2022-104-1-31-39>

167. Amirgaliev N.A., Medeu A.R., Opp C., Madibekov A., Kulbekova R., Ismukhanova L., Zhadi A. Polychlorinated biphenyls in the snow cover of South-Eastern Kazakhstan // Applied Sciences (Switzerland). – 2022. – № 12(17). – 8660. <https://doi.org/10.3390/app12178660>

168. Терехов А.Г., Ивкина Н.И., Абаев Н.Н., Галаева А.В., Елтай А.Г. Реакция стока реки Урал на изменения высоты снежного покрова в её бассейне в период 2001–2019 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Т. 17, № 5. – С. 181–190. [DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-181-190](https://doi.org/10.21046/2070-7401-2020-17-5-181-190)

169. Кауазов А.М., Дара А.С., Батырбаева М.Ж., Витковская И.С., Муратова Н.Р., Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е., Спивак Л.Ф., Тюреббаева С.И. Исследование динамики дат схода снежного покрова в Северном Казахстане // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13. – № 1. – С. 161–168. [DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-1-161-168](https://doi.org/10.21046/2070-7401-2016-13-1-161-168)

170. Турулина Г.К., Сальников В.Г., Полякова С.Е., Муратова Н.Р. Современные тенденции продолжительности залегания устойчивого снежного покрова в Северном Казахстане // Гидрометеорология и экология. – 2013. – № 3. – С. 7-15.

171. Жданов В.В., Долгих С.А. Влияние основных метеорологических факторов на лавинную активность (на примере бассейна реки Киши Алматы) // Гидрометеорология и экология. – 2013. – № 1. – С. 7-16.

172. Макаревич К.Г., Полякова С.Е., Смирнова А.Ю. Исследование современного состояния ледника Туюксу // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2012. – № 2(35). – С. 24-35.

173. Сальников В.Г., Полякова С.Е., Ульман А.А., Кауазов А.М., Турсумбаева М.О., Кисебаев Д.К., Миськив Д.И., Белдеубаев Е.Е., Мусралинова Г.Т., Кожугулов С.О. Мониторинг качества атмосферного воздуха Западно-Казахстанского региона: принципы, методы, подходы // Гидрометеорология и экология. – 2024. – № 2. – С. 128-149. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2024-113-2-128-149>

174. Сальников В.Г. Возможности применения факторного анализа для изучения потенциала загрязнения атмосферы // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 1999. – № 5. – С. 34-42.

175. Муратова Н.Р., Садирова А.С., Турулина Г.К. О возможности предсказания повышенного уровня загрязнения в южных городах Казахстана (на

примере Алматы) // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 1997. – № 4. – С. 82-87.

176. Медеуова Г.А., Мадиебеков А.С., Турапов Ш.Е. Әртүрлі синоптикалық жағдайларда Алматы қаласының ауасының ластануы // География және су ресурстары. – 2023. – № 2. – 34-47 б. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2023-2-34-47.10>

177. Курманова М.С., Мадиебеков А.С. Изменение количества атмосферных осадков в Балкаш-Алакольском бассейне // Вопросы географии и геоэкологии. – 2020. – № 1. – С. 36-42.

178. Мадиебеков А.С., Жәди А.Ө. Содержание тяжелых металлов в атмосферных осадках // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2016. – №42(1). – С. 134-139.

179. Галипова Э.К. Пространственно-временные вариации химического состава атмосферных осадков над юго-востоком Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2009. – № 1(28). – С. 33-38.

180. Zhunisova M., Baisholotov S. Assessment of the heat supply of the growing season in the Almaty region // Hydrometeorology and Ecology. – 2024. – № 3. – P. 40-50. <https://doi.org/10.54668/2789-6323-2024-114-3-40-50>

181. Полякова С.Е., Сальников В.Г. Современные климатические особенности ареалов произрастания потенциально лекарственных растений // География и водные ресурсы. – 2024. – №3. – С. 108-124. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-108-124.30>

182. Акпалов К.А., Байшоланов С.С., Баймуканова О.Н., Ауешханов Д.А., Кужинов М.Б. Анализ агрометеорологических условий вегетационного периода 2020 и 2021 годов в Северном Казахстане: особенности и меры адаптации к изменению климата // Вестник науки Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина. – 2022. – № 3(114). – Ч.1. – С. 161-176. [DOI: 10.51452/kazatu.2022.3\(114\).1166](https://doi.org/10.51452/kazatu.2022.3(114).1166)

183. Shmelev S.E., Salnikov V., Turulina G., Polyakova S., Tazhibayeva T., Schnitzler T., Shmeleva I.A. Climate change and food security: The impact of some key variables on wheat yield in Kazakhstan // Sustainability (Switzerland). – 2021. – Vol. 13. – Issue 15. – ID: 8583 <https://doi.org/10.3390/su13158583>

184. Байшоланов С.С. Уязвимость и адаптация сельского хозяйства Республики Казахстан к изменению климата. – Астана, 2017. – 128 с.

185. Агроклиматические ресурсы Акмолинской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова. – Астана, 2017. – 133 с.

186. Агроклиматические ресурсы Актюбинской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова. – Астана, 2017. – 136 с.

187. Агроклиматические ресурсы Западно-Казахстанской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова. – Астана, 2017. – 128 с.

188. Агроклиматические ресурсы Костанайской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова. – Астана, 2017. – 139 с.

189. Агроклиматические ресурсы Павлодарской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова. – Астана, 2017. – 127 с.

190. Агроклиматические ресурсы Северо-Казахстанской области: научно-прикладной справочник / Под ред. С.С. Байшоланова. – Астана, 2017. – 125 с.

191. Тажибаева Т.Л., Абуғалиева А.И., Кожамметов К.К., Полякова С.Е. Засухоустойчивость диких, культурных и интрогрессивных форм озимой пшеницы // Вестник КазНУ. Серия биологическая. – 2016. – №2 (67). – С. 50-61.
192. Тажибаева Т.Л., Абуғалиева А.И., Сальников В.Г., Полякова С.Е., Турулина Г.К., Асылбекова А.А. Методические подходы к картированию зон производства яровой пшеницы в Казахстане // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2015. – № 2 (41). – С. 175-182.
193. Nyssanbayeva A.S., Cherednichenko A.V., Cherednichenko V.S., Abayev N.N., Madibekov A.S. Bioclimatic conditions of the winter months in Western Kazakhstan and their dynamics in relation to climate change // International Journal of Biometeorology. – 2019. – Vol. 63. – Issue 5. – P. 659-669. DOI: [10.1007/s00484-018-1513-7](https://doi.org/10.1007/s00484-018-1513-7)
194. Williams M., Eggleston S. Using indicators to explain our changing climate to policymakers and the public // WMO Bulletin. – 2017. – Vol. 66. – P. 33-39.
195. Lisa Alexander, Nicholas Herold ClimPACT2 Indices and software. A document prepared on behalf of The Commission for Climatology (CCI) Expert Team on Sector-Specific Climate Indices (ET-SCI). – 2016. – 46 p. URL: https://epic.awi.de/id/eprint/49274/1/ClimPACTv2_manual.pdf
196. ClimPACT2. – Electronic resource: <https://climpact-sci.org/>
197. The ClimPACT User Guide. – Electronic resource: <https://climpact-sci.org/assets/climpact2-user-guide.pdf>
198. Shibo Fang, Yue Qi, Weiguo Yu, Hanyue Liang, Guojun Han, Qingxiang Li, Shuanghe Shen, Guangsheng Zhoua, Guangxun Shia Change in temperature extremes and its correlation with mean temperature in mainland China from 1960 to 2015 // International Journal of Climatology. – 2016. – Vol. 37. – Issue10. DOI: [10.1002/joc.4965](https://doi.org/10.1002/joc.4965)
199. Siyan Dong, Ying Sun, Enric Aguilar, Xuebin Zhang, Thomas C. Peterson, Lianchun Song, Yingxian Zhang Observed changes in temperature extremes over Asia and their attribution // Climate Dynamics. – 2018. – Vol. 51(3). – P. 339-353. DOI: [10.1007/s00382-017-3927-z](https://doi.org/10.1007/s00382-017-3927-z)
200. Salnikov V., Talanov Ye., Polyakova S., Assylbekova A., Kauazov A., Bultekov N., Musralinova G., Kissebayev D., Beldeubayev Ye. An Assessment of the Present Trends in Temperature and Precipitation Extremes in Kazakhstan // Climate. – 2023. – Vol. 11. – № 2. – 33 p. <https://doi.org/10.3390/cli11020033> <https://www.mdpi.com/2225-1154/11/2/33>
201. Wang Z., Li J., Lai C., Zeng Z., Zhong R., Chen X., Zhou X., Wang M. Does drought in China show a significant decreasing trend from 1961 to 2009? Sci. Total Environ. 2017, 579, 314–324. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-168401/v1>
202. Cheval S., Amihaesei V., Dumitrescu A., Micu D. Observed Variability and Future Projections of Urban Heatwaves in Romania // International Journal of Climatology. – 2024. <https://doi.org/10.1002/joc.8714>
203. Долгих С.А. Современное изменение климата на казахстанской территории Прикаспийского региона // Международная научная конференция «Изменение климата в регионе Каспийского моря». 27-28 октября 2021 г. – С. 42-44.
204. Курманова М., Монкаева Г. Специализированное климатическое обслуживание в поддержку принятия решений в Казахстане // Международная

молодежная школа и конференция по вычислительно-информационным технологиям для наук об окружающей среде. – М., 2019. – С. 317–320.

205. Обзор об особенностях климата на территории Казахстана в 2023 году. – Астана, 2024. – 66 с.

206. Hu Z., Li Q., Chen X., Teng Z., Chen C., Yin G., Zhang Y. Climate changes in temperature and precipitation extremes in an alpine grassland of Central Asia // Journal Theoretical and Applied Climatology. – 2016. – № 126. – Pp. 519-531. DOI: [10.1007/s00704-015-1568-x](https://doi.org/10.1007/s00704-015-1568-x)

207. Ежегодный бюллетень мониторинга состояния и изменения климата Казахстана: 2020 год – Электронный ресурс: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/ezhegodnyy-byulleten-monitoringa-sostoyaniya-i-izmeneniya-klimata-kazahstana>

208. Тажибаева Т.Л., Сальников В.Г., Полякова С.Е. Устойчивое развитие: экология и энергетика: учебное пособие. – Алматы: ИД «Қазақ университеті», 2018. – 344 с.

209. Крушанов А.А. Устойчивое развитие: что это такое и почему это важно? – Электронный ресурс: https://ecoculture.ru/ecoeeducation/development/material_03.php

210. Большаков Б.Е., Шамаева Е.Ф. Введение в проблему измерения глобального и регионального устойчивого инновационного развития // Интернет-журнал «Науковедение». – 2015. – Том 7. – № 2. <http://dx.doi.org/10.15862/110E VN215>

211. Большаков Б.Е., Шамаева Е.Ф., Сальников В.Г., Тажибаева Т.Л., Полякова С.Е. Разработка системы естественнонаучных индикаторов устойчивого инновационного развития // Вестник КазНУ. Серия экологическая. – 2013. – № 2/1 (38). – С. 28-35.

212. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. – Электронный ресурс: <https://stat.gov.kz>

213. 8-е национальное сообщение и 5-й двухгодичный доклад Республики Казахстан Рамочной Конвенции ООН об Изменении Климата. – Астана, 2022. – 491 с.

214. Об утверждении Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года. Указ Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 года № 121 <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121>

215. Охрана окружающей среды в Республике Казахстан: статистический сборник. – Астана, 2024. – 152 с.

216. Notre Dame Global Adaptation Initiative. Country Index. – Electronic resource: <https://gain.nd.edu/our-work/country-index/>

217. University of Notre Dame Global Adaptation Initiative Country Index Technical Report. – 2024. – 50 p.

218. QazaqGeography. – Электронный ресурс: <https://qazaqgeography.kz/>

219. Информационно-аналитическая система ТАЛДАУ. Бюро Национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. – Электронный ресурс: <https://taldau.stat.gov.kz/ru/Region>

220. Республика Казахстан. – Электронный ресурс: https://www.akorda.kz/ru/republic_of_kazakhstan/kazakhstan#

221. Климат Казахстана. – Электронный ресурс: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/klimat-kazahstana-1>
222. Полякова С.Е. Оценка доступного потенциала солнечной энергии над территорией Казахстана / Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук по специальности 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология. – Алматы, 2003. – 150 с.
223. Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. – СПб.: Гидрометеиздат, 2000. – 778 с.
224. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 203 с.
225. Пивоварова З.И. Радиационные характеристики климата СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 180 с.
226. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 223 с.
227. Полякова С.Е. О распределении характеристик солнечной радиации над территорией Казахстана // Проблемы географии и экологии Казахстана: Сб. научных статей молодых ученых / Под ред А.А. Науменко. – Алматы: Қазақ университеті, 2000. – С. 38-45.
228. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: Многолетние данные. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – Вып. 18. – Книга 1. – Часть 1-6. – 514 с.
229. Полякова С.Е. Особенности месячного поступления прямой солнечной радиации на территорию Казахстана // Вестник КазГУ. Серия экологическая. – 2000. – № 1, 2 (6, 7). – С. 107-114.
230. Русин Н.П. Прикладная актинометрия. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 232 с.
231. Рекомендации. Наземные сетевые средства измерений гидрометеорологического назначения. Общие технические требования. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 35 с.
232. СП РК 2.04-01-2017. Строительная климатология. – Астана, 2017. – 47 с.
233. Справочник по климату Казахстана: многолетние данные. – Алматы, 2004.
234. Налибаева Г. Дисбалансы на рынке ВИЭ / Информационный интернет-портал «Qazaq Green». – Электронный ресурс: <https://qazaqgreen.com/journal-qazaqgreen/analitics/864/>
235. Жанабаева Ж.А., Мусина А.К., Ақтымбаева А.А., Рысмағамбетова А.А., Нарбаева К.Т., Сарыбаев Е.С., Ахметова Р.Е. Современное состояние качества воды Жайык-Каспийского бассейна в Казахстане // Вестник КазНУ. Серия экологическая. – 2024. – № 4. – С. 67-74. <https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-4-67-74.40>
236. Боголюбова Е.В., Сайдудулаев С.З. Режим ветра на территории Северного Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2005. – № 1. – С. 60-67.
237. Константин Сергеев Обуздать энергию ветра / Deutsche Allgemeine Zeitung. 10 марта, 2022. – Электронный ресурс: <https://daz.asia/ru/obuzdat-energiyu-vetra/>

238. Самал Ендибаева Мощная ветровая электростанция открыта в Актобинской области // МИА «Казинформ». 04 Март 2022. – Электронный ресурс: https://www.inform.kz/ru/moschnaya-vetrovaya-elektrostantsiya-otkrvta-v-aktvubinskoy-oblasti_a3907198

239. Onoz, B., Bayazit, M. The Power of Statistical Tests for Trend Detection // Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences. – 2003. – № 27. – P. 247-251.

240. Blain G.C. The modified Mann-Kendall test: on the performance of three variance correction approaches // Agrometeorology. Bragantia, Campinas. – 2013. – Vol. 72. – № 72(4). – P. 416-425. <https://doi.org/10.1590/brag.2013.045>

241. Yadav R., Tripathi S., Gogumalla P., Dubey S. Trend analysis by Mann-Kendall test for precipitation and temperature for thirteen districts of Uttarakhand // Journal of Agrometeorology. – 2014. – № 16(2). – P. 164-171.

242. Hamed K.H. Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis // Journal of hydrology. – 2008. – № 349. – P. 350-363.

243. Садвакасов К.К., Давыденко А.В., Нысанбаев Е.Н., Ли Д.В. Оценка влияния «зеленого пояса» на климат г. Астаны // Астраханский Вестник экологического образования. – 2016. – № 4 (38). – С. 74-85.

244. Makhambetov M.M., Onur Satir, Nyssanbaeva A.S. Present trends in air temperature in the east of Kazakhstan // Hydrometeorology and ecology. – 2024. – №4. – P. 39-49.

245. Гулахмадов А.А. Оценка трендов и магнитудных изменений осадков за последние десятилетия в бассейне реки Кафирниган // Географические науки. – 2023. – №2. – С. 8-18.

246. Гулахмадов Н.А., Янинг Чен Анализ многолетних трендов температуры в бассейне реки Кафирниган в Таджикистане // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2023. – №2. – С. 189-203.

247. Hamed K.H., Rao A.R. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data // Journal of hydrology. – 1998. – №204. – P. 182-196.

248. Yue S., Pilon P., Phinney B., Cavadias G. The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series // Hydrological processes. – 2002. – №16. – P. 1807-1829.

249. Hu Z., Liu Sh., Zhong G., Lin H., Zhou Zh. Modified Mann-Kendall trend test for hydrological time series under the scaling hypothesis and its application // Hydrological Sciences Journal. – 2020. – Vol. 65. – Issue 14. – P. 2419-2438. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1810253>

250. Pettitt A. A non-parametric approach to the change-point problem // Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics). – 1979. – Vol. 28. – №2. – P. 126-135. <https://doi.org/10.2307/2346729>

251. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е., Скакова А.А. Атмосферная циркуляция и особенности распределения аномалий температуры и осадков в Казахстане // Вестник КазНУ, Серия географическая. – 2010. – №2 (31). – С. 62-75.

252. Гирс А.А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 280 с.

253. Байдал М.Х. Комплексный макроциркуляционный метод долгосрочных прогнозов погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1961. – 211 с.
254. Байдал М.Х. Долгосрочные прогнозы погоды и колебания климата Казахстана. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – Ч. 1 и 2. – 446 с.
255. Сидоренков Н.С., Орлов И.А. Атмосферные циркуляционные эпохи и изменения климата // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 9. – С. 22-29.
256. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е. Молдахметов М.М., Махмудова Л.К. Климатические колебания общей циркуляции атмосферы, осадков и речного стока над территорией Казахстана // Вестник КазНУ, Серия географическая. – 2011. – №2 (33). – С. 20-25.
257. Наурызбаева Ж.К. Оценка воздействия атмосферной циркуляции на ледовый режим и уровень Каспийского моря // Центральноазиатский журнал исследований водных ресурсов. – 2024. – № 10(1). – С. 68-90.
258. Сальников В.Г., Турулина Г.К., Полякова С.Е. Атмосферная циркуляция и особенности распределения аномалий температуры и осадков в Казахстане // Вестник КазНУ. Серия географическая. – 2010. – № 2 (31). – С. 62-75.
259. Байдал М.Х. Колебание климата Кустанайской области в XX столетии. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 213 с.
260. Дмитриев А.А., Беязо В.А. Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. – СПб.: Гидрометеиздат, 2006. – 358 с.
261. Гирс А.А., Кондратович К.Я. Методы долгосрочных прогнозов погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 343 с.

Таблица А. Средние и экстремальные температуры воздуха на метеостанциях Западно-Казахстанского региона за 1961-2023 гг.

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Актобинская область													
Актобе	средняя	-13,3	-12,6	-5,3	7,3	15,6	20,8	22,9	20,8	14,0	5,2	-2,9	-9,8
	минимальная	-29,8 1969	-24,9 1969	-19,3 1969	-3,6 1964	4,3 2002	10,6 1979	12,6 1994	10,8 1997	4,0 1976	-9,3 1976	-17,4 1993	-24,7 2002
	максимальная	-2,1 2007	-1,0 2016	7,0 2023	23,7 2012	29,1 2021	33,7 2010	34,3 1984	33,6 2021	27,3 1971	18,5 1974	7,0 2010	-1,2 2010
Аяккум	средняя	-10,6	-10,2	-1,5	10,4	18,5	24,2	26,7	24,3	16,8	7,6	-0,4	-6,9
	минимальная	-25,7 1977	-24,7 1974	-14,6 1976	0,1 1987	6,7 1966	13,1 1979	15,5 1994	12,8 1978	6,5 1967	-3,8 1976	-12,7 1993	-21,1 2002
	максимальная	-0,3 2002	4,0 2016	13,3 2008	25,8 2012	31,6 2014	36,0 2010	37,3 1984	36,9 2014	28,7 1971	21,5 1997	10,8 2023	2,1 2010
Ильинский	средняя	-12,8	-12,3	-5,0	7,6	15,8	21,1	23,3	21,4	14,4	5,5	-2,5	-9,2
	минимальная	-29,2 1972	-24,7 1994	-17,9 1969	-3,2 1964	4,6 2002	10,0 1979	12,4 1994	10,8 1997	4,5 2019	-9,2 1976	-16,7 1993	-25,5 2002
	максимальная	-1,9 2007	-0,8 2016	8,2 2023	23,8 2012	29,9 2021	34,3 2010	35,3 1984	35,2 2021	27,9 1971	18,8 1974	7,8 2010	-0,2 2010
Ирриз	средняя	-14,0	-13,6	-5,2	9,1	17,6	23,3	25,4	23,0	16,0	6,6	-2,4	-10,1
	минимальная	-31,0 1969	-25,3 1969	-18,9 1969	-1,7 1987	7,5 2002	13,1 2003	15,2 1972	13,1 1978	6,3 1993	-5,7 1976	-16,9 1993	-23,7 1984
	максимальная	-2,3 2002	-0,4 2016	11,1 2008	24,7 2012	31,2 2021	34,8 2010	36,3 1984	35,3 2014	28,3 1971	20,9 1997	7,8 2010	-0,6 2015

Продолжение таблицы А

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Карабутаг	средняя	-15,3	-14,8	-7,3	6,5	15,2	20,8	22,9	20,7	13,8	4,8	-3,8	-11,6
	минимальная	-32,9	-27,1	-21,8	-6,1	4,2	10,1	12,9	10,4	4,1	-9,3	-18,5	-26,2
	максимальная	-3,9	-2,2	7,7	22,7	28,6	33,0	33,9	33,6	27,5	17,4	6,5	-2,5
Караукельды	средняя	-11,7	-11,3	-3,7	8,9	17,0	22,6	24,9	23,0	15,8	6,6	-1,5	-8,1
	минимальная	-27,1	-22,6	-14,6	-1,1	6,4	12,6	13,8	11,7	5,8	-5,8	-14,6	-21,8
	максимальная	-1,9	-0,4	11,1	24,4	29,6	34,0	35,5	35,2	28,7	19,0	7,7	0,4
Кок-Истек	средняя	-14,5	-13,8	-6,8	5,3	13,8	18,7	20,7	18,6	12,0	3,7	-4,3	-11,3
	минимальная	-30,5	-26,2	-20,4	-5,2	1,8	6,8	9,7	7,2	0,9	-10,1	-19,2	-26,2
	максимальная	-3,1	-2,1	4,4	21,0	28,5	31,5	32,9	33,0	26,2	17,2	5,7	-2,7
Мартук	средняя	-13,0	-12,6	-5,3	7,2	15,5	20,5	22,6	20,7	13,9	5,2	-2,9	-9,7
	минимальная	-28,8	-25,1	-18,3	-3,0	3,7	10,5	12,2	10,0	4,6	-8,8	-17,1	-24,4
	максимальная	-1,4	-1,0	7,0	23,1	28,6	33,0	34,6	34,3	27,3	18,9	7,1	-1,2
		2007	2002	2023	2012	2021	2010	1984	2016	1971	1974	2010	2010

Продолжение таблицы А

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Мугоджарская	средняя	-12,1	-11,5	-4,7	7,8	16,2	21,8	23,9	22,1	15,2	5,9	-2,6	-8,9
	минимальная	-27,1	-21,8	-14,9	-2,7	6,5	11,8	13,9	13,4	5,4	-6,8	-15,4	-21,4
	максимальная	-2,5	-1,1	9,1	22,2	28,6	33,0	34,5	33,4	27,0	17,7	6,2	-1,7
Новоалексеевка	средняя	-12,5	-12,1	-4,7	8,0	16,3	21,3	23,5	21,6	14,6	5,7	-2,2	-9,0
	минимальная	-28,6	-25,0	-18,4	-2,9	5,0	9,9	12,8	10,1	4,4	-8,5	-17,2	-23,2
	максимальная	-1,6	-0,9	8,3	23,6	29,3	33,6	34,8	34,4	27,8	19,0	6,9	-0,1
Нура	средняя	-14,2	-13,8	-5,2	9,0	17,7	23,4	25,2	22,8	15,8	6,5	-2,3	-10,2
	минимальная	-31,5	-26,9	-20,7	-2,5	6,6	12,9	14,6	12,9	5,8	-5,9	-16,8	-23,3
	максимальная	-1,9	0,1	10,7	24,6	31,1	34,6	35,9	35,5	27,3	20,0	7,9	-0,8
Родниковка	средняя	-13,7	-13,1	-6,6	5,4	14,2	19,0	21,0	19,4	12,8	4,1	-4,2	-10,6
	минимальная	-29,2	-24,1	-18,0	-5,0	3,7	9,0	11,6	10,4	3,2	-9,2	-18,4	-23,8
	максимальная	-3,4	-2,8	3,4	19,8	26,2	30,5	32,2	31,2	25,6	17,1	5,0	-3,1
		2007	2002	2008	1995	2021	2010	1984	2016	1971	1974	2010	2015

Продолжение таблицы А

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Темир	средняя	-12,8	-12,4	-4,9	7,9	16,2	21,7	24,0	21,9	14,8	5,8	-2,4	-9,3
	минимальная	-28,8	-24,5	-18,1	-3,2	4,6	11,0	12,8	12,1	4,7	-7,2	-15,6	-23,6
	максимальная	-2,6	-0,8	9,7	23,8	31,2	34,8	36,1	36,0	27,9	18,4	7,4	-0,2
Уил	средняя	-11,3	-10,9	-3,1	9,4	17,4	22,9	25,2	23,2	16,0	6,8	-1,1	-7,7
	минимальная	-27,3	-23,8	-16,1	-0,7	5,8	11,8	14,7	13,5	5,8	-6,1	-14,3	-22,0
	максимальная	-0,6	1,0	12,5	25,0	31,8	35,4	36,6	36,5	29,0	19,3	8,5	1,2
Шалкар	средняя	-13,2	-12,9	-4,2	9,3	17,6	23,4	25,7	23,2	16,0	6,6	-1,9	-9,3
	минимальная	-29,2	-25,4	-17,2	-1,6	6,0	12,1	14,4	12,6	6,1	-5,6	-15,9	-23,9
	максимальная	-1,9	0,9	12,4	25,0	31,2	35,1	36,7	35,8	28,2	20,7	8,0	-0,2
Эмба	средняя	-12,9	-12,5	-4,8	8,2	16,5	22,2	24,4	22,2	15,1	6,0	-2,3	-9,4
	минимальная	-29,3	-26,1	-18,6	-2,5	5,0	10,9	13,2	12,3	5,0	-6,2	-16,6	-24,2
	максимальная	-2,9	-0,9	9,9	24,2	29,7	35,0	35,7	34,9	28,5	19,0	7,7	0,1
		2007	2016	2008	2012	2021	2010	1984	2014	1971	1997	2013	2010

Продолжение таблицы А

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Атырауская область													
Атырау	средняя	-7,3	-6,6	1,0	11,5	19,3	24,6	26,9	25,0	18,0	9,2	1,6	-4,2
	минимальная	-23,6 1972	-20,7 1994	-10,1 1985	1,1 1965	9,7 2000	14,2 1979	16,9 1968	15,2 1963	7,7 1973	-2,9 1976	-11,2 1993	-17,5 2002
	максимальная	3,2 2007	5,7 2022	15,0 2023	25,6 2012	31,6 2021	35,8 2010	37,5 2010	37,3 2021	30,4 1971	20,4 1974	10,7 2010	4,0 2010
Ганюшкино	средняя	-5,7	-5,2	1,7	11,1	18,7	23,7	25,6	23,9	17,2	9,3	2,2	-2,9
	минимальная	-20,7 1972	-17,4 1994	-9,5 1985	0,8 1965	9,7 2002	14,9 1967	16,1 2014	14,7 1962	6,9 1973	-1,4 1976	-11,9 1993	-15,4 2002
	максимальная	4,5 2007	6,1 2020	14,8 2023	23,9 2012	29,1 2021	34,5 2015	35,7 2010	35,6 2021	27,6 2015	19,9 1974	12,1 2023	5,2 2010
Карабау	средняя	-9,8	-9,4	-1,1	10,5	18,4	23,8	26,2	24,1	16,9	7,8	0,0	-6,3
	минимальная	-25,8 1972	-23,7 1994	-13,7 1969	0,3 1996	6,4 2002	12,5 1979	15,3 1994	14,3 1962	6,1 1973	-4,5 1976	-12,9 1993	-21,9 2002
	максимальная	2,0 2007	3,9 2020	13,9 2023	25,8 2012	31,6 2021	36,0 2015	38,4 2010	37,2 2021	29,4 1971	20,3 1974	9,4 2010	2,9 2010
Новый Уштоган	средняя	-7,4	-6,8	0,8	11,0	18,6	23,8	26,4	24,5	17,3	8,5	1,2	-4,5
	минимальная	-23,7 1969	-21,9 1994	-12,3 1985	0,3 1965	8,7 2000	13,4 1970	16,5 1976	14,7 1990	6,7 1973	-2,8 1976	-11,4 1993	-18,6 2002
	максимальная	4,5 2007	5,2 2002	14,9 2023	25,2 2012	31,7 2021	36,2 2015	38,4 2010	38,0 2021	29,2 2015	20,1 1974	11,5 2010	4,2 2010

Продолжение таблицы А

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Пепшой	средняя	-7,1	-6,8	0,4	10,8	18,6	23,2	25,4	23,6	17,0	8,7	1,5	-4,0
	минимальная	-22,7	-20,4	-11,1	1,6	10,2	13,6	16,4	14,6	7,5	-3,6	-10,0	-16,7
	максимальная	2,2	5,3	14,1	24,1	30,5	34,2	36,3	36,0	27,1	18,7	10,7	3,3
Сагиз	средняя	-10,8	-10,4	-2,0	10,2	17,8	23,6	26,0	23,9	16,4	7,1	-0,7	-7,1
	минимальная	-26,8	-24,5	-15,1	-0,1	6,3	12,9	14,8	12,4	5,8	-5,0	-15,0	-22,7
	максимальная	-0,1	2,9	12,5	25,9	31,3	35,7	37,4	36,4	30,0	20,2	9,9	2,3
Западно-Казахстанская область													
Аксай	средняя	-12,0	-11,8	-4,4	7,9	16,0	20,7	23,0	21,1	14,3	5,8	-2,0	-8,5
	минимальная	-29,1	-27,4	-19,1	-2,2	4,3	9,1	11,3	10,8	4,4	-7,0	-14,6	-23,4
	максимальная	0,0	-0,2	10,9	22,4	29,8	33,1	35,5	35,3	27,0	18,0	7,4	0,1
Джамбейты	средняя	-11,5	-11,2	-3,7	8,7	16,7	21,9	24,2	22,4	15,3	6,4	-1,3	-7,9
	минимальная	-28,1	-26,2	-17,7	-1,3	5,8	10,2	13,0	12,5	4,8	-6,2	-14,2	-22,9
	максимальная	0,8	1,2	12,3	23,2	30,5	34,6	36,9	36,0	28,0	19,3	7,9	0,9

Продолжение таблицы А

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Жаңыбек	средняя	-8,6	-8,4	-1,6	9,4	17,0	21,9	24,4	22,9	15,8	7,5	0,1	-5,6
	минимальная	-23,2 1969	-23,3 1969	-13,7 1985	-2,0 1987	5,8 2000	11,3 2003	13,9 1994	12,9 1990	5,6 1973	-4,2 1976	-12,0 1993	-19,9 2002
	максимальная	3,5 2007	3,5 2002	12,7 2020	22,5 2012	28,7 2013	33,8 1998	37,2 2010	36,1 2007	28,1 2015	17,9 1974	9,7 2010	2,8 2010
Жалпақтал	средняя	-9,7	-9,9	-2,5	9,3	17,2	22,3	24,7	22,8	15,8	7,1	-0,4	-6,6
	минимальная	-25,2 1972	-25,0 1969	-15,4 1976	-1,1 1987	6,1 2002	11,4 2003	14,5 1968	12,9 1965	6,0 1973	-4,3 1976	-12,5 1993	-21,6 2002
	максимальная	3,2 2007	2,7 2002	13,0 2020	23,3 2012	29,5 2021	34,5 2015	37,5 2010	36,0 2021	28,0 1971	18,9 1974	9,3 2010	2,3 2010
Каменка	средняя	-11,6	-11,4	-4,5	7,4	15,7	20,2	22,5	20,8	13,9	5,5	-1,9	-8,4
	минимальная	-27,2 1972	-26,1 1969	-16,4 1996	-2,9 1996	3,9 2002	9,1 2003	10,8 1994	10,8 1997	4,2 1993	-6,4 1976	-15,0 1993	-24,0 2002
	максимальная	0,9 2007	0,0 2002	10,6 2020	21,5 1995	28,8 2021	33,0 1997	36,0 2010	34,8 2021	26,2 1971	17,3 1974	6,9 2010	-0,1 2015
Қаратөбе	средняя	-11,4	-11,2	-3,4	9,1	16,9	22,0	24,3	22,4	15,4	6,5	-1,1	-7,7
	минимальная	-27,9 1972	-26,5 1994	-18,0 1969	-1,4 1964	5,2 2002	10,0 1979	12,6 1994	10,8 1997	5,2 1973	-7,2 1976	-14,4 1993	-23,2 2002
	максимальная	0,8 2007	2,2 2020	12,9 2020	25,0 2012	31,5 2021	35,4 2021	36,7 2010	37,2 2021	27,5 2004	19,3 1974	8,7 2010	1,4 2010

Продолжение таблицы А

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Тайпак	средняя	-10,0	-9,7	-1,8	10,0	18,1	23,5	25,8	23,8	16,6	7,6	-0,3	-6,6
	минимальная	-26,3	-23,9	-15,4	-0,2	7,5	12,8	15,1	14,4	6,1	-4,1	-12,6	-21,1
	максимальная	2,2	3,2	13,6	25,3	31,1	35,8	38,4	37,1	29,1	19,7	9,9	2,5
Уральск	средняя	-11,5	-11,2	-4,0	8,1	16,3	20,7	22,9	21,1	14,4	6,0	-1,6	-8,2
	минимальная	-27,7	-26,6	-17,5	-2,1	5,0	9,8	12,5	11,9	4,6	-5,9	-14,1	-22,8
	максимальная	1,0	0,3	11,5	22,5	30,4	33,3	36,0	36,3	26,8	17,2	7,5	0,3
Урда	средняя	-7,8	-7,3	-0,1	10,6	18,1	23,0	25,4	23,8	16,7	8,3	0,9	-4,8
	минимальная	-22,9	-21,8	-12,8	-0,5	7,7	13,0	15,2	14,4	6,5	-3,3	-11,4	-19,1
	максимальная	4,5	4,6	14,0	24,0	30,1	34,9	37,9	36,5	28,3	18,5	10,6	3,7
Чатаева	средняя	-10,6	-10,3	-2,9	9,2	17,2	22,1	24,4	22,6	15,6	6,9	-0,8	-7,3
	минимальная	-26,3	-25,0	-16,0	-0,9	6,7	11,5	13,9	13,0	5,5	-5,0	-12,9	-21,5
	максимальная	1,9	1,8	12,5	23,4	29,7	34,3	36,6	35,8	27,4	18,9	8,4	1,5
		2007	2002	2020	2012	2021	2015	2010	2021	1971	1974	2010	2010

Продолжение таблицы А

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Чингирлау	средняя	-12,3	-11,9	-4,6	7,9	16,1	20,8	23,1	21,3	14,5	5,8	-2,3	-8,9
	минимальная	-28,7	-25,5	-18,3	-2,3	5,7	10,4	13,8	12,2	4,9	-6,2	-13,9	-22,8
	максимальная	-0,6	-0,4	8,7	22,1	28,8	32,7	34,6	34,2	27,3	18,2	6,9	-0,7
Мангистауская область													
Актау	средняя	-1,0	-0,1	5,0	11,6	17,8	22,5	24,9	24,7	19,7	12,8	6,2	1,3
	минимальная	-13,8	-13,0	-3,7	4,4	11,6	14,8	16,3	16,3	11,0	3,4	-5,2	-10,2
	максимальная	6,6	10,1	15,5	21,8	29,7	33,9	35,8	35,4	29,2	22,6	15,8	10,7
Бейнеу	средняя	-6,7	-6,2	1,8	12,3	20,1	25,9	28,6	26,6	19,1	9,9	2,1	-3,8
	минимальная	-21,6	-20,1	-9,4	2,8	10,2	15,7	18,5	17,1	8,6	-1,6	-11,0	-16,4
	максимальная	2,9	7,6	17,2	27,5	33,4	37,5	39,9	38,8	30,5	22,1	12,8	5,8
Кулапы	средняя	-2,9	-2,9	2,6	11,2	18,4	23,8	26,4	25,5	19,4	11,7	4,8	-0,3
	минимальная	-14,6	-13,4	-8,0	3,8	12,3	18,1	20,9	19,2	12,2	3,1	-5,7	-9,6
	максимальная	4,3	5,7	11,9	19,9	25,6	31,0	32,7	32,7	26,7	19,2	12,6	7,4
		2007	2022	2023	1975	2014	2006	2011	2021	1971	1974	2010	2010

Окончание таблицы А

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кызыл	средняя	-4,8	-4,0	3,1	12,7	20,3	25,6	28,2	26,6	19,6	10,9	3,4	-2,1
	минимальная	-19,7	-17,6	-8,1	2,7	10,7	15,7	18,9	17,2	9,5	0,0	-9,4	-14,6
	максимальная	4,6	9,6	17,9	27,3	32,5	37,8	39,5	39,1	30,6	22,3	14,0	8,1
Сам	средняя	-8,0	-7,1	1,2	11,9	19,7	25,4	28,0	25,9	18,3	9,1	1,4	-4,6
	минимальная	-25,1	-21,7	-10,6	1,3	9,0	14,4	17,2	15,6	8,0	-1,9	-11,1	-18,2
	максимальная	1,7	6,2	16,2	27,3	32,8	36,9	39,0	38,3	30,0	22,6	12,3	5,3
Туйшибек	средняя	-3,5	-2,5	3,4	12,0	19,1	24,4	27,2	26,0	19,4	11,1	3,9	-1,1
	минимальная	-15,6	-14,0	-5,5	2,8	10,7	14,9	18,6	17,3	9,4	1,0	-8,0	-12,3
	максимальная	5,5	8,9	16,8	24,8	30,2	35,5	37,4	37,5	29,2	21,5	14,4	9,0
Форт-Шевченко	средняя	-1,0	-1,0	4,1	11,7	18,4	23,8	26,3	25,5	20,3	13,1	6,4	1,4
	минимальная	-13,3	-12,4	-5,2	4,5	12,5	17,8	19,8	19,2	12,1	4,3	-3,8	-8,0
	максимальная	5,3	8,6	13,7	21,6	26,9	31,8	33,7	33,9	27,3	21,2	14,4	9,5

Примечание: числитель – температура воздуха, °С; знаменатель – год экстремального значения температуры воздуха.

Таблица Б. Крупные ($|\Delta T| \geq \sigma$) отрицательные (n_-) и положительные (n_+) аномалии средней месячной температуры воздуха Западно-Казахстанского региона за 1961-2023 гг.

Год	Месяцы												Число случаев		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	n_-	n_+	$n_+ + n_-$
1961					4,2		-2,5	-3,4	-3,9	-2,8	-2,6	4,2	5	2	7
1962			6,3			-2,7	3,2	-2,7	-1,6		-2,9		4	2	6
1963		5,5	-5,7	-3,2		-4,2	-2,5	-3,4	-1,7	2,6		-3,4	7	2	9
1964	-3,3	-5,3	-6,8	-7,7	-3,8	-2,4	-4,2	-4,3	1,9	-2,4			9	1	10
1965			3,7	-5,9				-1,8	-1,8	-3,0			4	2	6
1966	4,9	5,5	4,3	2,3	-2,1	-3,9	2,8	2,2	-1,7	-2,9		5,0	5	6	11
1967		-6,0	-3,3	4,8	4,4	0,8	-3,2	2,9	-3,5		3,5		4	5	9
1968				-2,5	3,8	-2,9	-4,2	-2,3		-3,0	-2,8	-8,9	7	1	8
1969	-14,8	-9,9	-8,9	-2,3	-4,8		-4,6	-3,6	-1,7	-2,9	3,2		9	1	10
1970	-4,9					-3,3	-2,7	-3,7	-1,7			-7,0	6	0	6
1971		-6,5	-5,2	-3,8	-2,7	-1,6	2,3	-2,5	5,1		4,4	5,4	6	4	10
1972	-11,9	-9,3	-7,9			2,5	2,7	3,6	-1,7			-2,5	5	3	8
1973	-6,7	4,8	-2,8	3,2		0,4	-3,6	-3,2	-5,7		2,9	4,4	5	5	10
1974	-7,4	-9,6	-2,7	-2,8			-3,9	-2,6	1,7	5,3	3,3		6	3	9
1975	4,6	-4,8		5,3	3,3	3,8	2,6		2,9	-2,8	-3,7		3	6	9
1976	5,1	-7,9	-8,8	2,4	-1,7	0,5	-4,4	4,3	-2,2	-9,4	-7,3	-8,9	8	4	12
1977	-12,6	-5,5	4,7	3,5	3,0	3,4	-1,4	-2,2	-1,9	-4,4	2,7		6	5	11
1978			2,6		-3,9	-4,9	-3,0	-2,7	1,9	-2,6		-6,4	6	2	8
1979			2,7	-5,6	3,1	-4,6			1,6			4,8	2	4	6
1980	-6,7	-6,6	-7,1		2,5			-3,4	-2,7			4,9	5	2	7
1981	4,1			-3,7	-4,3	-3,2	2,6	2,9			3,1	4,9	3	5	8
1982		-7,8	-6,0	3,0		-4,0		-2,5		-2,5	-3,2	5,5	6	2	8
1983	6,5	7,7		4,8	-2,2	-2,8	3,6	-2,9	-2,5				4	4	8

Продолжение таблицы Б

Год	Месяцы											Число случаев			
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	n-	n+	n+n+
1984		-7,9		-3,4	3,6		4,7	-3,0			-3,3	-9,7	5	2	7
1985			-8,8	-2,4			-4,5			-2,8			4	0	4
1986	4,4	-6,0	-5,6	4,2	-2,3		-2,5		1,7		-3,8		5	3	8
1987	-6,7		-8,0	-7,4				-3,0	-3,9	-4,7			7	0	7
1988		-6,8			-2,9		2,5		-1,8		-3,5	3,7	4	2	6
1989		4,5		-7,7	-3,6		3,0					4,7	2	3	5
1990		4,6	7,8		-3,0	-2,9	-2,2	-3,9	2,4		3,7	-2,3	5	4	9
1991				3,3	-2,0		2,1	-1,9		5,3			2	3	5
1992	4,6		-7,2		-3,2	-2,9	-3,7	-5,0					5	1	6
1993	5,4			-3,5	-3,2	-3,2	-1,9	-2,7	-4,9	-2,2	-11,3	-5,7	9	1	10
1994		-9,8	-5,5			0,9	-5,5	-2,9	2,5	2,9		-3,8	5	3	8
1995		6,6	4,7	7,8	2,2	3,4			1,4	2,5	4,3	-2,6	1	8	9
1996	-6,6		-8,0	-5,9	2,9		1,9	-2,1		-2,4	-3,9		6	2	8
1997		4,4	3,9	3,2	-2,3		-2,9	-2,6	-2,8	6,1	-3,4	-4,9	6	4	10
1998		4,6		-5,2			2,8	2,2			-5,1	4,9	2	4	6
1999	5,5	8,5	-6,4	2,6	-3,7	-3,8	-2,1	3,4		3,2	-6,2	5,5	5	6	11
2000	5,6	8,4	4,5	4,2	-5,8		1,5	2,5	-1,7	-3,4	2,7	3,8	3	8	11
2001	6,0	7,6	6,4	2,9	2,5	-2,7	2,7		2,4	-2,0	3,3	-7,9	3	8	11
2002	9,0	11,2	9,4	-3,7	-5,9	-3,4	2,9	-2,8	3,1			-11,2	5	5	10
2003		4,9	3,7	-3,7		-5,7	-2,9	3,2	1,7	3,3			3	6	9
2004	5,2	7,9	5,2		3,2		-2,5	2,3	2,9		4,1	2,8	1	8	9
2005	-7,8	-6,5			3,3		-1,5	2,6	3,4	3,5		4,0	3	5	8
2006	7,3		6,2		-1,6		-2,6	3,9	1,7	2,0	-2,4	6,2	3	6	9
2007	1,6	5,3	4,7	-2,9		-2,4		5,1	2,3	2,5	-3,4	-7,5	4	6	10
2008	-9,7		10,0	4,4		-2,2	2,4	2,4	-1,8	2,4	4,4		3	6	9

Окончание таблицы Б

Год	Месяцы												Число случаев		
	И	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	n-	n+	n+n+
2009	-4,3	3,9	5,0	-3,8			2,9	3,1	2,4	2,9	5,4	5,1	2	8	10
2010	-7,0	-5,0			2,6		5,2	5,1	2,9	-2,2	5,6	6,0	3	6	9
2011		-7,9	-3,8	4,7	2,9	-3,7	5,4	2,6	1,6	2,9	-5,4	-5,6	5	6	11
2012		3,9	-4,9	8,5	4,2		3,6	4,7		3,8	3,3	-5,2	2	7	9
2013		6,7	5,0	4,1	4,2			2,9		-3,0	5,4	3,7	1	7	8
2014		-5,9			4,8		-2,9	4,6	2,6	-3,4	-4,2	4,0	4	4	8
2015		5,9		2,8				2,8	3,7	-2,6	2,7	7,3	1	6	7
2016	4,6	8,6	8,7	3,0	2,3	-2,3		5,8	1,8	-2,5	-4,3	-3,8	4	7	11
2017	4,8		2,9		2,5	-2,4	2,7	3,5	2,9		4,6		1	7	8
2018			3,1		3,8	-2,6	4,6		2,9	3,5	-3,1	2,8	2	6	8
2019	4,8	6,5	5,9		2,8		2,8	-2,3	-3,4	3,7	-6,3	4,4	3	7	10
2020	8,3	9,2	8,6	2,7	3,4		3,8	4,4		3,2	-3,1	3,8	1	9	10
2021	3,9	7,1		4,2	5,9		3,3	5,6	1,8			4,0	0	8	8
2022	4,3	8,3	6,1	4,7	-4,3			4,6	3,3	2,4	2,9	-4,3	2	8	10
2023			9,3	4,2	2,7		2,6	3,5	1,4	2,3	6,4	3,9	0	9	9

Таблица В. Каталог экстремально холодных (ЭХ) и экстремально теплых (ЭТ) лет с аномалией средней месячной температуры воздуха ($|\Delta T| \geq 1,5\sigma$) Западно-Казахстанского региона за 1961-2023 гг.

Период	ЭХ годы				ЭТ годы				ЭХ годы				ЭТ годы			
	год	$\Delta T_{гр}$	ΔT_{min}	ΔT_{max}	год	$\Delta T_{гр}$	ΔT_{min}	ΔT_{max}	год	$\Delta T_{гр}$	ΔT_{min}	ΔT_{max}	год	$\Delta T_{гр}$	ΔT_{min}	ΔT_{max}
	Январь															
1961-1970	1969	-10,8	-12,2	-8,6					1969	-7,5	-8,8	-6,6				
1971-1980	1972	-10,5	-11,3	-9,4												
	1977	-7,6	-9,3	-4,9												
1981-1990																
1991-2000									1994	-7,8	-9,1	-5,9				
2001-2010	2006	-6,6	-7,3	-5,7	2007	7,3	5,1	10,1					2002	7,5	5,6	9,1
2011-2020					2020	6,2	4,5	7,5	2012	-6,4	-6,8	-5,9	2016	7,2	5,6	8,7
2021-2023													2020	6,9	5,8	8,0
													2022	6,4	6,1	6,8
1961-2023	4	-8,9	-12,2	-4,9	2	6,7	5,1	10,1	3	-7,2	-9,1	-5,9	4	7,0	6,1	9,1
	Март															
1961-1970	1969	-5,8	-7,4	-3,8					1964	-4,8	-6,5	-3,2				
1971-1980	1976	-6,0	-7,2	-4,3									1975	4,0	3,3	4,7
1981-1990									1987	-5,6	-6,3	-4,5				
1991-2000													1995	4,9	3,7	5,8
2001-2010					2002	5,3	3,8	7,1								
					2008	6,5	5,3	8,3								
2011-2020					2020	6,2	4,8	8,0					2012	6,3	4,9	7,7
2021-2023					2023	7,4	6,4	8,2								
1961-2023	2	-5,9	-7,4	-3,8	4	6,4	6,3	8,3	2	-5,2	-6,5	-3,2	3	5,0	4,9	7,7

Продолжение таблицы В

Период	ЭХ годы				ЭТ годы				ЭХ годы				ЭТ годы			
	год	$\Delta T_{гр}$	ΔT_{min}	ΔT_{max}	год	$\Delta T_{гр}$	ΔT_{min}	ΔT_{max}	год	$\Delta T_{гр}$	ΔT_{min}	ΔT_{max}	год	$\Delta T_{гр}$	ΔT_{min}	ΔT_{max}
Июнь																
1961-1970																
1971-1980																
1981-1990																
1991-2000	2000	-3,9	-4,7	-2,6									1998	3,6	3,3	3,9
2001-2010	2002	-4,0	-4,6	-3,2									2010	3,8	3,4	4,1
2011-2020					2014	3,6	3,3	4,3	2003	-4,1	-4,8	-3,4	2015	3,8	3,3	4,4
2021-2023					2021	4,3	3,6	5,2					2021	3,5	3,2	3,7
1961-2023	2	-3,9	-4,7	-2,6	2	3,9	3,3	5,2	1	-4,1	-4,8	-3,4	4	3,7	3,2	4,4
Июль																
1961-1970	1968	-2,9	-3,8	-1,9												
1971-1980																
1981-1990																
1991-2000	1994	-3,7	-4,7	-2,7												
2001-2010					2010	3,4	2,3	4,9					2007	3,3	2,7	4,2
													2010	3,5	2,7	4,5
2011-2020					2018	3,1	2,8	3,9					2014	3,5	3,1	3,8
2021-2023													2016	4,0	3,6	4,6
1961-2023	2	-3,3	-4,7	-1,9	2	3,3	2,3	4,9					2021	4,4	4,0	5,1
													5	3,7	2,7	5,1
Август																
1961-1970																
1971-1980																
1981-1990																
1991-2000																
2001-2010																
2011-2020																
2021-2023																

Окончание таблицы В

Период	ЭХ годы				ЭТ годы				ЭХ годы				ЭТ годы			
	год	$\Delta T_{гр}$	ΔT_{min}	ΔT_{max}	год	$\Delta T_{гр}$	ΔT_{min}	ΔT_{max}	год	$\Delta T_{гр}$	ΔT_{min}	ΔT_{max}	год	$\Delta T_{гр}$	ΔT_{min}	ΔT_{max}
Сентябрь																
1961-1970	1967	-2,9	-3,1	-2,4												
1971-1980	1973	-4,6	-5,0	-4,3	1971	3,7	2,8	4,3	1976	-8,1	-9,4	-6,7	1974	3,5	3,1	3,8
1981-1990																
1991-2000	1993	-3,2	-4,2	-2,2									1991	3,7	3,1	4,1
2001-2010																
2011-2020																
2021-2023																
1961-2023	3	-3,6	-5,0	-2,2	1	3,7	2,8	4,3	1	-8,1	-9,4	-6,7	2	3,6	3,1	4,1
Ноябрь																
1961-1970									1966	-5,2	-6,8	-3,2				
1971-1980																
1981-1990																
1991-2000	1993	-9,7	-10,8	-9,0					1984	-7,4	-8,4	-7,0				
2001-2010					2010	4,6	3,6	5,2	2002	-8,5	-10,1	-7,5				
2011-2020													2015	4,8	3,9	6,0
2021-2023					2023	5,2	4,8	5,7								
1961-2023	1	-9,7	-10,8	-9,0	2	4,9	3,6	5,7	3	-7,0	-10,1	-3,2	1	4,8	3,9	6,0

 $\Delta T_{гр}$ – средняя аномалия средней месячной температуры воздуха; ΔT_{min} – наименьшая аномалия средней месячной температуры воздуха; ΔT_{max} – наибольшая аномалия средней месячной температуры воздуха

Приложение Г
Таблица Г. Средние и экстремальные осадки на метеостанциях Западно-Казахстанского региона за 1961-2023 гг.

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Актыобинская область													
Актобе	средняя	23	22	26	27	29	30	32	23	20	30	27	27
	минимальная	<u>3.4</u> 1995	<u>0.4</u> 1988	<u>0.0</u> 1996	<u>0.7</u> 1975	<u>0.0</u> 2021	<u>0.0</u> 1975	<u>0.6</u> 2002	<u>0.3</u> 2016	<u>0.1</u> 1994	<u>0.0</u> 1974	<u>0.5</u> 2005	<u>1.2</u> 1976
	максимальная	<u>56</u> 1983	<u>68</u> 1985	<u>108</u> 2016	<u>95</u> 2007	<u>94</u> 2022	<u>99</u> 2000	<u>149</u> 2021	<u>75</u> 1990	<u>74</u> 1973	<u>78</u> 1976	<u>63</u> 1979	<u>67</u> 2016
Аяккум	средняя	10	9	17	15	17	12	10	7	7	14	15	12
	минимальная	<u>0.0</u> 1969	<u>0.0</u> 1969	<u>0.0</u> 1996	<u>0.0</u> 1986	<u>0.0</u> 1961	<u>0.0</u> 1975	<u>0.0</u> 1962	<u>0.0</u> 1961	<u>0.0</u> 1992	<u>0.0</u> 1974	<u>0.3</u> 1966	<u>0.5</u> 1984
	максимальная	<u>29</u> 2009	<u>34</u> 2006	<u>52</u> 1997	<u>63</u> 2010	<u>90</u> 1997	<u>86</u> 2003	<u>74</u> 1988	<u>52</u> 2009	<u>39</u> 1965	<u>57</u> 1980	<u>39</u> 1980	<u>35</u> 2004
Ильинский	средняя	14	11	17	25	26	26	32	18	21	25	22	18
	минимальная	<u>2.5</u> 1981	<u>0.0</u> 2005	<u>0.0</u> 1985	<u>0.0</u> 1962	<u>0.0</u> 1985	<u>2.3</u> 1998	<u>0.3</u> 2002	<u>0.0</u> 1972	<u>0.0</u> 1971	<u>0.0</u> 2007	<u>0.3</u> 2005	<u>0.4</u> 1976
	максимальная	<u>40</u> 1968	<u>45</u> 1985	<u>84</u> 1997	<u>83</u> 2007	<u>78</u> 1989	<u>118</u> 2003	<u>137</u> 2000	<u>59</u> 1970	<u>88</u> 1973	<u>63</u> 1984	<u>52</u> 1965	<u>64</u> 1995
Иргиз	средняя	11	11	14	17	17	16	15	10	10	15	16	14
	минимальная	<u>0.8</u> 1969	<u>0.2</u> 1972	<u>0.0</u> 1996	<u>0.0</u> 1963	<u>0.0</u> 1975	<u>0.0</u> 1995	<u>0.0</u> 1992	<u>0.0</u> 1971	<u>0.0</u> 1975	<u>0.0</u> 1974	<u>2.3</u> 1981	<u>1.5</u> 2020
	максимальная	<u>35</u> 1986	<u>29</u> 2021	<u>45</u> 1988	<u>95</u> 1981	<u>72</u> 1989	<u>104</u> 1981	<u>87</u> 2003	<u>47</u> 1974	<u>65</u> 1965	<u>52</u> 1979	<u>51</u> 2015	<u>46</u> 2004

Продолжение таблицы Г

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Карабутақ	средняя	14	13	17	22	26	25	26	19	15	21	19	18
	минимальная	1,1 2012	0,0 1972	0,5 1996	0,0 1962	0,0 2021	1,0 2010	0,9 2002	0,0 1976	0,0 1971	0,0 1974	0,4 1966	0,8 1976
	максимальная	35 2000	52 2007	59 2002	105 1981	84 1995	95 1981	93 1988	69 1982	63 2023	73 1979	61 1992	44 1979
Карауқельды	средняя	16	14	18	24	24	24	22	13	14	23	22	21
	минимальная	1,4 1981	0,0 1984	0,0 1996	0,3 1995	0,0 1967	0,8 2009	0,0 2002	0,0 1976	0,0 1989	0,0 1988	1,0 2005	0,4 1976
	максимальная	49 1983	41 2021	84 2016	79 2016	88 2008	150 2003	102 2003	44 1964	56 2013	88 1979	52 1972	60 2015
Кок-Истек	средняя	29	24	28	31	35	34	37	27	26	39	34	32
	минимальная	3,8 1969	1,2 1988	1,2 1976	0,2 1962	0,8 1975	0,0 1975	2,2 1967	0,0 2021	0,0 1975	0,0 1974	2,3 2005	0,0 1965
	максимальная	65 2020	75 1998	73 2016	73 1990	108 2022	106 2000	154 2003	118 1981	119 1973	82 1969	79 1992	102 1995
Мартук	средняя	25	22	24	27	30	31	35	22	23	33	30	32
	минимальная	0,0 1996	0,0 2005	0,0 1996	0,0 1962	0,6 2021	0,0 1975	1,0 1984	0,0 1997	0,3 1975	0,0 1974	0,6 2005	0,2 1976
	максимальная	62 2016	70 1985	98 1997	101 1968	96 2003	89 1966	105 1997	73 2013	88 2016	73 2017	68 2001	103 1995

Продолжение таблицы Г

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Мугоджарская	средняя	23	18	20	20	26	21	20	14	13	25	25	25
	минимальная	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	максимальная	81 1972	50 1988	74 1998	69 1962	76 1975	92 2010	72 1984	67 1986	62 1971	67 2007	79 1997	71 1997
Новоалексеевка	средняя	22	19	21	24	26	28	27	18	20	27	27	25
	минимальная	3,9 2018	0,4 1988	0,0 1985	0,7 1962	0,0 1975	2,0 2019	0,0 1980	0,0 2007	0,0 1989	0,0 1974	0,2 2005	0,9 1966
	максимальная	73 1992	73 1985	94 2016	71 1990	103 2022	86 2003	121 2003	74 2009	73 1992	80 2001	66 2001	65 1995
Нура	средняя	11	10	13	18	17	13	17	11	10	19	18	15
	минимальная	0,4 1969	0,0 2012	0,6 1996	0,0 1963	0,0 1975	0,0 1965	0,0 2009	0,0 1965	0,0 1971	0,0 1974	0,3 1966	1,2 2020
	максимальная	30 1997	27 2000	40 2002	96 1981	65 1981	87 1981	86 2001	49 2023	43 1967	104 2017	59 1994	49 2023
Родниковка	средняя	30	23	25	30	33	31	35	24	29	38	37	33
	минимальная	2,4 1969	0,0 2005	0,0 1976	0,7 1975	0,5 2019	0,0 2010	2,9 1984	0,0 1972	0,0 1971	0,0 1974	2,9 2005	3,5 1976
	максимальная	75 1994	60 1985	74 1997	71 1990	118 2022	96 1982	88 1979	96 2013	124 1973	88 1969	103 2001	87 1995

Продолжение таблицы Г

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Темир	средняя	24	21	22	25	29	24	22	15	15	25	27	29
	минимальная	1.5 2012	0.4 1972	0.0 1996	0.0 1975	0.0 1975	0.0 2010	0.0 1981	0.0 1971	0.0 1972	0.0 1988	2.4 1966	1.6 1976
	максимальная	75 1983	73 1985	86 2016	95 1981	93 2009	104 2000	82 2003	80 1964	80 1987	82 1979	76 1994	71 2004
Уил	средняя	19	18	19	21	24	20	22	13	16	25	25	23
	минимальная	1.8 1981	0.0 1984	0.0 1978	1.8 2012	0.0 1975	0.0 2019	0.0 1980	0.0 1972	0.0 1971	0.0 1987	0.6 2005	0.4 1976
	максимальная	58 1968	57 1970	70 2016	112 2007	87 2022	78 2011	70 1997	58 1977	55 1969	74 1979	84 1970	74 1971
Шалкар	средняя	13	11	17	17	17	16	14	11	9	17	18	15
	минимальная	0.4 1969	0.3 1974	0.9 1996	0.0 1968	0.0 1975	0.0 1991	0.0 1984	0.0 1976	0.0 1994	0.1 1998	0.5 2016	0.0 1976
	максимальная	35 1968	34 1982	58 2019	78 1981	65 1995	80 1981	52 2008	46 1988	62 1965	61 2010	46 1963	43 2004
Эмба	средняя	15	15	18	23	27	20	22	15	14	22	24	21
	минимальная	0.2 1981	0.6 1984	0.3 1996	0.0 1962	0.0 1975	0.0 2010	0.6 1984	0.0 2006	0.0 1975	0.0 2007	1.3 1966	0.0 1976
	максимальная	47 1983	39 1985	54 1997	132 1981	96 1988	116 2003	109 1999	53 1970	79 1967	68 1979	54 1978	53 1978

Продолжение таблицы Г

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Атырауская область													
Атырау	средняя	13	12	14	14	21	16	13	11	10	16	16	14
	минимальная	<u>0,0</u> 1971	<u>0,0</u> 1972	<u>0,0</u> 1978	<u>0,0</u> 1962	<u>0,0</u> 1975	<u>0,0</u> 2010	<u>0,0</u> 1975	<u>0,0</u> 1971	<u>0,0</u> 1964	<u>0,0</u> 1961	<u>0,0</u> 1966	<u>0,3</u> 1984
	максимальная	<u>36</u> 1991	<u>49</u> 2023	<u>56</u> 1998	<u>46</u> 2019	<u>93</u> 2015	<u>68</u> 1966	<u>72</u> 1973	<u>40</u> 1990	<u>55</u> 1961	<u>57</u> 2005	<u>50</u> 2007	<u>49</u> 2015
Ганюшкино	средняя	9	7	11	15	16	16	16	11	14	13	12	11
	минимальная	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1984	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1972	<u>0,0</u> 1975	<u>0,0</u> 1972	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1974	<u>0,0</u> 1995	<u>0,0</u> 1995
	максимальная	<u>30</u> 1961	<u>29</u> 1985	<u>36</u> 2022	<u>60</u> 1971	<u>61</u> 2019	<u>57</u> 1966	<u>81</u> 1973	<u>67</u> 1981	<u>71</u> 2013	<u>60</u> 1980	<u>40</u> 1967	<u>43</u> 1971
Карабау	средняя	14	13	16	19	22	19	15	12	12	18	20	18
	минимальная	<u>1,4</u> 1996	<u>0,0</u> 1984	<u>0,0</u> 1978	<u>0,0</u> 1986	<u>0,0</u> 1972	<u>0,0</u> 1975	<u>0,0</u> 1972	<u>0,0</u> 1971	<u>0,0</u> 1971	<u>0,0</u> 1974	<u>0,0</u> 2019	<u>1,2</u> 1984
	максимальная	<u>42</u> 2016	<u>37</u> 2023	<u>52</u> 1998	<u>72</u> 2007	<u>84</u> 2008	<u>66</u> 1963	<u>45</u> 2011	<u>56</u> 1990	<u>43</u> 1988	<u>69</u> 2017	<u>63</u> 2007	<u>48</u> 1971
Новый Уштоган	средняя	14	12	13	16	20	19	17	12	17	17	17	15
	минимальная	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1984	<u>0,0</u> 1996	<u>0,0</u> 1994	<u>0,0</u> 2018	<u>0,0</u> 1995	<u>0,4</u> 2017	<u>0,0</u> 1972	<u>0,0</u> 1963	<u>0,0</u> 1974	<u>0,0</u> 2019	<u>0,4</u> 1998
	максимальная	<u>46</u> 1993	<u>63</u> 1985	<u>51</u> 1998	<u>39</u> 2007	<u>71</u> 2009	<u>58</u> 1990	<u>80</u> 2018	<u>83</u> 1970	<u>76</u> 1969	<u>88</u> 2005	<u>44</u> 1987	<u>39</u> 2004

Продолжение таблицы Г

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Пешной	средняя	12	10	12	13	17	11	9	9	9	15	15	13
	минимальная	0,0 1971	0,0 1972	0,0 1964	0,0 1964	0,0 1964	0,0 1964	0,0 2002	0,0 1967	0,0 1964	0,0 1987	0,4 1966	0,0 1984
	максимальная	<u>67</u> 2016	44 1985	<u>51</u> 1997	46 2019	<u>88</u> 2016	54 2003	43 1988	<u>53</u> 2000	<u>37</u> 1992	<u>52</u> 1999	<u>50</u> 2007	<u>39</u> 2015
Сагиз	средняя	13	12	14	20	24	17	16	10	11	18	19	17
	минимальная	<u>0,7</u> 1981	0,0 1988	0,0 1996	0,0 1964	0,0 1975	0,0 1998	0,0 2010	0,0 1978	0,0 1984	0,0 1974	0,2 1966	0,7 1984
	максимальная	<u>39</u> 1968	46 1990	<u>56</u> 1997	76 2007	<u>113</u> 2016	<u>101</u> 2003	64 1974	<u>47</u> 1990	<u>66</u> 1969	<u>79</u> 1979	<u>41</u> 1972	<u>62</u> 2004
Западно-Казахстанская область													
Ақсай	средняя	22	18	22	22	27	34	36	23	25	32	30	26
	минимальная	<u>2,5</u> 1974	0,3 1984	0,0 1996	1,4 1963	0,1 1979	0,0 2010	0,8 2014	0,0 2016	0,7 1989	1,9 1996	1,6 2019	1,0 1966
	максимальная	<u>55</u> 2016	61 1998	<u>63</u> 2005	<u>51</u> 1964	<u>88</u> 1992	<u>102</u> 1993	<u>130</u> 2003	<u>86</u> 1990	<u>104</u> 2016	<u>83</u> 1997	<u>71</u> 1965	<u>68</u> 2000
Джамбейты	средняя	18	16	18	21	23	28	26	16	20	26	26	22
	минимальная	<u>3,5</u> 1974	0,2 1972	0,0 1985	0,1 1967	0,0 1961	0,0 1975	0,0 2001	0,0 1972	0,0 1963	1,2 1988	0,0 2005	1,2 1976
	максимальная	<u>49</u> 1976	41 1990	<u>43</u> 2018	<u>57</u> 1987	<u>94</u> 2022	<u>101</u> 1973	<u>161</u> 2003	<u>60</u> 1993	<u>109</u> 2016	<u>69</u> 2013	<u>63</u> 1965	<u>60</u> 1995

Продолжение таблицы Г

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Жаньбек	средняя	25	19	21	23	28	33	25	21	27	25	26	26
	минимальная	4,5 1972	0,0 1984	0,5 2007	0,6 1984	0,5 1984	3,1 2010	0,0 2006	0,0 2021	0,1 1994	0,0 1987	0,0 2019	7,8 1976
	максимальная	59 1963	57 1985	51 1970	65 1988	116 1994	119 1985	89 2004	79 2011	96 1985	79 2023	67 1980	72 2018
Жалпактал	средняя	22	17	18	19	21	25	22	20	20	27	25	23
	минимальная	0,0 1996	0,0 1984	0,0 1985	0,0 1973	0,0 1995	0,0 1995	0,0 1995	0,0 1972	0,0 1995	0,0 1995	0,0 1995	6,2 1964
	максимальная	55 1963	50 1985	57 2022	61 1997	82 1978	103 1993	107 2003	87 1970	70 2011	68 2005	81 1989	49 1986
Каменка	средняя	25	20	20	22	24	38	33	21	25	32	32	26
	минимальная	3,9 2018	0,3 1984	0,2 1986	0,8 1994	0,0 1975	1,0 1988	0,5 1971	0,0 1972	1,8 1994	0,0 1987	0,8 2005	3,6 2008
	максимальная	77 1982	76 1979	60 1988	79 1980	64 1968	129 1984	203 2023	86 1992	89 2011	86 2009	96 2023	62 1982
Каратобе	средняя	16	14	15	22	26	27	22	14	19	24	24	21
	минимальная	2,7 2010	0,0 1988	0,0 1996	0,1 1967	0,0 1968	0,0 2009	0,0 2009	0,0 1972	0,0 1994	0,0 1969	0,0 2019	0,2 1976
	максимальная	44 1982	40 2004	51 2016	70 2007	135 2003	110 2000	99 2016	64 1992	61 2016	62 2023	64 1992	75 1995

Продолжение таблицы Г

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Тайпак	средняя	15	15	15	19	17	18	15	15	14	19	19	19
	минимальная	1.5 1996	0.0 1974	0.0 1996	0.0 1986	0.0 1961	0.0 1981	0.0 2017	0.0 1972	0.0 1984	0.9 2020	0.0 2005	1.4 1981
	максимальная	44 2016	43 2023	58 1975	70 1997	68 2000	99 1966	68 2019	92 1966	55 2016	72 2003	46 1963	57 1978
Уральск	средняя	28	20	24	22	26	34	39	22	26	34	32	28
	минимальная	3.5 2012	0.2 1972	0.0 1996	2.3 1963	1.2 1979	0.8 2009	1.1 2011	0.0 1972	1.0 1989	0.6 1987	3.3 2005	2.6 2008
	максимальная	205 1974	43 2023	66 2008	85 1966	99 2001	92 1984	152 2023	90 1990	86 1985	95 2001	80 1965	73 1963
Урла	средняя	21	17	19	23	23	25	22	18	23	23	24	26
	минимальная	2.2 1969	0.0 1972	0.0 2003	1.0 1962	0.7 1972	0.0 2018	0.3 1996	0.0 1972	0.0 1994	0.0 1996	0.0 2019	6.0 1964
	максимальная	49 2013	58 2006	72 2021	129 1991	85 1989	96 1978	74 2018	82 1982	88 2000	75 2004	66 1980	76 1995
Чапасава	средняя	24	19	20	21	20	31	21	19	21	28	30	27
	минимальная	5.6 1974	0.2 1984	0.0 1987	0.4 1986	0.0 1984	0.0 1981	0.0 2011	0.0 1967	0.0 1994	1.0 1996	0.6 2005	5.7 2007
	максимальная	86 1964	59 1985	48 1975	89 2016	76 2000	101 1973	73 2003	106 1993	86 2000	77 2023	80 1965	68 1986

Продолжение таблицы Г

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Чингирлау	средняя	22	17	18	22	24	31	31	21	22	28	26	25
	минимальная	3.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.3	0.0	1.5	0.0
	максимальная	50.7	39.9	48.9	72.5	76.2	107.8	94.4	84.7	74.9	58.2	74.8	72.8
		1997	1966	1975	2007	2022	2000	1964	1992	2016	1962	1965	1995
Мангистауская область													
Актау	средняя	14	13	17	17	14	10	9	7	9	14	19	20
	минимальная	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	максимальная	49	45	58	83	108	75	62	76	65	62	64	79
		2002	1983	2003	1973	1981	2005	2022	2020	1988	1977	2014	1972
Бейнеу	средняя	9	9	13	16	16	13	12	4	7	11	12	11
	минимальная	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	максимальная	28	31	46	69	54	103	81	59	33	43	43	35
		1988	2011	1981	1977	1989	1963	1988	2013	1996	2011	1980	1967
Кулапы	средняя	6	6	10	13	14	8	7	7	9	8	12	9
	минимальная	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	максимальная	26	31	60	101	108	34	54	74	101	42	55	34
		1990	1967	1985	1991	1965	1981	1992	1963	1969	1985	1981	1966

Окончание таблицы Г

Наименование МС	Температура	Месяцы											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Кызыл	средняя	10	9	16	18	19	17	14	7	9	12	14	12
	минимальная	0,0 1996	0,0 1988	0,0 1999	0,0 1986	0,0 1972	0,0 1987	0,0 1962	0,0 1969	0,0 1964	0,0 1972	0,0 1979	0,0 1979
	максимальная	28 2005	32 1994	71 1975	60 1987	86 2001	75 2005	97 1961	50 2013	55 1988	43 2003	65 1967	41 1969
Сам	средняя	12	10	16	16	17	16	10	6	7	11	14	13
	минимальная	0,0 1964	0,0 1972	0,0 1976	0,0 1976	0,0 1964	0,0 1976	0,0 1962	0,0 1972	0,0 1975	0,0 1975	0,0 1974	0,0 1963
	максимальная	33 2002	37 2006	51 1998	67 2010	66 2022	73 1963	56 2003	54 2013	42 2019	49 2006	56 1980	45 1967
Туйшибек	средняя	11	9	18	21	25	16	14	7	9	12	16	14
	минимальная	0,3 1985	0,0 1974	0,0 1996	0,0 1994	0,0 2018	0,0 2018	0,0 1962	0,0 1965	0,0 1964	0,0 1972	0,0 1977	0,0 2010
	максимальная	42 2005	32 2006	56 1977	117 1973	192 1991	71 1988	59 1974	82 2011	54 1988	45 1979	61 1967	42 2005
Форт-Шевченко	средняя	7	7	11	17	13	10	9	8	12	11	12	11
	минимальная	0,0 1977	0,0 1974	0,0 1973	0,0 1977	0,0 1966	0,0 1971	0,0 1966	0,0 1972	0,0 1994	0,0 1998	0,2 1966	0,0 1976
	максимальная	28 2018	29 1981	47 2017	82 1997	91 1981	88 1967	82 2012	47 2013	70 1969	59 2022	43 2003	38 1979

Примечание: числитель – количество осадков, мм; знаменатель – год экстремальных осадков.

Таблица Д. Месячные, сезонные и годовые суммы осадков (мм) за период 1961-2023 гг. по территории Западно-Казахстанского региона

Годы	Месяцы												Сезоны				Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	зима	весна	лето	осень	
1961	14,5	10,7	17,2	24,0	9,0	11,1	22,7	13,7	29,1	6,2	28,5	19,3	35,7	50,2	47,5	63,9	206,1
1962	13,5	12,5	19,9	6,7	31,1	26,8	6,4	17,1	8,7	24,7	6,8	14,7	44,5	57,7	50,3	40,2	188,8
1963	23,1	10,4	22,7	12,7	16,2	40,8	25,7	17,8	5,3	15,1	35,9	22,7	48,3	51,5	84,3	56,2	248,3
1964	22,9	13,1	24,7	15,9	19,5	16,0	25,6	22,5	4,9	25,6	19,0	6,9	57,9	60,0	64,1	49,5	216,5
1965	11,5	12,0	9,4	24,4	19,2	22,8	17,1	7,3	23,5	25,6	34,8	10,6	30,4	53,0	47,2	83,8	218,1
1966	10,4	26,6	19,0	17,7	12,4	29,7	16,2	17,6	15,4	16,5	3,7	11,9	46,8	49,1	63,5	35,6	197,2
1967	12,7	10,1	9,1	5,4	19,0	24,4	21,0	5,1	24,8	12,0	34,6	28,6	34,7	33,5	50,5	71,4	206,8
1968	23,3	11,8	13,5	8,8	13,9	20,8	29,6	10,9	13,6	17,5	10,0	13,5	63,8	36,2	61,2	41,1	187,1
1969	5,0	5,6	14,7	18,4	18,5	12,3	33,5	16,0	32,4	34,4	18,8	23,3	24,1	51,6	61,7	85,6	232,8
1970	11,2	13,7	20,2	17,6	18,7	15,0	16,1	31,5	24,0	19,9	28,2	17,7	48,3	56,5	62,6	72,0	233,8
1971	7,6	20,6	21,9	25,2	15,0	24,9	6,3	3,5	4,8	31,9	19,1	35,8	45,8	62,1	34,7	55,8	216,5
1972	14,2	1,4	11,9	15,9	3,9	13,7	3,6	0,8	7,8	12,3	26,8	22,6	51,4	31,7	18,0	46,9	134,9
1973	15,7	15,5	18,7	27,3	18,2	36,7	27,6	25,1	27,6	22,6	22,1	17,5	53,8	64,1	89,4	72,3	274,5
1974	13,3	2,2	10,5	28,5	15,6	27,4	39,0	23,2	17,0	2,6	15,0	10,5	33,0	54,6	89,7	34,6	204,9
1975	17,4	10,7	31,9	5,7	2,2	8,2	8,4	5,8	6,8	21,8	9,6	20,9	38,6	39,8	22,5	38,2	149,5
1976	21,1	11,0	3,4	15,8	29,4	16,9	22,3	5,7	16,5	31,8	10,6	2,8	53,0	48,6	44,9	58,9	187,4
1977	5,5	18,4	13,8	15,9	13,8	13,6	12,4	21,0	14,5	24,7	18,1	25,8	26,7	43,5	47,0	57,3	197,5
1978	16,7	11,0	3,7	26,1	23,2	33,3	14,2	4,8	12,3	11,9	31,8	31,4	53,5	52,9	52,3	56,0	220,3
1979	6,8	18,1	13,2	31,3	9,3	12,8	18,6	2,0	17,3	43,1	17,8	23,1	56,3	53,8	33,4	78,2	213,5
1980	11,5	8,3	12,5	29,3	12,7	19,2	4,5	14,5	17,2	27,6	38,9	20,0	43,0	54,4	38,2	83,7	216,2
1981	7,5	13,7	28,5	33,0	40,1	19,0	24,1	19,1	17,5	9,9	24,9	6,8	41,3	101,6	62,3	52,3	244,3
1982	22,8	10,0	23,0	18,8	19,2	22,5	15,0	24,5	20,7	18,1	12,3	19,3	39,7	61,1	62,1	51,1	226,4
1983	30,7	19,1	15,5	20,5	31,1	19,5	20,2	12,1	15,4	20,6	17,7	22,3	69,1	67,0	51,8	53,7	244,6

Продолжение таблицы Д

Годы	Месяцы												Сезоны				Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	зима	весна	лето	осень	
1984	11,4	0,6	10,7	16,2	10,8	25,1	4,0	18,7	6,7	27,3	20,6	4,9	34,3	37,7	47,8	54,7	157,1
1985	9,9	37,4	11,2	25,3	5,1	8,1	21,1	14,0	21,5	22,4	10,0	23,4	52,2	41,6	43,2	53,9	209,3
1986	18,4	16,9	4,0	2,2	15,3	15,0	8,9	8,4	8,7	21,8	19,2	27,4	58,7	21,5	32,3	49,8	166,2
1987	20,4	10,2	12,6	30,3	12,3	14,9	25,5	23,4	31,3	3,3	23,0	15,2	58,0	55,2	63,8	57,6	222,4
1988	14,3	2,0	23,1	16,2	28,9	21,0	28,8	16,6	32,9	3,4	26,5	22,7	31,4	68,2	66,4	62,8	236,4
1989	25,0	12,5	11,7	13,9	37,8	25,5	26,7	14,1	9,8	19,2	25,7	27,9	60,3	63,4	66,3	54,7	249,9
1990	15,6	16,1	18,8	21,7	22,2	31,1	20,2	35,7	8,5	15,5	31,2	18,9	59,6	62,7	87,0	55,2	255,5
1991	25,5	7,8	5,5	24,7	27,1	23,4	16,6	12,4	10,9	8,6	10,5	24,6	52,2	57,3	52,5	30,1	197,7
1992	22,7	14,2	4,9	22,3	20,6	25,0	17,2	32,1	28,6	29,3	33,6	13,7	61,5	47,8	74,2	91,6	264,2
1993	24,3	10,1	20,6	28,9	21,4	41,0	17,7	29,9	15,5	23,9	11,0	14,1	48,1	70,9	88,6	50,3	258,5
1994	21,4	17,9	14,2	3,7	27,2	36,6	18,7	17,6	1,8	16,1	23,9	20,0	53,5	45,1	72,8	41,8	219,1
1995	9,8	10,8	7,0	11,9	27,0	11,8	13,7	9,3	8,7	20,3	21,2	32,0	40,6	46,0	34,8	50,2	183,5
1996	4,7	6,3	0,2	13,4	10,9	19,0	4,9	7,9	17,1	7,2	20,4	21,6	43,0	24,5	31,8	44,8	133,7
1997	24,1	12,7	32,6	37,8	28,4	23,9	37,7	4,0	13,9	22,0	14,9	14,0	58,3	98,8	65,5	50,8	265,9
1998	15,0	25,6	27,6	17,4	9,9	9,0	12,9	14,1	3,6	5,6	21,7	11,6	54,6	54,9	36,0	30,9	174,0
1999	12,0	17,8	7,8	9,9	25,6	22,0	24,1	5,6	11,6	33,6	26,2	13,5	41,4	43,3	51,7	71,4	209,7
2000	12,3	14,7	13,9	17,1	45,6	44,1	33,3	14,1	21,9	11,5	13,9	28,4	40,6	76,5	91,4	47,3	270,7
2001	11,9	9,6	15,7	14,5	26,9	32,1	11,7	12,8	19,6	33,2	26,2	14,2	49,9	57,1	56,6	79,1	228,6
2002	24,2	17,3	24,3	29,9	23,5	27,6	4,9	5,6	8,0	22,4	15,5	15,5	55,7	77,7	38,1	45,9	218,7
2003	11,5	8,9	16,9	20,1	39,3	50,2	52,6	9,2	8,5	36,4	24,3	7,6	35,9	76,3	111,9	69,2	285,3
2004	13,1	21,7	18,8	17,4	15,5	16,4	34,7	9,3	7,6	31,3	27,4	31,5	42,4	51,7	60,4	66,3	244,7
2005	14,2	5,6	25,6	14,9	12,5	28,6	18,4	8,8	5,9	30,1	4,1	15,8	51,3	53,0	55,8	40,1	184,5
2006	17,3	19,3	14,4	23,6	21,9	8,5	10,8	3,1	11,0	28,9	28,7	22,7	52,4	60,0	22,4	68,6	210,1
2007	18,0	20,7	9,4	46,6	30,0	14,7	15,2	1,7	13,7	3,8	28,8	12,7	61,4	86,0	31,6	46,3	215,2
2008	10,6	14,1	28,0	9,2	41,9	26,2	21,0	7,5	12,6	16,5	7,7	14,3	37,4	79,1	54,6	36,7	209,4

конец таблицы Д

Годы	Месяцы												Сезоны				Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	зима	весна	лето	осень	
2009	14,5	7,1	22,5	19,6	43,6	4,7	8,4	27,8	14,7	17,4	15,7	16,9	35,9	85,6	40,9	47,7	212,8
2010	17,3	11,9	19,1	31,7	20,8	2,4	5,1	8,4	4,7	24,2	18,8	13,2	46,1	71,5	15,9	47,7	177,4
2011	10,0	19,6	17,9	22,1	25,7	27,0	9,1	19,8	21,9	24,4	23,4	11,1	42,8	65,7	55,9	69,7	231,9
2012	10,5	6,3	22,9	5,8	11,6	18,4	23,5	9,3	10,1	8,9	15,6	13,2	27,9	40,2	51,2	34,6	156,1
2013	23,8	9,8	16,2	13,9	9,7	19,7	26,3	32,1	31,5	24,0	11,3	22,0	46,8	39,8	78,1	66,8	240,3
2014	21,1	10,7	14,6	9,3	9,0	12,2	7,8	4,5	11,5	17,5	16,1	19,4	53,9	32,9	24,5	45,1	153,7
2015	16,3	8,8	9,1	23,4	33,3	9,2	11,2	4,3	5,8	11,5	32,6	37,1	44,5	65,8	24,8	49,9	202,7
2016	31,1	17,1	39,9	34,9	49,2	25,0	27,7	4,1	34,7	13,4	15,9	33,7	85,4	124,0	56,7	64,0	326,7
2017	11,1	16,5	23,0	16,6	21,4	18,0	10,2	3,0	6,7	35,8	17,7	16,3	61,3	60,9	31,2	60,2	196,1
2018	9,2	9,6	23,5	15,3	9,9	5,3	19,8	9,3	8,7	10,3	11,3	20,0	35,1	48,7	34,4	30,4	152,3
2019	12,0	11,7	19,6	26,8	12,9	8,9	25,4	14,3	14,1	13,5	6,7	13,7	43,7	59,4	48,6	34,4	179,7
2020	16,1	17,7	8,0	19,0	19,8	12,2	7,7	20,5	11,5	5,9	11,4	6,2	47,4	46,9	40,3	28,8	156,0
2021	8,9	25,1	20,6	15,0	10,4	17,7	21,7	0,6	13,4	4,8	24,0	17,5	40,2	46,0	40,0	42,2	179,8
2022	22,7	12,8	28,8	11,8	51,7	7,6	32,2	2,4	14,9	24,3	28,5	8,3	53,0	92,3	42,2	67,6	246,0
2023	12,8	25,4	8,9	20,9	22,9	15,3	29,2	10,9	19,5	44,8	30,4	28,6	46,5	52,8	55,5	94,8	269,8
Число случаев																	
Дефицит	24	24	22	20	25	25	24	30	27	22	23	24	13	15	20	15	9
Норма	21	19	20	22	19	17	18	11	19	17	19	19	38	36	27	31	46
Избыток	18	20	21	21	19	21	21	22	17	24	21	20	12	12	16	17	8

дефицит осадков – осадки в мм выделены желтым цветом, жирным шрифтом;

избыток осадков – осадки в мм, выделены зеленым цветом, жирным шрифтом и курсивом

Научное издание

Светлана Евгеньевна ПОЛЯКОВА

**КЛИМАТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ
ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКОГО
РЕГИОНА**

Монография

Компьютерная верстка
и дизайн обложки *Н. Базарбаевой*

ИБ №11480

Подписано в печать 31.05.2025. Формат 60х84 1/16. Бумага офсетная.

Печать цифровая. Объем 12,8 п.л. Тираж 500 экз. Заказ №318.

Издательский дом «Қазақ университеті»

Казахского национального университета им. аль-Фараби.

050040, г. Алматы, пр. аль-Фараби, 71. КазНУ.

Отпечатано в типографии издательского дома «Қазақ университеті»