

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени

К. И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А.Байконурова

Кафедра «Химические процессы и промышленная экология»

Жалдыбаева Алуа Талгатовна

Оценка воздействия изменения климата на биоразнообразие горных экосистем
Заилийского Алатау (Тянь-Шань)

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 6В05205 – Химическая и биохимическая инженерия

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра Химические процессы и промышленная экология

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНИТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующая кафедрой «Химические
процессы и промышленная
экология» канд.тех.наук, доцент

Кубекова Ш.Н.
«09» 06 2025 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Оценка воздействия изменения климата на биоразнообразии горных
экосистем Заилийского Алатау (Тянь-Шань)»

6B05205 – Химическая и биохимическая инженерия

Выполнила

Жалдыбаева Алуа Талгатовна

Рецензент

Доктор биологических наук, профессор,
декан факультета Биологии и
биотехнологии

Кафедра биоразнообразия и биоресурсов,
факультет биологии и биотехнологии
КазНУ им. Аль-Фараби

Курманбаева М. С.

(подпись) (Ф.И.О.)

«09» 06 2025 г.

Научный руководитель

Доктор биологических наук, доцент,
профессор «Химические процессы и
промышленная экология»

Еликбаев Б.К.

(подпись) (Ф.И.О.)

«09» 06 2025 г.

Алматы 2025

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

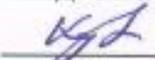
Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра Химические процессы и промышленная экология

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой
«Химические процессы и
промышленная экология»
канд. тех. наук, доцент

 Кубекова Ш. Н.
«09» 06 2025 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Жалдыбаевой Алуа Талгатовне

Тема: «Оценка воздействия изменения климата на биоразнообразие горных экосистем Заилийского Алатау (Тянь-Шань)»

Утверждена приказом Проректора по академическим вопросам № 26 от 29.01.2025 г.

Срок сдачи законченной работы: «19» мая 2025г.

Исходные данные к дипломной работе: данные об экологическом состоянии экосистем Заилийского Алатау, предоставленные природоохранными и научными организациями Республики Казахстан.
Краткое содержание дипломной работы: практическая часть включает расчёт экологических индексов (фрагментации, деградации растительности), анализ ареалов видов и оценку динамики экологических ниш.

Перечень графического материала: представлены 25 слайдов презентации работы.

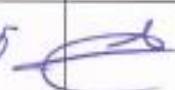
Рекомендуемая основная литература: состоит из 52 источников, которые являются научными статьями, журналами и пособиями.

**ГРАФИК
подготовки дипломной работы**

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1 часть. Литературный обзор основ влияния изменения климата на биоразнообразие горных экосистем	31.01.2025 г	<i>Выполнено</i>
2 часть. Природно-климатические условия и текущее состояние биоразнообразия Заилийского Алатау	28.03.2025 г	<i>Выполнено</i>
3 часть. Оценка воздействия изменения климата и меры адаптации горных экосистем	20.04.2025 г	<i>Выполнено</i>
Заключение	17.05.2025 г	<i>Выполнено</i>

Подписи

Консультантов и нормконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, Ф. И. О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормконтролер	Доктор биологических наук, доцент, профессор Еликбаев Б.К.	11.06.25	

Научный руководитель



Еликбаев Б. К.

подпись

Ф.И.О

Задание принял к исполнению обучающийся



Жалдыбаева А. Т.

подпись

Ф.И.О

Дата

«11» июня 2025г

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена оценке воздействия изменения климата на биоразнообразие горных экосистем Заилийского Алатау. В условиях глобального потепления особенно актуальным становится изучение изменений, происходящих в природных экосистемах, уязвимых к климатическим факторам. Горные районы, включая Заилийский Алатау, представляют собой уникальные природные зоны, характеризующиеся высоким уровнем биоразнообразия и сложной экологической структурой.

Цель работы — проанализировать влияние климатических изменений на состав и численность флоры и фауны Заилийского Алатау, выявить уязвимые виды и экосистемы, а также оценить возможные долгосрочные последствия для устойчивости биологических сообществ.

В работе рассмотрены теоретические аспекты климатических изменений, проанализированы научные данные о температурных и осадочных трендах региона, проведена оценка динамики распространения отдельных видов, использованы методы ГИС-анализа и сопоставления полевых наблюдений с климатическими сценариями. Также предложены рекомендации по сохранению биоразнообразия и адаптации экосистем к будущим изменениям климата.

АНДАТПА

Дипломдық жұмыс климаттың өзгеруінің Заили Алатауы тау экожүйелерінің биологиялық әртүрлілігіне әсерін бағалауға арналған. Ғаламдық жылыну жағдайында климаттық факторларға осал табиғи экожүйелердегі өзгерістерді зерттеу ерекше өзектілікке ие болып отыр. Тау аймақтары, соның ішінде Заили Алатауы, жоғары биологиялық әртүрлілігімен және күрделі экологиялық құрылымымен ерекшеленетін бірегей табиғи аймақтар болып табылады.

Жұмыстың мақсаты – климаттың өзгеруінің Заили Алатауы флорасы мен фаунасының құрамы мен санына әсерін талдау, осал түрлер мен экожүйелерді анықтау, сондай-ақ биологиялық қауымдастықтардың тұрақтылығына ұзақ мерзімді әсерін бағалау.

Жұмыста климаттық өзгерістердің теориялық аспектілері қарастырылып, аймақтың температуралық және жауын-шашын трендтері бойынша ғылыми деректер талданды, жекелеген түрлердің таралу динамикасы бағаланды, ГАЖ-талдау әдістері мен далалық бақылаулар климаттық сценарийлермен салыстырылды. Сонымен қатар, биоалуантүрлілікті сақтау және экожүйелерді климаттың болашақтағы өзгерістеріне бейімдеу бойынша ұсыныстар берілді.

ABSTRACT

The thesis is devoted to assessing the impact of climate change on the biodiversity of the mountain ecosystems of the Zailiyskiy Alatau. In the context of global warming, the study of changes occurring in natural ecosystems vulnerable to climatic factors becomes especially relevant. Mountain regions, including the Zailiyskiy Alatau, represent unique natural areas characterized by high biodiversity and complex ecological structures.

The aim of the study is to analyze the impact of climate change on the composition and population of flora and fauna in the Zailiyskiy Alatau, to identify vulnerable species and ecosystems, and to assess possible long-term consequences for the stability of biological communities.

The thesis examines theoretical aspects of climate change, analyzes scientific data on regional temperature and precipitation trends, assesses the dynamics of individual species distribution, and applies GIS analysis methods alongside field observations correlated with climate scenarios. Recommendations are also proposed for biodiversity conservation and ecosystem adaptation to future climate changes.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
Введение	8
1. Литературный обзор основ влияния изменения климата на биоразнообразие горных экосистем	11
1.1 Основные климатические изменения и их влияние на экосистемы	11
1.2 Биоразнообразие горных экосистем: понятие, структура, факторы устойчивости	16
1.3 Уязвимость горных экосистем к изменению климата	20
2. Природно-климатические условия и текущее состояние биоразнообразия Заилийского Алатау	26
2.1 Физико-географическая характеристика региона	26
2.2 Климатические изменения в Заилийском Алатау: тенденции и прогнозы	30
2.3 Динамика биоразнообразия и основные угрозы его сохранению	37
3. Оценка воздействия изменения климата и меры адаптации горных экосистем	46
3.1 Методы оценки климатических изменений и их последствий для биоразнообразия	46
3.2 Основные последствия изменения климата для экосистем Заилийского Алатау	54
3.3 Пути адаптации и меры по сохранению биоразнообразия	63
Заключение	69
Список использованных источников	71

ВВЕДЕНИЕ

Изменение климата является одной из наиболее острых экологических проблем современности, оказывающей глубокое влияние на все компоненты биосферы. В особенности это касается горных экосистем, отличающихся высокой степенью биоразнообразия, большим количеством эндемичных и реликтовых видов, специфическими адаптациями к экстремальным условиям среды и чётко выраженной вертикальной зональностью. Горные регионы выступают не только как резервуары биологического разнообразия, но и как чувствительные индикаторы глобальных климатических изменений, реагируя на них быстрее и острее по сравнению с равнинными территориями.

Глобальное потепление оказывает существенное воздействие на фенологические фазы растений, сдвигая сроки цветения, плодоношения и вегетации. Раннее наступление весны и затяжная осень нарушают синхронность между растениями и их опылителями, что может привести к снижению репродуктивной успешности и, как следствие, сокращению численности видов. Кроме того, изменения температуры и режима осадков способствуют вертикальной миграции растительности вверх по склонам, провоцируя сжатие ареалов альпийских видов и создавая риски вытеснения редких и специализированных таксонов.

Одной из дополнительных угроз, усиливающихся на фоне изменения климата, является инвазия чужеродных видов. Потепление устраняет климатические барьеры, ранее ограничивавшие распространение инвазивных растений, что приводит к их проникновению в высокогорные районы и вытеснению аборигенной флоры. Усиление процессов фрагментации и деградации среды обитания, вызванное как климатическими, так и антропогенными факторами, ещё больше снижает устойчивость экосистем, ускоряя утрату генетического и видового разнообразия.

Комплексность и взаимосвязанность вызовов требуют применения многомерных стратегий адаптации и смягчения последствий. Среди них — традиционные природоохранные меры, восстановление деградированных ландшафтов, развитие системы особо охраняемых природных территорий, применение технологий мониторинга и моделирования климатических сценариев, а также участие местных сообществ в экологическом управлении.

Настоящая работа посвящена оценке воздействия изменения климата на биоразнообразие горных экосистем Заилийского Алатау — уникального региона Северного Тянь-Шаня. Целью исследования является выявление ключевых последствий климатических изменений, анализ динамики экосистемных процессов и разработка предложений по адаптации природных сообществ к новым условиям. Исследование носит комплексный характер, опирается на анализ климатических данных, спутниковый мониторинг, описание флористических изменений и международный опыт в области охраны горной природы.

Целью настоящего исследования является комплексная оценка воздействия изменения климата на биоразнообразие горных экосистем Заилийского Алатау и разработка адаптационных мер, направленных на их устойчивое сохранение в условиях усиливающихся климатических изменений.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

- проанализировать современные научные подходы к изучению влияния климатических изменений на горные экосистемы;
- дать характеристику физико-географическим и климатическим условиям региона Заилийского Алатау;
- исследовать структуру и текущее состояние биоразнообразия экосистем Заилийского Алатау;
- оценить климатические тренды и выявить их влияние на растительность, ареалы видов и сезонную динамику, определить уязвимые зоны и виды, подвергающиеся наибольшему риску;

Объектом исследования являются горные экосистемы Заилийского Алатау — часть Северного Тянь-Шаня, включающая разнообразные по высотной поясности природные сообщества (степи, лиственные леса, еловые пояса, альпийские луга, ледниковые зоны).

Предмет исследования — влияние климатических изменений на биоразнообразие флоры и устойчивость экосистем Заилийского Алатау, а также меры по их адаптации и сохранению.

Методологическая основа исследования включает:

- анализ научной литературы в области климатологии, экологии и горной биогеографии;
- синтез данных климатических моделей и результатов мониторинга;
- применение принципов экосистемного и ландшафтного подходов к адаптации.

Теоретической базой дипломной работы выступили исследования отечественных и зарубежных авторов, освещающие вопросы климатических трендов, фенологии, миграции ареалов видов, устойчивости фитоценозов, а также управления биоразнообразием в горных ландшафтах. Среди ключевых источников:

- международные исследования в области горного биоразнообразия и климатических сдвигов (Zhang & Wang, 2023; Perrigo et al., 2019; Beniston, 2003, 2005);
- аналитические доклады по оценке уязвимости и адаптации к изменению климата (Feliciano et al., 2022; IPCC, 2007; Price et al., 2011);
- исследования по фенологии и ареалам растений в ответ на климатические изменения (Cleland et al., 2007; Parmesan & Yohe, 2003; Visser et al., 2010);

- отечественные работы в области экологии и географии (Воронков, 2022; Миркин и Наумова, 2024; Лебедева, 2022), а также материалы о биоразнообразии Казахстана и данные официальных метеорологических наблюдений (meteoblue, 2024);
- актуальные публикации по климатическим трендам в Центральной Азии, мониторингу лесов и управлению особо охраняемыми природными территориями.

Таким образом, работа базируется на междисциплинарном подходе, сочетая экологический анализ, климатологические данные, геоинформационные методы и элементы устойчивого природопользования.

1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР ОСНОВ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА БИОРАЗНООБРАЗИЯ ГОРНЫХ ЭКОСИСТЕМ

1.1. Основные климатические изменения и их влияние на экосистемы

Изменение климата относится к долгосрочным изменениям в локальных, региональных или глобальных погодных условиях (например, изменения температуры, осадков, влажности и атмосферного давления) из-за естественной и антропогенной деятельности. Повышение глобальной температуры воздуха и океана, отступление глобальных ледяных щитов, повышение уровня моря, экстремальные погодные явления, такие как длительная засуха, частые волны тепла, нерегулярные осадки, увеличение наводнений и частое появление вредителей и болезней, являются последствиями изменения климата, очевидными на национальном и международном уровнях. Эти события представляют беспрецедентную угрозу для агроэкономики, средств к существованию маргинальных групп населения, глобального биоразнообразия, а также структуры, состава и функций различных экосистем по всему миру. Таким образом, изменение климата стало серьезной межправительственной проблемой, которая влияет на различные сферы окружающей среды, экологии, социополитики и социэкономики [1].

Горы — это уникальные экосистемы, признанные за их сложность и разнообразие [2]. Они вмещают около 23% лесов Земли и 30% всех земель, а также высокий уровень биоразнообразия и эндемизма [3]. Примерно 1/4 мирового населения проживает в горных регионах по всему миру, и многие из них бедны [3].

Таким образом, биоразнообразие гор имеет решающее значение для устойчивого развития и выживания человеческих обществ [4].

Горы обладают наиболее выраженными климатическими градиентами на Земле и являются одним из ключевых «экспериментальных полей природы» из-за резких экологических градиентов, которые они охватывают, и пространственной фрагментации, которую они создают при глобальном распространении типов местообитаний и дикой природы [5].

Среднее понижение температуры на -6 °C наблюдается в горах с каждым увеличением высоты на 1000 метров из-за адиабатического градиента, и наоборот, осадки увеличиваются с увеличением высоты, потому что воздушные массы охлаждаются и конденсируются, если они поднимаются на более высокие высоты [6]. Таким образом, температура и влажность почвы являются основными факторами, определяющими зонирование экосистем вдоль горных градиентов [5].

Такой тип зонирования является уникальной чертой, которая отличает горные леса от других лесов. Определение горного леса неясно; однако, разумное определение, согласно Прайсу и др. [7], таково: «леса на суше с

высотой 2500 м над уровнем моря или выше, независимо от уклона, или на суше с высотой 300–2500 м и уклоном с резкими перепадами высот на небольшом расстоянии».

Однако горная среда очень чувствительна к изменению климата [8 , 9] и испытывает потепление климата быстрыми темпами по сравнению с Северным полушарием [10] или низинами [11]. Кроме того, прогнозируется, что будущие температуры воздуха в этих регионах будут выше современных температур [10,12]. Потепление макроклимата в горах ускорило темпы накопления видов и потенциально поставило под угрозу основную функцию гор, которая заключается в том, чтобы служить долгосрочным убежищем для биоразнообразия [13].

Климат влияет на структуру растительности (структуру, распределение и экологию) лесов по всему миру [14]. Глобального потепления на 1–2 °С достаточно, чтобы повлиять на большинство ландшафтов и экосистем, изменив видовой состав, производительность и биоразнообразие [15]. Когда изменяются условия окружающей среды, живые организмы либо убегают, либо адаптируются, либо вымирают [5]. В случае растений они в основном меняют свою фенологию [16] и смещают свой ареал распространения в более высокие широты и/или высоты [17 , 18], чтобы отслеживать климатические ниши в ответ на изменение климата.

Изменения в фенологии цветения часто приводят к несоответствиям между растениями и опылителями, что влияет на воспроизводство, распространение, приспособленность и выживание растений и связанных с ними опылителей и других видов. Широтные или высотные сдвиги видов растений изменяют местный видовой состав, увеличивают вероятность распространения чужеродных инвазивных видов (например, Евпаторий, Лантана, и Партениум.) в местных экосистемах и подвергают риску биоразнообразия. Эти события потенциально усиливают конкуренцию между местными и неместными видами растений, что может привести к фрагментации среды обитания, потере биоразнообразия и в конечном итоге к исчезновению местной флоры.

Фенология — это изучение сроков различных сезонных событий в жизненном цикле организма [19], включая реакцию организмов на климатические или сезонные изменения (такие как изменение температуры, осадков и продолжительности солнечного света) в среде, в которой они живут.

Растения адаптированы к годично-сезонному циклу определенного региона, а сезонные атмосферные изменения регулируют различные стадии жизненного цикла растения, такие как появление листьев и бутонов, первое цветение или цветение, опыление, оплодотворение, распространение семян, старение листьев и прорастание [20].

Температура и фотопериод являются двумя основными факторами окружающей среды, которые вызывают и контролируют фенологические закономерности, особенно в экосистемах более высоких широт. Феномен

глобального потепления климата радикально изменил различные биологические процессы, включая фенологию.

Таким образом, фенологические события являются чувствительными и наиболее яркими индикаторами изменения климата [21].

Однако, согласно исследованию средиземноморских кустарников и средиземноморских горных лесов, осадки и доступность воды также влияют на фенологию растений в дополнение к температуре [22]. Тем не менее, раннее наступление вегетационного периода вегетации, раннее распускание почек, распускание листьев или цветение весной и позднее старение листьев и созревание плодов осенью являются наиболее широко изученными воздействиями изменения климата на фенологию растений.

Фенологические реакции различных видов растений на изменение климата могут вызывать асинхронные экологические взаимодействия, которые угрожают структуре и функционированию экосистемы [22]. Раннее и позднее цветение растений влияет на их способность адаптироваться к окружающей среде, что определяет выживание и гибель видов растений.

Виды растений могут адаптироваться к изменяющейся среде, если изменения в их фенологии цветения могут отслеживать скорость изменения климата; однако, если фенологические изменения цветения видов не могут отслеживать скорость изменения климата, такие виды не могут адаптироваться и устраняются.

Таким образом, фенологические изменения влияют на демографию, приспособленность и выживание видов растений. Кроме того, выживание видов растений зависит от репродуктивного успеха опылителей. Следовательно, риск несоответствия растений и опылителей увеличивается с изменением фенологии цветения, что угрожает стабильности растительного сообщества и влияет на структуру и функции экосистемы.

Изменение климата изменяет экологические условия среды обитания видов растений и животных, заставляя их смещать ареал своего обитания в поисках климатической ниши для выживания. Виды растений изменяют либо высотный, либо широтный ареал в ответ на изменение климата. Однако уровень толерантности отдельных видов к изменению окружающей среды определяет необходимость сдвига и его масштабы.

Было предсказано, что потепление климата сместит распределение растений и животных к полюсу вдоль широтного градиента и к большей высоте вдоль высотного градиента на пути изотерм [23]. Например, метаанализ более 1700 видов растений показал, что изменение климата приводит к сдвигу весенних событий на 2,3 дня за десятилетие и среднему сдвигу ареала на 6,1 м/десятилетие к полюсу [23]. Несколько исследований в Альпах показали сдвиги видов вверх по склону в ответ на изменение климата, и они смогли отследить их экологическую нишу с ростом глобальной температуры [22].

Исследование изменений оптимальной высоты 171 лесного растения между 1905–1985 и 1986–2005 гг. показало миграцию видов растений вверх по

склону через шесть горных хребтов во Франции [24]. Исследование на горе Гунга (Китай) также отобразило сдвиг вверх 53 видов растений в ответ на изменение климата [25]. В скандинавском регионе (Северная Европа) распределение злаковых и трав, вероятно, сместится на 92,8 и 178,7 км в зависимости от интенсивности изменения климата, и некоторые виды сельскохозяйственных культур уже были введены в новые области [24].

Наряду с перераспределением местных растений вдоль горных склонов, неместные виды растений также имеют тенденцию смещаться вверх и расширять свой высотный диапазон, чтобы колонизировать новые места обитания в горной экосистеме [25]. Это расширение среды обитания или перераспределение неместных видов растений в сторону более высокой точки горы создает дополнительную угрозу для местных растений, увеличивая конкуренцию между ними и неместными видами растений на более высоких высотах.

Местные и неместные виды следуют различным моделям распределения вдоль высотных градиентов горы, поскольку они имеют разный экологический фон и эволюционную историю. Таким образом, направление и величина смещения высотных диапазонов для местных и неместных видов растений значительно различаются при изменении макроклимата.

Однако за последние несколько десятилетий было также сообщено о нескольких противоречивых результатах по перераспределению видов, как на региональном, так и на глобальном уровне. Помимо повышения температуры, изменения в осадках и функциональных признаках видов растений, таких как их способность рассеиваться и колонизировать новые области, также способствуют смещению видов вверх по градиенту высоты [26].

Например, исследования в Калифорнии и средиземноморских горах южной Европы показали, что изменения в характере осадков внесли больший вклад, чем повышение температуры, в смещение видов растений по высоте. Поэтому крайне важно определить основные абиотические и биотические факторы, ответственные за перераспределение видов [26].

Глобальное биоразнообразие находится под серьезной угрозой из-за растущей антропогенной деятельности (например, разрушения среды обитания) и изменения климата. Фрагментация среды обитания или потеря среды обитания растений обычно приписывается антропогенным причинам, таким как изменение моделей землепользования, вырубка лесов, чрезмерная эксплуатация, преднамеренные лесные пожары и загрязнение.

Однако изменение климата также вызывает фрагментацию благоприятных мест обитания, что приводит к снижению качества среды обитания видов. Фрагментация среды обитания приводит к появлению небольших популяций с расширяющейся пространственной изоляцией, что потенциально ускоряет риск вымирания [27].

Мантыка-Прингл предположил, что недавний климат и изменение климата являются ключевыми факторами, определяющими негативные последствия потери среды обитания, а повышение температуры является

основным фактором, определяющим последствия потери среды обитания и фрагментации, в то время как изменение количества осадков за последние 100 лет имеет второстепенное значение [28].

Кроме того, потеря среды обитания и эффекты фрагментации были самыми высокими в регионах с высокими максимальными температурами, что говорит о том, что изменение климата способствует усилению фрагментации среды обитания по всему миру. В ландшафтах, подвергающихся фрагментации среды обитания, некоторые виды, очевидно, будут затронуты потерей среды обитания, и в таком сценарии ассоциированные или зависимые виды также могут быть потеряны, что приведет к сокращению популяций. Тем не менее, за последние несколько десятилетий произошла массовая потеря биоразнообразия, которая потенциально может инициировать шестой кризис массового вымирания из-за изменений окружающей среды, вызванных антропогенной деятельностью [29].

Изменение климата считается основным фактором снижения глобального биоразнообразия. На базовом уровне изменение климата влияет на сокращение генетического разнообразия в популяциях из-за быстрой миграции и направленного отбора, что может дополнительно повлиять на устойчивость и функционирование экосистемы [30]. На уровне сообщества «сеть взаимодействий» между различными популяциями, вероятно, будет изменена из-за различных эффектов изменения климата.

Как описано выше, изменение климата изменяет фенологические события, тем самым нарушая взаимодействия растений и опылителей. Это может привести к вымиранию как опылителей, так и растений, с ожидаемыми последствиями для структуры сетей растений и опылителей [31].

Кроме того, глобальное повышение температуры благоприятствует выживанию инвазивных чужеродных видов растений по сравнению с местными видами растений. Известно, что эти инвазивные виды растений изменяют среду, в которую они вторгаются, обладают эффективной способностью к распространению и размножению и, таким образом, превосходят местные виды растений с точки зрения использования пространства и ресурсов. Они гомогенизируют разнообразие и состав вторгшегося региона, что приводит к потере местного биоразнообразия. Большинство исследований в настоящее время указывают на то, что потеря среды обитания и фрагментация оказывают большее влияние на виды и экосистемы, чем потепление климата. Однако со временем ожидается, что влияние изменения климата усилится и будет вносить больший вклад в определение тенденций изменения популяции, чем фрагментация и потеря среды обитания [32].

1.2. Биоразнообразие горных экосистем: понятие, структура, факторы устойчивости

Рассматривая с точки зрения геологического времени, процессы подъема и эрозии гор происходят относительно быстро, и поэтому высокие горные хребты являются в некоторой степени временными образованиями. Многие горы изолированы от других регионов со схожими условиями окружающей среды, их вершинные области напоминают недавно сформированные острова прохладного климата, расположенные среди больших территорий с другим, более теплым климатом. Из-за этой изоляции горные вершины являются убежищем для особой биоты молодых сообществ растений и животных, приспособленных к холодным температурам.

Однако на более низких высотах некоторые горы способны предоставить убежища для более древней биоты, перемещенной из-за изменений окружающей среды. Кроме того, горная растительность обычно меньше подвергается воздействию человеческой деятельности, чем окружающие районы, и поэтому может служить убежищем для растений и животных, которые были вытеснены антропогенными нарушениями, произошедшими в других местах [33].

Необходимость сохранения биологического разнообразия осознавалась уже на протяжении веков, особенно в Северной Америке, Европе и ряде других регионов мира. В различных культурах с древних времён присутствовали религиозные и философские учения, подчеркивающие важность охраны природы и сохранения живого мира. Многие религиозные традиции учат уважать окружающую среду, считая её священным даром, который необходимо защищать и поддерживать в гармонии.

В США философы Ральф Уолдо Эмерсон и Генри Дэвид Торо утверждали, что дикая природа играет ключевую роль в формировании моральных ценностей и духовного развития человека. Их идеи получили развитие благодаря таким защитникам природы, как Джон Мур и Алдо Леопольд, которые доказывали необходимость сохранения природных ландшафтов и поддержания экологического баланса. Подобные взгляды находят отклик и в гипотезе Геи, согласно которой Земля представляет собой единый "суперорганизм", где биологические, физические и химические процессы взаимосвязаны и определяют климатические и атмосферные условия планеты [34].

В современном мире активисты и крупные экологические организации продолжают отстаивать важность минимизации или даже полного отказа от деятельности, наносящей ущерб экосистемам. Однако помимо радикальных взглядов на сохранение природы существуют и более прагматичные подходы. Например, Гиффорд Пинчот, выдающийся лесовод конца XIX – начала XX века, предложил рассматривать природу как совокупность ресурсов – от древесины и чистой воды до биоразнообразия и живописных ландшафтов. Он

считал, что управление природными богатствами должно быть направлено на их долгосрочное и рациональное использование в интересах общества [35].

Идеи Пинчота и Леопольда со временем сформировали основу концепции управления экосистемами, где приоритет отдаётся сохранению природного здоровья и дикой природы. В рамках этой концепции также развилась современная парадигма устойчивого развития, согласно которой использование природных ресурсов должно учитывать не только текущие потребности людей, но и необходимость сохранения экологического баланса для будущих поколений. Такой подход объединяет стремление к экономическому развитию с ответственностью перед природой, что делает его особенно актуальным в условиях современных экологических вызовов [36].

Осознание биологического разнообразия как ключевой характеристики живой природы и его значимости для поддержания жизни на планете стало неотъемлемой частью современных представлений о взаимодействии общества и окружающей среды. Впервые термин «биологическое разнообразие» был использован натуралистом Г. Бэйтсом ещё в 1892 году в его труде «Натуралист на Амазонке». Во время одной из своих экспедиций он за час наблюдений зафиксировал около 700 видов бабочек, что позволило ему подчеркнуть невероятное богатство живого мира [37].

Однако широкое признание понятие «биоразнообразия» получило лишь спустя десятилетия. В 1972 году на Стокгольмской конференции ООН по вопросам окружающей среды экологи убедили мировых лидеров в том, что охрана живой природы должна стать приоритетной задачей для всего человечества. Это стало важным шагом в формировании международной экологической повестки [38].

Спустя двадцать лет, в 1992 году, во время Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро была принята Конвенция о биологическом разнообразии, получившая поддержку более чем 180 стран, включая Россию. В нашей стране её реализация началась в полной мере после ратификации Государственной Думой в 1995 году. Вскоре на федеральном уровне был разработан и принят ряд природоохранных законов, а в 1996 году стартовали масштабные программы, направленные на сохранение биоразнообразия и устойчивое управление природными ресурсами [39].

Принцип взаимодействия человечества с биоразнообразием можно рассмотреть через призму масштаба его влияния на природные системы и роли, которую разнообразие живых организмов играет в поддержании жизни на планете. Ключевым условием устойчивости биосферы является её способность поддерживать равновесие между составляющими её экосистемами. Для этого необходимо, чтобы экосистемы различных уровней находились в гармоничном соотношении друг с другом.

Проще говоря, на Земле должно быть достаточное количество природных зон — от тундр и лесов до пустынь и водоёмов. Внутри каждой из них важно сохранять баланс: тундра должна оставаться тундрой, хвойный лес — поддерживать свою лесистость, а луг или озеро — сохранять свои

естественные характеристики. Подобное равновесие распространяется на все уровни экосистем, от крупных биомов до локальных природных сообществ.

Функционирование Земли как целостной системы во многом зависит от взаимосвязанных природных циклов — круговорота воды, углерода, азота, фосфора и других элементов, которые обеспечивают экосистемные процессы. Растительный покров играет ключевую роль в предотвращении эрозии почвы, сохранении плодородного слоя, регулировании инфильтрации воды и пополнении запасов подземных вод.

Высокое биоразнообразие водно-болотных угодий необходимо для предотвращения эвтрофикации водоёмов, а разнообразие животных видов способствует устойчивости как отдельных экосистем, так и всей биосферы. Нарушение этого баланса, вызванное антропогенным воздействием, может привести к необратимым последствиям, затрагивающим не только природу, но и само человечество, напрямую зависящее от экосистемных услуг.

На каждом уровне биологического разнообразия — генетическом, видовом и экосистемном — учёные исследуют процессы, которые способствуют либо изменению, либо поддержанию этого многообразия. Понимание этих механизмов помогает разрабатывать стратегии охраны природы и адаптации живых организмов к меняющимся условиям окружающей среды [40].

Генетическое разнообразие

Генетическое разнообразие отражает совокупность всей наследственной информации, содержащейся в генах организмов, населяющих Землю. В пределах одного вида оно обеспечивается за счёт генетических различий между особями, что особенно важно для устойчивости популяций к внешним воздействиям.

Популяция, представляющая собой группу особей одного вида, взаимодействующих между собой и производящих потомство, может быть как небольшой, состоящей всего из нескольких особей, так и многочисленной, насчитывающей миллионы организмов. Внутри популяции каждая особь несёт уникальный набор генов, что создаёт генетическое разнообразие.

Генетические различия обусловлены наличием различных аллелей — вариантов одного и того же гена, которые формируются в результате мутаций. Эти изменения в ДНК могут оказывать различное влияние на физиологические и адаптационные способности организмов. Естественный отбор способствует закреплению полезных генетических вариаций, повышающих шансы вида на выживание в определённых условиях.

Человечество активно использует механизмы генетического разнообразия в селекции растений и животных. Путём отбора и закрепления определённых генетических признаков удалось вывести высокоурожайные сорта сельскохозяйственных культур, таких как пшеница и кукуруза, а также продуктивные породы домашнего скота и птицы. Это демонстрирует важность генетического разнообразия не только для природы, но и для устойчивого

развития сельского хозяйства и обеспечения продовольственной безопасности.

Генетическое разнообразие внутри популяции определяется двумя основными факторами: количеством полиморфных генов (генов, имеющих более одного аллеля) и числом аллельных вариантов каждого из них. Наличие полиморфных генов способствует возникновению гетерозиготных особей, получающих разные аллели от каждого родителя. Именно эта варибельность играет ключевую роль в адаптации организмов к изменяющимся условиям среды, будь то изменение температуры, появление новых патогенов или другие экологические вызовы.

Исследования показывают, что редкие виды, как правило, обладают меньшим генетическим разнообразием по сравнению с широко распространёнными. Это делает их уязвимыми перед изменениями окружающей среды и повышает риск вымирания, так как у таких видов меньше адаптационных возможностей. Генетическая изменчивость позволяет видам эволюционировать и сохраняться на протяжении длительных периодов, тогда как её недостаток может привести к генетической деградации и исчезновению популяции [41].

Видовое разнообразие

Видовое разнообразие охватывает совокупность всех видов, существующих на планете. В научном сообществе принято два основных подхода к определению вида:

1. **Морфологический подход** — вид определяется как группа особей, обладающих схожими морфологическими, физиологическими и биохимическими характеристиками, отличающими их от других групп. Этот метод широко используется в систематике для описания и классификации новых видов, особенно когда речь идёт о визуально различимых организмах.
2. **Биологический подход** — вид рассматривается как группа особей, способных к свободному скрещиванию между собой, но не дающих плодовитого потомства с представителями других групп. Этот метод имеет особое значение в эволюционной биологии, так как основан на реальных генетических связях между организмами.

Однако на практике биологическое определение вида часто оказывается затруднительным, поскольку требует информации о репродуктивной совместимости, которая не всегда доступна. Это особенно актуально для микроорганизмов или скрытных видов, различить которые можно только с помощью молекулярных маркеров, таких как анализ ДНК.

Проблема четкого разграничения видов приводит к сложности в их классификации. Например, сходство внешних признаков может затруднять идентификацию видов и вызывать путаницу в научных названиях, что снижает эффективность мер по их охране. До тех пор, пока систематики не дадут видам официальные латинские названия, некоторые группы организмов называют

«морфовидами» — это временный способ обозначения похожих, но, возможно, генетически различных организмов.

Таким образом, понимание механизмов генетического и видового разнообразия играет важную роль не только в биологической науке, но и в практическом природоохранном менеджменте. Чем точнее определяется видовой состав экосистем, тем эффективнее могут быть разработаны стратегии их сохранения и устойчивого управления.

Создание эффективных законов для защиты видов невозможно без чёткой их идентификации. Однако на сегодняшний день биологи сталкиваются с серьёзными трудностями в классификации и систематизации живых организмов. По оценкам учёных, описано лишь 10-30% всех существующих видов, а многие из них могут исчезнуть прежде, чем будут официально зарегистрированы [42]. Для решения этой проблемы требуется подготовка большего числа специалистов-систематиков, особенно в регионах с наибольшим биоразнообразием, таких как тропические леса.

Сложности в описании новых видов затрудняют точную оценку их общего количества. Во времена Карла Линнея было известно лишь около 11 тысяч видов животных и растений, но с тех пор их число возросло до примерно 2 миллионов, и этот показатель продолжает расти благодаря постоянным открытиям учёных. Несмотря на значительные успехи в исследовании биологического разнообразия, точное количество видов на планете остаётся неизвестным.

Очевидно одно: разнообразие животного мира значительно превышает количество известных видов растений, грибов и микроорганизмов. Среди животных абсолютными лидерами по числу видов являются насекомые. Их настолько много, что они превосходят по видовому разнообразию не только всех остальных животных, но и объединённые вместе растения, грибы и микроорганизмы. В царстве растений же наибольшее количество видов принадлежит покрытосеменным (цветковым), которые доминируют в современной флоре Земли.

Таким образом, работа по систематизации живых организмов имеет не только научное, но и практическое значение, так как без точных данных о видовой структуре биосферы невозможно эффективно разрабатывать меры по её охране.

1.3. Уязвимость горных экосистем к изменению климата

Горы являются домом почти четверти мировых лесов, которые предоставляют ряд экосистемных услуг по крайней мере половине человечества. Горы также являются домом для 50% мировых очагов биоразнообразия, которые поддерживают примерно четверть мирового наземного биологического разнообразия [43].

Однако горные леса и их биоразнообразие сталкиваются с растущей угрозой обезлесения, фрагментации и изменения климата. Горы сталкиваются

с неизбежными экологическими, социальными и экономическими изменениями, которые влияют на средства к существованию, экосистему и, в конечном итоге, на устойчивость. Изменение климата также показало увеличение смертности деревьев, изменения в режиме пожаров, перемещение и миграцию видов, низкий набор саженцев, изменение фенологии, вспышки насекомых, атаки патогенов, вторжение чужеродных видов и снижение производительности в разных регионах мира [44].

Уязвимость «охватывает множество концепций и элементов, включая чувствительность или восприимчивость к вреду и отсутствие способности справиться и адаптироваться. Индекс обычно описывает уязвимость, часто объединяя и агрегируя несколько отдельных индикаторов или субиндексов различными способами [45].

В целом уязвимость — это сложный термин с несколькими взаимодействующими измерениями (экологическими, экономическими, социальными, политическими и географическими), что затрудняет установление точных причинно-следственных связей.

Риски для горных экосистем и услуг, которые они предоставляют людям, различаются по величине, срокам, вероятности и потенциалу адаптации и местоположению. Однако многие горные экосистемы уже демонстрируют воздействие изменения климата, отражающее сильное влияние климата во многих ситуациях и указывающее на то, что риски значительны и немедленны и, вероятно, возрастут в ближайшей и долгосрочной перспективе. Имеются доказательства смещения растительных зон и отдельных видов на более высокие высоты, и прогнозы указывают на то, что текущие тенденции будут продолжаться и ускоряться при более высоких темпах потепления [46].

Многие горные виды подвержены риску сокращения ареала и, в конечном итоге, вымирания, если распространение на верхнем пределе ареала происходит медленнее, чем потери из-за смертности на нижнем пределе ареала (наблюдается для деревьев в неотропиках или если горы недостаточно высоки, чтобы позволить видам перемещаться на более высокие высоты).

Многие линии деревьев продолжают смещаться на более высокие высоты с ростом температуры, хотя очень немногие из них меняются так же быстро, как климат, а некоторые не движутся или даже смещаются на более низкие высоты [47]. Если линии деревьев не сместятся вверх по склону, это создаст риск для видов лесов верхних гор, которые испытывают сокращение ареала на своем нижнем пределе ареала, но не имеют подходящей среды обитания для расширения за пределы своего верхнего предела ареала.

Изменения в фенологии также могут представлять риски для видов и экосистем, включая потенциальную десинхронизацию мутуалистических отношений, таких как опыление, и увеличение ущерба от замерзания из-за преждевременного выхода из зимнего покоя. Например, у европейских широколиственных деревьев верхние пределы высоты различных видов подразумевают компромисс между максимизацией продолжительности

вегетационного периода и ограничением риска повреждения весенними заморозками [48].

Широкий спектр механизмов может вызывать изменения в экологических сообществах, некоторые из которых трудно предсказать, но все больше исследований иллюстрируют некоторые из рисков, которые, как ожидается, будут наиболее распространенными. Если границы деревьев сместятся вверх, это создаст риск для альпийских видов, которые не смогут конкурировать с деревьями. Это может привести к вымиранию альпийских видов в горах, где недостаточно места для смещения альпийской зоны вверх. Изменения в распределении видов и, в частности, изменения в типах экосистем могут вызвать изменения в функционировании экосистемы, что, в свою очередь, может иметь каскадные последствия для людей, например, приводя к увеличению подверженности таким заболеваниям, как малярия, на большой высоте по мере изменения распределения векторов и более широкого воздействия на экосистемные услуги, такие как водоснабжение, смягчение последствий наводнений и продовольствие [49].

Продолжая обсуждение уязвимости горных экосистем к изменениям климата, важно отметить, что феномен глобального потепления и связанные с ним изменения в режимах осадков, снежного покрова и динамике ледников тесно переплетены с существующими антропогенными стрессовыми факторами. К последним можно отнести чрезмерную эксплуатацию лесных ресурсов, урбанизацию и расширение сельскохозяйственных угодий, которые в совокупности увеличивают нагрузку на горные леса и экосистемы. В таких условиях кумулятивный эффект изменения климата может приводить к более быстрым и необратимым изменениям в горных экосистемах по сравнению с равнинными районами [44], [45].

В частности, потепление и изменения в режимах осадков оказывают значительное влияние на водные ресурсы гор. Многих рек, обеспечивающих водоснабжение крупных агломераций, источником являются горные ледники и снежные запасы, которые могут сокращаться в период потепления. Уменьшение объемов ледниковой массы в будущем может стать одной из главных угроз для водоснабжения нижележащих регионов. Кроме того, сокращение ледниковых резервуаров и изменение структуры осадков (например, переход от снега к дождю) приводят к сдвигам во времени половодий и засушливых периодов [46]. Это может сказаться на формировании паводков, увеличивая их интенсивность и частоту, а также усугубляя риски оползней и селей.

Следует также учитывать высотную специфику: изменения температуры и влажности способны оказывать более сильное воздействие в высокогорье, где даже незначительные колебания климатических параметров могут кардинально перестраивать структуру биocenозов [44]. Хрупкость горных экосистем объясняется тем, что здесь часто встречаются эндемичные виды — организмы, адаптированные к узкому диапазону экологических условий. Вдобавок к этому в горах присутствует ярко выраженная высотная

зональность, где сообщества, приуроченные к определённым диапазонам высот, имеют ограниченные возможности для миграции. Если «линия леса» (граница между лесными сообществами и высокогорными лугами или альпийской зоной) смещается вверх, под угрозу оказывается всё сообщество этой верхней зоны, поскольку виды не успевают адаптироваться к новым температурным условиям или соперничать с мигрирующими снизу растениями и животными [47], [48].

Изменение климата может также вызывать непредсказуемые каскадные последствия в горных экосистемах. Например, повышение температуры и изменения в сезонах осадков могут создать благоприятные условия для распространения инвазивных видов и патогенов, которые ранее не встречались на определённых высотах [49]. Увеличение таких вспышек может приводить к массовой гибели местных растений (например, хвойных деревьев), которые не обладают иммунитетом к новым болезнетворным организмам или насекомым-вредителям. Этот процесс уже наблюдается в некоторых горных регионах, где потепление создало предрасполагающие условия для размножения короедов и других вредителей, что приводило к катастрофическим потерям в горных лесах [44].

Также стоит учесть социально-экономические последствия, связанные с изменением или исчезновением определённых экосистемных услуг. Горные регионы часто являются ключевыми источниками пресной воды, древесины, пастбищ и рекреационных ресурсов для значительной части населения. Если из-за изменения климата продуктивность горных лесов уменьшится, возрастёт угроза опустынивания склонов, увеличится вероятность эрозии почв и, как следствие, понизится сельскохозяйственная продуктивность. Ущерб в сфере туризма, зависящего от природной привлекательности и стабильности ландшафтов, может иметь значительное влияние на экономическую устойчивость горных сообществ [45].

В этом контексте особое внимание заслуживают вопросы адаптации и смягчения негативных последствий изменения климата. К ним относятся:

- **Восстановление горных лесов и рекультивация** нарушенных территорий, что может помочь сохранить биоразнообразие и устойчивость экосистем к стрессам;
- **Создание миграционных коридоров** для видов, поскольку при смещении термических зон необходимо обеспечить возможность для естественного переселения организмов в более подходящие условия [46];
- **Укрепление мониторинга и системы раннего предупреждения** (включая метеорологические и гидрологические наблюдения, слежение за динамикой ледников и снежного покрова), чтобы своевременно реагировать на изменения в горах;
- **Поддержка традиционных местных практик управления**, таких как сохранение устойчивых методов пастбищного содержания скота, лесопользования и агролесоводства, что может способствовать

сохранению биоразнообразия и предотвращению деградации почв [45], [47].

Эти меры требуют междисциплинарного подхода и активного сотрудничества между научным сообществом, органами власти, местными жителями и международными организациями. Особенно важно обеспечить согласованное планирование, учитывающее специфику горных районов и вовлекающее заинтересованные стороны на всех уровнях принятия решений. Опыт показывает, что местные сообщества, живущие в горах, имеют ценнейшие знания о традиционных практиках и зачастую выступают ключевыми участниками процесса адаптации к климатическим изменениям. Их вовлечение может увеличить эффективность и устойчивость реализуемых мер [46], [49].

Таким образом, уязвимость горных экосистем к изменениям климата обусловлена множеством факторов, включая особую чувствительность горных биогеоценозов, ограниченные возможности для вертикальной миграции видов и сообществ, а также взаимодействие с другими антропогенными нагрузками, такими как обезлесение, фрагментация сред обитания и инвазивные виды. В условиях продолжающегося потепления и ожидаемого увеличения экстремальных событий (засух, проливных дождей, сильных паводков, оползней) горные экосистемы находятся под повышенным риском. Это требует реалистичных стратегий и инструментов адаптации, которые должны учитывать разнообразие горных ландшафтов, их социально-экономическое значение и культурно-историческую специфику. В противном случае деградация горных лесов и утрата их биоразнообразия на фоне быстрого изменения климата могут стать необратимыми, затрагивая как природные комплексы, так и сообщества людей, зависящих от горных ресурсов [44], [48], [49].

Тянь-Шань считается одной из наиболее значительных горных систем Центральной Азии, большая часть которой располагается на территории Казахстана. Эти горы представляют собой важный источник водных ресурсов как для местных сообществ, так и для низменных регионов, включая густонаселенные области и аграрные зоны.

1. Сокращение ледников

- В последние десятилетия площадь ледников Северного Тянь-Шаня (включая Заилийский Алатау) существенно уменьшилась в результате увеличения среднегодовых температур и снижения количества твердых осадков (снега).
- Согласно ряду исследований, общая потеря объема ледников Заилийского Алатау может составлять от 30% до 50% к середине XXI века, если текущие тенденции сохранятся [50].

2. Изменение режима водных ресурсов

- Происходит таяние льда и снега, что приводит к сдвигу пика половодья на более ранние сроки и сокращению летнего стока.

- Это может отрицательно сказаться на водоснабжении городов, аграрных хозяйств и гидроэнергетических объектов, особенно в засушливый летний период, когда потребление воды достигает максимума.

3. Перестройка горных экосистем

- В Заилийском Алатау наблюдается повышение верхней границы леса (линии деревьев) на более высокие уровни, в частности, ареалы ели Шренка (*Picea schrenkiana*) и нескольких других хвойных пород «поднимаются» в ответ на изменение климата.
- В то же время альпийские и субальпийские луга, а также виды, приспособленные к холодным условиям высокогорья, рискуют уменьшить свои ареалы, если не успеют «подняться» еще выше или не имеют подходящих маршрутов для миграции [51].

4. Опасность оползней и селевых потоков

- Ускоренное таяние снега и ледников, наряду с интенсивными дождями, увеличивает риск возникновения селевых потоков и оползней на горных склонах.
- Такие события представляют прямую угрозу для инфраструктуры, дорог и населённых пунктов в предгорьях Алматы и Алматинской области.

5. Социально-экономические последствия

- Уменьшение ледников и перестройка экосистем имеют прямое влияние на развитие горного туризма. Например, исчезновение стабильного снежного покрова в отдельных районах может сократить сроки катания на лыжах и сноубордах.
- Плохое состояние горных лесов увеличивает риск эрозии склонов и, как следствие, снижение качества почвы в предгорьях, что негативно сказывается на сельскохозяйственных угодьях [50].

2. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ И ТЕКУЩЕЕ СОСТОЯНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ЗАИЛИЙСКОГО АЛАТАУ

2.1. Физико-географическая характеристика региона

Заилийский Алатау является частью горной системы Северного Тянь-Шаня и представляет собой его самый северный хребет, достигая высоты 5017 м (пик Талгар) над Илийской впадиной. Хребет простирается на 360 км с запада на восток, при этом его ширина составляет около 30-40 км.

Хребет Кунгей Алатау представлен лишь северными склонами своей восточной части на территории Республики Казахстан. Длина хребта составляет 156 км, а ширина — 12 км (казахстанская секция). Наивысшая точка хребта — пик Ишенбулак (4647 м). Согласно топографическим картам, высшая точка — пик Чайковского (4653 м), который расположен на 1,3 км западнее пика Ишенбулак.

Заилийский Алатау является наиболее северной цепью Тянь-Шаня. Он образует полого-вогнутую к югу дугу широтного простиранья. Длина его около 250 км, ширина 30-40 км. В центральной, наиболее возвышенной части высота хребта достигает 4000 м и более с наивысшей отметкой 4951 м (пик Талгарский). К востоку и западу высоты хребта понижаются. Северный склон хребта, дренируемой реками бассейна оз. Балхаш, крутой: на расстоянии 20-30 км от водораздела находятся подножия предгорий с высотами 800-1000 м, а далее простирается полого наклоненная на северо-запад Илийская котловина. Ответвления от основного хребта в восточной части образуют низкогорья. Вдоль центральной и западной частей северного склона Заилийского Алатау широкой полосой тянутся низкие террасированные предгорья, у подножия которых в местах выхода рек из гор часто встречаются широкие конусы выноса, сложенные пролювиальными отложениями, являющимися результатом селевых потоков. Наиболее характерен для среднегорий и высокогорий Заилийского Алатау крутосклонный глубоко расчлененный рельеф.

Выше водораздельных возвышенностей расположены здесь приблизительно на одном и том же высотном уровне, вследствие чего междуречные пространства местами имеют облик поверхностей выравнивания.



1- Рисунок. Заилийский Алатау с подгорной равнины

Наивысшие вершины Заилийского Алатау сосредоточены в центральной части хребта, в районе, известном как Талгарский узел, где на протяжённости 130 км располагается 22 вершины высотой свыше 4000 метров. К числу таких вершин относятся: пик Конституции (4580 м), Кантабастау (4647 м), Музтау (4555 м), Копш (4600 м), Погребецкого (4551 м), Богатырь (4626 м), Копар и Актау (по 4760 м), Metallург (4800 м) и другие. Высшей точкой хребта является пик Талгар (5017 м). Центральная часть главного хребта охватывает наиболее высокие вершины и протягивается в широтном направлении более чем на 160 км. Зона современной оледененности характеризуется высокогорным рельефом, для которого свойственны крутые склоны (с уклонами до 40–50°), резкие формы рельефа и острые скалистые пики. Боковые ответвления хребта также имеют чёткие формы.

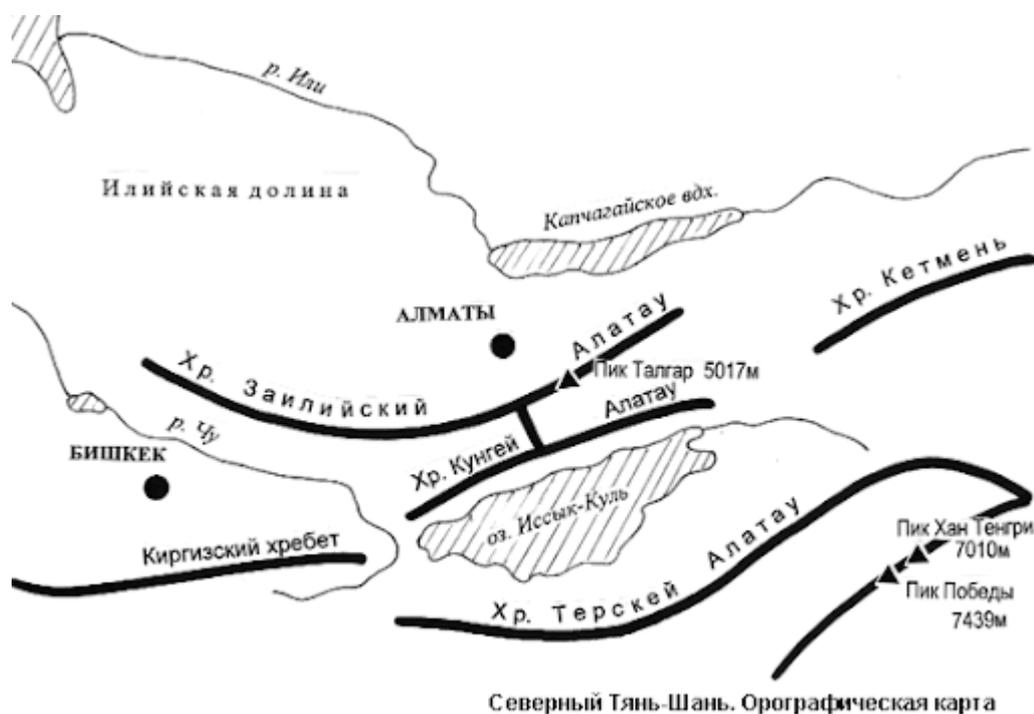
Среднегорье Заилийского Алатау представлено наибольшей широтой. Оно охватывает высоты от 1600 до 3000 м и отличается более пологими, мягкими контурами склонов и вершин. Тем не менее, даже в этой зоне рельеф сильно расчленён глубокими ущельями, достигающими глубины 800–1000 м и более. В центральной части хребта среднегорье непосредственно граничит с высокогорьем, а на востоке и западе к нему примыкают отдельные горные массивы — например, Бакан, Сюгаты, Турайгыр, Далашик и другие.

Низкогорье Заилийского Алатау имеет террасированную, ступенчатую структуру, особенно выраженную на северных склонах хребта. Одной из форм

рельефа здесь являются грядово-мелкосопочные возвышенности, встречающиеся отдельными участками на восточных и западных окраинах хребта, включая горы Туран и Женищек, а также район Копа. Этот рельеф представлен невысокими асимметричными холмами или грядами высотой до 100–200 м, разделёнными долинами или сухими оврагами глубиной 50–70 м.

Мелкосопочник проявляется в двух зонах: в восточной части гор Копа — в виде отдельных холмов высотой 15–30 м с конической формой, и во второй зоне — в предгорной области и межгорных впадинах Заилийского Алатау, где он образует обширные участки на высотах 600–700 м.

Предгорная равнина располагается у подножия хребта и протянулась вдоль его склонов, представляя собой наклонную равнину, в которой чередуются долины, овраги и конусы выноса.



2-рисунок. Физико-географические особенности Заилийского Алатау

В пределах Заилийского Алатау формируются значительные накопления обломочного материала в предгорной зоне. Предгорная равнина, расположенная на высоте 600–700 метров над уровнем моря, представляет собой наклонную поверхность, которая непосредственно прилегает к подножию гор. В её пределах находятся речные долины, овраги и конусы выноса, образованные аллювиальными потоками горных рек.

Межгорные аккумулятивные равнины представлены Жаланашской и Сюгатинской впадинами. Жаланашская впадина — это поднятая равнина, вытянутая на 22 км в меридиональном направлении и на 20 км — в широтном. Она размещена между хребтами Торайгыр на севере и Кунгей Алатау на юге, на высотах от 1300 до 1500 м над уровнем моря.

Сюгатинская впадина, имеющая тектоническое происхождение, расположена между невысокими горами Торайгыр и Богуты, в междуречье рек Чарын и Чилик. Её поверхность представлена плато с абсолютными высотами от 900 до 1200 м, с легким наклоном к северо-востоку и слабой расчленённостью. Восточная часть впадины отличается незначительными буграми и редкими выходами коренных пород. Почвы в этой впадине преимущественно представлены глинистыми, глинисто-щебнистыми и щебнистыми пустынями.

Речная система Заилийского Алатау преимущественно относится к бассейну реки Или, впадающей в озеро Балхаш. На северной стороне хребта начинают свое течение горные реки, питающиеся ледниками: Узун-Карагаты, Чемолган, Аксай, Каскелен, Большая и Малая Алматинка, Иссык, Тургень, Ассы. Их истоки располагаются выше отметки 3000 метров над уровнем моря. На режим течения этих рек значительное влияние оказывают атмосферные осадки и подземные воды.

Южный склон Заилийского Алатау характеризуется резкой крутизной и небольшой протяжённостью. Он изрезан короткими ущельями, в которых протекают мелководные реки. Склон обрывается в области долины реки Кемин, а восточная часть — в долине реки Чилик, которая является крупнейшей среди рек, текущих в пределах хребта. Остальные участки низкогорий слабо развиты в гидрографическом плане и представлены в основном источниками. При выходе из ущелий большинство рек и ручьёв пересекаются между собой.

Заилийский Алатау демонстрирует четкую вертикальную почвенную зональность. В предгорьях доминируют пустынные серо-бурые почвы, которые переходят в серые с увеличением высоты. В зоне от 850 до 900 м над уровнем моря формируются каштановые почвы. В степных районах, покрытых кустарниками и разнообразными травами, развиваются горные чернозёмы. Особенно плодородны чернозёмы на северных склонах, усеянных лиственными и плодовыми лесами. Эти почвы отличаются мощным гумусовым горизонтом — до 90–100 см.

В районах с осиново-берёзовыми лесами формируются горные тёмно-серые лесные почвы. В еловых лесах встречаются горно-лесные почвы, для которых характерно резкое уменьшение гумусового слоя и отсутствие четкой профильной структуры. На больших высотах почвы практически отсутствуют.

Таким образом, Заилийский Алатау является уникальным природным регионом с сложным рельефом, разнообразной геоморфологической структурой и ярко выраженной вертикальной зональностью. Это самый северный хребет Северного Тянь-Шаня, который играет ключевую роль в формировании природной среды юго-востока Казахстана. Многообразие рельефных форм — от высокогорных скалистых вершин до террасированных предгорий — обусловлено как тектоническими процессами, так и современными геодинамическими условиями.

Гидрографическая сеть этого хребта, в основном питаемая ледниками и атмосферными осадками, обеспечивает водоснабжение крупной территории и формирует мощные конусы выноса в предгорьях. Почвенный покров Заилийского Алатау отражает особенности высотной поясности и климатических условий, начиная от серо-бурых пустынных почв в предгорьях и заканчивая горно-лесными и чернозёмными почвами на склонах хребта.

Природно-географические характеристики Заилийского Алатау делают его важным объектом для научных исследований, а также перспективной территорией для устойчивого природопользования, экотуризма и охраны окружающей среды.

2.2. Климатические изменения в Заилийском Алатау: тенденции и прогнозы

Климат Заилийского Алатау континентальный с чётко выраженной закономерностью понижения с высотой местности температуры и дефицита влажности воздуха, увеличения прозрачности атмосферы и солнечной радиации.

В исследуемом районе среднегодовая температура воздуха колеблется в диапазоне от 1,1 до 8,7 °С. С увеличением высоты температура постепенно понижается, и в высокогорьях достигает отрицательных значений, как, например, на метеостанции Мынжылки, где она составляет около -2,4 °С.

Средняя температура самого тёплого месяца — июня — на высотах 500–850 метров варьируется от 20 до 23 °С. При подъёме в горы температура в среднем падает на 0,4–0,8 °С на каждые 100 метров высоты. На высотах 2500–3000 метров средняя температура в июне составляет от 5 до 9 °С.

Переход средней суточной температуры через отметку +5 °С фиксируется стабильно в конце марта на высотах от 450 до 850 метров. В зоне 2000–3000 метров этот переход наблюдается лишь в мае.

Наивысший весенний переход от отрицательных температур к положительным (через 0 °С) осуществляется на высоте 456 м (метеостанция Или), в то время как на высоте 3017 м (метеостанция Мынжылки) он происходит значительно позднее.

Климат Заилийского Алатау проявляет резкую континентальность, выраженную амплитуду суточных и годовых температур, а также преобладание тёплого периода года, что обусловлено вертикальной поясностью региона. Летние месяцы предлагают тёплые условия, однако в начале июля часто происходят температурные колебания. Средняя температура июля колеблется от +23 °С в предгорьях до +7 °С в высокогорьях и в особо жаркие годы может достигать +24 °С. При движении с востока на запад наблюдается снижение температуры и увеличение осадков.

Зимний период в регионе довольно мягкий, но с характерными температурными инверсиями. В предгорьях средняя температура января составляет около -7,4 °С, тогда как в высокогорьях — порядка -11,3 °С. В

конце зимы и начале весны (февраль–апрель) часто фиксируется значительное понижение температур. На высоте 3050 м температура может опускаться до -30°C .

Количество осадков увеличивается с высотой: в предгорьях наблюдается около 560 мм осадков в год, а в среднем и высокогорье — от 800 до 1300 мм. Максимальные дожди приходятся на апрель и июнь, когда выпадает до 50% годовой нормы осадков. Май характеризуется частыми и продолжительными дождями, часто сопровождающимися похолоданием. Следует отметить, что в горных районах пик осадков часто смещён на июнь.

Продолжительность безморозного периода варьируется в зависимости от высоты и составляет от 111 до 236 дней. Осень чаще всего начинается с резких изменений погоды — уже в конце сентября, после тёплого и солнечного времени, может выпасть первый снег.

В высокогорных районах (выше 3000 м) зимний сезон начинается во второй половине октября. Сухой снег наблюдается преимущественно в ноябре, январе и феврале при низких температурах. Весной (в марте, апреле и мае) возможны снегопады при более тёплой погоде, что приводит к образованию влажного снега и плотного снежного покрова толщиной 1,5–2 м, сохраняющегося до середины июня.

Наиболее ясные дни в регионе приходятся на сентябрь (до 20 дней), а наибольшее количество осадков фиксируется в мае (до 24 дней). Абсолютно ясная погода наблюдается в летние месяцы, в то время как облачность преобладает зимой.

Осадки в Заилийском Алатау распределяются в зависимости от высоты: у подножия хребта преобладают интенсивные дожди, тогда как в высокогорных областях наблюдаются снежные осадки. Эти твердые атмосферные осадки питают многочисленные ледники, являющиеся источником рек и ручьев, которые увлажняют плодородные предгорные районы. На высоте примерно 3050 м минимальная температура воздуха в январе может достигать -30°C , а летом температура может повышаться до $+17^{\circ}\text{C}$.

Температурный режим по направлению с востока на запад понижается, в то время как количество осадков существенно увеличивается. В течение года наблюдаются резкие колебания температуры, обусловленные активностью циклонов летом и антициклонов зимой, что в значительной мере изменяет установленный погодный режим.

Характерной чертой климата региона является резкое понижение температуры в первой декаде июля, что связано с разрушительным наводнением 1921 года в Алма-Ате, вызванным грязекаменным селем. Периодические вторжения холодного воздуха также наблюдаются в конце февраля и в апреле — начале мая. Осень часто начинается с внезапного снегопада в последние дни сентября после длительного теплого и ясного периода. После кратковременного похолодания температура вновь повышается, а снег остается только на северных и частично западных склонах.

В высокогорных районах (выше 3000 м) зима начинается во второй половине октября. В холодные месяцы (ноябрь, январь, февраль) выпадает легкий сухой снег, который легко сдувается ветром в долины, из-за чего снежный покров на ледниках и вершинах в это время остается незначительным.

С приходом весны (март–май) климатические условия изменяются: осадки выпадают при более высоких температурах, снег становится влажным и начинает активно накапливаться в высокогорье. На ледниках образуется мощный слой снега толщиной 1,5–2 м, который сохраняется до середины июня.

Климат Заилийского Алатау четко разделен на несколько террасно расположенных поясов. Первый пояс, находящийся на высоте от 1000 до 1700 м, называется садово-степным и охватывает обширную территорию от долины Малой Алматинки до Горельника.

Второй пояс — лугово-лесной — простирается на высотах от 1700 до 2700 м. Он характеризуется широким распространением хвойных лесов и выраженными признаками горного климата.

Между высотами 2700 и 3100 м располагаются высокогорные луга субальпийской зоны, а выше 3100 м начинается альпийский пояс, состоящий из зоны скал, осыпей, ледников и вечных снегов — своеобразной «горной Арктики».

Переход между климатическими зонами происходит плавно, что приводит к наличию общих черт между соседними поясами. Несмотря на близость к Алматы, климат садово-степной зоны имеет свои особенности: лето более прохладное из-за облачности. Средняя температура июля составляет 18,9 °С, максимальная может достигать 35 °С. Снег обычно выпадает во второй половине ноября, достигая максимальной толщины в марте, и полностью тает к середине апреля. Зимы здесь, как правило, солнечные и мягкие, а самым холодным месяцем является декабрь с минимальной температурой -29,3 °С. Годовое количество осадков в этом поясе составляет около 860 мм, при этом более половины осадков выпадает в апреле, мае и июне.

Во втором, лугово-лесном, поясе находятся бывшая турбаза Горельник и горнолыжный курорт Чимбулак (высоты 1930–2500 м). Снег в этом районе устанавливается во второй декаде ноября и сохраняется до апреля. Его средняя глубина составляет около 45 см, а к марту может превышать 60 см и более. Весной наблюдается активное таяние снега, и к концу апреля — началу мая он полностью исчезает. Зимы в этом поясе мягкие, морозы редки и незначительны. Наиболее холодный месяц — декабрь, со средней температурой -6,3 °С. Отрицательные температуры сохраняются с ноября по март, а уже в апреле средняя температура становится положительной (около +3,7 °С). Зимние месяцы отличаются большим количеством ясных дней. Благодаря отсутствию сильных ветров, снег в лесных долинах укрывает землю равномерным покровом.

Уплотнение рыхлого снежного покрова осуществляется под воздействием собственного веса, солнечной радиации и процессов, связанных с трансформацией снега в фирн. В марте метеорологические условия характеризуются нестабильностью — возможны резкие повышения температуры, приводящие к интенсивному таянию снега и активизации лавиноопасных процессов. В некоторые годы к концу апреля снежный покров остается лишь на северных склонах, несмотря на возможные снегопады, которые, как правило, не способны остановить приход весны и не формируют устойчивый покров.

После весенних снегопадов влажный снег быстро уплотняется и, замерзая ночью, образует твердый ледяной слой. Днем, при температуре до +10 °С, происходит его активное таяние. Май и июнь обычно отличаются повышенной влажностью и прохладной погодой. Выше городской черты количество осадков постепенно уменьшается, при этом начиная с урочища Чимбулак максимум осадков сдвигается с мая на июнь.

Климат субальпийской и альпийской зон высокогорья проявляется суровостью. Атмосферное давление на пике Орджоникидзе, представляющем наивысшую точку бассейна Малой Алматинки, составляет примерно 434 мм рт. ст., что соответствует 57% от нормы. В урочище Мынжылки (3000 м н. у. м.) снежный покров сохраняется в течение восьми месяцев, а температура может опускаться ниже –30 °С. Февраль является самым холодным месяцем со средней температурой –11,8 °С. Летний период длится всего два месяца — июль и август. Даже в июле, который считается самым теплым месяцем, дневные температуры могут достигать +20 °С, однако ночные заморозки не исключены. С высоты 3500 м осадки летом чаще всего выпадают в твердом виде — как снег или ледяная крупа, а еще выше располагается граница постоянного снежного покрова.

Снежный покров в районе Мынжылков, как правило, исчезает в конце мая — начале июня, в то время как на леднике Туяк-Су он сохраняется дольше. Зимний период в данной части высокогорья устанавливается в начале октября после ряда снегопадов. Наибольшее количество осадков в виде снега фиксируется в мае и июне.

Формирование снежного покрова в высокогорных областях обладает уникальными особенностями: в холодный период года (ноябрь–февраль) снег выпадает при низких температурах, он сухой и легко сдувается ветром в долины, в результате чего снежное покрытие на вершинах и ледниках в это время остается слабым. С марта по июнь, когда осадки выпадают при более высоких температурах, снег становится влажным, плотно укладывается на склоны и удерживается на поверхности, не уносясь ветром. В этот период происходит основное накопление снежной массы.

В районе ледника Туяк-Су высокую активность зимой имеют южные ветры (56,6%), дующие с январских по мартовские дни и с октября по декабрь. Они способствуют образованию снежных карнизов на северных и восточных склонах. В теплый период (май–сентябрь) преобладают северные ветры (21%).

Летние ухудшения погоды обычно связаны с приходом юго-западных воздушных масс в верхние слои атмосферы. Первые признаки изменения погоды — это перистые облака.

Горные и долинные бризы выражены особенно заметно в теплое время года: днем воздух поднимается вверх по склонам, а ночью — опускается обратно. Иногда со стороны Талгарского перевала наблюдается фен — теплый, сухой ветер.

Для характеристики климата верховьев долины Малой Алматинки важным показателем является количество ясных и пасмурных дней. Наибольшее число ясных дней отмечается в сентябре (до 20), максимальное количество осадков фиксируется в мае (до 24 дней с осадками). Абсолютная влажность воздуха выше летом и ниже зимой. После полудня в летние месяцы вершины гор часто окутаны облаками, что сопровождается осадками на больших высотах.

Грозовая активность охватывает период с апреля по сентябрь, причем пик приходится на июнь (в среднем 7 грозовых дней, но, например, в 1953 году наблюдалось 15), на втором месте — июль (в среднем 5 гроз).

Каждый год в бассейне Малой Алматинки фиксируются резкие понижения температуры воздуха. Такие похолодания часто случаются в конце апреля или начале мая, иногда сопровождаясь снегопадами даже в городе Алматы.

Как правило, в первой декаде июля наблюдаются резкие похолодания, сопровождающиеся сильными ливнями и сходом мощных селевых потоков. Приближение осени часто сопровождается внезапным снегопадом и резким снижением температуры в последние дни сентября после длительного теплого и солнечного периода. Такие резкие изменения погоды сложно точно прогнозировать, поэтому при планировании туристических маршрутов следует учитывать вероятность вторжений холодных воздушных масс.

В последние десятилетия на территории Заилийского Алатау, как и в Центральной Азии в целом, фиксируются устойчивые изменения климата, проявляющиеся в увеличении среднегодовых температур и изменении осадкового режима. Современные климатологические наблюдения и моделирование показывают, что средняя температура воздуха повышается на 0,2–0,3 °C каждые 10 лет. Особенно заметно это потепление выражается в зимние месяцы, что приводит к сокращению времени существования снежного покрова на предгорных и среднегорных участках.

Повышение температур существенно влияет на ледниковую систему хребта. Ледники, которые питаются зимними и весенними снегопадами, теряют массу быстрее, чем успевают её восполнить. Это проявляется в сокращении площади и объёма ледников, особенно в районах на высоте ниже 3500 м. Данный процесс может привести к изменениям в гидрологическом режиме рек — снижению стока в летние месяцы и увеличению рисков паводков весной из-за ускоренного таяния снега и льда.

Несмотря на некоторое увеличение осадков в отдельных районах, их распределение становится всё более неравномерным как в пространственном, так и во временном аспекте. Смещение пиков осадков с мая на июнь в последние годы влияет на вегетационные циклы растений, уровень увлажненности почвы и повышает риск оползней и селевых явлений при интенсивных осадках в тёплый период.

Синоптические процессы также претерпевают изменения: наблюдается усиление экстремальных погодных явлений — летние волны жары, частые оттепели зимой и резкие похолодания весной и осенью. Это приводит к увеличению климатических рисков для сельского хозяйства, туристической инфраструктуры и экосистем региона.

Согласно глобальным климатическим сценариям (например, сценариям IPCC), к середине XXI века среднегодовая температура в районе Заилийского Алатау может возрасти на 1,5–2 °С, особенно в высокогорьях. Снежная линия, вероятно, сместится вверх на 200–300 метров, а продолжительность сохранения снега сократится на 15–20%. Ожидается также сокращение безморозного периода в высокогорьях и его удлинение на низких уровнях.

Эти изменения требуют адаптации подходов к природопользованию и экологическому мониторингу. В первую очередь это касается водных ресурсов, растительности, охраны биоразнообразия, а также обеспечения безопасности туристических маршрутов в условиях повышенной лавиноопасности и селевых угроз.

Таким образом, климат Заилийского Алатау находится в процессе трансформации, и уже сегодня эти изменения требуют системного подхода к наблюдению, анализу и адаптации как на уровне научных исследований, так и в практическом природопользовании.

1 - таблица. Климатические особенности, наблюдаемые тенденции и прогнозы для Заилийского Алатау.

Параметр	Текущее состояние	Наблюдаемые тенденции	Прогноз до 2050 г.
Среднегодовая температура	От +1,1 °С до +8,7 °С (в зависимости от высоты)	Постепенное повышение на 0,2–0,3 °С каждые 10 лет	Повышение на 1,5–2 °С
Средняя температура января	–7,4 °С (предгорья), –11,3 °С (высокогорья), до –30 °С на высоте 3050 м	Увеличение числа оттепелей, мягкие зимы	Ещё более мягкие зимы, редкие морозы
Средняя температура июля	+18–23 °С в предгорьях, до +7 °С в высокогорьях	Повышение средней температуры в летние месяцы	Более продолжительные периоды жары

Параметр	Текущее состояние	Наблюдаемые тенденции	Прогноз до 2050 г.
Снежный покров	До 2 м в высокогорьях, сохраняется до июня	Сокращение продолжительности, таяние начинается раньше	Смещение линии устойчивого снежного покрова вверх на 200–300 м
Количество осадков в год	560 мм (предгорья), до 1300 мм (высокогорья)	Смещение пиков с мая на июнь, увеличение весенних ливней	Рост интенсивности осадков весной и нестабильность их распределения
Период безморозных дней	От 111 до 236 дней	Увеличение продолжительности в нижних зонах	Дальнейшее удлинение периода без заморозков в предгорьях
Ледники и снежная линия	Начало таяния с марта, снежная линия на ~3500 м	Снижение площади ледников, нестабильность снежной линии	Сокращение ледников, подъём снежной линии на 200–300 м
Экстремальные погодные явления	Селевые потоки (например, 1921 г.), резкие похолодания в июле	Рост частоты: ливни, грозы, похолодания весной и осенью	Увеличение риска селей, лавин, погодных катаклизмов
Облачность и ясные дни	До 20 ясных дней в сентябре, высокая облачность летом и зимой	Повышение облачности летом, нестабильная инсоляция	Нестабильные солнечные циклы, увеличение дифференциации по высотам
Грозовая активность	Наибольшее количество гроз — в июне (до 7–15 дней)	Стабильная грозовая активность, но с увеличением интенсивности	Вероятен рост количества гроз и осадков в тёплый период

Прогноз климатических изменений в районе Заилийского Алатау настоящим образом формируется на основе многоаспектного подхода, который включает как локальные наблюдения, так и данные глобальных климатических моделей. В качестве основополагающего элемента анализа использованы многолетние метеорологические данные, спутниковый мониторинг, исследования в области гляциологии, а также как международные, так и национальные климатические сценарии, среди которых выделяются оценки, предоставленные Межправительственной группой экспертов по изменению климата (IPCC).

Ключевую роль в получении эмпирических данных играют длительные наблюдения казахстанских метеостанций, таких как Мынжылки, Чимбулак, Иссык и других, находящихся на разных высотах. Эти наблюдения фиксируют стабильное увеличение среднегодовой температуры, сокращение продолжительности снежного покрова, возрастание амплитуд температурных колебаний и увеличение частоты экстремальных погодных явлений. Все эти

факторы в совокупности свидетельствуют о возрастающем влиянии глобального потепления на климатические процессы в регионе.

В дополнение к этому используются данные гляциологических и гидрологических исследований, включая данные спутниковых миссий (например, MODIS, Sentinel, Landsat), которые подтверждают тенденцию сокращения площади ледников и смещения границы снежного покрова на более высокие высоты. Эти изменения особенно заметны в альпийских и субальпийских поясах, где ледниковое питание рек является ключевым фактором в обеспечении водными ресурсами предгорных территорий.

Прогнозирование будущих климатических условий осуществляется на основе регионализированных климатических моделей, адаптированных к специфике Центральной Азии. В частности, используются сценарии IPCC, такие как SSP2-4.5 (умеренные выбросы) и SSP5-8.5 (высокие выбросы), которые позволяют рассчитать вероятностные сценарии изменения температуры, осадков и смещения природных поясов. Согласно этим моделям, к середине XXI века среднегодовая температура в районе Заилийского Алатау может возрасти на 1,5–2 °С, а уровень снежной линии может подняться на 200–300 м выше текущих значений. Вероятность данного сценария оценивается как высокая (более 70%) при сохранении существующих тенденций.

Таким образом, прогноз климатических изменений для Заилийского Алатау основан на проверенных научных данных, согласованных с международными климатическими оценками, и является надежным инструментом для оценки потенциальных климатических рисков. Это особенно важно для разработки стратегий адаптации в таких областях, как управление водными ресурсами, сельское хозяйство, туризм и охрана природных экосистем региона.

2.3. Динамика биоразнообразия и основные угрозы его сохранению

Горная система Заилийского Алатау, а также весь Северный Тянь-Шань, на территории которого располагается Иле-Алатауский национальный парк, выделяется высоким уровнем биологического разнообразия и разнообразием флоры. Несмотря на то, что исследование видового состава растительности данной особо охраняемой территории продолжается, уже в настоящее время зафиксировано присутствие около 2000 видов растений [8].

Растительное царство Заилийского Алатау также изобилует эфиромасличными культурами. К наиболее распространённым из них относятся зизифора, различные виды тимьяна (лишь известного как «богородская трава»), котовник венгерский, змееголовник цельнолистный, пижма обыкновенная, аяния щитковая и разнообразные виды полыни.

Кроме того, флора горных долин и ущелий изобилует медоносными растениями. Горный мёд, собранный на пасеках Тянь-Шаня, пользуется особым спросом среди местного населения. Наряду с известными древесными

и кустарниковыми породами, такими как яблоня Сиверса (*Malus sieversii*), абрикос, тяньшанская рябина, боярышник, кизильник и карагана, ценными медоносами также выступают многолетние травяные растения. Сюда входят душица, флёмис горолюбивый, яснотка белая, подмаренник настоящий, буквица лиственная, шалфей пустынный и другие виды.



2- Зизифора пахучкадивная

В лесах средней полосы часто встречаются еловые леса с густым моховым покровом и бедной травянистой растительностью. Для таких экосистем характерны редкие виды растений, включая мелкую орхидею гудайера ползучую, герань прямую, а также представителей семейства грушанковых, таких как одноцветка, ортилия и грушанка малая. В урочище Чинтурген на крутых склонах произрастают плотные сомкнутые еловые леса с моховым слоем, достигающим 60 см, который покрывает вечномёрзлые почвы. По своему флористическому составу и структуре эти леса напоминают таёжные экосистемы Сибири и Урала, что обуславливает их защиту в качестве памятников природы.

Растительный покров горной зоны демонстрирует разнообразие — от лугов и кустарников до лесных насаждений. Здесь встречаются такие древесные и кустарниковые виды, как сосна, береза, осина, рябина, кизил и камнеломка, наряду с другими видами.

В предгорной зоне можно встретить редкие растения, включая тюльпан Островского, курчавку Мушкетова, ирис Альберта, яблоню Сиверса и голосемянник Алтайский. Среднегорье характеризуется такими видами, как

желтушник оранжевый, хохлатка Семенова, остролодочник Алматинский и кортуза Семенова. В высокогорной зоне обитают печеночница Фальконера, себирка Тянь-Шаньская и ястребинка Кумбельская. Некоторые мхи, внесенные в Красную книгу, требуют особых мер охраны. В урочище Кок-Жайляу можно обнаружить редкий шафран Аталауский (*Crocus alatavicus*), который также включен в список охраняемых видов.

В степных районах горы преобладают разнообразные травы, кустарники и деревья. Здесь можно встретить ковыль (*Stipa*), саксаул, различные виды полыни (*Artemisia*), горец, зверобой и прочие степные растения. Флора этого региона играет ключевую роль в поддержании природного разнообразия и привлекает туристов своей уникальностью и красотой.

Среди полезной флоры выделяется группа кормовых растений, насчитывающая более 80 видов. К ним относятся кобрезия волосовидная, осока узкоплотная, мятлики (альпийский и луговой), овсяница Крылова, ежа сборная, овсянец Тянь-Шанский, а также представители родов регрения, горошек и чина. Из дубинных ценных растений можно отметить щавель, горец и ревень. Эфиромасличные растения представлены дягилем, полынью и можжевельниками. В качестве природных красителей используются манжетка, подмаренник, макротония и ряд других видов.

Наиболее распространены лекарственные растения: пижма, тысячелистник, мать-и-мачеха, шиповник, жостер, иван-чай, валериана, одуванчик, подорожник и др. Среди дикорастущих съедобных культур особенно ценятся абрикос, малина, яблоня, крыжовник, земляника, ежевика, барбарис, облепиха, рябина и боярышник. Также широко представлены декоративные виды — это тюльпаны, фиалки, хризантемы, а также такие деревья и кустарники, как ель Тянь-Шанская, верба и другие.



4-рисунок. Тянь-шанская ель

Растительность гор Заилийского Алатау демонстрирует ярко выраженную высотную поясность, строго соответствующую ландшафтно-климатическим условиям. На самых нижних участках, в предгорьях, располагается пустынно-степной пояс, охватывающий область от реки Или до подножий гор. Ранее на высотах до 700–800 м здесь преобладала полынно-злаковая растительность, включая узкодольчатую и беловатую полынь, ковыль, типчак и другие степные виды. В настоящее время большая часть этих территорий активно используется человеком: они задействованы под посевы зерновых культур, сахарной свёклы, бахчевых, табака и овощей с интенсивным применением ирригации.

Следующий пояс — кустарниково-разнотравная степь (800–1300 м), также известный как культурно-садовый пояс. Благодаря плодородным почвам и достаточному водоснабжению, он стал зоной активного сельскохозяйственного использования и плотного расселения. Современный ландшафт этой зоны характеризуется чередованием населённых пунктов, садов и сельскохозяйственных угодий. До вмешательства человека здесь царила степная растительность, чередующаяся с древесно-кустарниковыми зарослями. На участках, не затронутых возделыванием, можно встретить такие виды, как пырей ползучий, ирис, костёр, ежа, коротконожка, тимофеевка степная и другие. Однако в ряде мест степную растительность вытеснили сорные сообщества, представленные щавелем, крапивой, дикой коноплей, полынью, софорой, татарником и другими.

В районах с выраженным рельефом, непригодных для сельского хозяйства, особенно на южных склонах, ранней весной распускаются крокусы (подснежники) и гусиный лук, а в апреле–мае зацветают яркие ирисы и тюльпаны. В затенённых долинах и поймах рек произрастают барбарис, шиповник, курчавка и крушина. В более влажных понижениях сохранились реликтовые заросли дикой яблони и боярышника, а на склонах террас преобладает абрикос. В местах с повышенной влажностью растёт облепиха.

На высотах от 1300 до 2800 м формируется пояс лесов и лугов, характеризующийся мозаичным распределением растительности. Лесные массивы, как правило, расположены на тенистых северных, северо-западных и северо-восточных склонах. Более пологие участки, перевалы и вершины заняты высокотравными луговыми сообществами. Южные и юго-западные склоны покрыты сухостепной и злаково-разнотравной растительностью, меняющейся в зависимости от высоты.

Лиственные леса протянулись вдоль пойм рек и на нижних участках склонов (1300–1700 м). Основу их древесного яруса составляют яблоня Сиверса, абрикос, клён Семёнова, различные виды боярышника, шиповника, барбариса, жимолости, таволги и кизильника. В нижней части лесного пояса встречаются курчавка прутьевидная и курчавка Мушкетова. Выше по склонам, на более затенённых участках, произрастает осина в сочетании с берёзой, а также заросли дикой яблони.

Яблоня Сиверса, произрастающая на высотах 800–1800 м, представлена разнообразием форм, отличающихся по вкусовым качествам плодов: от сладких и кисло-сладких до горьковатых и кисло-горьких. Это делает её перспективной как для селекции, так и для поиска готовых сортов в естественных условиях. Наилучшие условия для произрастания данной культуры складываются в средней части пояса лиственных лесов.

Клён Семёнова — декоративное небольшое дерево с серебристой листвой и характерной раскидистой кроной, встречается на высотах 1000–1600 м, преимущественно на первых и вторых речных террасах, а также на южных и восточных склонах. Он устойчив к засухе и особенно широко распространён в восточной части Заилийского Алатау, но в чистых насаждениях встречается крайне редко, обычно формируя сопутствующий ярус в смешанных лесах с участием яблони, абрикоса, берёзы, ивы, тополя и осины.

На северо-восточных и северо-западных склонах преобладает осина, часто встречающаяся в сочетании с тянь-шаньской берёзой.

На крутых, тенистых и сырых северных склонах Заилийского Алатау ель Шренка образует различные типы ельников, зависящие от состава сопутствующих растений: ельники с осиной, берёзой, а также яблоней и боярышником. Осина в этих лесных сообществах характеризуется искривлённым стволом и неоднородной кроной, однако её роль как защитной породы значительна. Обладая высокой способностью к образованию корневых отпрысков, она эффективно стабилизирует почву и предотвращает водную эрозию. Тянь-шаньская берёза — это декоративное дерево с характерной розоватой корой и мелкими листьями, которое визуально отличается от бородавчатой берёзы, растущей на севере.

В пониженных участках рельефа, в речных долинах и у подножий склонов можно встретить заросли облепихи, боярышника, шиповника, барбариса, жимолости и ивы. Вдобавок к древесной растительности в лиственных лесах и кустарниках активно развиваются высокостебельные травы: пырей, костёр, мятлик, овсяница, коротконожка, герань и другие виды. В нижней части лесного пояса и на предгорных террасах встречается редкое и ядовитое растение — ясенец туркестанский (неопалимая купина), выделяющее эфирные масла, способные воспламениться. При контакте с цветками и листьями возможно возникновение ожогов на коже.

С повышением высоты наблюдается уменьшение флористического разнообразия. Вблизи верхней границы лесного пояса (2400–2500 м) зафиксировано около 250 видов растений. Как ниже, так и выше этой зоны количество видов также уменьшается. В последние годы в лиственно-лесной подзоне активно производятся насаждения бородавчатой берёзы, сосны обыкновенной, ели Шренка и других древесных пород.

Елово-лесной (субальпийский) пояс, расположенный на высотах 1600–2800 м, преимущественно представлен ельниками. В нижней части этого пояса встречаются смешанные леса, где ель Шренка растёт в комбинации с яблоней

Сиверса, боярышником, осиной, берёзой и клёном Семёнова. Выше 2000 м формируются чистые ельники, состоящие исключительно из ели.

Ель Шренка (тянь-шаньская) представляет собой высокое (до 40 м) декоративное дерево с густой кроной, ниспадающей до самой земли. Форма кроны может варьироваться от узко-колонновидной до широко-конической. Этот вид отличается высокой светолюбивостью и устойчивостью к засухе. Даже в годы с недостатком влаги ель сохраняет свою жизнеспособность благодаря глубоко проникающей корневой системе, способной достигать трещин и расщелин в каменистой почве. По отношению к температуре ель демонстрирует широкую экологическую пластичность, успешно перенося как тёплый климат нижнего пояса, так и суровые условия верхне-елового.

Состав подлеска в Заилийском Алатау изменяется в зависимости от высоты. На высоте 1700–1800 м уже не встречаются абрикос, барбарис, клён Семёнова, дикая яблоня и боярышник. При подъёме выше 2000 м исчезают берёза и осина, и их место занимает тянь-шаньская рябина, которая является характерным индикатором зоны средне-елового пояса (2000–2400 м). Её соседями по флоре становятся жимолость, малина, ива и шиповник.

На высоте 2400–2600 м преобладает ива, вытесняющая рябину и жимолость в подлеске. В зоне верхне-елового пояса (2600–2800 м) еловые леса становятся более разреженными. Под их пологом возникают подушкообразные заросли можжевельника стелющегося (арчи), среди которых можно встретить жимолость полярную. Арча туркестанская и сибирская также встречаются на южных склонах на меньших высотах, однако основная зона их распространения — верхний еловый пояс.



5-рисунок. Щитовник мужской – *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott. (Сем. Аспидиевые – *Aspidiaceae*). Этот папоротник характерен для всего лесного пояса. Встречается в тенистых влажных местах под пологом леса и под скалами.

В пределах лесного пояса Заилийского Алатау луговая травянистая растительность включает такие виды, как ежа, овсец, пырей, душистый колосок и другие злаковые. На крутых склонах южной экспозиции, где поверхность пересечена скальными выходами и каменистыми обнажениями, формируется разнообразный растительный покров, который сочетает виды как кустарниково-степной, так и более увлажнённой лесной зоны. Здесь нередко встречаются заросли спиреи, множество видов шиповника и эфедры. В скальных участках и на гранитных выходах растут суккулентные растения с утолщёнными листьями — это очитки и репка. В условиях маломощных почв доминируют ксерофитные виды: ковыль, типчак, астра и змееголовник.

Альпийский пояс располагается на высотах 2800–3200 м над уровнем моря и характеризуется чередованием стелющейся арчи (можжевельника) и низкорослых альпийских лугов. Арча формирует подушкообразные формы: её короткие (до 0,8 м) стволы и искривлённые ветви формируют плотные кусты, напоминающие лепёшки. В отдельных местах среди арчи встречается жимолость. В верховьях реки Чилик произрастает редкий для данного региона монголо-сибирский вид — гривистая карагана.

Выше арчовой зоны начинается собственно альпийский пояс, растительность которого варьирует в зависимости от рельефа, почвенных условий, экспозиции склонов и уровня увлажнения. На относительно ровных участках у верхней границы леса формируются яркие цветущие луга с участием первоцветов, фиалок, оранжевого мелколепестника, синего змееголовника, а также злаков — овсяниц, пырея и мятлика.

Наиболее распространёнными элементами флоры Заилийского Алатау являются низкотравные злаково-разнотравные луга высотой 20–30 см, среди которых особое место занимают осока чернополосная, мятлики (как луговой, так и альпийский), овсяницы (Кирилова, золотая) и душистый колосок. На фоне этих злаков пестро расцветают двудольные растения: анютины глазки, анемоны, мелколепестники ярко-оранжевого цвета, купальницы, гвоздики, астры, горечавки и другие декоративные виды, которые придают ландшафту особую выразительность.

На южных склонах встречаются участки высокогорной степи, которые представлены разреженными сообществами типчака Крылова и торчащецветного, а также овса узколистного, пырея чимганского и мятлика. На возвышенных участках преобладают луга с кобрезией, в частности, кобрезией волосистой, образующей плотную дернину, препятствующую прорастанию других растений. В таких сообществах иногда встречаются монгольский ковыль, горечавки голубая и белая, а также альпийский василистник.

На щебнистых склонах и участках с оголёнными породами можно наблюдать сизоватые розетки каллианты с белыми цветками. В аналогичных условиях произрастает эдельвейс — низкорослое растение с серебристым опушением, являющееся туричным представителем высокогорной флоры, обладающее довольно скромной декоративностью.

На нижней границе морен, где начинается гляциальный пояс, встречаются фиалки, жимолость, мятлики, гималайская осока, одуванчик с лиловыми соцветиями и ромашка. В самый жаркий период лета снежные поля могут приобретать розовый оттенок из-за массового развития микроскопических водорослей.

На границе с вечными снегами и ледниками произрастают редкие виды, такие как хохлатка Федченко и сосюра. Альпийские луга, постепенно истощаясь при подъёме, сменяются гляциальным поясом (3200–5000 м), который составляют зоны вечных снегов, ледниковые массивы, обрывистые скалы и голые вершины.

Таким образом, растительность Заилийского Алатау демонстрирует чётко выраженную высотную поясность и уникальное видовое разнообразие, охватывающее как предгорные пустынно-степные экосистемы, так и высокогорные альпийские и гляциальные пояса. Каждый из этих поясов обладает своей спецификой флористической структуры, адаптированной к уникальным условиям климата, рельефа и увлажнённости. Это объединение формирует исключительное биологическое разнообразие, значительная часть которого состоит из эндемиков, реликтов, лекарственных, медоносных, кормовых и декоративных растений.

Тем не менее, данная ценная природная система все чаще подвергается различным угрозам. К числу основных факторов, негативно сказывающихся на состоянии флоры Заилийского Алатау, следует отнести:

1. Антропогенное влияние: активное использование предгорных и нижнегорных районов для сельского хозяйства, вырубка лесов, нерегулируемый туризм, выпас скота и строительство инфраструктуры нарушают естественные фитоценозы и сокращают площади природных биотопов.

2. Изменение климатических условий: увеличение среднегодовой температуры, снижение снежного покрова, сдвиг границ высотных поясов и уменьшение ареалов холодолюбивых видов — все это уже наблюдается в данном регионе. Особенно чувствительными к указанным изменениям оказываются альпийские и гляциальные экосистемы.

3. Инвазивные виды растений, активно распространяющиеся в поврежденных экосистемах, вытесняют местные виды, изменяя структуру растительных сообществ и угрожая сохранению редких и эндемичных форм.

4. Деградация ландшафта и почвы, вызванная эрозией склонов, механическим повреждением почвы и нарушением гидрологического режима, ослабляет устойчивость экосистем, особенно в субальпийской и лесной зонах.

5. Пожары и засухи, участившиеся в последние годы, создают непосредственную угрозу как для хвойных, так и для лиственных лесов, а также для лугово-степных сообществ.

Для эффективной охраны растительного биоразнообразия Заилийского Алатау необходимо реализовать комплексную природоохранную стратегию, которая включает:

- мониторинг состояния редких и исчезающих видов,
- контроль антропогенного воздействия на территории охраны,
- просветительскую работу с местным населением и туристами,
- внедрение научно обоснованных методов восстановления нарушенных экосистем.

Только на основе междисциплинарного подхода и межведомственного сотрудничества можно обеспечить устойчивое развитие природных комплексов Заилийского Алатау и сохранить их богатство для будущих поколений.

3. ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И МЕРЫ АДАПТАЦИИ ГОРНЫХ ЭКОСИСТЕМ

3.1. Методы оценки климатических изменений и их последствий для биоразнообразия

В условиях нарастающих глобальных климатических изменений изучение их воздействия на природные экосистемы становится особенно актуальным. Эта проблема особенно остро проявляется в горных регионах, таких как Заилийский Алатау — часть Северного Тянь-Шаня, которая характеризуется резкой высотной поясностью, хрупкостью экосистем и высоким уровнем эндемизма. Биологическое разнообразие гор в значительной степени зависит от климатических условий: температура, количество осадков, высота снежного покрова и продолжительность вегетационного периода — все эти параметры влияют на ареалы обитания флоры и фауны, их сезонные циклы и продуктивность фитоценозов.

Нарушение климатического баланса может повлечь за собой значительные изменения ареалов видов, модификацию структуры экосистем и утрату уникальных форм жизни. Особенно уязвимыми являются виды, приспособленные к узкому диапазону температур и высот. Наиболее заметные трансформации наблюдаются в альпийских, субальпийских и лесных поясах, где климатические факторы играют ключевую роль в формировании биотического разнообразия.

Цель данного раздела состоит в том, чтобы представить обзор современных методов, используемых для оценки климатических изменений и анализа их последствий для биоразнообразия, а также рассмотреть примеры их применения в условиях Заилийского Алатау.

Первоначальным и наиболее традиционным способом оценки климатических изменений является анализ метеорологических наблюдений. В Заилийском Алатау многолетние данные собираются на нескольких метеостанциях, включая станции Мынжылки (высота 3017 м), Чимбулак, Талгар, а также низкогорные станции в Алматинской области. Эти станции предоставляют ценную информацию о температуре воздуха, количестве осадков, скорости ветра, относительной влажности и других параметрах, начиная с конца XIX — начала XX века.

Анализ многолетних рядов данных позволяет выявить устойчивые климатические тренды. Например, на метеостанции Мынжылки зарегистрировано повышение средней годовой температуры воздуха более чем на 1,5 °C за последние 60 лет. Кроме того, наблюдается тенденция к сокращению продолжительности снежного покрова и увеличению количества дней с температурой выше +5 °C, что сказывается на начале вегетационного периода и сроках таяния снега.

Тем не менее, метеорологические данные имеют свои ограничения. Во-первых, их пространственное покрытие довольно узкое: в высокогорных

районах метеорологические станции расположены реже, а в некоторых местах они отсутствуют полностью. Во-вторых, точность измерений может колебаться в зависимости от состояния оборудования и методов сбора данных. Несмотря на это, метеорологические данные остаются основой для всех видов климатического анализа и служат для валидации других методов — дистанционного зондирования, моделирования и т. д.

Современные технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) значительно расширяют масштабы и глубину анализа климатических и экологических изменений. С помощью спутниковых данных возможно регулярное наблюдение за территорией Заилийского Алатау, включая труднодоступные участки высокогорий и ледниковых зон. Это особенно актуально при изучении динамики растительного покрова, деградации лесов, уменьшения снежного покрова и изменений в ледниковой системе.

К числу самых распространенных спутниковых платформ относятся Landsat (NASA/USGS), MODIS (NASA) и Sentinel-2 (ESA). Например, серия спутников Landsat предоставляет изображения с 1970-х годов, что позволяет отслеживать изменения ландшафта на протяжении десятилетий. Используя эти данные, можно проводить анализ растительности с помощью вегетационных индексов, таких как NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который отражает степень "зелёности" ландшафта и служит для оценки состояния растительного покрова.

Сравнительный анализ спутниковых снимков за разные годы позволяет выявить:

- деградацию лесных массивов (например, на склонах с повышенной рекреационной нагрузкой),
- сокращение площадей снежного покрова и ледников,
- изменение структуры высокогорных лугов.

Кроме того, данные ДЗЗ широко применяются для картографирования экосистем и расчёта пространственной динамики биотопов. Использование спутников Sentinel позволяет получать изображения с высоким разрешением (10–20 м), что делает возможным детальный анализ даже в пределах отдельных высотных поясов.

Таким образом, методы дистанционного зондирования обеспечивают регулярное, объективное и масштабируемое средство для мониторинга последствий климатических изменений, особенно в условиях недостатка наземных наблюдений.

Пространственно-временной анализ растительности представляет собой важный компонент оценки климатических изменений и их последствий для биоразнообразия. Этот подход позволяет исследовать, как меняется структура и состав растительных сообществ на определённой территории в разные периоды времени, выявляя закономерности, связанные с потеплением климата, нарушением увлажнения или увеличением антропогенного воздействия.

Одним из ключевых инструментов для такого анализа является географическая информационная система (ГИС). С помощью ГИС можно накладывать друг на друга различные тематические слои — топографические, климатические, почвенные, биологические, — и проводить комплексный пространственный анализ. В условиях Заилийского Алатау с его чётко выраженной вертикальной зональностью особенно важны карты высотных поясов растительности, составленные с учётом экспозиции склонов, микроклимата и геоморфологических условий.

Пространственные модели позволяют:

- отследить изменение границ ареалов ключевых видов;
- выявить деградацию отдельных типов фитоценозов (например, вырождение лиственных лесов или вытеснение кобрезиевых лугов);
- спрогнозировать потенциальные зоны расширения или сжатия определённых экосистем при различных климатических сценариях.

Временной аспект анализа строится на сопоставлении данных за разные периоды (например, данные ботанических маршрутов 1970-х годов, аэрофотосъёмки 1980-х и спутниковых снимков 2000–2020-х гг.). Такое сравнение позволяет оценить не только изменения площадей, но и изменения биологического разнообразия — уменьшение количества видов в сообществе, вытеснение холодолюбивых видов с повышением температуры и пр.

Кроме того, ГИС и пространственные методы являются основой для построения моделей риска, выявления участков с наибольшей уязвимостью и прогнозирования направлений сдвига границ биоклиматических поясов в будущем. Это особенно важно в связи с усиливающимся трендом потепления и ростом числа экстремальных погодных явлений.

Биологические индикаторы — это виды или группы организмов, состояние и поведение которых отражают изменения окружающей среды, включая климатические факторы. В контексте Заилийского Алатау использование биоиндикаторов особенно актуально, поскольку многие виды растений имеют узкие экологические ниши и быстро реагируют на сдвиги температурного и увлажнительного режимов.

Одним из важнейших индикаторов являются фенологические сдвиги — изменение сроков цветения, листопада, миграций, начала вегетации. Например, за последние десятилетия в горных поясах региона фиксируются более ранние сроки начала цветения у таких видов, как первоцветы, фиалки, крокусы. Это свидетельствует о повышении температур в весенний период и сокращении снежного покрова.

Другим признаком изменений климата является смещение ареалов видов. В Заилийском Алатау всё чаще наблюдаются случаи продвижения теплолюбивых видов вверх по склонам, что сопровождается вытеснением или исчезновением холодолюбивых форм. В частности, фиксируется сокращение ареалов кобрезии и арчи на границе альпийского пояса, а также деградация высокогорных лугов.

Эндемики и реликты особенно чувствительны к изменению климата и служат "сигнальными" видами. Например, такие редкие растения, как горечавка тянь-шаньская, ястребинка Кумбельская, печёночница Фальконера, чётко реагируют на микроклиматические изменения, проявляющиеся в сокращении численности и фрагментации популяций. Это может свидетельствовать о нарушении экологических условий, необходимых для их существования.

Также важную информацию предоставляют изменения в структуре растительных сообществ. Так, наблюдается уменьшение биоразнообразия в лиственных и хвойных лесах, появление деградированных участков с доминированием сорных или инвазивных видов, замещение сложных фитоценозов более примитивными по составу и структуре.

Таким образом, биологические индикаторы позволяют не только зафиксировать последствия климатических изменений, но и оценить степень уязвимости конкретных видов и сообществ. Они являются незаменимым инструментом для разработки стратегий адаптации и мер по охране биоразнообразия.

В условиях быстрого изменения климата становится крайне важным не только фиксировать текущие трансформации экосистем, но и уметь прогнозировать возможные сценарии их развития в будущем. Для этого используются климатические модели — как глобального, так и регионального масштаба — в сочетании с моделями биоклиматических ниш видов и экосистем.

Глобальные климатические модели (GCM — Global Climate Models) формируют основу для понимания общих трендов изменений температуры, осадков, влажности и других параметров. Они разрабатываются на основе физико-математических уравнений и описывают взаимодействие атмосферы, океанов, криосферы и суши. Среди известных моделей — HadGEM, GFDL, MPI-ESM, ACCESS и др.

Для учёта региональных особенностей (например, сложного рельефа гор) применяются региональные климатические модели (RCM — Regional Climate Models), которые позволяют уточнить прогнозы для конкретных территорий. Они используют данные GCM в качестве граничных условий и адаптируют их с учетом местных географических и климатических факторов.

В основе будущих сценариев лежат так называемые социально-экономические траектории развития (SSP — Shared Socioeconomic Pathways), предложенные МГЭИК (IPCC). Например:

- SSP2-4.5 — средний уровень выбросов при умеренной политике климатического регулирования;
- SSP5-8.5 — сценарий с высокими выбросами и минимальными мерами по ограничению климатических изменений.

Для экосистемного анализа используются биоклиматические модели, основанные на принципе экологической ниши. Одним из популярных инструментов является модель MaxEnt, которая позволяет прогнозировать

потенциальные ареалы видов на основе известных точек их обитания и набора климатических переменных (температура, осадки, сезонность и пр.).

Применение таких моделей к видам флоры Заилийского Алатау (например, яблоне Сиверса, елям, альпийским растениям) даёт возможность:

- оценить вероятность сжатия ареалов в условиях потепления;
- спрогнозировать «миграцию» видов на более высокие отметки;
- выявить будущие зоны риска для редких и эндемичных видов;
- разработать карты приоритетных районов для сохранения биоразнообразия.

Также активно применяются модели динамики лесов и экосистем (например, LPJ-GUESS, BIOME4), которые позволяют моделировать не только пространственное распределение, но и функциональное состояние растительности в зависимости от климатических факторов и сценариев воздействия человека.

Таким образом, моделирование на основе климатических сценариев представляет собой мощный инструмент для выработки стратегий адаптации, оценки рисков утраты биоразнообразия и долгосрочного планирования природоохранных мероприятий.

Комплексная оценка уязвимости экосистем к климатическим изменениям предполагает анализ степени подверженности различных биотопов неблагоприятным изменениям и их способности к адаптации. Для этого используется понятие уязвимости, включающее три ключевых компонента:

1. Экспозиция — степень воздействия климатических факторов (температура, засуха, осадки, экстремальные события);
2. Чувствительность — реакция экосистемы на изменение этих факторов;
3. Адаптационный потенциал — способность вида, сообщества или экосистемы приспосабливаться или восстанавливаться.

Для горных районов, таких как Заилийский Алатау, характерна высокая степень пространственной мозаичности, что делает одни участки более уязвимыми, чем другие. Например, субальпийские луга и арчевые сообщества имеют высокую чувствительность к изменениям температуры и влажности, в то время как некоторые степные экосистемы демонстрируют более высокую устойчивость.

С помощью ГИС и моделирования уязвимости можно составлять карты уязвимости экосистем, которые показывают:

- участки с наибольшим риском деградации;
- зоны вероятного исчезновения редких видов;
- территории, требующие немедленного природоохранного вмешательства.

Методы оценки уязвимости включают:

- оценку показателей биоразнообразия (видовое богатство, эндемизм, уровень редкости);
- анализ экологических ниш и границ ареалов;

- расчёт индексов фрагментации и деградации растительности;
- интервью и анкетирование местного населения (в социально-экологических моделях).

Комплексный подход позволяет не только выявить проблемные зоны, но и предложить конкретные меры по снижению уязвимости:

- создание буферных зон;
- восстановление деградированных экосистем;
- адаптация сельского хозяйства к новым климатическим условиям;
- изменение режимов охраны (например, переход к зональному управлению в национальных парках).

Таким образом, оценка уязвимости — ключевой шаг в формировании адаптивной стратегии устойчивого управления горными ландшафтами в условиях изменяющегося климата.

Для оценки влияния климатических изменений на биоразнообразие горных экосистем Заилийского Алатау применён комплексный подход, охватывающий как количественные, так и качественные методы, а также дистанционный мониторинг и биоиндикационные методы. Такая многослойная система анализа позволяет обнаружить не только масштаб, но и характер изменений, происходящих в биотических сообществах, с учётом их пространственной и высотной неоднородности.

Одним из ключевых направлений исследования стало определение так называемых "горячих точек" биоразнообразия — участков с максимальной концентрацией редких, эндемичных и чувствительных к климату видов. Эти зоны имеют особое значение для охраны, так как именно здесь наблюдаются самые заметные последствия изменений — как в составе флоры, так и в её пространственном распределении. На территории Заилийского Алатау такие точки были предварительно выявлены на основе результатов полевых наблюдений, опубликованных флористических списков и материалов картографирования растительности (в частности, субальпийские и альпийские пояса с высоким процентом узкоспециализированных видов).

Для более глубокого понимания пространственной структуры биоразнообразия использовались три уровня оценки:

- **Альфа-разнообразие** (локальное видовое богатство): анализировалось в пределах конкретных высотных поясов (например, на уровне 1800–2200 м — лиственно-хвойные леса), где фиксировалось число видов на стандартной площади, что позволяло оценить уровень видового разнообразия в конкретных участках.
- **Бета-разнообразие** (различия между сообществами): определялось как величина смены видового состава между различными высотными поясами. Особое внимание уделялось контрасту между субальпийскими лугами и смежными лесными массивами, где изменения климата могут приводить к быстрой смене фитоценозов.
- **Гамма-разнообразие** (общий региональный спектр): обобщало суммарное количество видов, зафиксированных на исследуемой

территории, предоставляя информацию о масштабах биологического разнообразия Заилийского Алатау.

Ключевыми статистическими инструментами исследования стали следующие индексы:

- **Индекс Шеннона (H')**, вычисляемый по формуле:

$$H' = -\sum p_i \ln(p_i)$$

где (p_i) — относительная численность вида i . Этот индекс позволяет одновременно оценивать и богатство, и равномерность распределения видов, что даёт возможность выявить, наблюдается ли изменение баланса между доминирующими и субдоминантными видами.

- **Индекс Симпсона (D)**, оценивающий вероятность того, что два случайно выбранных организма принадлежат к одному виду. Его применение способствовало отслеживанию увеличения доминирования отдельных видов (часто инвазивных или чуждых) в условиях изменения среды.

- **Индекс Маргалефа (d)**:

$$d = \frac{s-1}{\ln(N)}$$

где (S) — число видов, (N) — общее число особей. Особенно полезен для анализа данных, собранных в различных точках с различной растительностью.

Важной частью оценки стало наблюдение за изменением роли отдельных видов в сообществах. Некоторые мезофильные и холодоустойчивые растения (*Primula algida*, *Gentiana septemfida*) показывали сокращение ареалов, в то время как ксерофильные формы (*Artemisia*, *Eremurus*) увеличивали свою представленность. Эти сдвиги интерпретируются как биоиндикаторы потепления и снижения влажности.

Также выделялись группы:

- **Доминантные** — виды, оказывающие значительное влияние на структуру фитоценоза;
- **Субдоминантные** — меньшинство, но продолжающие играть важную роль;
- **Редкие** — уязвимые виды, рискующие быть вытесненными.

Изменения в структуре этих групп рассматриваются как маркеры деградации или адаптации экосистем к климатическим стрессам.

Для оценки схожести между фитоценозами различных участков использовался коэффициент Жаккара:

$$J = \frac{A}{A+B+C}$$

где (A) — число общих видов, (B) и (C) — количество уникальных видов каждого участка. Наиболее заметные различия были зафиксированы между среднегорными и субальпийскими зонами, где влияние потепления наиболее очевидно.

Использование спутниковых данных (Sentinel-2, Landsat 8) в сочетании с NDVI-анализом позволило визуализировать:

- снижение густоты растительного покрова в субальпийских районах;
- смещение границ снежного покрова и ледников;
- деградацию лесных массивов на северных склонах.

Современные изменения климата становятся всё более ощутимыми не только на глобальном, но и на региональном уровне, особенно в чувствительных и уязвимых ландшафтах, к которым относятся горные экосистемы Заилийского Алатау. Данный раздел продемонстрировал, что для оценки климатических изменений и их последствий для биоразнообразия необходим целый арсенал методов, основанных как на классических, так и на современных научных подходах.

Анализ метеорологических наблюдений позволяет выявлять долгосрочные тренды температуры, осадков и снежного покрова. Методы дистанционного зондирования, в свою очередь, предоставляют возможность визуально отслеживать трансформации растительного покрова, динамику снежной линии и деградацию экосистем в труднодоступных районах. Пространственно-временной анализ, опирающийся на технологии ГИС и картографирование, даёт понимание происходящих изменений в структуре фитоценозов и способствует выявлению зон риска.

Особое значение в условиях Заилийского Алатау приобретают биологические индикаторы — виды растений и животных, чувствительно реагирующие на климатические сдвиги. Сдвиги ареалов, изменения фенологии и редукция популяций редких видов являются важными сигналами климатической нестабильности. На их основе можно судить о степени устойчивости или уязвимости конкретных экосистем.

Использование климатических и биоклиматических моделей позволяет не только фиксировать происходящие изменения, но и строить прогнозы на будущее с учётом различных сценариев глобального потепления. Такие модели помогают оценить потенциальную трансформацию экосистем, риски исчезновения отдельных видов и предлагают инструменты для выработки стратегий адаптации. Оценка уязвимости экосистем, в свою очередь, позволяет определить наиболее чувствительные к изменениям зоны и принять своевременные меры для минимизации негативных последствий.

Таким образом, комплексное применение методов оценки климатических изменений и их влияния на биоразнообразие даёт научно обоснованную базу для разработки адаптационных стратегий и эффективных природоохранных мер. Учитывая уникальность и богатство растительного мира Заилийского Алатау, такие исследования приобретают особую актуальность и должны быть приоритетными в рамках государственной и научной экологической политики Республики Казахстан.

3.2. Основные последствия изменения климата для экосистем Заилийского Алатау

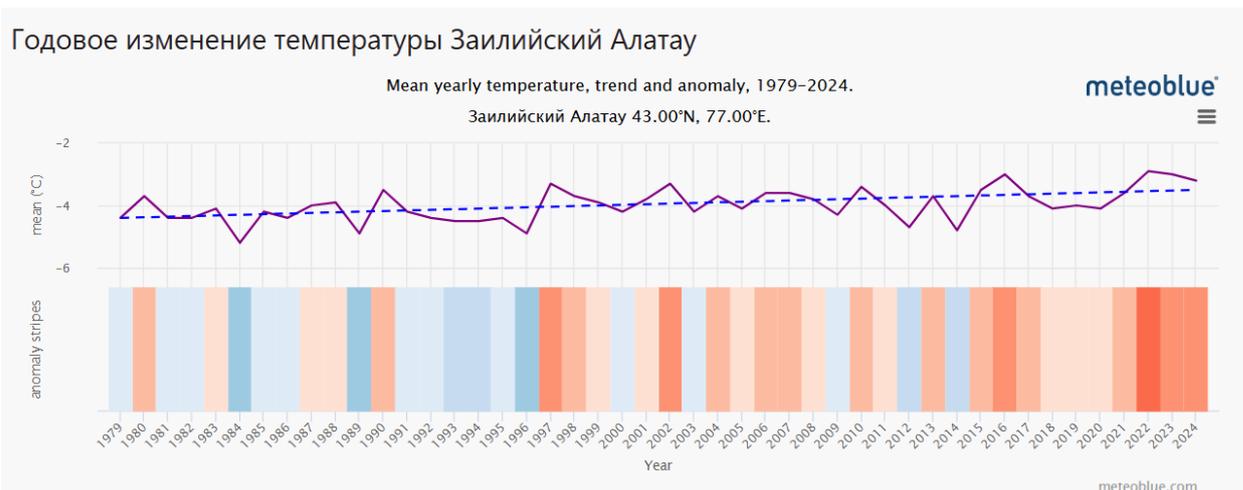
Изменение климата в регионе Заилийского Алатау в последние десятилетия проявляется через устойчивые тренды повышения температуры, перераспределения осадков и сокращения снежного покрова. Горные экосистемы особенно чувствительны к таким изменениям из-за чёткой вертикальной поясности, биологического разнообразия и ограниченного адаптационного потенциала высокогорных видов.

По данным наблюдений на метеостанциях региона (Мынжылки, Чимбулак, Алма-Ата), среднегодовая температура воздуха с 1960-х годов повысилась на 1,5–2 °С. Особенно выражен рост температур в тёплое полугодие — весной и летом, что приводит к более раннему началу вегетационного периода и таянию снега. На высоте 3017 м (Мынжылки) потепление превышает +2 °С за 60 лет, что особенно критично для снежных и ледниковых зон.

2-таблица. Среднегодовая температура воздуха в районе Заилийского Алатау [51]

Период	Среднегодовая температура (°С)
1961–1970	–3,1
1971–1980	–2,8
1981–1990	–2,4
1991–2000	–2,1
2001–2010	–1,5
2011–2020	–0,9

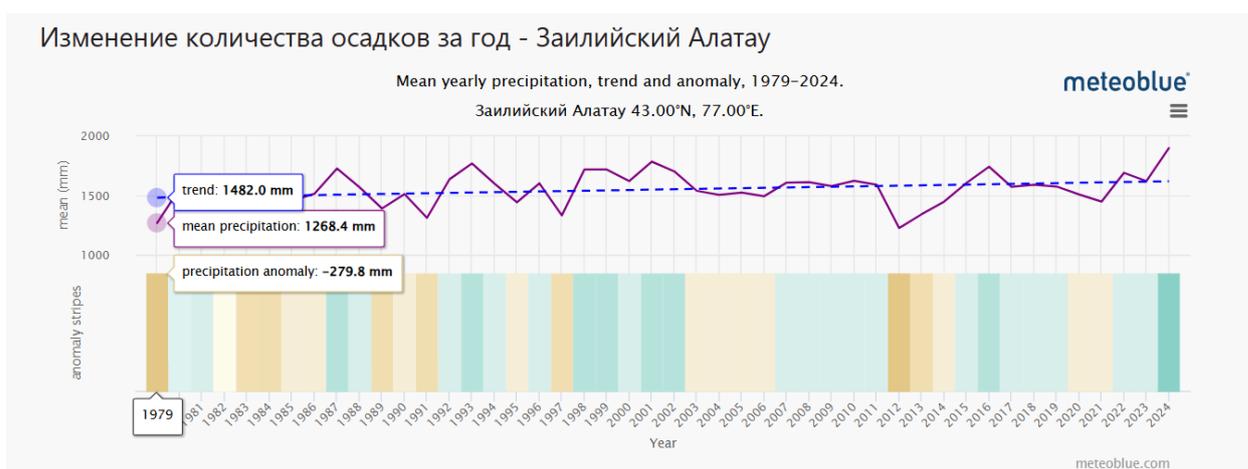
Изменения климатических параметров, зафиксированные в регионе Заилийского Алатау, оказывают прямое и косвенное влияние на структуру, продуктивность и устойчивость природных экосистем. Особенно ярко это проявляется в трансформации растительного покрова, сокращении ареалов чувствительных видов и нарушении сезонных ритмов развития флоры.



6- рисунок. Годовое изменение температуры Заилийский Алатау [52]

Анализ многолетнего температурного тренда на основании метеорологических наблюдений показывает чёткую положительную динамику. С 1960-х годов до настоящего времени средняя годовая температура в регионе возросла более чем на 1,5 °С. Особенно значительное повышение наблюдается в последние три десятилетия. Увеличение температур наиболее выражено в тёплое полугодие — с апреля по сентябрь. Эти данные свидетельствуют о нарастающем эффекте регионального потепления, который проявляется более интенсивно в горных районах по сравнению с равнинными.

Потепление приводит к смещению биоклиматических поясов вверх по склонам, нарушению фаз вегетации растений и сокращению продолжительности снежного покрова, что негативно отражается на высокогорных и субальпийских экосистемах.

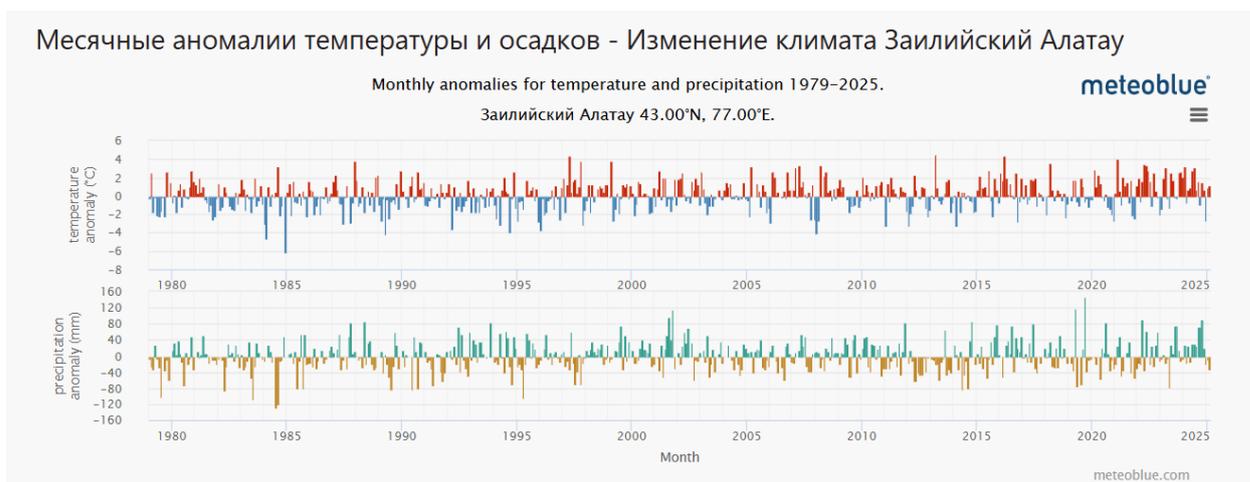


7- рисунок. Изменение количества осадков за год [52]

Динамика годового количества осадков демонстрирует неоднородный тренд. Несмотря на общую стабильность годовых сумм, заметны изменения в сезонной структуре распределения влаги: уменьшается количество осадков в зимний период и увеличивается во время весенних и летних ливней. Такая

перестройка климатических режимов нарушает устойчивое увлажнение почв, провоцирует эрозионные процессы и создаёт условия для формирования селевых потоков.

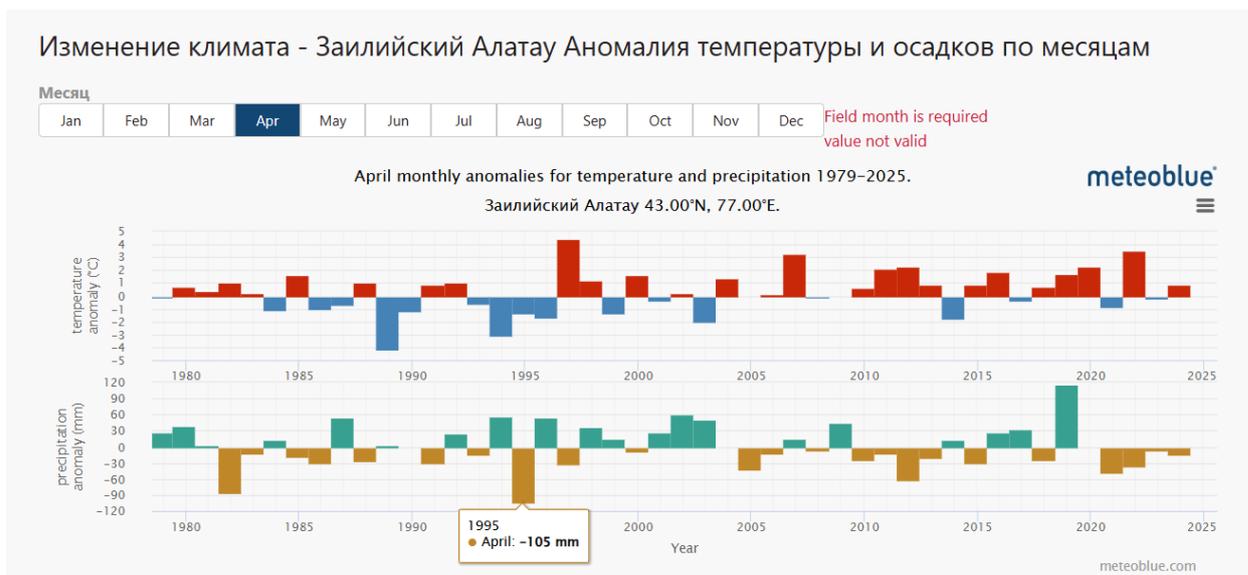
Изменение характера осадков влечёт за собой ухудшение условий для произрастания многих видов, особенно в степных, лесных и субальпийских поясах. Весенне-летние ливни не способствуют восполнению влаги в почве в той мере, как стабильные зимние снегопады.



8- рисунок. Месячные аномалии температуры и осадков [52]

График месячных аномалий чётко фиксирует отклонения температуры и количества осадков от многолетней нормы. В последние годы участились эпизоды положительных температурных аномалий весной и летом, а также выраженные дефициты осадков в марте, июле и августе. Это свидетельствует о росте частоты экстремальных климатических явлений — засух, раннего снеготаяния, суховейных ветров.

Аномалии подрывают сезонную устойчивость экосистем, вызывают стресс у растений, провоцируют снижение численности насекомых-опылителей, изменение микробного состава почв и сокращение биоразнообразия.



9- рисунок. Изменения климата [52]

Итоговый комплексный график демонстрирует совокупный эффект изменения температуры, осадков, снежного покрова и их влияние на природную среду. На фоне потепления и изменения гидрологического режима наблюдается деградация ледников, снижение влажности воздуха, усиление процессов дефляции и увеличение аридности в предгорьях. Регион Заилийского Алатау входит в число климатически уязвимых территорий Казахстана.

Изменения климата затрагивают все уровни экосистемной организации — от клеточного до ландшафтного. Это требует пересмотра подходов к управлению природными ресурсами и усиления мер по адаптации горных экосистем.

Лесные экосистемы Заилийского Алатау являются важнейшим компонентом природного ландшафта региона, формируя уникальные фитоценозы на высотах от 1300 до 2800 м над уровнем моря. Основными древесными породами являются ель Шренка (*Picea schrenkiana*), яблоня Сиверса (*Malus sieversii*), осина, берёза тянь-шаньская, клён Семёнова и другие. Однако именно лесные пояса особенно чувствительны к климатическим изменениям, что выражается в деградации древесного покрова, нарушении структуры и продуктивности насаждений, увеличении частоты пожаров и распространении вредителей.

С увеличением температуры и снижением влажности воздуха наблюдается ослабление жизнедеятельности многих лесных пород. Особенно уязвимыми становятся высокогорные и субальпийские ельники. Повышение среднегодовой температуры на 1,5–2 °C приводит к:

- усилению транспирации;
- снижению водообеспеченности почв;
- повышению риска засух и солнечных ожогов.

Многие еловые массивы, расположенные в верхней части лесного пояса (2600–2800 м), демонстрируют признаки истощения: разреженность крон,

осыпание хвои, усыхание отдельных деревьев. Уменьшается скорость естественного возобновления елового молодняка, а в нижней части пояса возрастает конкуренция со стороны кустарниковых и лиственных пород.

Климатическое потепление способствует расширению ареалов вредителей леса, ранее ограниченных более низкими высотами. В последние годы в лесах Заилийского Алатау всё чаще регистрируются вспышки численности:

- короеда-типографа (*Ips typographus*);
- пилильщиков и листогрызущих гусениц;
- грибковых заболеваний (например, корневых гнилей и ржавчинных грибов).

Устойчивые тёплые зимы и сокращение снежного покрова создают благоприятные условия для выживания личинок и спор патогенов. Это усиливает биотическое давление на ослабленные деревья, ускоряя деградацию лесных массивов.

Рост средних температур, снижение влажности почвы и увеличение числа сухих дней создают крайне благоприятные условия для возникновения лесных пожаров. Особенно высокий риск наблюдается в поясах с обилием сухой травянистой подстилки — в зоне лиственных и смешанных лесов (1300–2000 м). Крупные пожары не только уничтожают растительность, но и нарушают структуру почвенного покрова, способствуют эрозии, утрате семенного фонда и медленной естественной регенерации.

В результате повышения температуры и удлинения вегетационного периода наблюдаются процессы вертикальной миграции лесных сообществ. В частности:

- лиственные породы (берёза, осина, клён) проникают выше 1800–2000 м;
- яблоня Сиверса и боярышник расширяют ареал вверх до 2000 м;
- арча и жимолость начинают замещать ель в разреженных ельниках.
- Арча туркестанская, ранее ограниченная высотами до 2600 м, теперь всё чаще встречается на отметках 2800–2900 м, вытесняя типичные альпийские травы.

Такие изменения могут привести к нарушению природного баланса между древесными, кустарниковыми и травянистыми компонентами фитоценозов. Кроме того, вытеснение ели на меньшие площади чревато утратой уникального лесного биогеоценоза, который выполняет важные климаторегулирующие функции.

Горные экосистемы Заилийского Алатау характеризуются чёткой вертикальной зональностью и высокой степенью биологического разнообразия. Однако именно эта сложная структура делает их особенно уязвимыми к климатическим изменениям. Повышение температуры, изменение режима осадков и сокращение снежного покрова уже приводят к заметным трансформациям в составе флоры, пространственном распределении видов и устойчивости природных сообществ.

Климатические сдвиги влияют на сезонные циклы развития растений (фенологию). Согласно полевым наблюдениям, в среднем начало цветения и вегетации наступает на 7–10 дней раньше, чем в 1980–1990-х годах. Это приводит к:

- нарушению синхронности между растениями и опылителями (насекомыми, птицами);
- снижению эффективности размножения у некоторых видов;
- угрозе для редких растений, имеющих узкие экологические ниши.

Наибольшую уязвимость демонстрируют виды с коротким вегетационным периодом, в том числе некоторые эндемики высокогорий.

Изменение температуры и режима увлажнения приводит к сокращению численности ряда характерных видов:

- Кобрезия волосистая — доминант альпийских лугов — страдает от потепления и конкуренции с более высокими видами;
- Эдельвейс, горечавки, фиалки альпийские — теряют участки произрастания из-за уменьшения снежного покрова;
- Растения влажных склонов и тенистых долин исчезают вследствие общего иссушения микроклимата.

Одновременно усиливается инвазия нетипичных для высокогорий видов, в том числе сорных и чужеродных трав. Это угрожает биоценотической устойчивости экосистем.

Одним из негативных трендов является биологическая унификация — снижение различий между фитоценозами разных поясов за счёт распространения одних и тех же доминирующих видов (например, полыни, пырея, овсяницы). Это ведёт к снижению экологической устойчивости и к потере уникальных локальных сообществ, характерных для горной среды.

Особую тревогу вызывает положение эндемичных и краснокнижных растений. Среди наиболее уязвимых:

- Яблоня Сиверса – предок всех культурных яблонь, чувствительна к жаре и засухе;
- Шафран Аталауский (*Crocus alatavicus*) – страдает от раннего снеготаяния;
- Курчавка Мушкетова, тюльпан Островского, хохлатка Семенова – сокращают ареал из-за изменения влажности и конкуренции.

Снижение численности этих видов напрямую связано с климатическими стрессами и усилением антропогенного воздействия (выпас скота, туризм).

3- таблица. Изменение ареалов видов растений

Вид растения	Прежний ареал (высота, м)	Нынешний ареал (высота, м)	Тенденция
Арча туркестанская	до 2600	до 2900	Расширение вверх

Вид растения	Прежний ареал (высота, м)	Нынешний ареал (высота, м)	Тенденция
Кобрезия волосистая	2800–3200	2800–3000	Сокращение площади
Яблоня Сиверса	800–1800	900–1600 (<i>ареал сужается</i>)	Сужение ареала
Шафран Аталауский	1300–1900	1300–1700 (<i>площадь сокращается</i>)	Угроза исчезновения
Типчак Крылова	1400–2400	1200–2600	Продвижение вверх
Полынь беловатая	до 1200	до 1500	Расширение вверх
Тюльпан Островского	1000–1600	1200–1400	Сокращение численности
Горечавка синяя	2900–3300	3100–3200 (<i>ареал сужается</i>)	Потеря оптимальных условий

Таким образом, на фоне устойчивого потепления климата, изменения режима осадков и сокращения снежного покрова экосистемы Заилийского Алатау претерпевают значительные трансформации. Наиболее уязвимыми оказываются высокогорные, лесные и субальпийские зоны, где нарушаются устоявшиеся экологические связи, уменьшается численность редких и эндемичных видов, а также изменяется структура фитоценозов.

Наблюдается отчётливая тенденция к вертикальной миграции видов, деградации еловых лесов и сдвигу биоклиматических поясов. Нарушения фенологических циклов растений ведут к снижению репродуктивного потенциала и изменению взаимодействий в экосистемах, особенно между растениями и опылителями. Увеличение числа лесных пожаров, распространение вредителей и болезней, а также инвазия нетипичных видов представляют собой серьёзную угрозу для биоразнообразия региона.

Особую обеспокоенность вызывает сокращение ареалов охраняемых и эндемичных растений, таких как яблоня Сиверса, шафран Аталауский и кобрезия волосистая. В сочетании с антропогенным давлением (туризм, выпас скота, вырубка) климатические изменения ускоряют процессы деградации экосистем.

Выявленные последствия подчёркивают необходимость срочного пересмотра природоохранных и адаптационных стратегий. Будущие меры должны учитывать не только сохранение ключевых экосистемных компонентов, но и внедрение долгосрочного мониторинга климатических и биологических параметров, а также разработку комплексных подходов к управлению уязвимыми природными территориями.

Изучая влияние климатических изменений на биоразнообразие Заилийского Алатау, следует отметить, что в последние десятилетия в этом регионе произошли значительные преобразования в структуре и составе растительных сообществ. Эти изменения затронули как отдельные виды растений, так и целые экосистемы.

Одним из основных последствий потепления стало перераспределение видов вдоль высотных градиентов. Растения, которые ранее успешно обитали в субальпийских и альпийских поясах, начали сокращать свои ареалы или смещаться на более высокие участки склонов. Например, такие холодолюбивые виды, как *Primula algida* и *Gentiana septemfida*, стали встречаться реже, а в некоторых местах их численность значительно сократилась.

На фоне общего потепления увеличилась доля более засухоустойчивых растений, прежде всего представителей рода *Artemisia* и некоторых видов кустарников, таких как *Juniperus sabina* и *Rosa spp.*. Также наблюдается активное распространение чуждых видов, таких как *Ambrosia artemisiifolia* и *Erigeron annuus*, которые ранее в горных экосистемах встречались редко или отсутствовали.

Для удобства полученные результаты сведены в таблицу 4, где представлены изменения численности отдельных видов растений, их новый статус в сообществе и краткие пояснения.

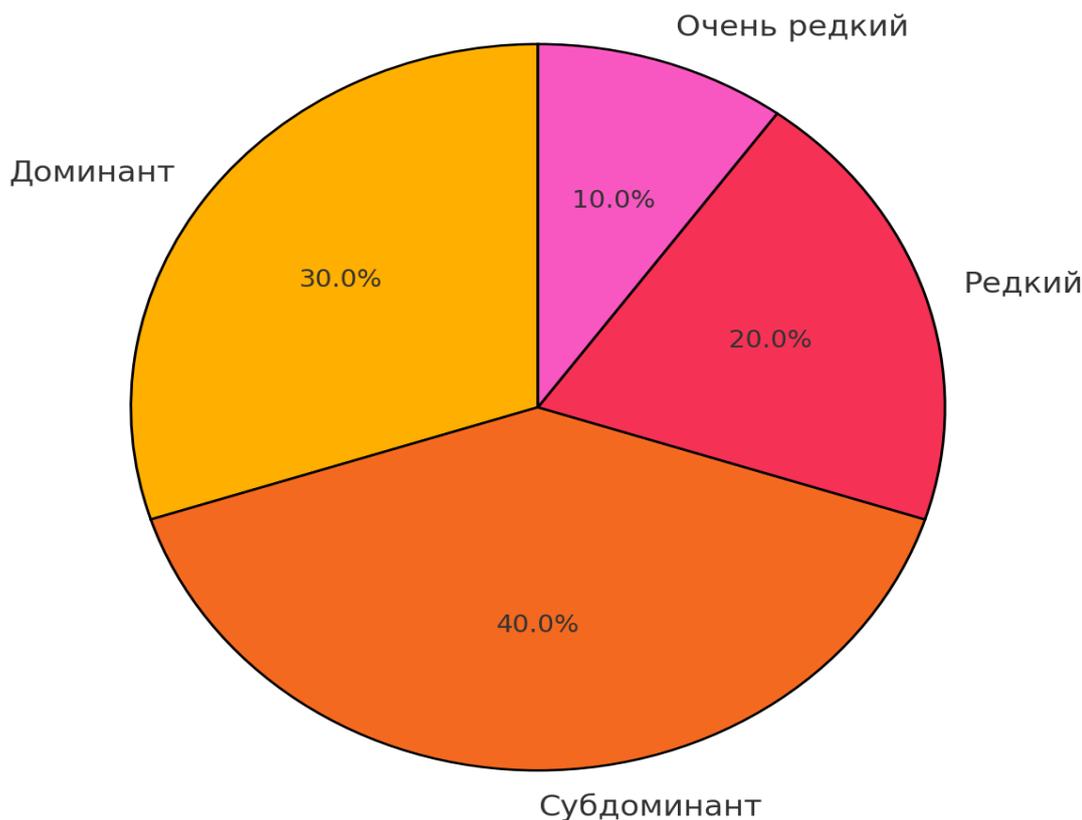
4- таблица. Изменения в составе видов растений Заилийского Алатау

Наименование вида	Динамика	Новый статус	Примечание
<i>Primula algida</i>	Уменьшение	Редкий	Холодостойкий, альпийский вид
<i>Gentiana septemfida</i>	Уменьшение	Редкий	Высокогорный вид
<i>Picea schrenkiana</i>	Снижение численности	Субдоминант	Основной лесообразующий вид
<i>Artemisia spp.</i>	Увеличение	Доминант	Устойчив к засухам
<i>Eremurus altaicus</i>	Увеличение	Субдоминант	Ксерофит, расширяет ареал
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	Увеличение	Доминант	Инвазивный, чуждый вид
<i>Erigeron annuus</i>	Увеличение	Субдоминант	Чуждый вид, подверженный натурализации
<i>Saxifraga oppositifolia</i>	Исчезновение с нижних границ	Очень редкий	Альпийский холодостойкий вид
<i>Rosa spp.</i>	Увеличение	Субдоминант	Расширение кустарниковых формаций
<i>Juniperus sabina</i>	Увеличение	Доминант	Расширение в субальпийских поясах

Анализ представленной таблицы свидетельствует о том, что большинство видов изменило своё положение в экосистеме: некоторые из них стали редкими, в то время как другие, наоборот, усилили своё доминирование. Вызывает особую озабоченность тот факт, что доля инвазивных и ксерофитных видов увеличилась.

Для наглядности полученные результаты иллюстрированы на диаграмме.

Изменение статусов видов растений в Заилийском Алатау



10 – рисунок. Изменение статусов видов растений в Заилийском Алатау

Из представленного рисунка можно сделать следующие выводы:

- примерно **30%** видов относятся к доминирующим,
- **40%** видов перешли в категорию субдоминантов,
- **20%** видов классифицируются как редкие,
- **10%** видов стали очень редкими.

Это подтверждает, что изменения климата привели к значительным преобразованиям в структуре биоценозов.

3.3. Пути адаптации и меры по сохранению биоразнообразия

Изменение климата оказывает всё более осязаемое влияние на экосистемы Заилийского Алатау. Повышение температуры, перераспределение осадков, сокращение снежного покрова и деградация ледников приводят к серьёзным трансформациям в структуре, составе и устойчивости природных сообществ. В этих условиях особую актуальность приобретает выработка стратегий адаптации и мер по сохранению биоразнообразия как ключевого ресурса экологической стабильности региона.

Пути адаптации и меры по сохранению биоразнообразия в Заилийском Алатау включают широкий спектр природоохранных, организационных, научных и управленческих действий, направленных на минимизацию негативного воздействия климатических изменений и поддержание функциональной целостности экосистем.

1. Экосистемный подход к адаптации

Экосистемный подход предполагает управление природными ресурсами и территориями на основе целостного понимания взаимосвязей между климатом, биотой, ландшафтами и антропогенной деятельностью. Одной из ключевых стратегий адаптации является сохранение природных связей между экосистемами (например, между лесами, лугами и ледниковыми зонами), что позволяет видам перемещаться в ответ на сдвиги климатических условий.

Адаптация экосистем требует также оценки уязвимости отдельных природных зон. Наиболее чувствительными к изменению климата являются высокогорные, субальпийские и лесные пояса, в которых происходит смещение видового состава, деградация еловых лесов, снижение численности редких видов и увеличение инвазивной нагрузки.

2. Восстановление деградированных территорий

Для повышения устойчивости биоразнообразия важным направлением является восстановление нарушенных экосистем: деградированных лесов, лугов и склонов, подверженных эрозии. В Заилийском Алатау особое внимание уделяется реинтродукции таких ключевых видов, как ель Шренка, яблоня Сиверса и арча, а также восстановлению природных почвенных структур.

Эффективным средством восстановления являются посадки местных древесных и кустарниковых пород, создание защитных полос вдоль склонов, рек и пастбищ, а также использование природных (неинвазивных) травяных сообществ для закрепления почвы и повышения биоразнообразия на нарушенных участках.

3. Управление лесными экосистемами

Лесные экосистемы Заилийского Алатау требуют особого подхода, направленного на повышение их устойчивости к климатическим стрессам. В связи с рисками высыхания, поражения вредителями и пожаров необходимо внедрение систем биомониторинга состояния лесов. Это включает регулярное картирование очагов усыхания, использование дистанционного зондирования

и спутниковых данных, а также профилактические меры против распространения вредителей (например, короеда-типографа).

Также важно поддерживать мозаичную структуру лесов, сочетающую еловые, лиственные и кустарниковые сообщества. Это повышает устойчивость фитоценозов к экстремальным климатическим явлениям и обеспечивает более высокое видовое разнообразие.

4. Защита редких и эндемичных видов

Сохранение видов, находящихся под угрозой исчезновения, является приоритетом адаптационной стратегии. В условиях Заилийского Алатау наиболее уязвимыми являются виды, ограниченные в высотном распространении и обладающие узкой экологической специализацией. Среди них — шафран Аталауский, тюльпан Островского, курчавка Мушкетова, хохлатка Семенова, яблоня Сиверса.

Меры по их охране включают:

- установление охранных зон в местах произрастания;
- запрет сбора и вытаптывания во время цветения;
- переселение (трансформация) популяций в более устойчивые климатически районы;
- поддержка природных опылителей.

Кроме того, важно создание баз данных о распределении и численности редких растений, а также интеграция этих данных в решения по землеустройству и туризму.

5. Развитие системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ)

Расширение и усиление сети ООПТ в Заилийском Алатау позволяет защитить наиболее ценные и уязвимые природные комплексы от деградации. Это включает:

- увеличение площади национального парка и биосферных полигонов;
- включение высокогорных и пригородных территорий в состав охраняемых зон;
- обеспечение надёжного мониторинга и патрулирования;
- внедрение программ устойчивого туризма.

Создание экологических коридоров между ООПТ обеспечивает свободное перемещение животных и распространение растений, что особенно важно в условиях изменения климата.

Изменение климата оказывает всё более ощутимое влияние на экосистемы Заилийского Алатау. Повышение температуры, перераспределение осадков, сокращение снежного покрова и деградация ледников приводят к серьёзным трансформациям в структуре, составе и устойчивости природных сообществ. В этих условиях особую актуальность приобретает выработка стратегий адаптации и мер по сохранению биоразнообразия как ключевого ресурса экологической стабильности региона.

Пути адаптации и меры по сохранению биоразнообразия в Заилийском Алатау включают широкий спектр природоохранных, организационных, научных и управленческих действий, направленных на минимизацию негативного воздействия климатических изменений и поддержание функциональной целостности экосистем.

6. Научные и технологические меры

Развитие научного сопровождения адаптационных стратегий является важным направлением устойчивого природопользования. Использование современных технологий позволяет более точно прогнозировать изменения и оперативно реагировать на возникающие угрозы.

6.1 Биомониторинг и ГИС-технологии

Систематическое наблюдение за состоянием экосистем на основе биоиндикаторов, спутникового мониторинга и геоинформационных систем (ГИС) позволяет отслеживать динамику биоразнообразия, выявлять очаги деградации и прогнозировать риски. Использование ГИС даёт возможность создавать карты уязвимости территорий и разрабатывать сценарии реагирования.

6.2 Генетические банки и ботанические сады

Для сохранения генофонда редких и эндемичных растений следует создавать региональные банки семян, дендрарии и ботанические сады. Они обеспечивают возможность восстановления популяций в случае их деградации в природной среде. В условиях Заилийского Алатау особое значение имеют коллекции местных видов: яблони Сиверса, арчи, тюльпанов и других.

6.3 Моделирование сценариев

Компьютерное моделирование позволяет предсказывать последствия различных климатических сценариев и разрабатывать адаптационные меры на средне- и долгосрочную перспективу. Это способствует более обоснованному принятию решений в сфере природоохранного планирования и оценки рисков.

7. Экологическое просвещение и участие населения

Повышение осведомлённости местного населения, туристов и школьников о климатических угрозах и роли биоразнообразия в устойчивости горных экосистем — ключевой элемент долгосрочной адаптации. Необходимо:

- проводить просветительские мероприятия в школах и университетах;
- организовывать экскурсии и волонтёрские акции в рамках экологических проектов;
- вовлекать местные сообщества в охрану природы через создание эко-клубов и программ совместного мониторинга.

8. Межведомственное и международное сотрудничество

Эффективная адаптация невозможна без координации усилий различных ведомств, научных институтов, неправительственных организаций и международных партнёров. Важно развивать:

- обмен данными между гидрометеослужбами, научными учреждениями и органами управления ООПТ;
- участие в трансграничных экологических инициативах и проектах ЮНЕП, ЮНЕСКО, ГЭФ;
- реализацию совместных исследований и пилотных программ адаптации в рамках Центральноазиатского региона.

Пути адаптации и меры по сохранению биоразнообразия в условиях изменения климата в Заилийском Алатау требуют комплексного, научно обоснованного и институционально поддержанного подхода. Необходимо сочетать традиционные методы природопользования с инновационными технологиями, активно вовлекать местное население и развивать международное сотрудничество. Только таким образом можно обеспечить сохранение уникальных природных комплексов региона и их устойчивость к климатическим вызовам будущего.

Анализ показал, что климатические изменения уже значительно влияют на растительные сообщества Заилийского Алатау. Это создает необходимость в разработке конкретных мер, направленных на адаптацию экосистем к новым условиям и сохранение их биологического разнообразия.

Основные направления действий определяются как на уровне отдельных видов, так и на уровне целых экосистем.

Приоритетным направлением является восстановление территорий, наиболее пострадавших от изменения климата и антропогенной нагрузки. В первую очередь это касается деградированных субальпийских лугов и редуцированных лесов ели Шренка.

Основные методы восстановления включают:

- Посадку местных видов растений, адаптированных к условиям высокогорья, таких как *Picea schrenkiana* и некоторые виды кустарников (*Rosa spp.*, *Juniperus sabina*).
- Стимулирование естественной регенерации путем ограничения выпаса скота и предотвращения разрушения почвенного покрова.

Эти меры соответствуют целям, обозначенным в рамках Десятилетия восстановления экосистем ООН (2021–2030 годы), которое призывает к восстановлению минимум 350 миллионов гектаров деградированных земель по всему миру.

Контроль за распространением чужеродных видов

Расширение ареала инвазивных растений, таких как *Ambrosia artemisiifolia* и *Erigeron annuus*, представляет серьезную угрозу для местной флоры. Для борьбы с этой проблемой необходимо:

- Раннее выявление чуждых видов на начальной стадии их натурализации;
- Механическое удаление или применение биологических методов борьбы;
- Введение ограничений на деятельность, способствующую распространению чужеродных растений (например, регулирование

транспортировки семян и контроль за строительными работами в горной зоне).

Эти меры соответствуют рекомендациям Конвенции о биологическом разнообразии и задачам Стратегического плана ООН на 2011–2020 годы, цель которого заключалась в сокращении темпов утраты биологического разнообразия.

Для обеспечения миграции растений и животных в условиях изменения климата необходимо создавать так называемые экологические коридоры. Это территории, соединяющие отдельные участки естественных экосистем и позволяющие видам перемещаться в ответ на изменения условий обитания.

В условиях Заилийского Алатау такие коридоры могут быть сформированы между сохранившимися массивами еловых лесов и субальпийскими лугами, особенно в северной и северо-восточной частях хребта.

Развитие сети экологических коридоров соответствует целям, обозначенным в Глобальной стратегии сохранения растений (GSPC), принятой в рамках Конвенции о биологическом разнообразии.

Одним из ключевых условий успешной адаптации экосистем является регулярный мониторинг состояния растительных сообществ. Для этого предлагают:

- Использование дистанционного зондирования (например, анализ спутниковых снимков NDVI для оценки состояния растительности);
- Проведение полевых обследований с фиксацией изменений в составе и структуре фитоценозов;
- Расчёт индексов биоразнообразия (Шеннона, Симпсона, Жаккара) на постоянных участках.

Мониторинг позволит своевременно выявлять негативные тенденции и корректировать мероприятия по сохранению и восстановлению природных комплексов.

Таким образом, разработка и реализация адаптационных мер в Заилийском Алатау должны основываться на комплексном подходе: восстановлении природных сообществ, контроле за чужеродными видами, формировании экологических связей и постоянном научном наблюдении за изменениями в экосистемах. Эти меры не только способствуют сохранению уникального природного наследия региона, но также вносят вклад в достижение глобальных целей ООН по защите биоразнообразия и восстановлению экосистем.

Также важным аспектом адаптации становится включение природных факторов в региональное планирование. Пространственное планирование с учётом климатических рисков, миграции видов и уязвимости экосистем позволяет эффективно распределять зоны природопользования, минимизировать фрагментацию среды обитания и избегать застройки особо чувствительных участков. Это требует актуализации природоохранных карт и

кадастров, а также внедрения экологической экспертизы при принятии инфраструктурных решений.

В последние годы увеличивается роль гражданской науки — привлечения местных жителей, волонтеров, туристов и учащихся к сбору экологической информации. Такие формы участия не только расширяют масштаб наблюдений, но и способствуют формированию ответственного отношения к природе. Например, наблюдения за фенологией растений, регистрация редких видов, отслеживание следов животных или участие в восстановлении деградированных участков могут стать частью широкой программы устойчивого взаимодействия человека с природой.

Адаптация невозможна без устойчивого финансирования. В этой связи особое значение приобретает развитие механизмов «зелёного» финансирования — экоплатежей, компенсационных взносов, грантов и климатических фондов. Привлечение инвестиций в восстановление природных экосистем, развитие экотуризма и внедрение природосберегающих технологий может быть осуществлено как за счёт государственного бюджета, так и при поддержке международных партнёров и частного сектора. Эффективное распределение ресурсов требует оценки экономической эффективности природоохранных мер и их вклада в снижение климатических рисков.

Таким образом, устойчивость экосистем Заилийского Алатау в условиях изменяющегося климата будет во многом определяться не только природными механизмами саморегуляции, но и степенью вовлечённости общества, качеством государственного и научного управления, наличием политической воли к принятию долгосрочных решений. Поддержание биоразнообразия — это не только охрана отдельных видов, но и забота о всей живой системе, которая в ответ на климатические изменения должна получить шанс адаптироваться и выжить.

Заключение

Изменение климата является одним из ключевых факторов, определяющих трансформацию природных экосистем в XXI веке. Особенно остро эта проблема проявляется в горных регионах, где чувствительность к климатическим сдвигам усиливается вертикальной поясностью, изоляцией фито- и зоогеографических ареалов, а также ограниченным адаптационным потенциалом многих видов. Заилийский Алатау, являясь частью Северного Тянь-Шаня и объектом охраны в рамках Иле-Алатауского национального парка, представляет собой уникальный природный комплекс, который одновременно отличается высокой степенью биоразнообразия и уязвимостью к климатическим изменениям.

В первой главе работы были рассмотрены общетеоретические подходы к изучению влияния изменения климата на биоразнообразие горных экосистем. Были охарактеризованы основные глобальные климатические тенденции, особенности горных экосистем как особой природной среды, а также факторы их устойчивости и уязвимости. Анализ научной литературы показал, что даже незначительные климатические сдвиги могут приводить к нарушению сезонных ритмов, смещению ареалов, исчезновению узкоспециализированных видов и перестройке экосистемных связей.

Во второй главе проведён анализ физико-географических условий Заилийского Алатау, дана характеристика текущих климатических трендов и представлены оценки биологического разнообразия региона. Особое внимание уделено растительности, её вертикальной поясности и наличию эндемичных, реликтовых и редких видов. Также в данной части работы были обобщены данные наблюдений, подтверждающие устойчивый рост температур, перераспределение осадков, сокращение снежного покрова и деградацию ледников, что уже оказывает заметное влияние на структуру и функционирование экосистем Заилийского Алатау.

Третья глава была посвящена оценке конкретных последствий климатических изменений для растительного покрова региона, а также анализу современных и перспективных адаптационных стратегий. Было выявлено, что потепление ведёт к вертикальной миграции растительных сообществ, сокращению ареалов чувствительных видов, снижению продуктивности лесов, повышению рисков пожаров и биотических стрессов. Были предложены конкретные меры по адаптации: восстановление деградированных территорий, внедрение биомониторинга, развитие сети особо охраняемых территорий, охрана редких видов, экологическое просвещение населения и международное сотрудничество.

Таким образом, проведённое исследование подтверждает необходимость системного подхода к сохранению биоразнообразия горных экосистем в условиях изменения климата. Только комплексные меры — от научного сопровождения до практического природоохранного менеджмента — могут обеспечить устойчивость и долговременную экологическую

стабильность региона. Заилийский Алатау — это не только природное богатство Казахстана, но и индикатор состояния всей экосистемы Северного Тянь-Шаня, а потому стратегия его адаптации к климатическим изменениям должна стать приоритетом региональной и национальной экологической политики.

Список использованных источников

1. Фелисиано Д., Реча Дж., Амбоу Г., МакСуин К., Соломон Д., Волленберг Э. Оценка сельскохозяйственных выбросов, смягчение последствий изменения климата и методы адаптации в Эфиопии. *Климатическая политика*. 2022;22(4):427-444
2. Менендес Р., Гонсалес-Мегиас А., Джей-Роберт П., Маркес-Феррандо Р. Изменение климата и сдвиги высотных диапазонов: данные по навозным жукам в двух европейских горных хребтах. *Глобальная экология и биогеография*. 2014;23(6):646-657
3. Чжан Л., Ван Дж. Биоразнообразие гор, распространение видов и функционирование экосистем в меняющемся мире. *Разнообразие*. 2023;15(7):799
4. Перриго А., Хорн К., Антонелли А. Почему горы важны для биоразнообразия. *Журнал биогеографии*. 2019;47(10):1-11
5. Шпен Э., Рудманн-Маурер К. Влияние изменения климата на биоразнообразие горных районов Европы. В: *Дискуссионный документ Конвенции о сохранении европейской дикой природы и естественных мест обитания*, 6-9 декабря 2010 г. Старсбург, Франция: Совет Европы; 2010 г.
6. Берлин ГП. Некоторые мысли о горных лесах: их преимущества и устойчивость. *Журнал устойчивого лесного хозяйства*. 2023;42(10):961-966
7. Прайс М.Ф., Гратцер Г., Дугума Л.А., Колер Т., Маселли Д., Ромео Р. Горные леса в меняющемся мире — осознание ценностей, решение проблем. Рим: *ФАО/МПС и SDC*; 2011
8. Бенистон М. Изменение климата в горных регионах: обзор возможных последствий. В: Диас Х. Ф., редактор. *Изменчивость и изменение климата в высокогорных регионах: прошлое, настоящее и будущее. Достижения в исследовании глобальных изменений*. Том 15. Дордрехт: Springer; 2003. стр. 5-31
9. Бенистон М. Риски, связанные с изменением климата в горных регионах. В: Huber U, Bugmann H, Reasoner M, редакторы. *Глобальные изменения и горные регионы: обзор современных знаний*. Дордрехт, Нидерланды: Springer; 2005. стр. 511-520
10. Ребетес М., Рейнхард М. Ежемесячные тенденции температуры воздуха в Швейцарии 1901-2000 и 1975-2004 гг. *Теоретическая и прикладная климатология*. 2008;91:27-34
11. Рабочая группа Инициативы по исследованию гор EDW. Потепление, зависящее от высоты над уровнем моря, в горных регионах мира. *Nature Climate Change*. 2015;5:424-430
12. Ногуэс-Браво Д., Араужо М.Б., Эрреа М.П., Мартинес-Рика Х.П. Подверженность глобальных горных систем потеплению климата в 21 веке. *Глобальные изменения окружающей среды*. 2007;17(3-4):420-428

13. Steinbauer MJ, Grytnes JA, Jurasinski G, Kulonen A, Lenoir J, Pauli H и др. Ускоренное увеличение видового богатства растений на вершинах гор связано с потеплением. *Природа*. 2018;556(7700):231-234
14. Negi GCS, Samal PK, Kuniyal JC, Kothiyari BP, Sharma RK, Dhyani PP. Влияние изменения климата на горные экосистемы Западных Гималаев: обзор. *Тропическая экология*. 2012;53(3):345-356
15. Leemans R, Eickhout V. Еще одна причина для беспокойства: региональные и глобальные воздействия на экосистемы при разных уровнях изменения климата. *Глобальное изменение окружающей среды*. 2004;14(30):219-228
16. Клеланд Э.Э., Чуин И., Менцель А., Муни Х.А., Шварц М.Д. Изменение фенологии растений в ответ на глобальные изменения. *Тенденции в экологии и эволюции*. 2007;22(7):357-365
17. Пармезан К., Йохе Г. Глобально согласованный отпечаток последствий изменения климата в природных системах. *Природа*. 2003;421(6918):37-42
18. Чен И.К., Хилл Дж.К., Олемюллер Р., Рой Д.Б., Томас К.Д. Быстрые изменения ареалов видов, связанные с высокими уровнями потепления климата. *Наука*. 2011;333(6045):1024-1026
19. Виссер М. Э., Каро С. П., Ван Оерс К., Шапер С. В., Хельм Б. Фенология, сезонные сроки и цирканнуальные ритмы: на пути к единой структуре. *Философские труды Королевского общества Б: Биологические науки*. 2010;365(1555):3113-3127
20. Моза М.К., Бхатнагар А.К. Фенология и изменение климата. *Current Science*. 2005;89(2):243-244
21. Феррера Т.С., Пелиссаро Т.М., Эйзингер С.М., Риги Э.З., Буриол Г.А. Фенология местных видов деревьев в центральном регионе штата Риу-Грандедо-Сул/Бразилия. *Сьенсия Флорестал*. 2017 год;27(3):753-766
22. Соуза ИМ, Фанч Л.С. Синхронизация листопада и репродуктивных фенологических событий в Гименея Виды L. (Leguminosae, Caesalpinioideae): Роль фотопериода как триггера. *Бразильский журнал ботаники*. 2017;40:125-136
23. Сингх П., Неги GCS. Влияние изменения климата на фенологические реакции основных лесных деревьев Куманских Гималаев. *Бюллетень ENVIS Гималайская экология*. 2019;24:112-116
24. Хьюз Л. Биологические последствия глобального потепления: сигнал уже очевиден? *Тенденции в экологии и эволюции*. 2000;15(2):56-61
25. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК). Резюме для политиков. В: Metz B, Davidson OR, Bosch PR, редакторы. *Изменение климата 2007: смягчение последствий. Вклад Рабочей группы III в Четвертый оценочный доклад МГЭИК. Великобритания и США: Cambridge University Press; 2007*

26. Chapin FS, Randerson JT, McGuire AD, Foley JA, Field CB. Изменение обратных связей в системе климат–биосфера. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2008;6(6):313-320
27. Лесика П., Киттельсон П.М. Осадки и температура связаны с развитой фенологией цветения в ползасушливых лугах. *Журнал засушливых сред*. 2010;74(9):1013-1017
28. Вудс Т., Каз А., Джаам Х. Фенология в пресных водах: обзор и рекомендации для будущих исследований. *Экография*. 2022;2022(6):e05564
29. Шварц МД. Фенология зеленых волн. *Природа*. 1998;394(6696):839-840
30. Менцель А., Фабиан П. Вегетационный период в Европе продлевается. *Природа*. 1999;397(6721):659
31. Бобиен ЕС, Фрилленд НД. Тенденции весенней фенологии в Альберте, Канада: связи с температурой океана. *Международный журнал биометеорологии*. 2000;44(2):53-59
32. Спаркс Т., Менцель А., Стенсет Н. Европейское сотрудничество в области фенологии растений. *Исследования климата*. 2009;39:175-177
33. Peñuelas J, Filella I, Zhang XY, Llorens L, Ogaya R, Lloret F, et al. Сложные пространственно-временные фенологические сдвиги как реакция на изменения количества осадков. *New Phytologist*. 2004;161(3):837-846
34. Гаронна И., де Йонг Р., Шапман М.Е. Изменчивость и эволюция глобальной фенологии поверхности суши за последние три десятилетия (1982-2012 гг.). *Биология глобальных изменений*. 2016;22(4):1456-1468
35. Воронков Н.А. Экология общая, социальная, прикладная. Учебник для студентов высших учебных заведений. Пособие для учителей. - М.: Агар,- 2022.- С. 265 - 279.
36. Коробкин В.И., Передельский Л.В. Экология. Ростов н/Д,- 2020.- С. 354 - 373.
37. Эколого-экономические проблемы России и ее регионов. Учебное пособие для студентов экономических вузов. Под общей ред. Проф., д-ра геогр. Н. В.Г. Глушковой, доц., к. геогр. Н. А.Т. Шевченко - М.: Московский лицей, - 2022.- С. 98 - 102.
38. Никанорова А.М., Хоружая Т.А. Экология.- М.: «Издательство ПРИОР», - 2020.- С. 133 - 140.
39. Лебедева Н. В. Измерение и оценка биологического разнообразия. Ч. 2 / Н. В. Лебедев. – Ростов н/Д : УПЛ РГУ, 2022. – 41 с.
40. Миркин Б. М. Биологическое разнообразие: состояние и перспективы : [о биоразнообразии как важном и исчерпаемом ресурсе планеты] / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова // *Биология в шк.* – 2024. – № 8. – С. 14–19.
41. Гарицкая М. Ю. Экология растений, животных и микроорганизмов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / М. Ю. Гарицкая, А. А. Шайхутдинова, А. И. Байтелова. – Оренбург : ОГУ, 2016. – 346 с. – Режим доступа : <http://www.iprbookshop.ru/61425.html>.

42. География и мониторинг биоразнообразия // Сохранение биоразнообразия. – Минск. : НУМЦ, 2022. – 438 с.
43. Секретариат Конвенция о биологическом разнообразии, 2006: Глобальная перспектива в области биоразнообразия 2, Монреаль, 81 + vii с.
44. Секретариат Конвенция о биологическом разнообразии, 2010: Глобальная перспектива в области биоразнообразия 3. Монреаль, 94 с.
45. Кокорин А. О., Кураев С. Н., Юлкин М. А., 2019: Обзор доклада Николаса Стерна «Экономика изменения климата». Издание 2-ое, дополненное и переработанное. WWF, Strategic Programme Fund (SPF). М.: WWF России, 60 с.
46. Борщ С. В., Асарин А. Е., Болгов М. В., Полунин А. Я., 2022: Наводнения. В сб.: Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем, Москва, Росгидромет, с. 87-125.
47. Андреев А.В., 2021a.: Факторы вероятных будущих изменений (суб)природных экосистем в связи с изменением климата. В сб.: «Международное сотрудничество в адаптации к изменению климата водных ресурсов и экосистем Днестра», Кишинев, Эко-Тирас, сс. 8-20.
48. Израэль Ю.А., Семенов С.М., Анисимов О.А. и др. Четвертый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата: вклад Рабочей группы II // Метеорология и гидрология. – 2017. - №9. - С. 5-13.
49. Оленин С.М. Климатически обусловленная динамика радиального прироста сосны в ленточных борах Казахстана и ее прогноз / С.М. Оленин, В.С. Мазепа // Временные и пространственные изменения климата и годовые кольца деревьев. Часть 2. Каунас, 2016.- С. 53-62.
50. Совершенствование политики по обеспечению устойчивого управления лесами и землепользования. <https://www.thegef.org/project/sustainable-land-and-forestmanagement-greater-caucasuslandscape>
51. Анализ деятельности изменения климата в ЦА- chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclefindmkaj/<https://carececo.org/upload/27.pdf>
52. Официальный сайт meteoblue.com - https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/%D0%97%D0%B0%D0%B8%D0%BB%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9-%D0%90%D0%BB%D0%B0%D1%82%D0%B0%D1%83_%D0%9A%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%85%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD_1485564?utm_source

РЕЦЕНЗИЯ

На дипломную работу

Жалдыбаевой Алуа Талгатовны

6B05205 – Химическая и биохимическая инженерия

На тему: Оценка воздействия изменения климата на биоразнообразие горных экосистем Заилийского Алатау (Тянь-Шань)

Выполнено:

- а) графическая часть на 10 листах
- б) пояснительная записка на 83 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

Автором был проведён всесторонний анализ влияния климатических изменений на биологическое разнообразие горных экосистем, опираясь на современные научные подходы и методы исследования. В работе детально описаны физико-географические и климатические условия региона, выявлены ключевые климатические тренды и их последствия для флоры и фауны Заилийского Алатау.

Студентка применила убедительные методологические подходы, включая анализ климатических данных, спутниковый мониторинг и изучение фенологических изменений растений. Особое внимание уделено воздействию климатических изменений на эндемичные и реликтовые виды, а также на возможность миграции растительных сообществ и угрозу распространения инвазивных видов.

Практическая значимость работы выражается в предложенных мерах по адаптации природных экосистем к изменениям климата, таких как восстановление деградированных участков, развитие сети особо охраняемых природных территорий, введение экологического мониторинга и просветительских мероприятий.

Оценка работы

Дипломная работа имеет четкую структуру, логичное изложение материала и соответствует предъявляемым требованиям. Однако дополнение работы разделом, оценивающим экономическую эффективность предлагаемых мер, могло бы ещё больше повысить её значимость.

Работа Жалдыбаевой Алуа Талгатовны выполнена на высоком научном уровне, полностью соответствует требованиям и рекомендуется к защите.

Рецензент

Доктор биологических наук, профессор, декан факультета Биологии и биотехнологии КазНУ им. аль-Фараби

Курманбаева М.С.

2025 г.

« 09 » 06

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

На дипломную работу

Жалдыбаевой Алуа Талгатовны

6B05205 – Химическая и биохимическая инженерия

Тема: Оценка воздействия изменения климата на биоразнообразии горных экосистем Заилийского Алатау (Тянь-Шань)

Дипломная работа студентки Жалдыбаевой Алуа Талгатовны посвящена актуальной проблеме – оценке воздействия изменения климата на биоразнообразии горных экосистем Заилийского Алатау.

В ходе выполнения дипломной работы студентка показала глубокое владение методами климатического и экологического анализа, успешно применила методы спутникового мониторинга и моделирования климатических сценариев. Были детально исследованы текущие и прогнозируемые последствия изменения климата для биоразнообразия исследуемого региона.

Автор проявила самостоятельность и инициативу в сборе и обработке данных, продемонстрировала хорошие навыки аналитической работы. Полученные результаты содержат конкретные и обоснованные рекомендации по адаптации и устойчивому управлению горными экосистемами.

Дипломная работа грамотно структурирована, изложение материала чёткое и логичное. Полученные результаты и рекомендации имеют практическую ценность и могут быть использованы в работе природоохранных и управленческих структур.

Таким образом, дипломная работа студентки Жалдыбаевой Алуа Талгатовны выполнена на высоком уровне, отвечает всем требованиям и рекомендуется к защите.

Научный руководитель

Доктор биологических наук, доцент, профессор

Еликбаев Б.К.

« 09 » 06

2025 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Жалдыбаева Алуа Талгатовна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Оценка воздействия изменения климата на биоразнообразие горных экосистем Заилийского Алатау (Тянь-Шань)

Научный руководитель: Бакытжан Еликбаев

Коэффициент Подобия 1: 2.9

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 38

Знаки из других алфавитов: 1

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата

Жаф Сарсенбаев С.О. проверяющий эксперт

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Жалдыбаева Алуа Талгатовна

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Оценка воздействия изменения климата на биоразнообразие горных экосистем Заилийского Алатау (Тянь-Шань)

Научный руководитель: Бакытжан Еликбаев

Коэффициент Подобия 1: 2.9

Коэффициент Подобия 2: 1.1

Микропробелы: 38

Знаки из других алфавитов: 1

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата 4.06.2025 г.

Заведующий кафедрой КИП и ИТ
Кудесова И.Н. Куд