

# Климатология и метеорология

## Климатология және метеорология

### *Climatology and meteorology*

---

---

<https://doi.org/10.55764/2957-9856/2024-3-108-124.30>

МРНТИ 39.19.25, 39.01.11  
УДК 504.38

В. Г. Сальников<sup>1</sup>, С. Е. Полякова<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup> Д. г. н., профессор (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; [vitali.salnikov@kaznu.kz](mailto:vitali.salnikov@kaznu.kz))

<sup>\*2</sup> К. г. н., доцент (Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан; [svetlana.polyakova@kaznu.kz](mailto:svetlana.polyakova@kaznu.kz))

#### СОВРЕМЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АРЕАЛОВ ПРОИЗРАСТАНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНО ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

**Аннотация.** Рассмотрены климатические особенности ареалов произрастания потенциально лекарственных растений по данным 33 метеорологических станций с 1991 по 2023 г. Проведены статистический анализ и визуализация данных с помощью диаграмм размаха (boxplot). Выявлены сезонные и годовые тенденции изменения температуры воздуха и сумм осадков в ареалах произрастания лекарственных растений. Во всех ареалах во все сезоны года отмечается повышение температуры воздуха, лишь в ареалах Южный Казахстан и предгорная зона Иле Алатау осенью наблюдается слабое понижение температуры. В целом за год установлено повсеместное увеличение температуры на 0,29-0,62 °C/10 лет, отмечаются значимые тренды для весны и лета. Анализ временного хода месячных сумм осадков показал, что наблюдается разноплановое изменение осадков, все тренды незначимы, за исключением осени для ареала Центральный Казахстан. Изучение сезонных и годовых изменений основных метеорологических величин в зонах произрастания потенциальных лекарственных растений актуально как для понимания особенностей произрастания растений, так и для оптимизации процессов их выращивания, сбора и использования в медицинских целях. Метеорологические условия, такие, как температура воздуха и осадки, играют ключевую роль в формировании биологических характеристик лекарственных растений, их активных компонентов и терапевтических свойств.

**Ключевые слова:** изменения климата, температура воздуха, атмосферные осадки, ареалы произрастания, лекарственные растения.

**Введение.** Изменение климата – одна из наиболее значимых глобальных проблем современности, оказывающая существенное влияние на различные аспекты жизни на планете, включая здоровье экосистем, биоразнообразие, сельское хозяйство и здоровье человека. В последние десятилетия наблюдается устойчивая тенденция повышения среднегодовых температур, изменения режима осадков, а также увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений, таких, как засухи, наводнения и шторма. Эти изменения оказывают значительное влияние на природные экосистемы, включая ареалы произрастания лекарственных растений, которые играют важную роль как в поддержании биоразнообразия, так и в медицине.

По данным Всемирной метеорологической организации (ВМО) 2023 год стал самым теплым за всю историю наблюдений и побил многие установленные рекорды [1, 2].

Лекарственные растения, как и все живые представители биосферы, уязвимы к последствиям изменения климата [3, 4]. Климат влияет на растения, формируя их ареалы произрастания, жизненные циклы и общую биологическую продуктивность. Природные ареалы растений определяются условиями окружающей среды и экофизиологическим потенциалом вида. Для Казахстана разработан Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений [5], который требует уточнений с



Рисунок 1 – Родiola розовая (*Rhodiola rosea*) (БАО, июнь 2024 г., фото С. Е. Поляковой)

Figure 1 – *Rhodiola rosea* (BAL, June 2024, photo by S. Ye. Polyakova)

учетом современных климатических изменений. В настоящее время многие ценные лекарственные растения (рисунок 1) вошли в Перечень редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений [6], подвергаются стихийному сбору, в результате чего сокращается количество и площади естественных местообитаний, нарушается естественный баланс в сообществах, что приводит к деградации популяций [7].

Казахстан с его разнообразием климатических зон и богатым биоразнообразием особенно уязвим перед изменениями климата [8]. Степные, полупустынные и горные экосистемы, распространенные в республике, уже испытывают последствия изменения климата, что может привести к сокращению ареалов многих видов растений, включая те, которые имеют важное значение для традиционной и современной медицины. В условиях нарастающего воздействия климатических изменений на экосистемы страны исследование их влияния на лекарственные растения становится крайне актуальным и необходимым для разработки стратегий адаптации и устойчивого использования природных ресурсов.

За последние годы проведено множество исследований влияния изменения климата на лекарственные растения. Они опубликованы в высокорейтинговых научных журналах и охватывают широкий спектр вопросов, связанных с изменением ареалов произрастания, биохимического состава растений, их продуктивности и устойчивости к стрессовым условиям окружающей среды [9-11]. Исследования воздействия изменения климата на лекарственные растения проводились в Таиланде [12-14], Китае [15-18], Пакистане [19], Иране [20, 21], Африке [22], Кении [23], Индонезии [24], Бразилии [25].

Одно из ключевых направлений современных исследований – изучение влияния изменения температуры и осадков на ареалы произрастания лекарственных растений. Например, в статье [26] показано, что повышение температуры и изменение режима осадков могут существенно изменить ареалы произрастания многих видов растений, включая лекарственные. В частности, в ней отмечается, что некоторые виды, традиционно произрастающие в более прохладных регионах, могут начать мигрировать в более северные районы, тогда как виды, привыкшие к теплему климату, могут столкнуться с деградацией своих ареалов из-за засух и высоких температур.

Другим важным аспектом является влияние изменения климата на биохимический состав лекарственных растений. Исследования показывают, что изменения температуры и влажности могут существенно воздействовать на содержание активных веществ в растениях, что, в свою очередь, отражается на их лечебных свойствах. Например, в исследовании [27] установлено, что повышение температуры и изменение уровня осадков приводят к снижению концентрации активных компонентов в ряде лекарственных растений, что может уменьшить их эффективность в медицине.

Также заслуживает внимания исследование устойчивости лекарственных растений к экстремальным погодным условиям, таким, как засухи и наводнения, которые становятся все более частыми в условиях изменения климата. В статье [28] авторы отмечают, что многие лекарственные растения испытывают стрессовые состояния в условиях частых засух. Это приводит к снижению их продуктивности и качества. В то же время некоторые виды показывают высокую устойчивость

к таким условиям, что открывает возможности для селекции и культивирования более устойчивых сортов.

Важным направлением современных исследований является также разработка прогностических моделей, которые позволяют оценить будущее влияние изменения климата на лекарственные растения. Такие модели учитывают различные сценарии изменения климата и показывают как будут изменяться ареалы произрастания растений, их продуктивность и биохимический состав. Данные изучения воздействия изменения климата использовались для определения территорий, подходящих для сохранения *in situ* и *ex situ* [22, 29-31].

Таким образом, изменение климата оказывает комплексное и многогранное влияние на лекарственные растения. Эти изменения касаются не только ареалов произрастания и биохимического состава растений, но и их устойчивости к стрессовым условиям, взаимодействия с другими компонентами экосистем, а также социально-экономических аспектов их использования. В условиях Казахстана с его разнообразными климатическими зонами и богатым биоразнообразием исследование влияния изменения климата на лекарственные растения имеет особую актуальность.

Казахстан расположен в центре континента Евразия, страна находится на девятом месте по площади в мире и занимает территорию в 2 724,9 тыс. км<sup>2</sup>. Республика расположена в четырёх климатических зонах: лесостепной, степной, полупустынной, пустынной (рисунок 2). Каждая из них (таблица 1) характеризуется средними значениями самого холодного и самого теплого месяца в году, а также годовым количеством выпавших осадков [32]. Большую часть территории страны составляют пустыни (44 %) и полупустыни (14 %). Степи занимают 26 % площади, леса – 5,5 % и горы – 10 % [33].

Климат в республике большей частью резко континентальный. На юге температура летом достигает +51 °С, а на севере зимой может опуститься до минус 54 °С. При этом погода в пустыне часто изменчива и непостоянна – днём жарко, а ночью дуют северные ветры, которые приносят с собой холод. Среднегодовое количество осадков изменяется от 89 мм в пустынях до более 1000 мм в горах [34, 35].

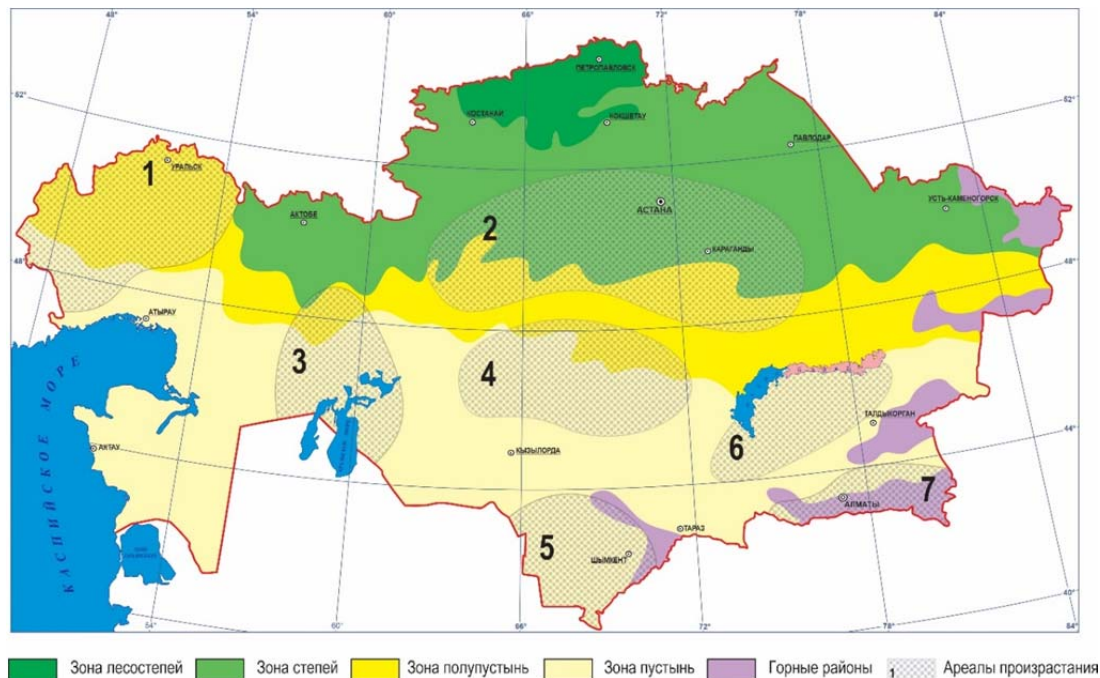


Рисунок 2 – Климатические зоны Казахстана с ареалами произрастания потенциально лекарственных растений: 1 – Западный Казахстан; 2 – Северный Казахстан; 3 – Приаралье; 4 – Центральный Казахстан; 5 – Южный Казахстан; 6 – Южное Прибалкашье; 7 – предгорная зона Иле-Алатау

Figure 2 – Climatic zones of Kazakhstan with areas of growth of potentially medicinal plants: 1 – Western Kazakhstan; 2 – Northern Kazakhstan; 3 – Aral Sea region; 4 – Central Kazakhstan; 5 – Southern Kazakhstan; 6 – Southern Balkhash region; 7 – Foothill zone of Ile-Alatau

Таблица 1 – Основные характеристики климатических зон Казахстана [32]

Table 1 – The main characteristics of the climatic zones of Kazakhstan [32]

Климатическая зона	Годовое количество осадков, мм	Средняя температура января, °С	Средняя температура июля, °С	Примечание
Лесостепная	320–360, около 80 выпадает за теплый период	–17 с возможными понижениями в отдельные дни до –42–48	20 с возможным повышением температуры в отдельные дни до 41	Зима продолжительная и холодная, а лето умеренно жаркое, но сравнительно непродолжительное
Степная	230–340, около 65–80 выпадает за теплый период	–15–19 с возможными понижениями в отдельные дни до –42–49 и даже до –54	19–23, нередко повышение температуры до 40–42	Менее продолжительная зима и более продолжительное жаркое лето
Полупустынная	134–330, около 55–70 выпадает за теплый период, но уже в меньшей степени, чем для степи	От –10 на западе и до –20 на востоке, возможны кратковременные понижения до –37 на западе и до –50 на востоке и повышения температуры до 10–15 тепла	21–25, нередко повышения температуры в отдельные дни до 40–45	Наблюдаются значительные различия в продолжительности лета и зимы на западе и востоке зоны. Если в западной части зима короче, чем на востоке, то лето наоборот
Пустынная	100–200, доля осадков холодного периода 30–54	–5–15, с возможным потеплением температуры до 15–25	24–28, нередко повышения температуры в отдельные дни до 45–48	Продолжительное жаркое лето, холодная зима

**Материалы и методы исследования.** Для анализа климатических условий, влияющих на произрастание перспективных лекарственных растений в Казахстане, использован комплексный подход. Основу исследования составили данные 33 метеорологических станций ([https://meteo.kazhydromet.kz/database\\_meteo/](https://meteo.kazhydromet.kz/database_meteo/)) с 1991 по 2023 г., охватывающие ареалы произрастания Западный Казахстан, Северный Казахстан, Приаралье, Центральный Казахстан, Южный Казахстан, Прибалкашье и предгорная зона Иле Алатау (таблица 2).

Таблица 2 – Метеорологические станции по ареалам произрастания лекарственных растений

Table 2 – Meteorological stations by areas of growth of medicinal plants

Ареал произрастания	Метеорологическая станция
Западный Казахстан	Уральск, Джамбейты, Джаныбек, Жалпактал
Северный Казахстан	Амангельды, Торгай, Егиндыколь, Аршалы, Родниковское, Кертинды, Бес-Оба, Аксу-Аюлы
Приаралье	Шалкар, Аяккум, Арал Тенизи, Казалы
Центральный Казахстан	Кзылжар, Жезказган, Кулжамбай, Жетыконур,
Южный Казахстан	Кызылкум, Арыс, Шымкент, Казыгурт
Прибалкашье	Матай, Аул №4, Уштобе, Баканас, Мойынкум
Предгорная зона Иле Алатау	Жаланаш, Большое Алматинское озеро, Кеген, Нарынкол

Исследование включало несколько ключевых этапов: сбор и валидацию данных, статистический анализ и визуализацию результатов. На первом этапе данные были стандартизированы и проверены на наличие ошибок и аномалий. После этого они были сгруппированы по зонам и сезонам для анализа специфики климатических условий. Основные статистические методы включали расчет средних значений, минимума и максимума, стандартного отклонения, коэффициента вариации, коэффициента асимметрии и коэффициента эксцесса. Эти показатели позволили выявить общие тенденции и оценить степень изменчивости климатических условий в различных регионах.

Важной частью методологического подхода была визуализация данных с помощью диаграмм размаха (boxplot). Эти диаграммы наглядно показывают особенности распределения данных, что позволило выявить медиану, квартильные значения и выбросы, а также оценить симметрию и степень разброса данных. Использование boxplot способствовало лучшему пониманию общих тенденций и разброса температур и осадков, а также их изменений в течение года. Этот метод оказался особенно полезным для сравнения климатических условий между различными регионами Казахстана, что важно для определения регионов с наиболее благоприятными или неблагоприятными условиями для произрастания лекарственных растений.

Тренды климатических показателей рассчитаны методом наименьших квадратов, что позволило определить долгосрочные изменения в температуре и осадках. Эти тренды могут быть использованы для прогнозирования возможных изменений климатических условий в будущем.

**Результаты и их обсуждение.** *Температурный режим* в Казахстане за последние десятилетия демонстрирует значительные изменения, которые оказывают глубокое влияние на экосистемы, в частности на ареалы произрастания лекарственных растений. Эти изменения носят как сезонный, так и региональный характер, отражая сложность и многообразие климатических условий в стране. В зимний период, особенно в северных и центральных ареалах, температуры остаются экстремально низкими, что является серьезным вызовом для выживания и роста многих видов растений. Средние зимние температуры в этих регионах могут достигать минус 15,5 °С, создавая условия, при которых только самые морозостойкие виды могут продолжать своё существование. Эти экстремальные холода не только замедляют метаболические процессы растений, но и увеличивают риск гибели многих видов, что снижает биоразнообразие и ограничивает ареалы произрастания. В то же время южные регионы Казахстана, такие, как Южный Казахстан и Приаралье, хотя и характеризуются более мягкими зимними условиями, тем не менее также сталкиваются с вызовами в виде волн холода, которые могут привести к значительному ущербу для растительности.

Лето в Казахстане характеризуется высокой стабильностью, однако средние температуры в этот период значительно выше, чем в другие сезоны. Например, в южных регионах летние температуры могут достигать 29,5 °С, что создает экстремальные условия для большинства видов растений, за исключением тех, которые адаптированы к таким условиям. Высокие летние температуры способствуют засухам, что в свою очередь негативно влияет на водный баланс в почвах, делая условия для роста растений ещё более суровыми. В таких условиях многие виды растений испытывают дефицит влаги, что снижает их продуктивность и замедляет рост. Это особенно критично для лекарственных растений, чья биологическая активность зависит от наличия достаточного количества влаги и благоприятных температурных условий.

Весенний и осенний периоды представляют собой переходные сезоны, когда температуры находятся на умеренном уровне, однако эти периоды также характеризуются значительной изменчивостью, что создает дополнительные сложности для растительности. Весной, когда растения начинают активный рост, любые отклонения от нормальных температурных значений могут существенно повлиять на их развитие. Например, заморозки могут погубить нежные побеги и цветы, что снизит урожайность и качество сырья. Осенью, когда растения готовятся к зиме, колебания температур также могут иметь серьезные последствия, так как они влияют на завершение жизненных циклов растений и их подготовку к зимнему покою. Например, более теплые осени могут продлить период вегетации, что в условиях внезапного наступления зимних холодов приводит к гибели неокрепших растений.

В целом температурный режим Казахстана демонстрирует устойчивую тенденцию к повышению среднегодовых температур, что является отражением глобальных климатических изменений. Эти изменения наиболее заметны в весенний и летний периоды, когда средние температуры достигают максимальных значений. Такое повышение температур приводит к сдвигу ареалов произрастания многих видов растений, включая лекарственные, что требует пересмотра агротехнических мероприятий и адаптации сельскохозяйственных практик к новым климатическим условиям. Например, растения, традиционно произрастающие в более прохладных регионах, могут начать вытесняться на север, где климат становится более благоприятным для их роста. В то же время южные регионы могут столкнуться с проблемами деградации почв из-за засух и высокой температуры, что снизит их продуктивность и ограничит возможности для культивирования многих видов растений.



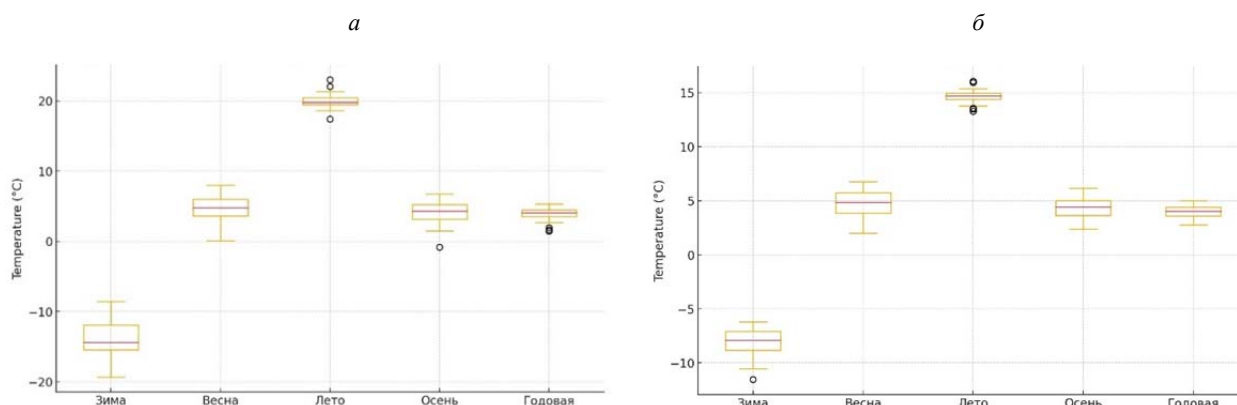


Рисунок 3 – Диаграмма размаха (boxplot) сезонного и годового распределения температуры воздуха для Северного Казахстана (а) и предгорной зоны Иле Алатау (б)

Figure 3 – Boxplot diagram of seasonal and annual air temperature distribution for Northern Kazakhstan (а) and the foothill zone of Ile Alatau (б)

В качестве примера на рисунке 3 приведена диаграмма размаха (Boxplot) сезонного и годового распределения температуры воздуха для Северного Казахстана и предгорной зоны Иле Алатау.

Для ареала Северный Казахстан анализ изменчивости и стабильности температур в разных сезонах и в течение года показал, что в зимний период температура имеет медиану около минус 14,2 °С. Основной диапазон температур варьируется от минус 17,6 до минус 11,3 °С. Летние температуры, как и в других ареалах, наиболее стабильны среди всех сезонов. Медиана составляет около 19,1 °С, а диапазон температур колеблется от 17,4 до 20,1 °С. Температура в переходные периоды имеет медиану около 3,7 °С и изменяется от 2,4 до 6,1 °С. Среднегодовая температура имеет медиану около 3,3 °С. Диапазон температур варьируется от 1,10 до 4,3 °С.

Анализ диаграммы размаха сезонного и годового распределения температуры воздуха в предгорной зоне Иле Алатау показывает, что зимняя температура имеет медиану около минус 8,3 °С. Основной диапазон температур колеблется от минус 10,5 до минус 6,8 °С. Весенняя температура имеет медиану около 3,4 °С. Температуры – от 2,3 до 4,1 °С, что демонстрирует умеренную изменчивость. Летняя температура наиболее стабильна среди всех сезонов. Медиана составляет около 14,5 °С, а температуры изменяются от 13,6 до 15,4 °С. Осенняя температура имеет медиану около 4,2 °С и варьируется от 3,0 до 5,3 °С. Среднегодовая температура имеет медиану около 3,7 °С. Диапазон температур – от 2,5 °С до 4,8 °С.

Наличие выбросов указывает на редкие экстремальные температуры, что может быть связано с аномальными погодными условиями. Отсутствие значительных выбросов говорит о том, что климат в регионе стабилен и редко испытывает экстремальные колебания.

*Режим осадков* в Казахстане играет ключевую роль в определении условий произрастания потенциально перспективных лекарственных растений, чьи ареалы тесно связаны с водным режимом и сезонной изменчивостью климатических параметров. За последние десятилетия изменения в количестве и распределении осадков оказали значительное влияние на экосистемы Казахстана, особенно на те регионы, которые являются основными зонами произрастания лекарственных растений.

Зимний период в Казахстане характеризуется относительно стабильными осадками в ареалах произрастания потенциально лекарственных растений, где они могут достигать 40-50 мм. Наибольшее количество зимних осадков отмечается в ареале Южный Казахстан (149 мм), а наименьшее – в Приаралье (29 мм). В ареалах с наибольшим количеством зимних осадков создаются благоприятные условия для накопления влаги в почвах. Эта влага играет решающую роль в успешном начале вегетационного периода весной, что особенно важно для лекарственных растений, чувствительных к водному балансу.

Весенний период, характеризующийся незначительным увеличением осадков (10-15 мм), особенно важен для лекарственных растений, так как именно в это время они начинают активный рост. Исключение составляет предгорная зона Иле Алатау, которая получает наибольшее количество осадков в этот период – до 173 мм.

Летний период, когда осадки в ареалах Центральный и Южный Казахстан, Приаралье, Южное Прибалкашье остаются на крайне низком уровне и не превышают 40 мм, представляет собой наиболее сложное время для произрастания лекарственных растений. В остальных ареалах наблюдается небольшой рост осадков. В предгорной зоне Иле Алатау условия более благоприятные для произрастания лекарственных растений, здесь отмечается годовой максимум осадков, который составляет 214 мм.

Осенний период, характеризующийся умеренным количеством осадков (50-80 мм), также играет важную роль в жизненном цикле лекарственных растений. В предгорных районах осадки осенью могут достигать 107 мм, что способствует накоплению влаги в почвах перед зимним сезоном. В ареалах Центральный Казахстан и Приаралье отмечается наименьшее осеннее количество осадков (26-32 мм).

Региональные особенности режима осадков оказывают решающее влияние на распределение и продуктивность лекарственных растений в Казахстане.

На рисунке 4 приведена диаграмма размаха (boxplot) сезонного и годового распределения осадков для Северного Казахстана и Предгорной зоны Иле Алатау.

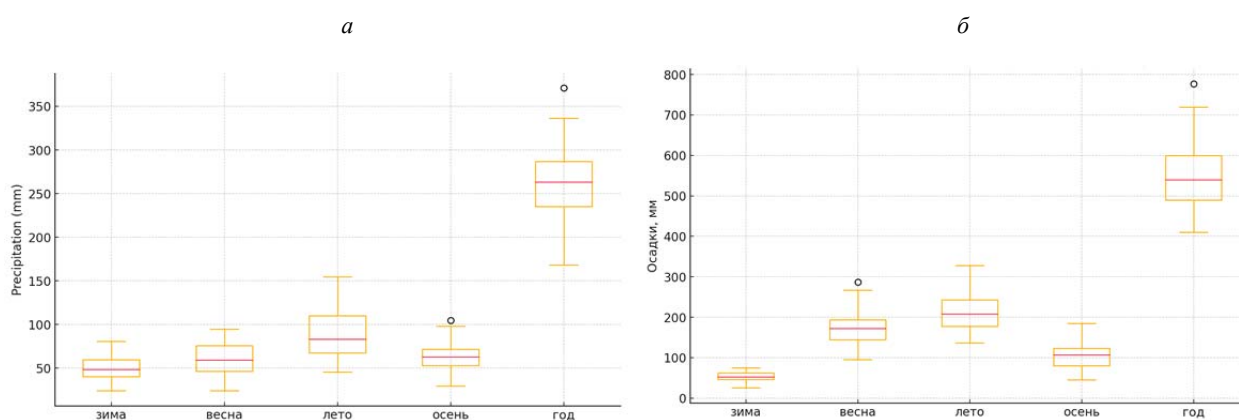


Рисунок 4 – Диаграмма размаха (boxplot) сезонного и годового распределения осадков для: *a* – Северного Казахстана и *б* – предгорной зоны Иле Алатау

Figure 4 is a boxplot diagram of the seasonal and annual precipitation distribution for: *a* – Northern Kazakhstan, *b* – the Foothill zone of Ile Alatau

В ареале Северный Казахстан зимой среднее количество осадков (медиана) 51 мм. Межквартильный размах (IQR) составляет примерно от 40 до 60 мм. Это означает, что 50 % зимних осадков попадают в этот диапазон. Некоторые значения выходят за пределы IQR, что может указывать на наличие выбросов (аномально высокие или низкие значения). Медиана весенних осадков составляет около 60 мм. IQR весной примерно от 50 до 70 мм. Также присутствуют выбросы, указывающие на годы с аномальными значениями осадков. Медиана летних осадков значительно выше и составляет около 90 мм. IQR летом варьируется от 70 до 120 мм, что показывает более высокий уровень осадков и больший разброс значений. Летние осадки имеют более выраженные выбросы, что может свидетельствовать о наличии экстремальных лет с очень высокими осадками. Медиана осенних осадков также около 50 мм. IQR осенью колеблется от 40 до 70 мм. Выбросы осенних осадков указывают на значительную вариативность в разные годы. Медиана годовых осадков составляет 262 мм. IQR годовых осадков варьируется от 200 до 300 мм. Годовые осадки также имеют выбросы, что может указывать на годы с экстремальными погодными условиями.

В предгорной зоне Иле Алатау зимой осадки (54 мм) имеют более узкий разброс по сравнению с другими сезонами. Весной и летом осадки имеют значительные колебания (173-214 мм), что можно видеть по широкой коробке и выбросам. Осенние осадки (107 мм) также варьируются, но имеют меньше выбросов по сравнению с весной и летом. Годовая сумма осадков (547 мм) имеет самый широкий разброс, отражая значительные годовые колебания осадков.

Таблица 3 – Коэффициент линейного тренда температуры воздуха и осадков по сезонам и за год для ареалов произрастания потенциально лекарственных растений

Table 3 – Coefficient of linear trend of air temperature and precipitation by season and per year for areas of growth of potentially medicinal plants

Зона произрастания	Температура воздуха, °C/10 лет					Количество осадков, мм/10 лет				
	Зима	Весна	Лето	Осень	Год	Зима	Весна	Лето	Осень	Год
Западный Казахстан	0,36	0,72	0,81	0,45	0,59	1,45	4,92	-10,2	2,15	-1,72
Северный Казахстан	0,12	0,90	0,25	0,10	0,34	-2,54	-0,61	-6,28	2,45	-6,97
Приаралье	0,40	1,29	0,64	0,17	0,62	1,74	-0,70	-2,71	0,17	-1,50
Центральный Казахстан	0,24	1,13	0,36	0,04	0,44	1,43	3,90	-2,19	5,89	9,03
Южный Казахстан	0,70	0,86	0,29	-0,07	0,44	-6,24	0,54	-2,63	4,85	-3,47
Южное Прибалкашье	0,59	1,13	0,37	0,25	0,58	0,29	3,82	-3,52	0,14	1,00
Предгорная зона Иле Алатау	0,09	0,84	0,36	-0,13	0,29	-1,89	2,62	-13,97	8,08	-5,15

Изучение изменения температуры воздуха и количества осадков (таблица 3) для ареалов произрастания потенциально лекарственных растений за период 1991-2023 гг. позволило сделать следующие выводы:

1. Во всех ареалах произрастания потенциально лекарственных растений во все сезоны года отмечается повышение температуры воздуха, лишь в ареалах Южный Казахстан и предгорная зона Иле Алатау осенью наблюдается слабое понижение температуры.

2. Зимой наибольшие скорости повышения температуры в ареалах Южное Прибалкашье и Южный Казахстан (соответственно 0,59 и 0,70 °C/10 лет). Наименьшие скорости роста отмечаются в предгорной зоне Иле Алатау (0,09 °C/10 лет) и в ареале Северный Казахстан (0,12 °C/10 лет). Тренды незначимы.

3. Весной скорость роста сезонной температуры во всех зонах произрастания максимальная и составляет 0,72-1,29 °C/10 лет. Все тренды значимы. Наибольшие изменения сезонной температуры приходятся на ареалы Южное Прибалкашье, Центральный Казахстан и Приаралье (1,13-1,29 °C/10 лет). В летний период скорость роста температуры во всех ареалах замедляется – 0,25-0,81 °C/10 лет. Тренды изменения температуры во всех зонах произрастания значимы, за исключением ареалов Северный и Южный Казахстан. Осенью тенденция повсеместно сохраняется, наблюдается незначительное повышение температуры (0,04-0,45 °C/10 лет). Исключение составляют ареалы Южный Казахстан и предгорная зона Иле Алатау, где температура понижается на 0,06-0,12 °C/10 лет. Тренды незначимы, за исключением ареала Северный Казахстан. В целом за год температура повсеместно увеличивается на 0,29-0,62 °C/10 лет. Значимые тренды наблюдаются в следующих ареалах: Западный Казахстан, Приаралье, Южное Прибалкашье, предгорная зона Иле Алатау.

Анализ временного хода месячных сумм осадков показал, что для зимы имеются равновероятные ареалы увеличения и уменьшения осадков. Незначительное увеличение осадков отмечается в зонах Южного Прибалкашья (0,29 мм/10 лет), Центрального и Западного Казахстана (1,43 и 1,45 мм/10 лет соответственно) и в Приаралье (1,74 мм/10 лет). Уменьшение количества осадков происходит более интенсивно в предгорной зоне Иле Алатау (1,89 мм/10 лет), Северном (2,54 мм/10 лет) и Южном Казахстане (6,24 мм/10 лет). Весной преобладает повышение величины осадков на 0,54-4,92 мм/10 лет. Однако для ареалов Северный Казахстан и Приаралье отмечается уменьшение количества осадков на 0,61 и 0,70 мм/10 лет соответственно. Летом повсеместно количество осадков уменьшается со скоростью 2,19-13,97 мм/10 лет. Наиболее подвержены ареалы предгорная зона Иле Алатау, Западный и Северный Казахстан. Для осени характерна противоположная тенденция лету – повсеместное увеличение осадков со скоростью 0,14-8,08 мм/10 лет. Наибольшие скорости отмечаются в предгорной зоне Иле Алатау, Центральном и Южном Казахстане. Анализ показывает, что для ареалов характерно уменьшение годовых сумм осадков (1,50-6,97 мм/10 лет). Лишь в Южном Прибалкашье и Центральном Казахстане отмечается увеличение осадков на 1,00 и 9,03 мм/10 лет соответственно. Все тренды незначимы, за исключением осени для ареала Центральный Казахстан.

Также проведен пространственно-временной анализ изменения температуры воздуха и сумм осадков по сезонам и для года в целом за период 1991-2023 гг. для изучения ареалов произрастания лекарственных растений (рисунки 5-8).



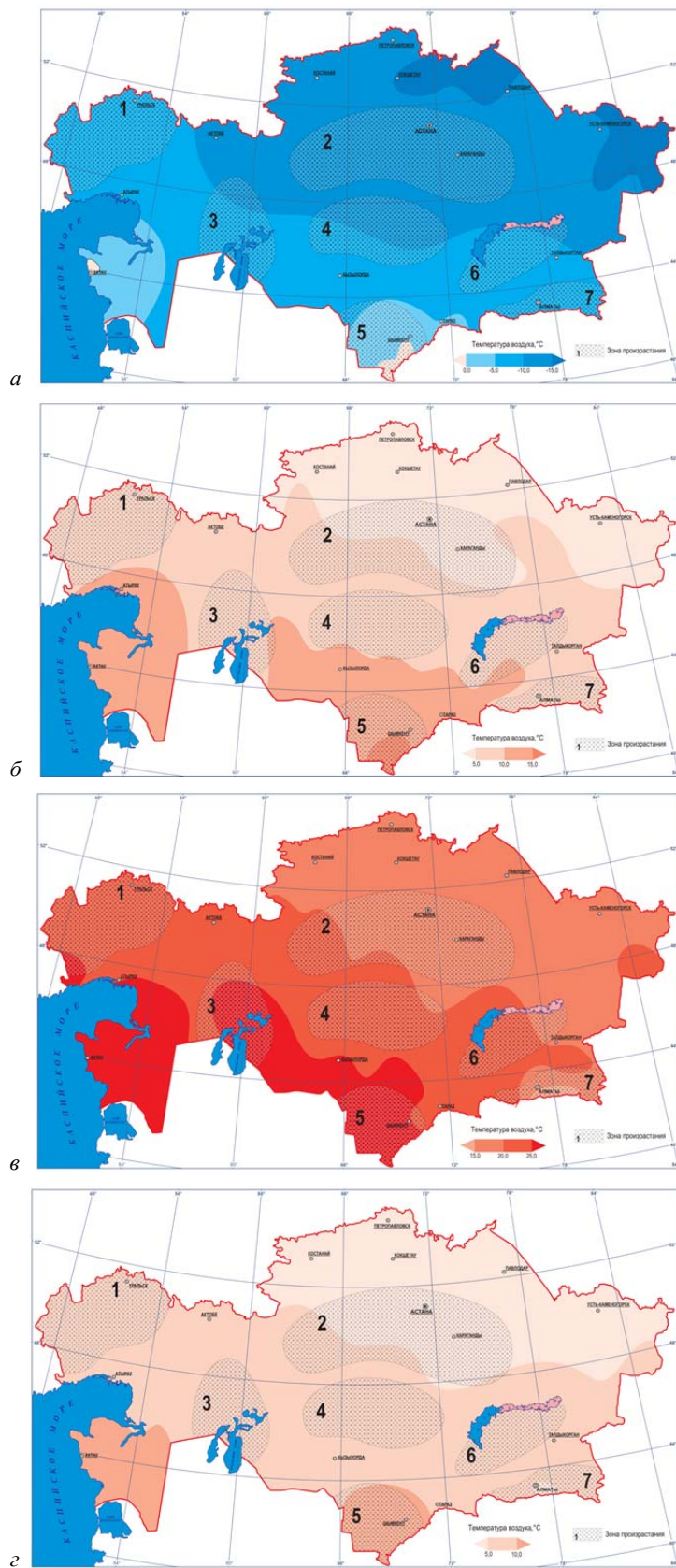


Рисунок 5 – Распределение средней сезонной температуры воздуха по ареалам произрастания лекарственных растений:

*a* – зима, *б* – весна, *в* – лето, *г* – осень

Figure 5 – Distribution of the average seasonal air temperature by areas of growth of medicinal plants:

*a* – winter, *b* – spring, *c* – summer, *d* – autumn

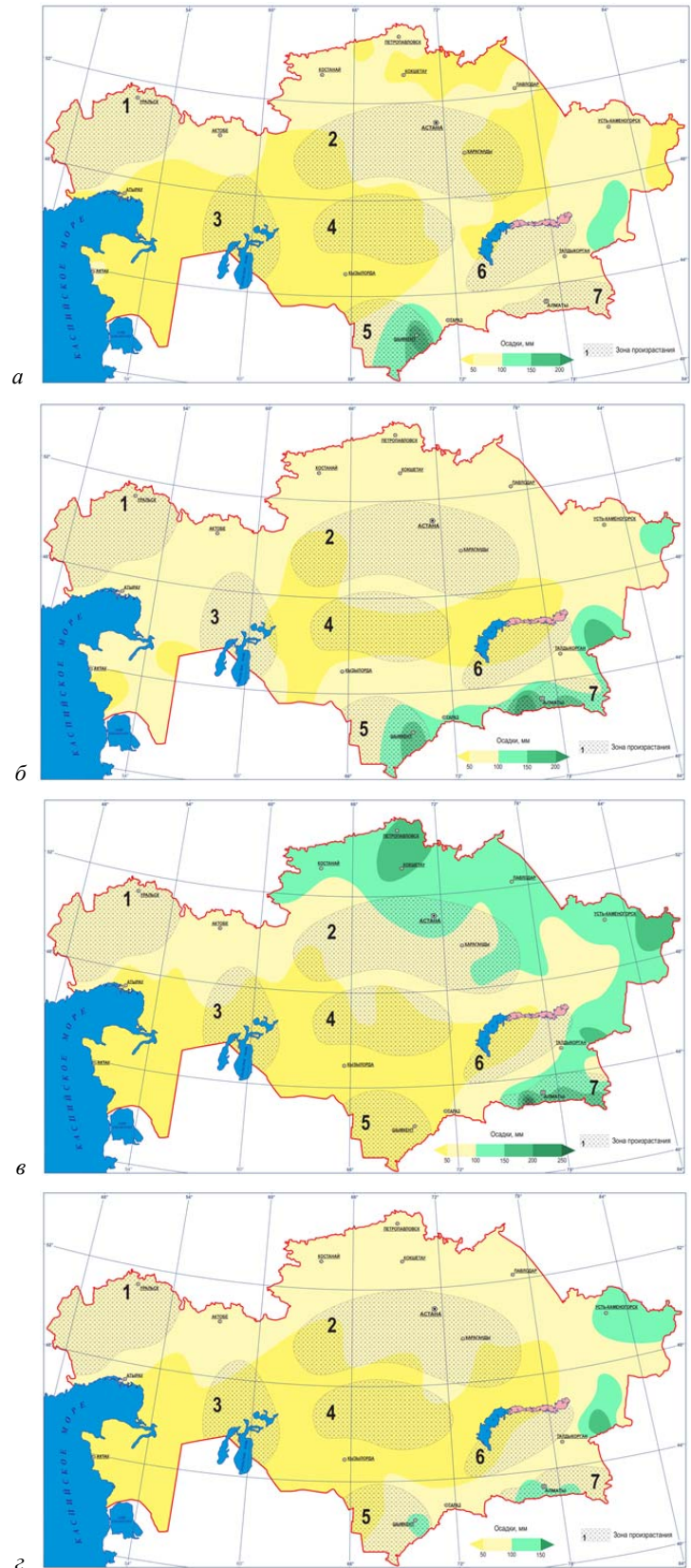


Рисунок 6 – Распределение сезонных осадков по ареалам произрастания лекарственных растений:

*a* – зима, *б* – весна, *в* – лето, *г* – осень

Figure 6 – Distribution of seasonal precipitation by areas of growth of medicinal plants:

*a* – winter, *b* – spring, *c* – summer, *d* – autumn

*Зима.* Для всех исследуемых ареалов характерна отрицательная среднесезонная температура воздуха, за исключением Южного Казахстана. Здесь в юго-восточной части отмечаются положительные температуры воздуха, не превышающие за сезон  $3,7^{\circ}\text{C}$  (2016 г.), а на северо-западе наблюдаются минимальные значения (до минус  $6,7^{\circ}\text{C}$  в 2008 г.). Среднесезонная температура минус  $0,3^{\circ}\text{C}$  (см. рисунок 5, а). В ареале Южный Казахстан выпадает максимальное количество осадков (более 200 мм) за зиму по всей территории Казахстана, очаг расположен на юго-востоке ареала (см. рисунок 6, а), средняя сезонная сумма составила 146 мм (экстремальные: 2021 г. – 73 мм, 2005 г. – 246 мм).

Для ареала Западный Казахстан диапазон изменения температуры от минус  $12,4^{\circ}\text{C}$  (1996 г.) до минус  $2,7^{\circ}\text{C}$  (2020 г.). Среднесезонная температура минус  $8,4^{\circ}\text{C}$  за период исследования. Сумма осадков за сезон в среднем 64 мм, наименьшая 26 мм отмечалась зимой 2008/09 г., а наибольшая 97 мм – зимой 2015/16 г.

Аналогичная ситуация отмечается в предгорной зоне Иле Алатау, где средняя температура за зиму составляет минус  $8,0^{\circ}\text{C}$ . Наименьшее значение зафиксировано зимой 2007/08 г. и составило минус  $11,5^{\circ}\text{C}$ , а зима 2008/09 г. была теплой за период 1991-2023 гг. (минус  $6,2^{\circ}\text{C}$ ). В среднем за сезон выпадает 53 мм (максимум осадков отмечался в 1999 г. и составил 75 мм, минимум – в 2007 г. – 26 мм).

Наибольший размах температур отмечается в Южном Прибалкашье, Приаралье и Центральном Казахстане. Зимой 2011/12 гг. зафиксированы наименьшие отрицательные температуры, диапазон изменения составил от минус  $13,6$  до минус  $18,1^{\circ}\text{C}$ . Теплой была зима 2021/22 гг. – минус  $2,8^{\circ}\text{C}$ , а в ареале Центральный Казахстан 2001-2002 г. – минус  $5,6^{\circ}\text{C}$ . Средняя температура воздуха за зиму для рассматриваемых ареалов колебалась от минус  $8,3$  до минус  $11,8^{\circ}\text{C}$ .

В Приаралье и Центральном Казахстане сезонная сумма составляет 35-39 мм соответственно, а в Южном Прибалкашье и Северном Казахстане – 52 мм. Малое количество осадков выпадало зимой 2011/12 г. (11-25 мм). В ареале Северный Казахстан среднесезонная температура составила минус  $13,6^{\circ}\text{C}$  с экстремумами минус  $19,3^{\circ}\text{C}$  (зима 2011/12 г.) и минус  $8,6^{\circ}\text{C}$  (2001/02 г.).

*Лето.* Самые высокие средние сезонные температуры воздуха ( $25,6$ - $26,8^{\circ}\text{C}$ ) отмечаются в Приаралье и ареале Южный Казахстан, а самые низкие ( $14,7^{\circ}\text{C}$ ) – в предгорной зоне Иле Алатау. Наивысшие значения приходятся на последние три года: 2021 г. –  $27,9^{\circ}\text{C}$  в Приаралье и 2023 г. –  $28,5^{\circ}\text{C}$  в Южном Казахстане и  $16,1^{\circ}\text{C}$  в предгорной зоне Иле Алатау (см. рисунок 5, в).

Для южной части Казахстана характерно малое количество осадков. Так, сумма летних осадков в Приаралье, Южном и Центральном Казахстане и Прибалкашье не превышает 50 мм. В последнее десятилетие отмечается минимальная сезонная сумма осадков 4-9 мм, максимальная не превышает 100 мм и наблюдалась с 1999 по 2016 г. (см. рисунок 6, в). В предгорной зоне Иле Алатау установлено максимальное среднее сезонное количество осадков (214 мм) по Казахстану, предельное значение 328 мм в 2003 г.

Для Западного и Центрального Казахстана, а также для Южного Прибалкашья сезонная температура в среднем составляет  $23,2$ - $24,3^{\circ}\text{C}$ . Максимальные значения приходятся на последнее десятилетие ( $25,5$ - $27,2^{\circ}\text{C}$ ), минимальные отмечаются в период 1992-2003 гг. и составляют  $19,7$ - $22,9^{\circ}\text{C}$ . Сезонное количество осадков для ареала Западный Казахстан в среднем равно 74 мм. Наибольшая летняя сумма составила 186 мм в 1993 г., а наименьшая – 25 мм в 2010 г.

В ареале Северный Казахстан летняя температура равна  $20,0^{\circ}\text{C}$ , однако экстремальные значения  $17,4^{\circ}\text{C}$  (1992 г.) и  $23,0^{\circ}\text{C}$  (1998 г.) пришлись на конец XX века. Среднее количество осадков летом равно 89 мм, экстремальные суммы несколько ниже, чем в Западном Казахстане (154 мм зафиксировано в 2013 г., 45 мм – в 1997 г.).

*Весна и осень.* В переходные периоды года для 5 ареалов (Западный и Центральный Казахстан, Приаралье, Прибалкашье и предгорная зона Иле Алатау) произрастания лекарственных растений характерна средняя сезонная температура от  $4,4$ - $4,7^{\circ}\text{C}$  в предгорной зоне до  $6,7$ - $10,9^{\circ}\text{C}$  на остальной территории. Весной температура на 8-19 % выше, чем осенью (см. рисунок 5, б, з). Наибольшие сезонные температуры наблюдались как весной ( $11,6$ - $13,7^{\circ}\text{C}$ ), так и осенью ( $6,1$ - $11,5^{\circ}\text{C}$ ) в 2023 г., исключение составляет весна предгорной зоны Иле Алатау и Центрального Казахстана ( $6,8$  и  $11,6^{\circ}\text{C}$  в 2008 г.), а также Южного Прибалкашья ( $13,7^{\circ}\text{C}$  в 2022 г.). Наименьшие сезонные температуры ( $2,0$ - $7,6^{\circ}\text{C}$ ) отмечались в 90-х годах XX века.



Малое количество сезонных осадков характерно для зон, расположенных в Центральном Казахстане. Здесь среднее значение около 50 мм, чуть больше (73-78 мм) на территории Западного Казахстана, причем весной осадков на 10-35 % больше, чем осенью (см. рисунок 6, б, з). Наименьшие сезонные осадки (35-50 мм) выпали осенью 2005 г. в Приаралье, Прибалкашье и Центральном Казахстане, наибольшие – осенью 2023 г. (137 мм – Западный Казахстан) и весной 2016 г. (125 мм – Западный Казахстан; 104 мм – Прибалкашье).

К югу сезонные температуры возрастают, а к северу падают. Так, в Южном Казахстане сезонная температура колеблется от 12,8 °С осенью до 14,3 °С весной, причем экстремумы имеют аналогичную изменчивость: диапазон минимальных сезонных температур воздуха 9,7-11,8 °С (2016 и 2017 гг. соответственно), максимальных 14,8-17,0 °С (2023 и 2008 гг. соответственно).

В ареалах Южный Казахстан и предгорная зона Иле Алатау сезонные осадки возрастают от 72-107 мм осенью до 138-173 мм весной. Экстремальным для Южного Казахстана являлся 2002 г., когда весной отмечался максимум сезонных осадков (240 мм) и минимум осенних осадков (11 мм). В предгорной зоне Иле Алатау максимальное сезонное количество осадков (286 мм) зафиксировано весной 2016 г., минимальное 45 мм – осенью 1997 г.

В ареале Северный Казахстан среднесезонная температура составляет 4,1 °С осенью и 4,9 °С весной. Максимальные сезонные значения приходятся на весну 2008 г. (8,0 °С) и осень 2023 г. (6,7 °С), минимальные – на весну 1996 г. (0,1 °С) и осень 1993 г. (минус 0,8 °С). Средние сезонные осадки практически одинаковые: весной – 61 мм, осенью – 63 мм. Максимальные значения достигали 105 мм осенью 2001 г., а минимальные – 24 мм весной 1991 г.

*Год.* Среднегодовая температура воздуха повторяет характер изменения весной и осенью. Для 5 ареалов, расположенных в центральном поясе, средняя за год температура воздуха положительная и изменяется от 4,0 °С в предгорной зоне Иле Алатау до 8,7-8,9 °С в Приаралье и Прибалкашье. Для Северного Казахстана температура уменьшается до 3,9 °С, а для ареала Южный Казахстан возрастает до 13,4 °С. Годовые максимальные значения температуры воздуха зафиксированы в 2023 г. (5,0-14,9 °С), а минимальные – в 1993 г. (1,4-11,3 °С) для всех ареалов произрастания потенциально лекарственных растений (см. рисунок 7).

Минимальные годовые суммы осадков отмечаются в Приаралье и Центральном Казахстане и составляют 146 и 152 мм соответственно. Наибольшее количество зафиксировано в предгорной зоне – 546 мм (см. рисунок 8). Для ареалов произрастания потенциально лекарственных растений

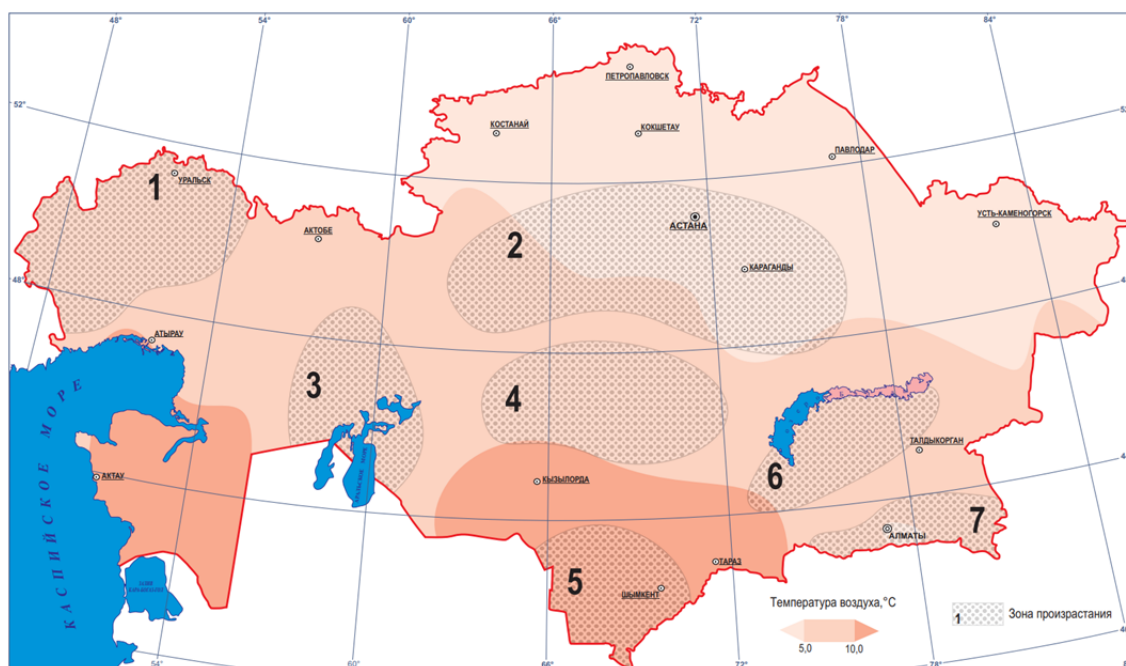


Рисунок 7 – Распределение средней годовой температуры воздуха по зонам произрастания лекарственных растений

Figure 7 – Distribution of the average annual air temperature by zones of growing of medicinal plants

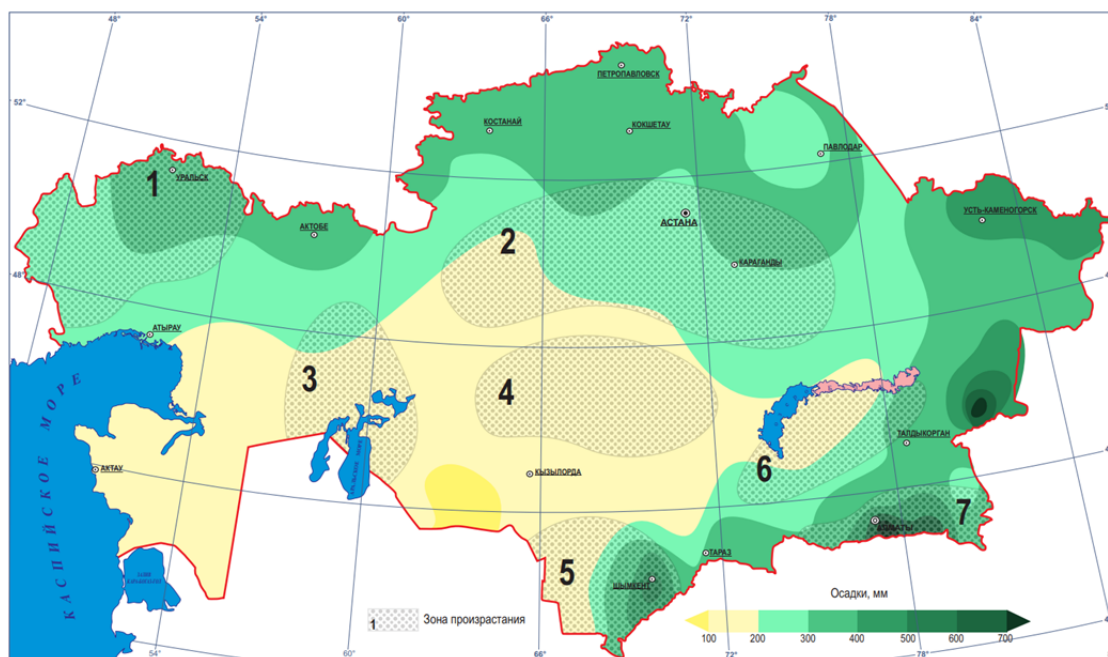


Рисунок 8 – Распределение годовых осадков по зонам произрастания лекарственных растений  
 Figure 8 – Distribution of annual precipitation by zones of growing of medicinal plants

осадки теплого периода (апрель-октябрь) преобладают над осадками холодного периода (ноябрь-март), исключение составляет ареал Южный Казахстан. Максимальные годовые суммы осадков (331-777 мм – Прибалкашье, Западный Казахстан и предгорная зона Иле Алатау) зафиксированы в 2016 г.; для Приаралья и Южного Казахстана – в 2003 г., сумма осадков составила 255-549 мм. Наименьшие годовые суммы осадков наблюдались повсеместно до 2000 г. (81-192 мм).

Таким образом, пространственное распределение температуры воздуха и осадков является ключевым фактором в агрономии лекарственных растений, влияя на все аспекты их выращивания, от выбора места до качества конечного продукта.

**Заключение.** Одной из особенностей климата Казахстана является его значительное разнообразие, обусловленное географическим положением. Республика расположена на стыке нескольких крупных климатических зон, что определяет широкий спектр погодных условий. Такое разнообразие создает уникальные условия для произрастания различных видов растений, каждый из которых адаптирован к специфическим климатическим условиям своей зоны.

В ходе исследования установлено, что ареалы Южное Прибалкашье, Южный и Центральный Казахстан, характеризующиеся теплыми и засушливыми условиями, являются идеальными для произрастания растений, богатых эфирными маслами, алкалоидами и другими летучими соединениями. В предгорной зоне Иле Алатау создаются благоприятные условия для произрастания растений, богатых фенольными соединениями, флавоноидами и другими антиоксидантами.

Выводы исследования подчеркивают важность учета региональных климатических особенностей при сборе и культивировании лекарственных растений. Например, растения, произрастающие в южных регионах страны, могут быть более чувствительными к изменениям температуры и режиму осадков, что требует особого подхода к их культивированию и обработке. В то же время растения, произрастающие в горных районах, могут иметь более устойчивую структуру и химический состав, что делает их более пригодными для использования в условиях изменяющегося климата.

Климатические условия Казахстана представляют собой один из наиболее значимых факторов, влияющих на ареалы произрастания потенциально лекарственных растений, а также на их биологические особенности, продуктивность и химический состав. Исследование, проведенное в различных климатических зонах Казахстана, позволило выделить особенности, которые необходимо учитывать при сборе и культивировании лекарственных растений, а также при разработке стратегий их устойчивого использования в медицине и фармакологии.

**Финансирование.** Исследование проводилось в рамках программы BR21882180 «Разработка программы сохранения и развития ресурсной базы перспективных для медицины и ветеринарии растений Казахстана в условиях изменяющегося климата».

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] WMO: Climate change indicators reached record levels in 2023 [Электронный ресурс]. – 2024. – URL: <https://wmo.int/ru/media/news/wmo-pokazateli-izmeneniya-klimata-dostigli-rekordnykh-urovney-v-2023-godu> (дата обращения: 04.07.2024).
- [2] Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. – P. 35-115. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- [3] El Gendy A.N.G., Fouad R., Omer E.A., Cock I.E. Effects of Climate Change on Medicinal Plants and Their Active Constituents. In: Hasanuzzaman, M. (eds) Climate-Resilient Agriculture, Vol 1. – Springer, Cham, 2023. – P. 125-156. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-37424-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-37424-1_6)
- [4] Hounsou K. E., Sonibare M. A., Elufioye T. O. Climate change and the future of medicinal plants research // Bioactive Compounds in Health and Disease. – 2024. – Vol. 7(3). – P. 152-169. <https://doi.org/10.31989/bchd.v7i3.1310>
- [5] Атлас ареалов и ресурсов лекарственных растений Казахстана / Под науч. ред. М. К. Кукунова. – Алматы: Гылым, 1994. – 168 с.
- [6] Перечень редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений. Утвержден Постановлением Правительства Республики Казахстан от 31 октября 2006 года, № 1034 [Электрон. ресурс]. – 2006. – URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/forest/press/article/details/105771?lang=ru> (дата обращения: 04.07.2024).
- [7] Kubentayev S. A., Zhumagul M. Zh., Kurmanbayeva M. S., Alibekov D. T., Kotukhov J. A., Sitpayeva G. T., Mukhtubayeva S. K., Izbastina K. S. Current state of populations of *Rhodiola rosea* L. (Crassulaceae) in East Kazakhstan // Botanical Studies. – 2021. – Vol. 62, No. 1. – P. 1-20. doi: 10.1186/s40529-021-00327-4
- [8] Закон Республики Казахстан «О растительном мире» от 2 января 2023 года, № 183-VII ЗПК.
- [9] Terletsкая N. V., Turzhanova A. S., Khapilina O. N., Zhumagul M. Z., Meduntseva N. D., Kudrina N. O., Korbozova N. K., Kubentayev S. A., Kalendar R. Genetic Diversity in Natural Populations of *Rhodiola* Species of Different Adaptation Strategies // Genes. – 2023. – Vol. 14: 794. <https://doi.org/10.3390/genes14040794>
- [10] Terletsкая N. V., Korbozova N. K., Kudrina N. O., Kobylina T. N., Kurmanbayeva M. S., Meduntseva N. D., Tolstikova T. G. The Influence of Abiotic Stress Factors on the Morphophysiological and Phytochemical Aspects of the Acclimation of the Plant *Rhodiola semenovii* Boriss // Plants. – 2021. – Vol. 10, issue 6: 1196. <https://doi.org/10.3390/plants10061196>
- [11] Terletsкая N. V., Korbozova N. K., Grazhdannikov A. E., Seitimova G. A., Meduntseva N. D., Kudrina N. O. Accumulation of Secondary Metabolites of *Rhodiola semenovii* Boriss. In Situ in the Dynamics of Growth and Development // Metabolites. – 2022. – Vol. 12: 622. <https://doi.org/10.3390/metabo12070622>
- [12] Trisurat Y., Shrestha R.P., Kjelgren R. Plant species vulnerability to climate change in Peninsular Thailand // Applied Geography. – 2011. – Vol. 31, issue 3. – P. 1106-1114. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.02.007>
- [13] Tangjitman K., Trisonthi C., Wongsawad C., Jitaree S., Svenning J.C. Potential impact of climatic change on medicinal plants used in the Karen women's health care in Northern Thailand // Songklanakarin Journal of Science and Technology. – 2015. – Vol. 37, issue 3. – P. 369-379.
- [14] Trisurat, Y., Sutummawong, N., Roehrdanz, P.R., Chitechote, A. Climate Change Impacts on Species Composition and Floristic Regions in Thailand // MDPI Diversity. – 2023. – Vol.15, issue 10: 1087 <https://doi.org/10.3390/d15101087>
- [15] Yi Y., Cheng X., Yang Z., Zhang S. Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. Riparia* Lour) in Yunnan, China // Ecological Engineering. – 2016. – Vol. 92. – P. 260-269. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.04.010>
- [16] Fang Q., Yue Z., Zhang S., Wang G., Xue B., Guo Z. Effects of Climatic Disturbance on the Trade-Off between the Vegetation Pattern and Water Balance Based on a Novel Model and Accurately Remotely Sensed Data in a Semiarid Basin // MDPI Remote Sensing. – 2024. – Vol. 16, issue 12: 2132. <https://doi.org/10.3390/rs16122132>
- [17] Wei B., Wang R., Hou K., Wang X., Wu W. Predicting the current and future cultivation regions of *Carthamus tinctorius* L. using MaxEnt model under climate change in China // Global Ecology and Conservation. – 2018. – Vol. 16, e00477. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00477>
- [18] Feng G., Xiong Y.-J., Wei H.-Y., Li Y., Mao L.-F. Endemic medicinal plant distribution correlated with stable climate, precipitation, and cultural diversity // Plant Diversity. – 2023. – Vol. 45, issue 4. – P. 479-484. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2022.09.007>
- [19] Khanum R., Mumtaz A.S., Kumar S. Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling // Acta Oecologica. – 2013. – Vol. 49. – P. 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.02.007>
- [20] Tarnian F., Kumar S., Azarnivand H., Chahouki M.A.Z., Mossivand A.M. Assessing the effects of climate change on the distribution of *Daphne mucronata* in Iran // Environmental Monitoring and Assessment. – 2021. – Vol. 193, issue 9: 562. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09311-8>
- [21] Shaban M., Ghehsareh Ardestani E., Ebrahimi A., Borhani M. Climate change impacts on optimal habitat of *Stachys inflata* medicinal plant in central Iran // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13: 6580. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33660-8>
- [22] Asase A., Peterson A.T. Predicted impacts of global climate change on the geographic distribution of an invaluable African medicinal plant resource, *Alstonia boonei* De Wild // Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. – 2019. – Vol. 14:100206. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2019.100206>



- [23] Oluoch W. A., Borgemeister C., de Deus Vidal Junior J., Fremout T., Gaisberger H., Whitney C., Schmitt C.B. Predicted changes in distribution and richness of wild edible plants under climate change scenarios in northwestern Kenya // *Regional Environmental Change*. – 2024. – Vol. 24, issue 1:11. <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02175-3>
- [24] Cahyaningsih R., Phillips J., Brehm J.M., Gaisberger H., Maxted N. Climate change impact on medicinal plants in Indonesia // *Global Ecology and Conservation*. – 2021. – Vol. 30: e01752. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01752>
- [25] Silva J.L.S., Cruz-Neto O., Tabarelli M., Albuquerque U.P., Lopes A.V. Climate change will likely threaten areas of suitable habitats for the most relevant medicinal plants native to the Caatinga dry forest // *Ethnobiology and Conservation*. – 2022. – Vol. 11: 15. <https://doi.org/10.15451/ec2022-06-11.15-1-24>
- [26] Maikhuri R.K., Phondani P.C., Dhyani D., Rawat L.S., Jha N.K., Kandari L.S. Assessment of Climate Change Impacts and its Implications on Medicinal Plants-Based Traditional Healthcare System in Central Himalaya, India. Iran // *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions A: Science*. – 2018. – Vol. 42. – P. 1827-1835. <https://doi.org/10.1007/s40995-017-0354-2>
- [27] Kirakosyan A., Seymour E., Kaufman P.B., Warber S., Bolling S., Chang S.C. Antioxidant capacity of polyphenolic extracts from leaves of *Crataegus laevigata* and *Crataegus monogyna* (hawthorn) subjected to drought and cold stress // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2003. – Vol. 51, issue 14. – P. 3973-3976. <https://doi.org/10.1021/jf030096r>
- [28] Zobayed S.M.A., Afreen F., Kozai T. Temperature stress can alter the photosynthetic efficiency and secondary metabolite concentrations in *St. John's wort* // *Plant Physiology and Biochemistry*. – 2005. – Vol. 43, issue 10-11. – P. 977-984. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2005.07.013>
- [29] Sanchez A.C., Osborne P.E., Haq N. Climate change and the African baobab (*Adansonia digitata* L.): the need for better conservation strategies // *African Journal of Ecology*. – 2011. – Vol. 49, issue 2. – P. 234-245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2011.01257.x>
- [30] Vincent H., Amri A., Castaneda-Alvarez N.P., Dempewolf H., Dulloo E., Guarino L., Hole D., Mba C., Toledo A., Maxted N. Modeling of crop wild relative species identifies areas globally for in situ conservation // *Communications Biology*. – Vol. 2:136. <https://doi.org/10.1038/s42003-019-0372-z>
- [31] Gaisberger H., Legay S., Andre C., Loo J., Azimov R., Aaliev S., Bobokalonov F., Mukhsimov N., Kettle C., Vinceti B. Diversity under threat: connecting genetic diversity and threat mapping to set conservation priorities for Juglans regia L. populations in Central Asia // *Frontiers in Ecology and Evolution*. – 2020. – Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00171>
- [32] Климат Казахстана [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/klimat-kazahstana-1> (дата обращения: 04.07.2024).
- [33] Республика Казахстан [Электронный ресурс]. – URL: [https://www.akorda.kz/ru/republic\\_of\\_kazakhstan/kazakhstan#](https://www.akorda.kz/ru/republic_of_kazakhstan/kazakhstan#) (дата обращения: 04.07.2024).
- [34] Сальников В., Подрезов А. Исследование по оценке проблем засухи и моделей мониторинга засух в Центральной Азии. Экономическая и социальная комиссия для Азии и Тихого океана. – Алматы: Центр по чрезвычайным ситуациям и снижению риска стихийных бедствий, 2020. – 57 с.
- [35] Ерисковская Л. А. Изменение континентальности климата за последние годы (на примере ледника Туйыксу) // *Гидрометеорология и экология*. – 2015. – № 1. – С. 29-35.

## REFERENCES

- [1] WMO: Climate change indicators reached record levels in 2023 [Electronic resource]. 2024. – URL: <https://wmo.int/ru/media/news/vmo-pokazateli-izmeneniya-klimata-dostigli-rekordnykh-urovney-v-2023-godu> (date of the application: 04.07.2024)
- [2] Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2023. P. 35-115. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- [3] El Gendy A.N.G., Fouad R., Omer E.A., Cock I.E. Effects of Climate Change on Medicinal Plants and Their Active Constituents. In: Hasanuzzaman, M. (eds.) *Climate-Resilient Agriculture*, Vol 1. Springer, Cham, 2023. P. 125-156. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-37424-1\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-37424-1_6)
- [4] Hounsou K. E., Sonibare M. A., Elufioye T. O. Climate change and the future of medicinal plants research // *Bioactive Compounds in Health and Disease*. 2024. Vol. 7(3). P. 152-169. <https://doi.org/10.31989/bchd.v7i3.1310>
- [5] Atlas of areas and resources of medicinal plants of Kazakhstan // Scientifically edited by M.K. Kukenova. Almaty: Gylym, 1994. 168 p. (in. Russ.)
- [6] List of rare and endangered plant species. Approved by Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan dated October 31, 2006 No. 1034 [Electronic resource]. 2006. URL: <https://www.gov.kz/memleket/entities/forest/press/article/details/105771?lang=ru> (date of the application: 04.07.2024), (in. Russ.).
- [7] Kubentayev S. A., Zhumagul M. Zh., Kurmanbayeva M. S., Alibekov D. T., Kotukhov J. A., Sitpayeva G. T., Mukhtubayeva S. K., Izbastina K. S. Current state of populations of *Rhodiola rosea* L. (Crassulaceae) in East Kazakhstan // *Botanical Studies*. 2021. Vol. 62, No. 1. P. 1-20. doi: 10.1186/s40529-021-00327-4
- [8] Law of the Republic of Kazakhstan “On flora” dated January 2, 2023, No. 183-VII ZRK (in. Russ.)
- [9] Terletsкая N. V., Turzhanova A. S., Khapilina O. N., Zhumagul M. Z., Meduntseva N. D., Kudrina N. O., Korbozova N. K., Kubentayev S. A., Kalendar R. Genetic Diversity in Natural Populations of *Rhodiola* Species of Different Adaptation Strategies // *Genes*. 2023. Vol. 14: 794. <https://doi.org/10.3390/genes14040794>
- [10] Terletsкая N. V., Korbozova N. K., Kudrina N. O., Kobylina T. N., Kurmanbayeva M. S., Meduntseva N. D., Tolstikova T. G. The Influence of Abiotic Stress Factors on the Morphophysiological and Phytochemical Aspects of the Acclimation of the Plant *Rhodiola semenowii* Boriss // *Plants*. 2021. Vol. 10, issue 6: 1196. <https://doi.org/10.3390/plants10061196>

- [11] Terletskaia N. V., Korbozova N. K., Grazhdannikov A. E., Seitimova G. A., Meduntseva N. D., Kudrina N. O. Accumulation of Secondary Metabolites of *Rhodiola semenovii* Boriss. In Situ in the Dynamics of Growth and Development // *Metabolites*. 2022. Vol. 12: 622. <https://doi.org/10.3390/metabo12070622>
- [12] Trisurat Y., Shrestha R.P., Kjelgren R. Plant species vulnerability to climate change in Peninsular Thailand // *Applied Geography*. 2011. Vol. 31, issue 3. P. 1106-1114. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.02.007>
- [13] Tangitman K., Trisonthi C., Wongsawad C., Jitaree S., Svenning J.C. Potential impact of climatic change on medicinal plants used in the Karen women's health care in Northern Thailand // *Songklanakarin Journal of Science and Technology*. 2015. Vol. 37, issue 3. P. 369-379.
- [14] Trisurat, Y., Sutummawong, N., Roehrdanz, P.R., Chitechote, A. Climate Change Impacts on Species Composition and Floristic Regions in Thailand // *MDPI Diversity*. 2023. Vol. 15, issue 10: 1087 <https://doi.org/10.3390/d15101087>
- [15] Yi Y., Cheng X., Yang Z., Zhang S. Maxent modeling for predicting the potential distribution of endangered medicinal plant (*H. Riparia* Lour) in Yunnan, China // *Ecological Engineering*. 2016. Vol. 92. P. 260-269. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.04.010>
- [16] Fang Q., Yue Z., Zhang S., Wang G., Xue B., Guo Z. Effects of Climatic Disturbance on the Trade-Off between the Vegetation Pattern and Water Balance Based on a Novel Model and Accurately Remotely Sensed Data in a Semiarid Basin // *MDPI Remote Sensing*. 2024. Vol. 16, issue 12: 2132. <https://doi.org/10.3390/rs16122132>
- [17] Wei B., Wang R., Hou K., Wang X., Wu W. Predicting the current and future cultivation regions of *Carthamus tinctorius* L. using MaxEnt model under climate change in China // *Global Ecology and Conservation*. 2018. Vol. 16, e00477. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2018.e00477>
- [18] Feng G., Xiong Y.-J., Wei H.-Y., Li Y., Mao L.-F. Endemic medicinal plant distribution correlated with stable climate, precipitation, and cultural diversity // *Plant Diversity*. 2023. Vol. 45, issue 4. P. 479-484. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2022.09.007>
- [19] Khanum R., Mumtaz A.S., Kumar S. Predicting impacts of climate change on medicinal asclepiads of Pakistan using Maxent modeling // *Acta Oecologica*. 2013. Vol. 49. P. 23-31. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.02.007>
- [20] Tarnian F., Kumar S., Azarnivand H., Chahouki M.A.Z., Mossivand A.M. Assessing the effects of climate change on the distribution of *Daphne mucronata* in Iran // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2021. Vol. 193, issue 9: 562. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09311-8>
- [21] Shaban M., Ghehsareh Ardestani E., Ebrahimi A., Borhani M. Climate change impacts on optimal habitat of *Stachys inflata* medicinal plant in central Iran // *Scientific Reports*. 2023. Vol. 13: 6580. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-33660-8>
- [22] Asase A., Peterson A.T. Predicted impacts of global climate change on the geographic distribution of an invaluable African medicinal plant resource, *Alstonia boonei* De Wild // *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*. 2019. Vol. 14: 100206. <https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2019.100206>
- [23] Oluoch W.A., Borgemeister C., de Deus Vidal Junior J., Fremout T., Gaisberger H., Whitney C., Schmitt C.B. Predicted changes in distribution and richness of wild edible plants under climate change scenarios in northwestern Kenya // *Regional Environmental Change*. 2024. Vol. 24, issue 1: 11. <https://doi.org/10.1007/s10113-023-02175-3>
- [24] Cahyaningsih R., Phillips J., Brehm J.M., Gaisberger H., Maxted N. Climate change impact on medicinal plants in Indonesia // *Global Ecology and Conservation*. 2021. Vol. 30: e01752. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01752>
- [25] Silva J.L.S., Cruz-Neto O., Tabarelli M., Albuquerque U.P., Lopes A.V. Climate change will likely threaten areas of suitable habitats for the most relevant medicinal plants native to the Caatinga dry forest // *Ethnobiology and Conservation*. 2022. Vol. 11: 15. <https://doi.org/10.15451/ec2022-06-11.15-1-24>
- [26] Maikhuri R.K., Phondani P.C., Dhyani D., Rawat L.S., Jha N.K., Kandari L.S. Assessment of Climate Change Impacts and its Implications on Medicinal Plants-Based Traditional Healthcare System in Central Himalaya, India. Iran // *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions A: Science*. 2018. Vol. 42. P. 1827-1835. <https://doi.org/10.1007/s40995-017-0354-2>
- [27] Kirakosyan A., Seymour E., Kaufman P.B., Warber S., Bolling S., Chang S.C. Antioxidant capacity of polyphenolic extracts from leaves of *Crataegus laevigata* and *Crataegus monogyna* (hawthorn) subjected to drought and cold stress // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2003. Vol. 51, issue 14. P. 3973-3976. <https://doi.org/10.1021/jf030096r>
- [28] Zobayed S.M.A., Afreen F., Kozai T. Temperature stress can alter the photosynthetic efficiency and secondary metabolite concentrations in *St. John's wort* // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2005. Vol. 43, issue 10-11. P. 977-984. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2005.07.013>
- [29] Sanchez A. C., Osborne P. E., Haq N. Climate change and the African baobab (*Adansonia digitata* L.): the need for better conservation strategies // *African Journal of Ecology*. 2011. Vol. 49, issue 2. P. 234-245. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.2011.01257.x>
- [30] Vincent H., Amri A., Castaneda-Alvarez N.P., Dempewolf H., Dulloo E., Guarino L., Hole D., Mba C., Toledo A., Maxted N. Modeling of crop wild relative species identifies areas globally for in situ conservation // *Communications Biology*. Vol. 2:136. <https://doi.org/10.1038/s42003-019-0372-z>
- [31] Gaisberger H., Legay S., Andre C., Loo J., Azimov R., Aaliev S., Bobokalonov F., Mukhsimov N., Kettle C., Vinceti B. Diversity under threat: connecting genetic diversity and threat mapping to set conservation priorities for *Juglans regia* L. populations in Central Asia // *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2020. Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00171>
- [32] Climate of Kazakhstan [Electronic resource]. URL: <https://www.kazhydromet.kz/ru/klimat/klimat-kazakhstan-1> (date of the application: 04.07.2024) (in. Russ.)
- [33] Republic of Kazakhstan [Electronic resource]. URL: [https://www.akorda.kz/ru/republic\\_of\\_kazakhstan/kazakhstan#](https://www.akorda.kz/ru/republic_of_kazakhstan/kazakhstan#) (date of the application: 04.07.2024) (in. Russ.)
- [34] Salnikov V., Podrezov A. A study to assess drought problems and drought monitoring models in Central Asia. Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Almaty: Center for Emergency Situations and Disaster Risk Reduction, 2020. 57 p. (in. Russ.).
- [35] Eriskovskaya L.A. Changes in climate continentality in recent years (using the example of the Tuuyksu Glacier) // *Hydrometeorology and ecology*. 2015. No. 1. P. 29-35 (in. Russ.).

В. Г. Сальников<sup>1</sup>, С. Е. Полякова<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup> География ғылымдарының докторы, профессор  
(Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; [vitali.salnikov@kaznu.kz](mailto:vitali.salnikov@kaznu.kz))

<sup>2\*</sup> География ғылымдарының кандидаты, доцент  
(Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан; [svetlana.polyakova@kaznu.kz](mailto:svetlana.polyakova@kaznu.kz))

## ПОТЕНЦИАЛДЫ ДӘРІЛІК ӨСІМДІКТЕРДІҢ ӨСУ АЙМАҒЫНЫҢ ҚАЗІРГІ КЛИМАТТЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

**Аннотация.** Потенциалды дәрілік өсімдіктердің өсу аймағының климаттық ерекшеліктері қарастырылады. 1991-2023 жылдар аралығында 33 метеорологиялық станцияның мәліметтері бойынша. Статистикалық талдау және ауқымды диаграммалар (boxplot) көмегімен деректерді визуализациялау жүргізілді. Дәрілік өсімдіктердің өсу аймақтарында ауа температурасы мен жауын-шашын мөлшерінің өзгеруінің маусымдық және жылдық тенденциялары анықталды. Жылдың барлық маусымдарында ауа температурасының жоғарылауы байқалады, тек Оңтүстік Қазақстан мен Іле-Алатау тау бөктеріндегі аймақтарда күзде температураның әлсіз төмендеуі байқалады. Жалпы, жыл ішінде температураның 0,29-0,62 °C/10 жылға кең таралуы байқалады, көктем мен жаз үшін маңызды трендтер байқалады. Жауын-шашынның айлық сомасының уақыт барысын талдау жауын-шашынның әр түрлі өзгерісі байқалатынын көрсетті, Орталық Қазақстан аумағы үшін күзді қоспағанда, барлық трендтер шамалы. Потенциалды дәрілік өсімдіктердің өсу аймақтарындағы негізгі метеорологиялық шамалардың маусымдық және жылдық өзгерістерін зерттеу өсімдіктердің өсу ерекшеліктерін түсіну үшін де, оларды өсіру, жинау және медициналық мақсатта пайдалану процестерін оңтайландыру үшін де маңызды аспект болып табылады. Ауа температурасы мен жауын-шашын сияқты метеорологиялық жағдайлар дәрілік өсімдіктердің биологиялық сипаттамаларын, олардың белсенді компоненттерін және емдік қасиеттерін қалыптастыруда шешуші рөл атқарады.

**Түйін сөздер:** климаттың өзгеруі, ауа температурасы, жауын-шашын, өсу аймақтары, дәрілік өсімдіктер.

V. G. Salnikov<sup>1</sup>, S. Ye. Polyakova<sup>\*2</sup>

<sup>1</sup> Doctor of Geographical Sciences, Professor  
(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; [vitali.salnikov@kaznu.kz](mailto:vitali.salnikov@kaznu.kz))

<sup>2\*</sup> Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor  
(Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan; [svetlana.polyakova@kaznu.kz](mailto:svetlana.polyakova@kaznu.kz))

## MODERN CLIMATIC FEATURES OF THE HABITATS OF POTENTIALLY MEDICINAL PLANTS

**Abstract.** The article considers climatic features of habitats of potentially medicinal plants according to the data from 33 meteorological stations for the period from 1991 to 2023. Statistical analysis and visualization of the data using boxplot diagrams were carried out. Seasonal and annual trends in air temperature and precipitation amounts in the habitats of medicinal plants were analyzed. In all areas, in all seasons of the year, there is an increase in air temperature. Only in the areas of Southern Kazakhstan and Piedmont zone of Ile-Alatau there is a slight decrease in temperature in autumn. In general, there is a widespread increase in temperature by 0.29-0.62 °C/10 years per year, with significant trends for spring and summer. The analysis of the time course of monthly precipitation sums showed that there is a diverse change in precipitation, all trends are insignificant, with the exception of autumn for the Central Kazakhstan area. The study of seasonal and annual variations in the main meteorological variables in the habitats of potentially medicinal plants is an important aspect both for understanding the peculiarities of plant growth and for optimizing the processes of their cultivation, collection and use for medicinal purposes. Meteorological conditions, such as air temperature and precipitation, are playing a key role in shaping the biological characteristics of medicinal plants, their active constituents and therapeutic properties.

**Keywords:** climate change, air temperature, precipitation, habitats, medicinal plants.