

## ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ, И МЕРЫ ПО АДАПТАЦИИ К НИМ В КАЗАХСТАНЕ



Published by:



Deutsche Gesellschaft  
für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Supported by:



Federal Ministry  
for the Environment, Nature Conservation,  
Nuclear Safety and Consumer Protection



INTERNATIONAL  
CLIMATE  
INITIATIVE

based on a decision of  
the German Bundestag

Являясь предприятием, находящимся в федеральной собственности, GIZ поддерживает правительство Германии в достижении его целей в области международного сотрудничества для устойчивого развития.

**Издатель**  
Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

**Зарегистрированные офисы:**  
Бонн и Эшборн, Германия

**Адрес:**  
Deutsche Gesellschaft für  
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
Köthenener Str.2  
10963, Берлин, Германия  
т. +49 61 96 79-0  
ф.+49 61 96 79-11 15  
[info@giz.de](mailto:info@giz.de)  
[www.giz.de](http://www.giz.de)  
[www.giz.en](http://www.giz.en)

**Проект**  
Рекомендации по выработке политики для экономического развития,  
устойчивого к изменению климата

**Руководитель проекта**  
Др. Себастьян Хомм  
[sebastian.homm@giz.de](mailto:sebastian.homm@giz.de)

**Авторы**  
Франциска Брунделл и др. София Лютtringхаус | Дюссельдорф

**Участники подготовки**  
Анастасия Лобанова, Кристоф Горнотт  
Себастьян Хомм, Наима Абдулл, Сэмюэл Брайсон, Дана Ермолёнов

**Перевод**  
Дмитрий Калмыков, Караганда

**Дизайн и верстка**  
Альвира Ертаева, Астана

**Источники фото**  
©pexels

**Карты**  
Карты, представленные в данном отчете, используются исключительно в информационных целях и не предполагают какого-либо признания границ и территорий в соответствии с нормами международного права. GIZ не несет ответственности за актуальность, точность и полноту приведенных карт. Любая ответственность за возможный ущерб, прямой или косвенный, возникший в результате их использования, исключается.

Данный отчет подготовлен экспертами международной консалтинговой компании EarthYield Advisors GbR в рамках глобальной программы «Рекомендации по выработке политики для экономического развития, устойчивого к изменению климата», реализуемой Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH (Германским обществом по международному сотрудничеству) по поручению Федерального министерства окружающей среды, охраны природы, ядерной безопасности и защиты прав потребителей (BMUV).

Содержание данного отчета является исключительной ответственностью авторов и никоим образом не может отражать официальное мнение глобальной программы GIZ.

**От имени**  
Федерального министерства окружающей среды, охраны природы, ядерной безопасности и защиты прав потребителей Германии (BMUV)

Германия, 2025 год

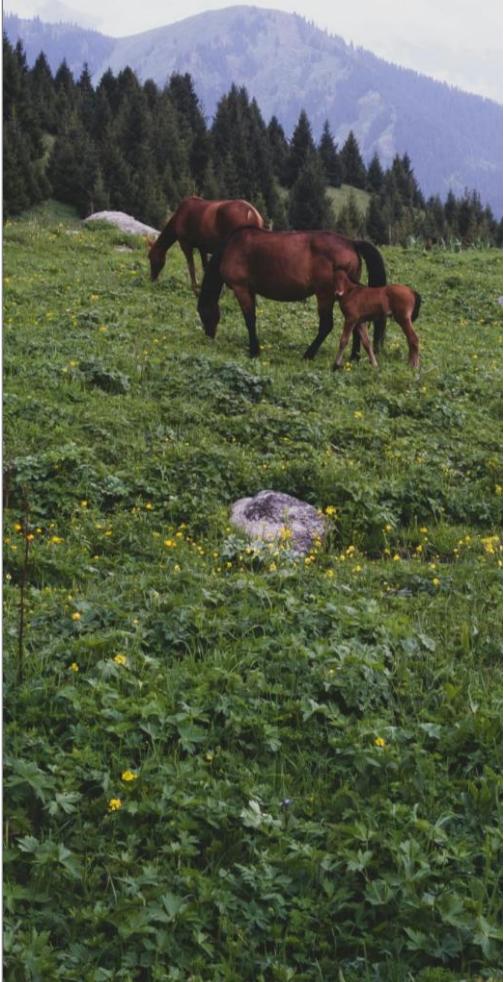


## ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ, И МЕРЫ ПО АДАПТАЦИИ К НИМ В КАЗАХСТАНЕ

### ► АНАЛИЗ ДАННЫХ И ЛИТЕРАТУРЫ



Подготовлено в рамках задания «Разработка оценок водных рисков, связанных с изменением климата, для Грузии, Казахстана и Монголии»



### *Благодарности*

Этот отчет подготовлен в рамках задания «Разработка оценок водных рисков, связанных с изменением климата, для Грузии, Казахстана и Монголии», выполненного компанией EarthYield Advisors GbR (Франциска Брунделл и др. София Аютtringхаус) для GIZ. Также, выражаем благодарность нашим партнерам по этому проекту за их ценные замечания и руководство: Анастасии Лобановой и Кристофу Горном.

Авторы выражают благодарность коллегам из координационного подразделения GIZ Себастьяну Хамм и Наиме Абдулла за постоянный обмен и вклад. Также, благодарим коллегу GIZ Дану Ермолёнову за предоставление информации и материалов по Казахстану.

# СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ .....	9
2. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О КАЗАХСТАНЕ .....	11
2.1. География и гидрология .....	11
2.2. Климат и изменение климата.....	11
2.3. Экономика.....	12
3. МЕТОДОЛОГИЯ • Сбор, обработка и анализ данных .....	14
3.1. Анализ литературы и обмен мнениями между экспертами .....	14
3.2. Анализ данных .....	15
3.2.1. Источники данных .....	15
3.2.2. Переменные .....	17
3.2.3. Сценарии.....	17
3.3. Манипулирование данными .....	18
3.4. Расчеты и моделирование .....	18
3.4.1. Метеорологические засухи .....	18
3.4.2. Речные наводнения .....	19
3.4.3. Тепловые волны.....	21
4. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ: Выводы.....	23
4.1. Засухи.....	23
4.2. Наводнения .....	24
4.3. Тепловые волны.....	25
4.4. Нехватка пресной воды и водный стресс .....	26
4.5. Опустынивание .....	27
5. АНАЛИЗ ДАННЫХ • Выводы .....	28
5.1. Метеорологические засухи.....	28
5.2. Речные наводнения .....	30
5.3. Тепловые волны.....	32
5.4. Оценка.....	34
6. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УЩЕРБ .....	36
7. АДАПТАЦИОННЫЕ МЕРЫ .....	37

7.1. Прибрежные буферные зоны.....	37
7.2. Агроэкологические практики.....	38
7.3. Дополнительные предлагаемые меры по адаптации .....	39
<b>8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>41</b>
<b>9. Список использованных источников.....</b>	<b>43</b>
<b>10. Приложение.....</b>	<b>46</b>
10.1. Средний составной балл риска наводнений .....	46
10.2. Вероятность тепловой волны .....	48
10.3. Различия в средних значениях SPEI .....	50

## Список рисунков\*

Рисунок 1. Вероятность возникновения метеорологических засух для малоопасных событий.....	28
Рисунок 2. Вероятность возникновения метеорологических засух для событий средней опасности.....	29
Рисунок 3. Вероятность возникновения метеорологических засух для событий высокой опасности.....	29
Рисунок 4. Вероятность возникновения речных наводнений для малоопасных событий .....	30
Рисунок 5. Вероятность возникновения речных наводнений для событий средней опасности.....	31
Рисунок 6. Вероятность возникновения речных наводнений для событий высокой опасности.....	31
Рисунок 7. Вероятность наступления тепловых волн для малоопасных событий.....	32
Рисунок 8. Вероятность наступления тепловых волн для событий средней опасности.....	33
Рисунок 9. Вероятность наступления тепловых волн для событий высокой опасности .....	33

---

\*Источник: Иллюстрации EarthYield Advisories GbR

## Сокращения

Аббревиатура	Описание
АБР	Азиатский банк развития
BMUV	Федеральное министерство окружающей среды, охраны природы, ядерной безопасности и защиты прав потребителей
ССКР	Портал знаний об изменении климата (Climate Change Knowledge Portal)
CDS	Климатическое хранилище данных Copernicus
CMIP	Проект по сопряженному сравнительному анализу моделей
CRED	Политические рекомендации для экономического развития, устойчивого к изменению климата
DIAPOL-CE	Политический диалог и управление знаниями по стратегиям защиты климата
ESM	Модель земной системы
ВВП	Валовой внутренний продукт
ФАО	Продовольственная и сельскохозяйственная организация (ФАО)
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
IKI	Международная климатическая инициатива
IOM	Международная организация по миграции
МГЭИК	Межправительственная группа экспертов по изменению климата
MPT	Метеорологический научно-исследовательский институт
NDC	Определяемый на национальном уровне вклад
ПЭТ	Потенциальная эвапотранспирация
ПРООН	Программа развития Организации Объединенных Наций
RCP	Репрезентативный путь концентрации
SPEI	Стандартизованный индекс эвапотранспирации осадков
SSP	Общие социально-экономические пути
UNDRR	Управление Организации Объединенных Наций по снижению риска бедствий
USAID	Агентство США по международному развитию
WMO	Всемирная метеорологическая организация
WRI	Институт мировых ресурсов
ЮНЕСКО	Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры

## Цель задания

Глобальная программа GIZ «Рекомендации по выработке политики экономического развития, устойчивого к изменению климата» (CRED) поручила компании EarthYield Advisories провести оценку водных рисков, связанных с изменением климата, рассчитанных на основе двух ключевых переменных анализа климатических изменений – осадков и температуры – в Казахстане, а также определить возможные меры адаптации. Проект был разделён на несколько ключевых задач: определение опасных климатических явлений, связанных с водой, в Казахстане, выбор наиболее приоритетных угроз, моделирование их развития в различных климатических сценариях до 2100 года, определение соответствующих адаптационных мер и оценка полученных данных. Основная цель проекта – информировать государственных лиц, принимающих решения, о потенциальных рисках и их вероятности, что позволит принимать обоснованные решения в сфере климатической политики Казахстана. Ключевая задача этого задания, выполненного EarthYield Advisories и представленного в данном отчете – интеграция водных рисков в макроэкономические оценки Казахстана (модель e3.kz) и разработку рекомендаций по политике, обеспечивающих устойчивое к изменению климата экономическое планирование.

Отчет построен таким образом, чтобы предоставить всестороннее понимание водных рисков в Казахстане и необходимых адаптационных мер. В первой части приводится вводный раздел о водных угрозах, с которыми сталкивается Казахстан, рассматривается влияние изменения климата на гидрологические системы и подчеркивается важность углубленного анализа водных рисков. Затем следует подробный раздел «Общая информация», включающий подразделы по географии и гидрологии (2.1), климату и изменению климата (2.2), а также экономике страны (2.3). В третьей главе описана методология сбора данных, их обработки и моделирования для оценки водных рисков. Четвертая глава содержит результаты анализа литературы и описывает связанные с водными ресурсами опасные явления, характерные для Казахстана, включая засухи (4.1), наводнения (4.2), тепловые волны (4.3) и прибрежные риски (4.4). Результаты анализа данных и моделирования представлены в пятой главе; экономический ущерб – в шестой главе, а меры адаптации – в седьмой. Отчет завершается выводами.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Вода – это ключевой ресурс для жизнеобеспечения населения и экосистем. Она является основой социально-экономической стабильности и ключевых экономических секторов, включая сельское хозяйство, промышленность и производство энергии в Казахстане. Изменение климата оказывает значительное влияние на водные ресурсы как в мире в целом, так и в Казахстане, приводя к таким рискам, как изменение характера осадков, учащение и усиление экстремальных явлений – засух и наводнений, ухудшение качества воды и нехватка пресной воды (Caretta et al., 2022).

В ответ на эти вызовы EarthYield Advisories оказывает поддержку GIZ в оценке водных рисков и разработке адаптационных мер по их снижению в странах-партнерах. Задание включает предоставление GIZ данных и информации о водных рисках, в частности о засухах и наводнениях, а также о температурных рисках, связанных с тепловыми волнами (периодами аномальной жары). Эти усилия осуществляются в рамках более широкой программы GIZ «Глобальная программа по экономическому развитию, устойчивому к изменению климата» (CRED) и проекта «Политический диалог и управление знаниями по стратегиям защиты климата» (DIAPOL-CE), реализуемых в рамках Международной климатической инициативы (IKI) по поручению Федерального министерства по охране окружающей среды, охране природы, ядерной безопасности и защите прав потребителей Германии (BMUV).

Проект CRED в Казахстане направлен на поддержку лиц, принимающих решения, в планировании адаптационных мер и укреплении соответствующего потенциала. Для этого применяются анализ «затраты-

выгоды» и другие аналитические инструменты, а также внедряются передовые международные практики. Одна из ключевых задач проекта – интегрировать климатическую адаптацию в планы социально-экономического развития страны. С помощью разработанной модели e3.kz проект оценивает макроэкономические последствия изменения климата и эффективность различных адаптационных мер. Модель позволяет политикам увидеть широкий спектр экономических последствий и выбрать оптимальные стратегии реагирования. Благодаря этим усилиям проект CRED содействует устойчивому экономическому росту с высоким уровнем занятости и снижает уязвимость ключевых отраслей Казахстана к климатическим изменениям.

Для решения этих задач нами были определены и смоделированы наиболее значимые водные и температурные угрозы в Казахстане. Мы разрабатываем сценарии будущего при различных климатических условиях; полученные прогнозы служат исходными данными для модели e3.kz, позволяя получить детальное представление о потенциальных последствиях. Кроме того, собранный и проанализированный перечень возможных мер адаптации может способствовать повышению устойчивости различных секторов экономики к водным рискам. Уроки, извлеченные из этих процессов, будут способствовать распространению методики оценки водных рисков на другие регионы, повысявая их устойчивость и способность адаптироваться к комплексным последствиям изменения климата.

Казахстан – обширная страна Центральной Азии – уже испытывает значительные последствия изменения климата, изменяющие его природный и социально-экономический ландшафт. За последние шесть десятилетий среднегодовая температура в Казахстане повышалась на 0,3 °C за десятилетие, причём более выраженное потепление отмечалось весной и осенью (Министерство энергетики Республики Казахстан, 2023). Прогнозы указывают на дальнейший рост среднегодовых температур (Группа Всемирного банка и АБР, 2021). Эти температурные изменения сопровождаются сдвигами в характере осадков (Сальников и др., 2015). Изменение климата усугубляет водные риски в Казахстане – стране, которая уже сталкивается с нехваткой воды и неравномерным распределением водных ресурсов. Кроме того, Казахстан в значительной степени зависит от трансграничных водных источников: по данным ФАО (2013), лишь 56 % общего годового стока формируется из собственных водных источников, а остальной объём поступает из соседних стран. Климатические модели прогнозируют значительное сокращение стока рек и ручьёв в результате повышения испарения и снижения уровня осадков (Reyer et al., 2017). Это особенно актуально для крупных рек Казахстана, которые в последние годы уже сталкиваются с существенным обмелением (Жупанхан и др., 2018). Дополнительную угрозу водной безопасности представляет таяние ледников в горах Тянь-Шаня и Памира (Sorg et al., 2012). Сокращение доступных водных ресурсов может привести к перегрузке существующей

системы управления водными ресурсами. Также возрастает риск наводнений из-за ожидаемых экстремальных значений суточных осадков, особенно в горных районах (World Bank Group & ADB, 2021).

Экономические последствия этих водных рисков чрезвычайно серьёзны. Особенно уязвим сельскохозяйственный сектор, в значительной степени зависящий от орошения. Согласно прогнозам, потребность сельхозкультур в воде продолжит расти (USAID, 2017), при том что водопроизводительность орошения в Казахстане в 6-8 раз ниже, чем в ряде других стран (ФАО, 2013). В результате изменение климата будет оказывать существенное давление на продовольственную безопасность: ожидается снижение производительности сельского хозяйства, а поставки продовольствия и ценовая стабильность могут стать более уязвимыми. В последние годы производство зерновых оставалось ниже среднего уровня из-за чередующихся засух и чрезмерных осадков (ФАО, 2024). Кроме того, повторяющиеся наводнения приводят к вынужденному переселению как сельского, так и городского населения, росту бедности и утрате источников дохода. Так, беспрецедентное наводнение 2024 года, в результате которого пострадало более 6 000 жилых домов и было эвакуировано 117 000 человек, наглядно демонстрирует масштабы экономических и социальных издержек, связанных с климатическими бедствиями (UNDRR, 2024a).

## 2. ОБЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О КАЗАХСТАНЕ

### 2.1. География и гидрология

Казахстан – крупнейшая в мире страна, не имеющая выхода к морю, расположенная в Центральной Азии на стыке Азии и Европы (World Bank Group & ADB, 2021). Его обширная территория характеризуется разнообразным рельефом, включающим обширные степи, обширные пустыни, такие как Кызылкум и Бетпак-Дала, а также крупные горные системы – Тянь-Шань и Алтай (USAID, 2017). На западе Казахстан граничит с Каспийским морем – крупнейшим внутренним водоемом в мире (Zhupankhan et al., 2018). География страны также отмечена масштабной трансформацией Аральского моря, некогда четвертого по величине озера в мире, которое значительно сократилось в результате советских ирригационных проектов, что привело к серьезным экологическим и экономическим последствиям (Micklin, 2007).

Гидрологическая система Казахстана включает сложную сеть поверхностных и подземных вод. Страна в значительной степени зависит от трансграничных водных ресурсов. Большая часть поверхностных вод сосредоточена в озерах и реках. На территории страны протекает около 39 000 рек, среди которых наиболее значимы Или, Иртыш, Сырдарья и Урал (ФАО, 2013). Озёра играют важную роль в водном балансе страны; в частности, озеро Балхаш является одним из ключевых источников поверхностных вод (Propastin, 2012). Запасы подземных вод в стране имеются в достаточном объеме, однако они распределены неравномерно: основные запасы сосредоточены на севере и востоке, тогда как южные и западные регионы испытывают дефицит (Министерство экологии, геологии и природных ресурсов

Республики Казахстан, 2023). Бассейн Сырдарьи является важнейшим источником воды для засушливых регионов (Dukhovny & de Schutter, 2011). Озеро Балхаш, представляющее собой частично пресноводный и частично солоноватый водоём, является важным источником воды для нужд сельского хозяйства и промышленности, однако сталкивается с нарастающими экологическими угрозами, включая повышение солености (Yapiev et al., 2017). Аральское море, некогда одно из крупнейших озёр мира, сократилось в результате интенсивного орошения, что привело к экологической катастрофе и вызвало масштабные усилия по его восстановлению (Micklin, 2016). В структуре водопользования доминирует сельское хозяйство, на которое приходится до 70 % потребления пресной воды; за ним следуют промышленность и бытовой сектор (ФАО, 2024).

### 2.2. Климат и изменение климата

Климат Казахстана преимущественно континентальный, отличается резкими перепадами температур и засушливостью с выраженной сезонной контрастностью между продолжительной суровой зимой и коротким жарким летом (World Bank Group & ADB, 2021). Для страны характерны экстремальные температуры: холодные зимы со снегопадами и жаркие летние периоды, при этом климатические особенности варьируются в зависимости от региона (ФАО, 2024). В целом осадков выпадает немного, страна в основном относится к засушливым и полузасушливым регионам; на севере выпадает в среднем около 315 мм осадков в год, тогда как в центральных

районах – порядка 150 мм (Zhupankhan et al., 2018). Степные и пустынные территории подвержены сильным ветрам, особенно зимой (Zhupankhan et al., 2018). Казахстан крайне уязвим к засухам и опустыниванию, что наглядно подтверждается катастрофическим усыханием Аральского моря (Micklin, 2007). Климатические условия Казахстана условно подразделяются на несколько зон: Северный Казахстан (суровый континентальный), Центральный Казахстан (резко континентальный), Южный Казахстан (засушливый и полузасушливый), Восточные горные районы (прохладные и влажные) и Западно-Каспийский регион (умеренно континентальный) (Сальников и др., 2015).

Казахстан уже сталкивается с серьезными последствиями изменения климата в различных секторах экономики. В период 1991–2020 гг. средняя температура в стране повысилась на 0,9 °C по сравнению с 1961–1990 гг. (ПРООН, 2023а). В 2020 году в Казахстане была зафиксирована рекордная температура – на 1,92 °C выше климатической нормы, что превысило прежний рекорд 2013 года (1,89 °C) (ПРООН, 2023б). Рост температуры привел к учащению и усилению волн жары по всей стране, особенно в южных, юго-западных и западных регионах (UNDP, 2023а). Изменение климата также повлияло на режим осадков, оказывая воздействие на водные ресурсы и продуктивность сельского хозяйства. Ледники Тянь-Шаня и Памира – важнейшие источники питания таких рек, как Амударья и Сырдарья, стремительно сокращаются (ВМО, 2024). Эти изменения уже привели к учащению природных катастроф: засух, наводнений, селей и оползней, вызывая деградацию земель, разрушение инфраструктуры и человеческие жертвы (Исаев, 2024).

Согласно прогнозам, в ближайшие десятилетия воздействие изменения климата на Казахстан будет усиливаться. Ожидается дальнейшее повышение температуры и

засушливости, а также изменение режима выпадения осадков (МОМ, 2023). Климатические модели прогнозируют значительное сокращение речного стока из-за роста испарения и снижения количества осадков (Reyer et al., 2017). Ожидается, что к 2100 году температура на всей территории страны повысится до 7 °C (World Bank Group & ADB, 2021). Такая тенденция, вероятно, усилит уже существующие проблемы, включая засухи и наводнения. В Восточном и Северном Казахстане прогнозируется рост количества осадков, в то время как в более засушливых районах, таких как Мангистау, засухи могут усилиться (Хайбуллина, 2024). В долгосрочной перспективе доступность водных ресурсов будет снижаться из-за сокращения ледников и снежного покрова в горных районах. Эти изменения повлияют на сельское хозяйство, экосистемы, энергетику и здоровье населения (ПРООН Казахстан, 2022). Рост испарения будет усиливать нагрузку на водные ресурсы, снижая влажность почвы и доступность воды для сельского хозяйства и природных экосистем. Согласно прогнозам, к 2050 году из-за изменения климата от 3,1 % до 4,6 % населения страны могут стать внутренними климатическими мигрантами (World Bank Group & ADB, 2021; IOM, 2023).

## 2.3. Экономика

После обретения независимости от Советского Союза в 1991 году экономика Казахстана демонстрировала значительный рост, перейдя к рыночной модели. ВВП страны вырос с 18,2 млрд долларов США в 2000 году до 133 млрд долларов США в 2008 году, со среднегодовым ростом около 10 % (Канаев, 2017). Казахстан, обладая богатой ресурсной базой, является крупнейшим в мире производителем урана, а также одним из ведущих производителей нефти, газа и различных полезных ископаемых (World Bank Group, 2024). Помимо добывающей

промышленности важную роль играет обрабатывающая промышленность. Вклад сельского хозяйства в ВВП страны остаётся относительно небольшим. Несмотря на экономический рост, остаются вызовы, включая зависимость от экспорта в Европу, Россию и Китай, а также необходимость дальнейшей диверсификации экономики.

Сельское хозяйство и энергетика, являясь ключевыми отраслями, всё более подвержены рискам, связанным с изменением климата и водными ресурсами. Сельскохозяйственное производство, особенно в степных регионах, уязвимо к засухам и тепловым волнам, что угрожает урожайности и продовольственной безопасности. Так, по прогнозам, к 2050 году

урожайность яровой пшеницы может сократиться на 50 % в результате повышения температуры и снижения влажности почвы (World Bank, 2021). Энергетический сектор, в котором доминируют нефть и газ, также сталкивается с вызовами, обусловленными изменениями природными условиями, международной политикой и geopolитическими факторами. Хотя доля гидроэнергетики в стране остаётся регионально ограниченной, сокращение речного стока может отрицательно повлиять на её производство. Дополнительно рост спроса в условиях снижения эффективности нефтегазовой инфраструктуры может осложнить дальнейшее развитие экономики страны (World Bank, 2021).

## 3. МЕТОДОЛОГИЯ • Сбор, обработка и анализ данных

Методология следовала чёткой пошаговой логике, обеспечивающей прозрачность и воспроизводимость всего процесса:

- › анализ литературы и экспертные консультации для выявления ключевых опасных климатических явлений (опасностей) и тенденций;
- › определение требований к данным и допущений для моделирования;
- › сбор данных методом перебора и последовательного уточнения источников;
- › выбор подходящих источников данных;
- › загрузка данных;
- › определение категорий опасностей;
- › подготовка данных по каждому виду опасностей;
- › расчёт вероятности возникновения для каждой классификации.

### 3.1. Анализ литературы и обмен мнениями между экспертами

На первом этапе была проведена обработка как научной, так и так называемой серой литературы – рецензируемых публикаций, отчётов международных организаций, конференционных материалов, а также документов, предоставленных GIZ. Это позволило получить общее представление о текущем состоянии исследований, выделить актуальные тенденции и проблемы, а также определить наиболее значимые водные угрозы, связанные с изменением климата в Казахстане. Кроме того, анализ литературы охватывал действующие политические рамочные документы и руководства,

актуальные для страны. Отдельное внимание уделялось первичному поиску релевантных наборов данных и баз данных, пригодных для последующего моделирования климатических сценариев. Среди них данные Copernicus, Aqueduct Water Risk Atlas Института мировых ресурсов, портал Climate Knowledge Portal Всемирного банка. Научная литература подбиралась путём систематического поиска; серая литература – через институциональные архивы, правительственные сайты и международные организации.

На первоначальном этапе акцент был сделан на выявлении опасных климатических явлений и рисков: использовались поисковые запросы «опасные климатические явления Казахстан», «гидрология Казахстан», «водные риски Казахстан», «климатические опасности для воды Казахстан». Также учитывались часто используемые источники: Шестой оценочный доклад МГЭИК, материалы Всемирного банка по климату и профили климатических рисков от Азиатского банка развития. Существенную роль сыграли материалы, предоставленные GIZ, включая внутренние отчёты, национальные данные и проектные оценки.

Кроме того, экспертные консультации позволили определить наиболее актуальные водные угрозы, уязвимые секторы экономики Казахстана и возможные адаптационные меры. Такие консультации проводились на регулярной основе с привлечением профильных специалистов, в частности, экспертов GWS.

## 3.2. Анализ данных

Результаты анализа литературы, экспертных консультаций, а также требования экономической модели, а именно необходимость в ежегодных данных по сценариям SSP1-2.6, SSP2-4.5 и SSP5-8.5, привели к фокусировке на следующих опасностях: речные наводнения, метеорологические засухи и тепловые волны. От других водных угроз – общих наводнений, гидрологических засух и общего истощения водных ресурсов, пришлось отказаться из-за недостатка имеющихся данных.

Ограничения в наличии и доступности данных по Казахстану оказали значительное влияние на процесс. Предыдущий проект фокусировался на других опасных климатических явлениях; требовалось использовать преимущественно открытые источники и данные, которые можно легко обрабатывать в моделях.

В результате были установлены следующие критерии отбора данных и моделей опасностей:

- › Возможность моделирования будущих значений и интерпретации исторических данных для переменных, относящихся к тепловым волнам, метеорологическим засухам и речным наводнениям.
- › Дифференциация пространственных сеток с достаточным разрешением, то есть таких, которые отражают не одно обобщённое значение на всю страну, а позволяют учитывать территориальные различия.
- › Наличие ежедневных или ежемесячных данных, которые можно пересчитать в годовую вероятность возникновения по трём категориям интенсивности опасности.
- › Выделение трёх категорий интенсивности опасностей: низкая, средняя и высокая.

- › Доступность будущих прогнозов на период 2024-2080 годы или более длительный временной горизонт.
- › Предоставление ежегодных прогнозных данных.
- › Возможность дальнейшей обработки и корректировки данных с учётом будущей политики, при использовании открытых источников и воспроизводимых процедур обработки данных.
- › Наличие полных прогнозов по следующим сценариям:
- › Общие социально-экономические пути (SSP) 1 – Репрезентативный путь концентрации (RCP) 2.6 (устойчивое развитие – низкие выбросы, цели Парижского соглашения),
- › SSP2-RCP4.5 (сценарий промежуточных выбросов – «путь посередине»),
- › SSP5-RCP8.5 (развитие на ископаемом топливе – высокие выбросы).

### 3.2.1. Источники данных

Источники данных по Казахстану включали ISIMIP, Copernicus Climate Data Store, CMIP6, NASA EarthData, портал Всемирного банка по изменению климата и водный атлас Aqueduct Water Atlas Института мировых ресурсов. Они различались по формату представления данных (обработанные данные и необработанные), пространственному разрешению, временной детализации и доступным сценариям RCP/SSP. Ограничения проекта включали жесткие сроки, заранее определённые сценарии SSP, необходимость интеграции в экономическую модель и ограниченность ресурсов времени.

Первоначальный план работы предусматривал использование базы данных Aqueduct с уже готовыми прогнозами засух и наводнений и соответствующего Водного атласа. Однако эти данные были доступны только в 30-летних интервалах, что исключало возможность

точной оценки вероятности наступления событий для каждого отдельного года в рамках экономического моделирования. Аналогично, портал знаний об изменении климата (ССКР), предоставляющий предварительно обработанные данные, также пришлось исключить, поскольку данные были доступны лишь в агрегированном виде по стране в целом. Тем не менее, оба источника использовались в качестве вспомогательных точек отсчета для проверки данных и предварительного анализа тенденций.

В рамках данного исследования была поставлена задача работать с необработанными данными широко применяемых международных климатических моделей.

В качестве основной модели была выбрана модель системы Земли MRI-ESM2-0 (версия 2), разработанная Японским метеорологическим исследовательским институтом (MRI) (Yukimoto et al., 2019). Эта модель является частью международного проекта СМПР6 (Coupled Model Intercomparison Project) – глобальной инициативы по моделированию климата на основе различных сценариев будущего. MRI-ESM2-0 обеспечивает расширенное моделирование атмосферных, океанических и наземных процессов, что делает её особенно подходящей для оценки климатических условий в Центральной и Западной Азии, включая Казахстан, Монголию и Грузию.

Данная модель была выбрана благодаря её высокой способности точно отражать погодные условия в средних широтах и достоверно моделировать колебания температуры и осадков в континентальном и полузасушливом климате. Это делает её ценным инструментом для оценки потенциальных последствий изменения климата для сельского хозяйства, водных ресурсов и экосистем данных регионов. Другие модели были отклонены из-за ограниченной

доступности данных или отсутствия необходимых сценарных прогнозов.

Модель MRI-ESM2-0 имеет пространственное разрешение порядка 110 км × 110 км. В качестве исторического базового периода для анализа были выбраны 1981-2010 гг. Хотя в настоящее время чаще применяются базовые периоды 1991-2020 гг., для модели MRI-ESM2-0 такие данные недоступны, поскольку её архив заканчивается 2014 годом. Выбор периода 1981-2010 гг. обеспечил одновременно и климатическую релевантность, и достаточный объём данных для надёжного анализа.

Данные были получены из климатического хранилища Copernicus Climate Data Store (CDS). CDS обеспечивает свободный и открытый доступ к широкому спектру климатических данных, обладает удобным интерфейсом, содержит обширную коллекцию прогнозов СМПР6 (опубликованных в 2021 году), регулярно обновляется и подходит для самых разных приложений. Кроме того, возможность применения пространственных и временных фильтров значительно упростила процесс загрузки данных.

Первоначальный замысел проекта предполагал использование уже откорректированных (очищенных от смещений) и готовых к обработке данных (подобно Aqueduct и ССКР), не требующих навыков программирования. Однако с учетом пространственных и временных требований, а также специфики анализа экстремальных событий и их вероятностей, подобный подход оказался невозможен. Проведение прогноза в таком масштабе потребовало как работы с международными климатическими данными, так и навыков программирования на Python.

В результате для получения итоговых наборов данных по Казахстану были выполнены следующие шаги:

- a) Определение релевантных наборов данных с учетом географических и временных ограничений проекта;
- б) Оценка имеющихся источников климатических данных;
- в) Исключение предварительно обработанных источников данных (таких как Aqueduct Water Atlas и ССКР) из-за ограниченного временного разрешения и пространственной агрегации;
- г) Выбор соответствующей международной климатической модели для последующей обработки данных;
- д) Обоснование выбранной модели на основе её пространственного разрешения и исторической базы, обеспечивающих баланс между актуальностью данных и их доступностью;
- е) Получение исходных данных из CDS, выбранного благодаря открытому доступу, широким возможностям фильтрации, удобному интерфейсу и наличию полного набора прогнозов СМИР6;
- ж) Признание необходимости привлечения навыков программирования.

### 3.2.2. Переменные

С учётом требований к данным для анализа трёх водных угроз – тепловых волн, засух и речных наводнений – и доступности данных по странам, сценариям и периодам, для всей суши трёх стран в разрешении  $110 \times 110$  км были выбраны следующие переменные:

- › Суточные осадки
- › Месячные осадки
- › Среднесуточная температура приповерхностного слоя воздуха
- › Суточный максимум приповерхностной температуры воздуха

- › Среднемесячная температура приповерхностного слоя воздуха
- › Продолжительность светового дня
- › Месячный суммарный сток
- › Месячная влажность в верхней части почвенного столба

### 3.2.3. Сценарии

В рамках проекта предпочтение было отдано распространённым сценариям шестого поколения SSP (SSP1-2.6, SSP2-RCP4.5 и SSP5-RCP8.5) для беспрепятственной интеграции в экономическую модель. Эти сценарии были выбраны вместо более ранних за их более комплексную структуру, объединяющую социально-экономические условия с климатическими прогнозами. Шестое поколение климатических сценариев (SSP) сочетает описания социально-экономического развития с уровнями радиационного воздействия, обеспечивая детальное исследование потенциального будущего климата и связанных с ним социальных проблем.

В отличие от RCP, которые сосредоточены исключительно на траекториях концентрации парниковых газов, SSP учитывают экономический рост, демографическую динамику, технологический прогресс и реализацию политики. Такая интеграция позволяет SSP показать взаимодействие между социально-экономическими факторами и климатическими последствиями, создавая более широкий контекст для понимания возможных сценариев развития.

SSP работают совместно с RCP, связывая климатические результаты с реалистичными социально-экономическими условиями. Это даёт исследователям возможность изучать широкий спектр стратегий адаптации и смягчения климатических рисков. Такая гибкость делает SSP превосходным инструментом для анализа климатических

рисков и оценки возможностей общества по их преодолению при разных траекториях развития.

### 3.3. Манипулирование данными

Окончательные необходимые данные из CDS были загружены 16 октября 2024 года, после чего они были обработаны и использованы для моделирования соответствующих показателей. Доступ к данным осуществляется вручную и не требует использования специального программного обеспечения, то есть интерфейса прикладного программирования. Пользователь может вручную выбирать любые подпараметры данных, например временные периоды или географические регионы.

После загрузки данных для выполнения всех расчетов и визуализации использовался язык программирования Python (открытое программное обеспечение). Для выполнения различных задач в Python требуются отдельные пакеты и библиотеки, которые устанавливаются по мере необходимости. Наиболее важными из них являются: xarray, pandas, netCDF4, а также matplotlib и cartopy. Библиотека xarray применялась благодаря своей способности значительно упрощать работу с большими многомерными наборами данных (например, температурой и осадками во времени и пространстве) за счёт использования именованных измерений. Pandas использовалась для обработки пропусков в данных, фильтрации и агрегирования временных рядов климатических данных. NetCDF4 необходима для чтения данных в формате CDS4, в котором представлены большинство климатических данных. Matplotlib применялась для визуализации климатических данных и использовалась при построении графиков и карт.

Все расчёты и моделирование, представленные здесь, могут быть выполнены и воспроизведены с использованием программного обеспечения с открытым исходным кодом, однако для этого необходимы навыки программирования и знания в области науки о данных.

### 3.4. Расчеты и моделирование

#### 3.4.1. Метеорологические засухи

В качестве основного показателя для расчётов засухи в Казахстане был выбран стандартизованный индекс осадков и эвапотранспирации (SPEI), поскольку он представляет собой комплексный подход к оценке водного баланса и является высокоэффективным инструментом для определения условий засухи. В отличие от индексов, основанных исключительно на осадках, SPEI учитывает как осадки, так и потенциальное испарение, что позволяет включать в расчёты влияние температуры и других климатических факторов на доступность воды. Такая чувствительность к различным климатическим переменным, особенно к колебаниям температуры, повышает точность оценки засух в условиях изменяющегося климата.

Особую ценность SPEI придаёт его многомасштабность, позволяющая проводить анализ в различных временных интервалах – от краткосрочных месячных засух до многолетних периодов. Такая универсальность делает SPEI оптимальным инструментом для сопоставления степени засушливости в регионах с различными климатическими характеристиками. В данном исследовании была выбрана 12-месячная шкала, поскольку она отражает баланс между поступлением влаги и атмосферным спросом за полный годовой цикл. Этот масштаб особенно хорошо подходит для выявления

продолжительных периодов дефицита или избытка влаги. Учитывая, что он отображает совокупный водный стресс за год, 12-месячный SPEI позволяет выявлять тенденции и аномалии в годовом гидрологическом балансе, что имеет ключевое значение для планирования в регионах, чувствительных к водным ресурсам, а также для управления долгосрочными экологическими и экономическими последствиями климатической изменчивости.

Для расчёта индекса SPEI и вероятности наступления засухи использовались данные о суточной температуре воздуха, суточных осадках и солнечных часах. На первом этапе потенциальное испарение (PET) рассчитывалось с помощью уравнения Торнтийта, которое применялось для определения водного баланса на ежемесячной основе с учётом данных об осадках; продолжительность светового дня была взята из исходных данных (Aschonitis et al. 2021), что позволило сформировать индекс SPEI. Далее SPEI рассчитывался для каждой ячейки сетки карты. Для повышения качества анализа тяжести засух события дополнительно классифицировались по значениям индекса SPEI. Засухи были отнесены к трём уровням опасности: низкая опасность – при значениях ниже -1; средняя опасность – при значениях ниже -1,5; высокая опасность – при значениях ниже -2.

Для определения вероятностей наступления каждого уровня опасности, а также средней вероятности для исторического базового периода применялся градиентный бустинг-регрессор. Метод градиентного бустинга обеспечивает непрерывный результат, который можно непосредственно интерпретировать как вероятность возникновения события.

В соответствии с требованиями проекта итоговое представление данных было выполнено в формате Microsoft Excel. Поэтому на завершающем этапе данные были сохранены в формате NetCDF, после чего были разбиты по отдельным странам и экспортированы в формат CSV. Ограничением данного подхода к прогнозированию засух является использование уравнения Торнтийта, так как существуют более точные методы, оперирующие большим количеством данных, однако такие данные в рамках проекта были недоступны.

### 3.4.2. Речные наводнения

Для прогнозирования речных наводнений в Казахстане необходимо учитывать несколько переменных, чтобы полноценно отразить риск возникновения речных наводнений в различных регионах страны. С учётом метеорологической сложности данного явления необходимо принимать во внимание различные гидрологические факторы, такие как пористость почвы, растительность, землепользование и уклон рельефа. Однако учесть все эти параметры в крупномасштабных исследованиях зачастую практически невозможно. Кроме того, из-за быстрого возникновения ливневых паводков и потребности в оперативных данных прогнозирование речных наводнений представляет собой сложную задачу (Perrera et al., 2020). Ограниченность данных и ресурсов позволила включить в расчёты только определённые переменные. Для оценки возможных будущих речных наводнений в каждой ячейке сетки были выбраны следующие переменные, которые затем были объединены в составной индекс риска:

- › **Месячный общий сток:** отражает объём воды, стекающей по поверхности земли и поступающей в реки после выпадения

осадков. Является признанным ключевым фактором, вызывающим речные наводнения. Интенсивность стока может значительно возрастать из-за сильных осадков, снеготаяния, насыщенности почвы или продолжительных дождей, что приводит к превышению пропускной способности русел рек и их разливу. Эта переменная служит косвенным индикатором при нехватке данных и особенно полезна, так как интегрирует влияние осадков, влажности почвы и характеристик водосбора, влияющих на скорость и интенсивность речных наводнений (IPCC, 2014).

- › **Пятидневные суммы осадков (5-Day Precipitation-Events):** однодневные осадки не всегда адекватно отражают вероятность наводнений, поскольку сложно оценить продолжительность и общую влажность, опираясь лишь на суточные значения. Напротив, 5-дневная сумма осадков позволяет отразить экстремальные события, когда выпадает аномально большое количество осадков, что повышает риск наводнений. Статистически вероятность наводнений возрастает после продолжительных осадков (EEA, 2021).
- › **Число дней с осадками выше 95-го процентиля:** часто в прогнозах используют количество дней с осадками свыше 50 мм. Однако для целевых регионов проекта, где преобладает сухой, засушливый или полузасушливый климат, такой порог не показателен. Поэтому использование 95-го процентиля исторического ряда позволяет адекватнее отразить экстремальные осадки. После таких дождей часто возникают ливневые паводки и речные наводнения из-за переполнения дренажных систем, насыщения почвы и русел рек (Cotterill et al., 2021; Tamm et al., 2023).

› **Суточная температура воздуха:** напрямую с наводнениями не связана, но применяется как косвенный индикатор снеготаяния и испарения. Особенно значима для горных районов, где весеннее снеготаяние вызывает резкое увеличение уровня рек. Кроме того, в тёплых регионах высокая температура способствует высыханию почвы и может усиливать интенсивность ливней (UNEP, 2020).

› **Влажность почвы:** напрямую определяет, какое количество осадков уходит в почву, а какое формирует поверхностный сток. Высокая влажность почвы указывает на близость к насыщению, что ограничивает её способность впитывать новые осадки и увеличивает поверхностный сток в речные системы. После предварительного насыщения почвы даже умеренные дожди могут быстро повышать уровень воды в реках (Yu et al., 2023; Ran et al., 2022).

В составной оценке риска всем переменным придавался равный вес, за исключением температуры, которая учитывалась с весом 50% в период с января по май (в связи с риском снеготаяния в горах) и с нулевым весом – с июня по декабрь. После этого был рассчитан интегральный риск для базового и будущего периодов, а затем агрегирован в годовой балл риска. Для повышения точности анализа тяжести наводнений каждое событие дополнительно классифицировалось по своему процентилю в историческом базовом периоде. Наводнения распределялись по трем уровням опасности: низкая опасность – 80-й процентиль; средняя опасность – 90-й процентиль; высокая опасность – 98-й процентиль.

Для определения вероятности возникновения каждого уровня опасности, а также средней вероятности для исторического базового периода использовался регрессор с градиентным бустингом. Этот метод позволяет

получить непрерывный результат, который можно напрямую интерпретировать как вероятность возникновения события.

В соответствии с требованиями проекта итоговые данные должны были быть представлены в формате Microsoft Excel. Поэтому на финальном этапе данные были сохранены в формате NetCDF, затем разбиты по странам и экспортаны в формат CSV.

Ограничения подхода заключаются в том, что включение гидрологической модели позволило бы повысить точность анализа, но выходило за рамки данного проекта. Гидрологические модели позволяют учитывать факторы землепользования, рельефа, динамику речных систем и соотношение дождевого и поверхностного стока. Кроме того, оценки риска являются скорее модельными оценками, чем точными наблюдаемыми фактами. Наводнения зависят от множества факторов, включая локальную географию, землепользование, речную морфологию и многие другие характеристики, что делает их сложными, нелинейными процессами, требующими более детального локального анализа.

### 3.4.3. Тепловые волны

В рамках данного исследования определение тепловых волн потребовало индивидуального подхода из-за различий в температурных нормах между тремя рассматриваемыми в проекте странами, а также между регионами Казахстана. Единый температурный порог оказался недостаточным для универсального определения тепловых волн, поскольку температура, считающаяся экстремальной в одном регионе, может быть нормальной в другом. Для решения этой задачи было принято определение тепловой волны, предложенное предыдущим партнёром проекта – Университетом Балеарских островов (GIZ, 2021a), которое согласуется с

ранее применявшимися методологиями, но учитывает региональные особенности климата.

Согласно этому определению, тепловая волна фиксируется тогда, когда максимальная дневная температура превышает 99-й процентиль исторических базовых температур для конкретной локации, и такая температура держится более пяти дней подряд. Этот процентильный подход обеспечивает более адаптированную к региональным условиям основу для определения тепловых волн, поскольку привязывает их к экстремальным температурам в конкретной точке, а не к фиксированным абсолютным значениям.

После идентификации периодов тепловых волн с помощью этого подхода, были выделены такие события как в исторических базовых данных, так и в прогнозных климатических данных для различных климатических сценариев. Для этого был рассчитан 99-й процентиль для каждой ячейки сетки за исторический базовый период, после чего определялись превышения по каждому сценарию SSP. Затем случаи тепловых волн агрегировались на ежемесячной основе, чтобы количественно оценить частоту возникновения тепловых волн во времени, фиксируя их количество в месяц и в год. Такое агрегирование позволило отследить изменения сезонного и годового распределения тепловых волн, что даёт понимание возможных изменений в частоте и сроках их возникновения при различных будущих климатических условиях.

Для углубления анализа тяжести тепловых волн каждое событие дополнительно классифицировалось по продолжительности. Были выделены три уровня опасности: низкий уровень – для событий продолжительностью не менее 5 дней, средний уровень – для событий продолжительностью не менее 8 дней и высокий уровень – для событий, длиящихся более 10 дней.

Для определения вероятности возникновения каждого уровня опасности, а также средней вероятности для исторического базового периода, использовался регрессор с градиентным бустингом. Этот метод формирует непрерывный результат, который можно непосредственно интерпретировать как вероятность возникновения события. В отличие от методов классификации, он позволяет оценить вероятность события в конкретной точке и выявить территории, где риск возрастает или снижается, что делает его особенно подходящим для анализа долгосрочных климатических трендов.

В соответствии с требованиями проекта итоговое представление данных было выполнено в формате Microsoft Excel. На финальном этапе данные были сохранены в

формате NetCDF, затем разбиты по отдельным странам и экспортированы в формат CSV.

Ограничения данного подхода заключаются в том, что в анализ можно было бы дополнительно включить и другие климатические переменные, влияющие на тепловые волны – например, влажность воздуха, влажность почвы и скорость ветра, при наличии соответствующих данных. Учёт этих параметров позволил бы более полно учитывать условия, способствующие возникновению тепловых волн, и повысил бы точность прогноза. Кроме того, интеграция данной модели с физическими климатическими моделями в будущем может позволить получить физически интерпретируемые результаты.

## 4. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ • Выводы

Казахстан сталкивается с серьёзными водными рисками, которые усугубляются изменением климата, неравномерным распределением водных ресурсов и высокой зависимостью от трансграничных источников воды.

Страна испытывает средний и высокий уровень водного стресса, при этом прогнозы указывают на дальнейшее ухудшение ситуации. Ожидается, что индекс водного стресса AQUEDUCT для Казахстана вырастет с 2,51 (базовый уровень) до 3,11 к 2080 году (WRI, 2024). К 2040 году дефицит водных ресурсов может достичь 50% от потребностей страны, что способно привести к сокращению ВВП на 6% (ПРООН, 2023c).

Водные ресурсы Казахстана распределены крайне неравномерно: лишь 56% общего годового стока формируется внутри страны, остальная часть поступает из соседних государств (ФАО, 2013). Зависимость от трансграничных водных потоков велика — крупнейшие реки, такие как Иртыш, Или, Сырдарья, Урал, Шу и Талас, берут начало за пределами Казахстана (ФАО, 2022).

Среднегодовая температура в Казахстане уже повысилась в прошлом и продолжит расти в будущем (Группа Всемирного банка и АБР, 2021). Повышение температуры в сочетании с изменениями режима осадков ведёт к снижению доступности речного стока (Сальников и др., 2015; ПРООН Казахстан, 2023). Согласно климатическим моделям, сток в реки и ручьи будет сокращаться из-за увеличения испарения и уменьшения количества осадков (Reyer et al., 2017).

Многие крупные реки Казахстана, включая Урал, Тобол, Или, Иртыш и Есиль, в последние годы существенно обмелели (Жупанхан и др., 2018; ПРООН Казахстан,

2023). За последние 15 лет уровень воды в реке Урал снизился в три раза (Хайбуллина, 2024). Дополнительную угрозу водной безопасности страны создаёт таяние ледников Тянь-Шаня и Памира — ключевых источников питания таких рек, как Амударья и Сырдарья (Sorg et al., 2012; WMO, 2024).

Водный стресс значительно варьируется по регионам страны. Так, в Арало-Сырдаринском и Шу-Таласском бассейнах изымается до 57% доступных запасов пресной воды, а в бассейне Нура-Сарысу нагрузка достигает уже 88% (Институт географии и водной безопасности, 2022).

Далее в отчёте более подробно рассматриваются четыре специфических водных риска: засухи, наводнения, возможное разрушение Великих озёр и опустынивание. Первые два (засухи и наводнения) актуальны для всех трёх страновых пакетов анализа (Грузия, Монголия, Казахстан), в то время как два последних риска имеют особое значение именно для Казахстана.

### 4.1. Засухи

Засуха становится всё более актуальной проблемой для Казахстана, особенно в южных, западных и центральных регионах страны. За последние 20-30 лет ситуация значительно ухудшилась в связи с изменением климата, дефицитом осадков, высокой зависимостью от ирригации и таянием ледников (Всемирный банк, 2021). Эта экологическая проблема представляет серьёзную угрозу для сельского хозяйства, животноводства, водной безопасности и общей экономической стабильности.

Некоторые регионы Казахстана особенно уязвимы к засухам. Акмолинская, Костанайская и Северо-Казахстанская области регулярно страдают от засух (ФАО, 2022). Атырауская, Западно-Казахстанская и Мангистауская области испытывают дефицит водных ресурсов, что дополнительно усиливает их уязвимость (ФАО, 2022). В южных и западных регионах в период с 2018 по 2021 год наблюдалась аномальная жара, вызвавшая падение уровня воды и пересыхание почвы до глубины 50 см (Reliefweb, 2021). В 2021 году экстремальная жара привела к рекордным температурам 46,5°C в Кызылординской, Мангистауской и Туркестанской областях, что вызвало стремительное снижение стока рек и водохранилищ, иссушение почвы и нехватку растительности и кормов на пастбищах (Reliefweb, 2021).

Ожидается, что частота и интенсивность засух в Казахстане продолжат расти. Дефицит воды уже классифицируется как высокий, при этом засухи прогнозируются в среднем раз в пять лет (Think Hazard, 2020). Усиливающийся спрос сельского хозяйства на воду может усугубить ситуацию (USAID, 2017). На данный момент среднегодовая вероятность метеорологической засухи не превышает 5% (Sadrtdinova et al., 2024). Однако даже по самому оптимистичному сценарию (RCP2.6) вероятность сильных засух к концу века возрастёт до 40%, а в наиболее уязвимых западных и южных регионах (Мангистауская и Кызылординская области) может превысить 80% (Sadrtdinova et al., 2024).

Международные прогнозы демонстрируют тревожную картину будущего климата Казахстана. К 2050 году ожидается повышение температуры на 2,6-4,4°C и сокращение осадков. В ряде регионов летние осадки могут уменьшиться на 15-30% (Всемирный банк, 2021), что усилит засушливость и её последствия. Ожидается, что Казахстан будет подвержен всем типам засух —

метеорологическим, гидрологическим и агрономическим (Садрдинова и др., 2024).

Последствия засух уже очевидны в ряде регионов. Западный Казахстан переживает засуху на протяжении трёх последних лет, причём лето 2021 года стало самым тяжёлым в истории наблюдений (Садрдинова и др., 2024). В Мангистауской области наблюдаются засуха и массовая гибель скота (Sadrtdinova et al., 2024). Кроме того, пять из восьми водохозяйственных бассейнов страны испытывают наивысший уровень водного стресса — в Шу-Таласском и Нура-Сарысу бассейнах зафиксированы индексы 0,98 и 1, что указывает на полное использование речного стока (Sadrtdinova et al., 2024).

## 4.2. Наводнения

Казахстан сталкивается со значительными рисками наводнений, особенно в период весеннего паводка в северных и восточных регионах вдоль таких крупных рек, как Иртыш, Сырдарья и Ишим (Группа Всемирного банка и АБР, 2021). Риски усугубляются снеготаянием, ледяными заторами, сильными дождями, слабым развитием инфраструктуры и более ранним наступлением весеннего таяния в результате изменения климата. Уязвимость страны к наводнениям дополнительно возрастает из-за роста экстремальных суточных осадков, особенно в горных районах (World Bank Group & ADB, 2021).

Последние события подчеркивают серьёзность этой угрозы. Весной 2024 года Казахстан пережил беспрецедентное наводнение, признанное крупнейшим бедствием за последние 80 лет (UNDRR, 2024a). Наводнение затронуло почти треть территории страны, вынудив эвакуировать более 120 000 человек и вызвав затопление обширных территорий, включая город Атырау (UNDRR, 2024a).

Климатические прогнозы указывают на рост вероятности наводнений до 2050 года из-за ускоренного снеготаяния в горах, увеличения ледяных затворов и роста количества сильных осадков на 20-30% (World Bank Group & ADB, 2021). Кроме того, потенциальное повышение уровня Каспийского моря создаёт дополнительные риски затопления прибрежных территорий. Последствия наводнений имеют широкий экономический резонанс (см. главу 7 об экономическом ущербе).

Несмотря на масштаб рисков, система управления наводнениями в Казахстане остаётся недостаточно развитой. Планировалось строительство 39 новых водохранилищ в девяти регионах для борьбы с наводнениями и обеспечения водохранилищами, однако проект пока остаётся на стадии технико-экономического обоснования (Хайбуллина, 2024). Из-за отсутствия прогресса во многих регионах одновременно сохраняются риски как затопления, так и нехватки воды в течение одного и того же года (Хайбуллина, 2024). Казахстан стремится к международному сотрудничеству для расширения своих возможностей по управлению рисками наводнений.

Повторяющийся характер наводнений в Казахстане в сочетании с их нарастающей интенсивностью на фоне изменения климата подчёркивают острую необходимость в комплексной оценке рисков наводнений и разработке защитных мер. В дальнейшем поиск баланса между контролем за паводками и управлением водными ресурсами будет играть ключевую роль в обеспечении экологической и экономической устойчивости страны.

## 4.3. Тепловые волны

В соответствии с глобальными тенденциями последних десятилетий и прогнозами на XXI век, тепловые волны и экстремально жаркие дни становятся всё более серьёзной проблемой для Казахстана. Изменение климата способствует росту их частоты и интенсивности. В течение последнего столетия в Казахстане наблюдается стабильный рост средних температур: с 5,68°C в 1901 году до 8,32°C в 2020 году. Эта тенденция потепления опережает средние глобальные темпы, и прогнозы показывают, что при высоких сценариях выбросов к 2090-м годам потепление может достичь 5,3°C (Oladejo et al., 2023).

В последние годы в стране фиксируется увеличение числа рекордных температур, изменение сезонной амплитуды и рост количества дней с высокой температурой (ADB, 2021). Учащение экстремальной жары уже оказывает многочисленные последствия: ускоренный сток рек, деградация почв, уничтожение урожая, падёж скота, снижение производительности труда, рост нагрузки на энергетическую инфраструктуру и сокращение растительности, что делает почвы более уязвимыми к опустыниванию (IFRC, 2021).

Будущие прогнозы вызывают серьёзные опасения: ожидается дальнейший рост температур, более быстрый, чем в среднем по миру; усиление частоты, интенсивности и продолжительности тепловых волн. Анализ данных, представленный в данном отчёте, подтверждает эту тенденцию, при этом летние температуры будут расти быстрее, чем среднегодовые, что делает тепловые волны особенно тяжёлыми как для скота, так и для уязвимых групп населения (ADB, 2021).

## 4.4. Нехватка пресной воды и водный стресс

Казахстан сталкивается со значительными вызовами в управлении своими пресноводными ресурсами. Текущий уровень водного стресса и прогнозируемый дефицит воды представляют серьёзную угрозу для развития и безопасности страны. В данном разделе рассмотрены текущее состояние водных ресурсов, прогнозы на будущее и исторический контекст водных катастроф в регионе.

В целом водный стресс в Казахстане оценивается как умеренный (WRI, 2024; Каратаев и др., 2017). Несмотря на то, что он ещё не достиг критического уровня, страна приближается к порогу, который ООН и другие организации определяют как начало серьёзного водного дефицита (ФАО, 2022). Однако средние значения по стране скрывают значительные региональные различия: в бассейнах Арабо-Сырдарьи и Шу-Таласа изымается 57% запасов пресной воды, а в бассейне Нура-Сарысу – 88% (Жупанхан и др., 2018).

Дефицит воды вызван несколькими факторами, включая изменение климата, неэффективное управление водными ресурсами и изношенную инфраструктуру. На долю сельского хозяйства приходится 60-65% общего водозабора, при этом потери воды при транспортировке превышают 50% из-за устаревшей ирригационной системы (ФАО, 2022). Быстрая урбанизация (уровень урбанизации Казахстана на 2020 год составил 57,4%) также увеличивает давление на водные ресурсы (Всемирный банк, 2022).

Будущие прогнозы указывают на усугубление водного дефицита, который затронет все сектора экономики, прежде всего – сельское хозяйство, промышленность и коммунальное хозяйство. Ожидается, что изменение климата

усилит водный дефицит за счёт снижения речного стока (Сальников и др., 2015). Например, озеро Балхаш, на 80% зависящее от трансграничной реки Или, является крайне уязвимым к изменениям стока и климата (ПРООН Казахстан, 2023). С 1970-х годов объёмы стока реки Или, поступающего из Китая, неуклонно снижаются (ПРООН Казахстан, 2023). Дополнительно, ожидается, что к 2050 году численность населения Казахстана вырастет до 24-25 миллионов человек, что окажет дополнительную нагрузку на водные ресурсы (ООН, 2019).

Значительно ухудшается и качество воды в результате загрязнения. Промышленные отходы, сельскохозяйственные стоки и выбросы горнодобывающей промышленности способствуют ухудшению состояния вод по всей стране (АБР, 2018). Промышленная деятельность также усугубляет нехватку воды (Каратаев и др., 2017). Озеро Балхаш стало объектом экологических исследований из-за опасений по поводу снижения уровня и качества воды (Пропастин, 2012). Национальная программа борьбы с опустыниванием указывает на широкое распространение загрязнения, вторичного засоления и ухудшения доступа к чистой питьевой воде (Министерство экологии Казахстана, 2019). Все эти факторы подрывают устойчивость водных ресурсов, необходимых как для сельского хозяйства, так и для здоровья населения.

Историческим примером водной катастрофы является сокращение Аральского моря – некогда четвёртого по величине внутреннего водоёма в мире, который с 1960-х годов уменьшился на 90% из-за масштабного ирригационного водозабора (Micklin, 2007). Это привело к загрязнению высохшего dna токсичными химикатами и солями, деградации окружающей среды и ухудшению здоровья местного населения (Whish-Wilson, 2002). Сокращение Арала также повлияло на климат, усугубив водный дефицит,

сельскохозяйственные потери и сокращение биоразнообразия (Micklin, 2016). Этот пример наглядно демонстрирует последствия неправильного управления водными ресурсами и подчёркивает срочность решения водных проблем Казахстана на национальном, региональном и глобальном уровнях, особенно учитывая трансграничный характер водных потоков и воздействие климатических изменений.

## 4.5. Опустынивание

Опустынивание в Казахстане затрагивает многие миллионы гектаров деградированных пастбищ (Министерство экологии Казахстана, 2019). Причины деградации носят как природный, так и антропогенный характер: чрезмерный водозабор для орошения, неустойчивые сельскохозяйственные практики (например, перевыпас в степи), чрезмерная добыча водных ресурсов (Каратайев и др., 2017). Климатические изменения приводят к учащающимся засухам, повышению температуры, увеличению испарения и снижению влажности почв (Всемирный банк, 2021).

Наиболее затронутые регионы – Южный Казахстан (пустыня Кызылкум, Аральское море, Бетпак-Дала), Западный Казахстан

(Прикаспийский регион, Мангистауская и Атырауская области), Казахская степь и Центральный Казахстан. Серьёзной проблемой становится засоление почв, особенно на орошаемых и заброшенных землях (Хамзина и др., 2015).

Прогнозы показывают, что опустынивание будет усиливаться вследствие климатических изменений. Ожидается дальнейшее повышение температуры, изменение структуры осадков и продвижение засушливых зон на север, что усилит деградацию и эрозию почв и снизит сельскохозяйственную продуктивность (IPCC, 2019). Климатические модели прогнозируют рост температуры, расширение зон засухи в северной и центральной части страны и учащение экстремальных явлений – волн жары, засух, наводнений, оползней и селевых потоков (Министерство экологии Казахстана, 2020). Эти изменения, вероятно, усугубят уже существующие процессы опустынивания, что приведёт к дальнейшим потерям пахотных земель, росту бедности в сельских районах, удорожанию продовольствия и конфликтам из-за нехватки воды. Также прогнозируются потери биоразнообразия, усиление эрозии, учащение пыльных бурь и рост заболеваемости респираторными и водными инфекциями (Ахметов и др., 2021).

## 5. АНАЛИЗ ДАННЫХ • Выводы

### 5.1. Метеорологические засухи

Среднегодовая вероятность возникновения засух в Казахстане для исторического базового периода составила 32% для малоопасных засух, 15% - для среднеопасных и 3% - для высокоопасных засух. Уже в начале прогнозируемого периода, в 2024 году, вероятность малоопасных засух составляла около 37% (соответственно 22% и 6% для среднеопасных и высокоопасных засух), что свидетельствует о том, что Казахстан уже находится под значительным давлением засушливых условий.

В соответствии со сценарием SSP 1-2.6, вероятность всех типов засух остаётся относительно стабильной на протяжении всего прогнозного периода с незначительными колебаниями и общей тенденцией к снижению к концу века. В конце периода прогнозируется вероятность около 35% для малоопасных засух, 16% - для

среднеопасных и 5% - для высокоопасных засух.

Сценарий SSP 2-4.5 демонстрирует схожие результаты: уровни риска остаются стабильными, однако к концу века вероятность возникновения засух несколько выше по сравнению с SSP 1-2.6: около 37% для малоопасных, 22% для среднеопасных и 7% - для высокоопасных засух.

В рамках сценария SSP 5-8.5 тенденция меняется — наблюдается значительное увеличение вероятности засух по всем трём категориям опасности. К концу века вероятность малоопасных засух достигает почти 50%, среднеопасных – 31%, а высокоопасных – 15 %. Это указывает на то, что данный сценарий приведёт к значительно более тяжёлым последствиям по сравнению с другими сценариями. Более подробная информация представлена на рисунках ниже.

Рисунок 1. Вероятность возникновения метеорологических засух для малоопасных событий

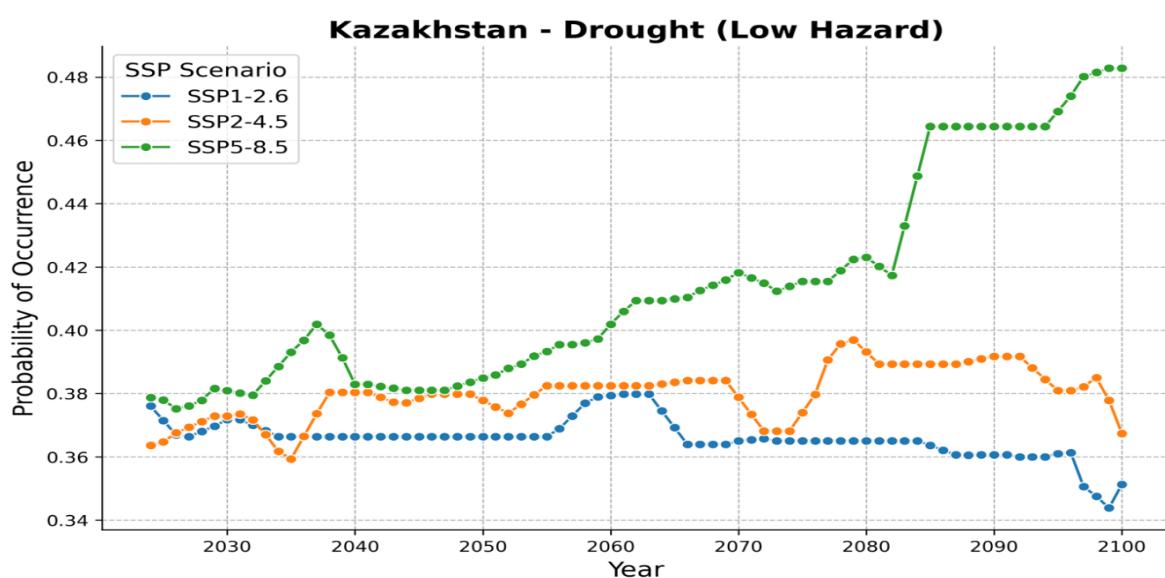


Рисунок 2. Вероятность возникновения метеорологических засух для событий средней опасности

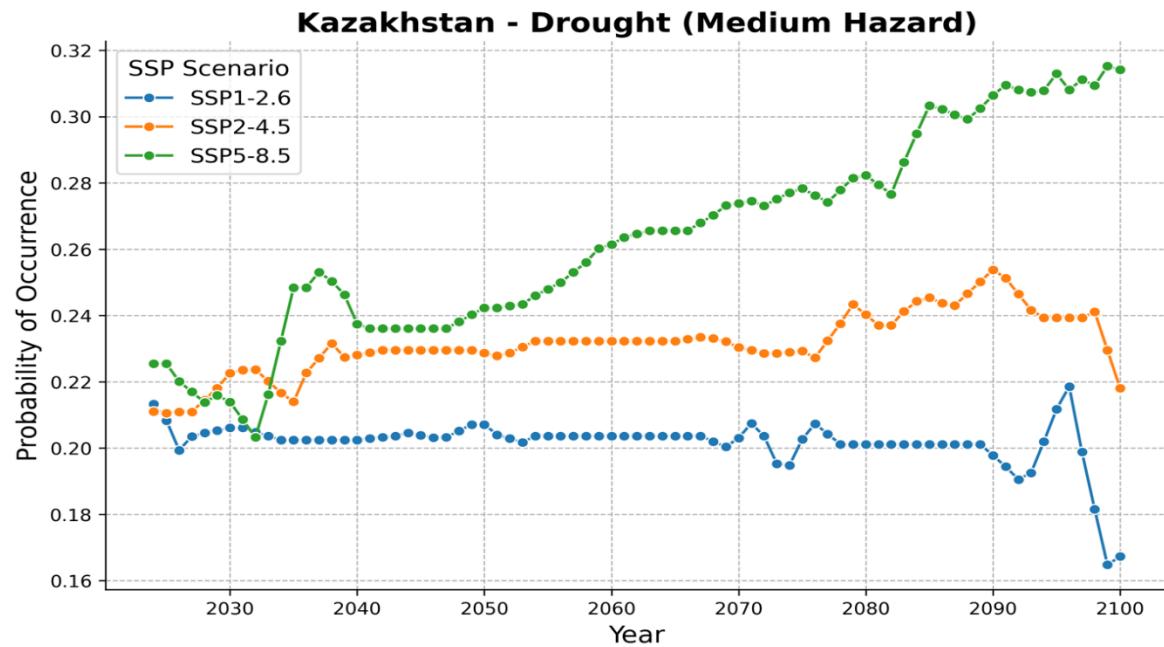
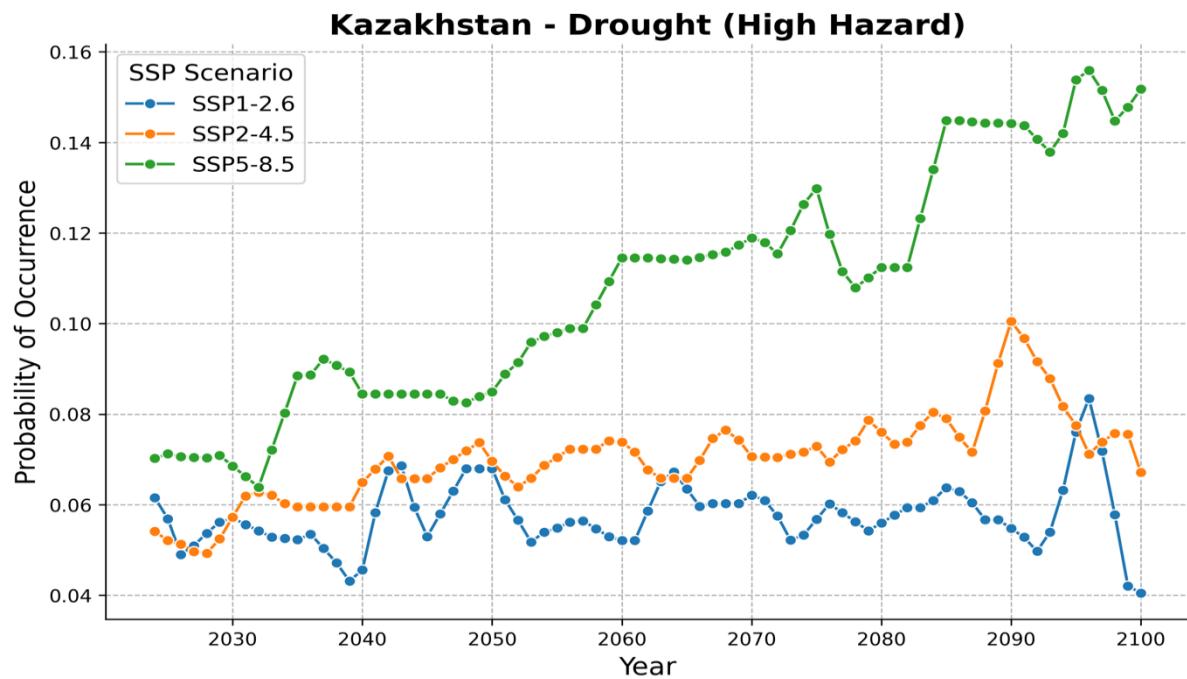


Рисунок 3. Вероятность возникновения метеорологических засух для событий высокой опасности



## 5.2. Речные наводнения

В историческом базовом периоде средняя вероятность возникновения наводнений низкой опасности в Казахстане составляла 20%, средней опасности – 10%, а высокой опасности – около 2%, что соответствует рискам наводнений с периодичностью 5, 10 и 100 лет соответственно. К 2024 году эти значения увеличились примерно до 35% для низкой опасности, до 18% для средней и до 2-3% для высокой опасности. Дальнейшее развитие ситуации различается в зависимости от сценария.

По сценарию SSP 1-2.6 наблюдается первоначальный рост вероятности по всем категориям опасности, но к концу века происходит общее снижение. В итоге к концу прогнозного периода вероятность составляет около 25% для низкой опасности, 11% - для средней и 1% - для высокой, что отражает общее снижение рисков наводнений по стране.

Сценарий SSP 2-4.5 демонстрирует устойчивый рост вероятности наводнений вплоть до конца столетия с последующим незначительным снижением. В этом сценарии к концу века вероятность наводнений составит около 47% для малоопасных событий, 30% - для среднеопасных и 8% - для высокоопасных, что в целом указывает на существенный рост риска.

В сценарии SSP 5-8.5 прогнозы ещё более драматичны, особенно в отношении малоопасных и среднеопасных наводнений. Вероятности существенно возрастают на протяжении всего столетия и особенно быстро растут во второй его половине, достигая к концу периода около 85% для малоопасных, почти 65% - для среднеопасных и порядка 6% - для высокоопасных наводнений. Более подробная информация представлена на рисунках ниже.

*Рисунок 4. Вероятность возникновения речных наводнений для малоопасных событий*

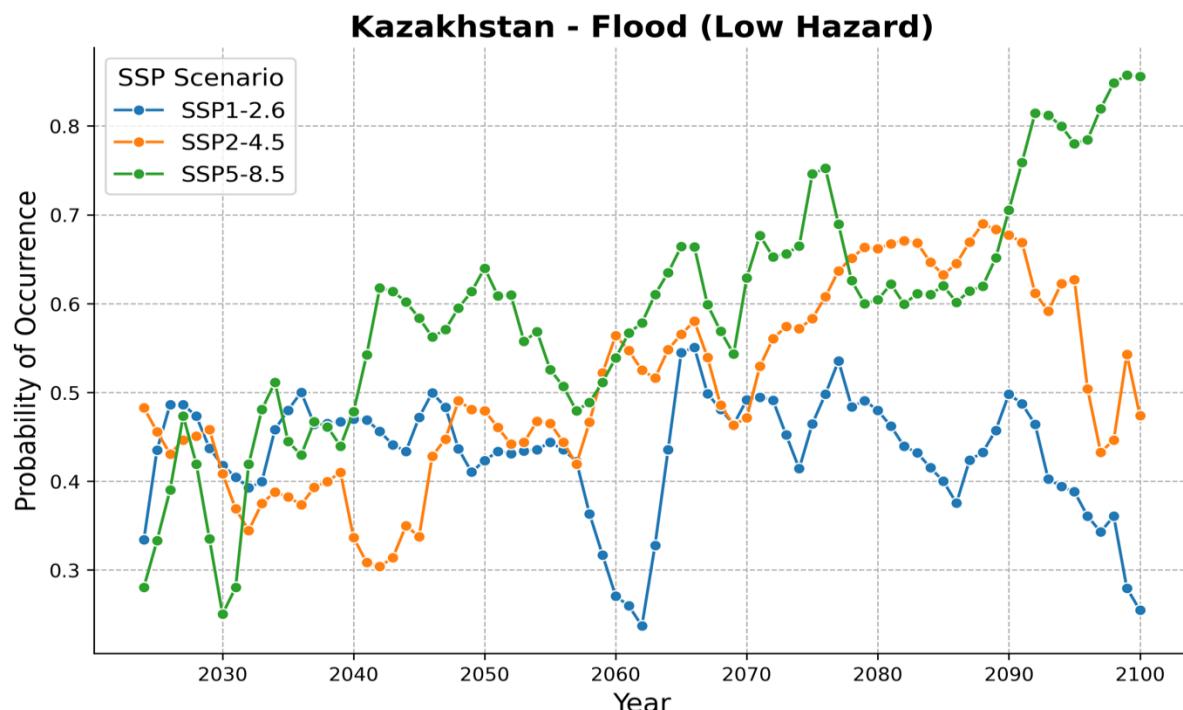


Рисунок 5. Вероятность возникновения речных наводнений для событий средней опасности

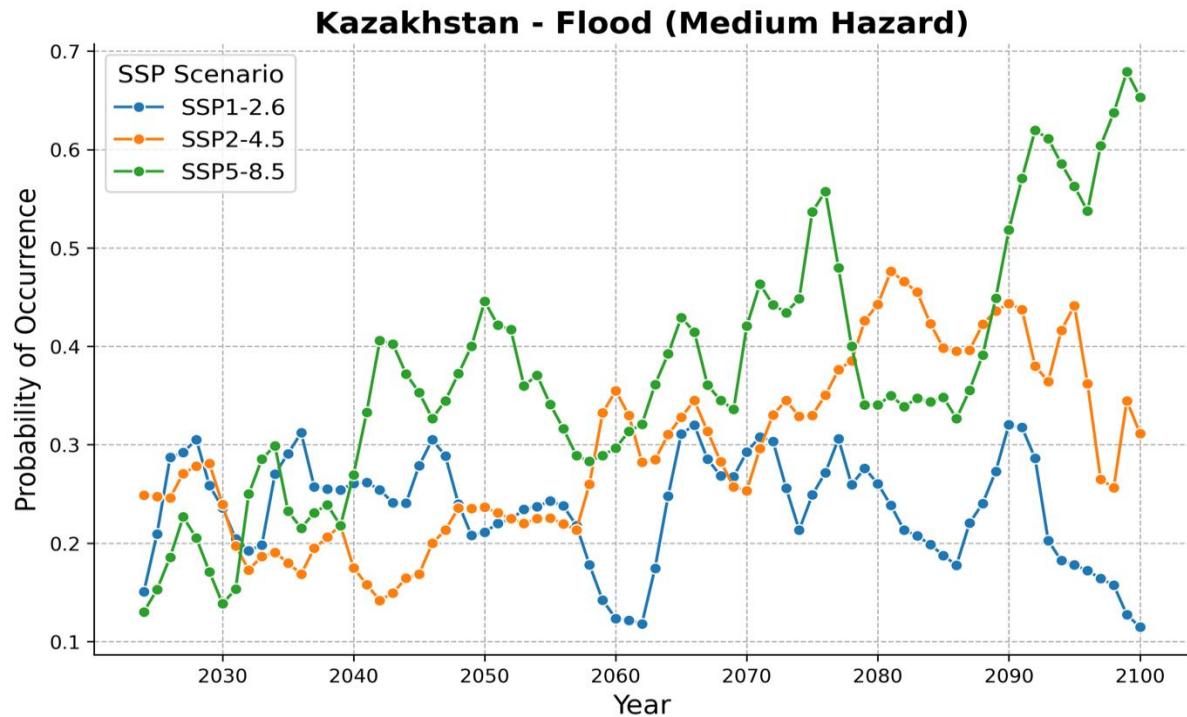
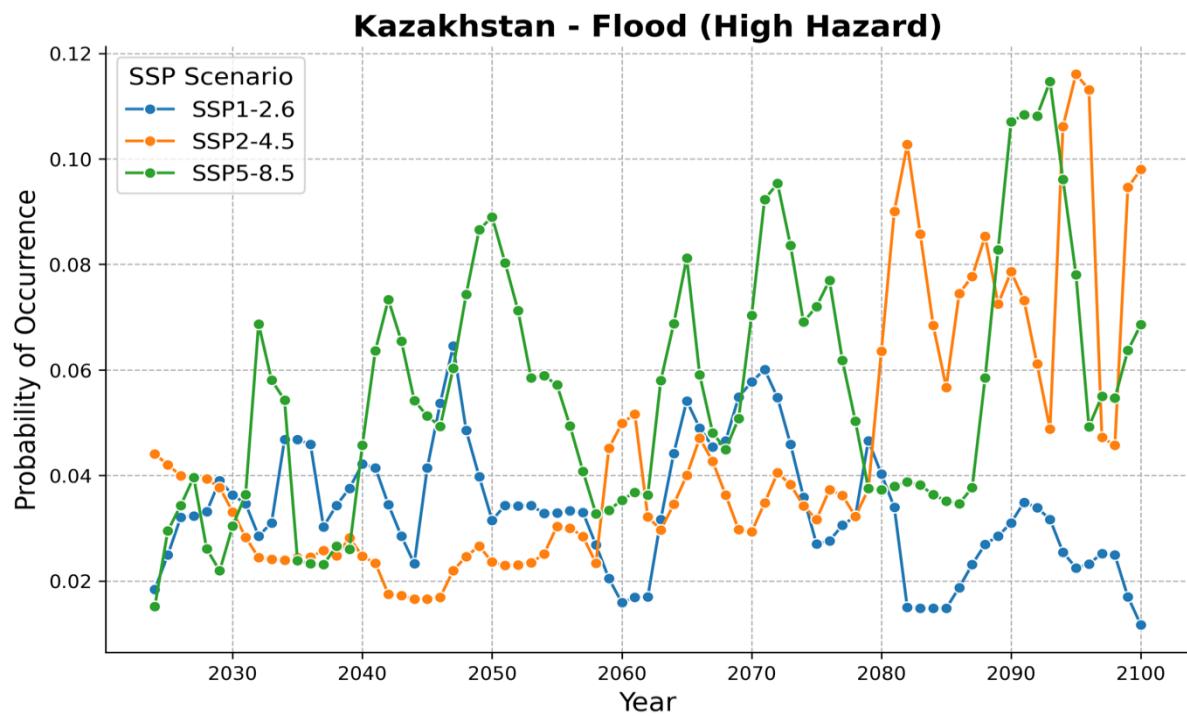


Рисунок 6. Вероятность возникновения речных наводнений для событий высокой опасности



### 5.3. Тепловые волны

Пороговая температура тепловой волны для Казахстана была определена индивидуально для каждой точки сетки. Исторические данные показали, что вероятность превышения этого порога составляет в среднем 11% для волн жары продолжительностью более пяти дней (низкая опасность), 2% - для продолжительности свыше семи дней (средняя опасность), и менее 1% - для волн более десяти дней (высокая опасность).

Согласно сценарию SSP 1-2.6, вероятность наступления малоопасных тепловых волн сначала значительно возрастает, но к концу века снижается, выходя на уровень около 30%. Похожая динамика наблюдается и для среднеопасных и высокоопасных волн, где вероятности к концу века составляют около 10% и 4% соответственно. Учитывая, что средние и максимальные температуры в Казахстане уже растут быстрее, чем в среднем по миру, даже при оптимистичном сценарии сохраняется повышенный риск тепловых волн.

Согласно сценарию SSP 2-4.5, вероятность всех трёх уровней опасности значительно возрастает вплоть до конца века, после чего происходит небольшое снижение. В итоге вероятность тепловых волн к концу периода составит около 50% для малоопасных, 25% - для среднеопасных и 6% - для высокоопасных волн.

По сценарию SSP 5-8.5 прогнозируется резкий рост вероятности для всех уровней опасности в течение всего прогнозного периода. Небольшое снижение вероятностей среднеопасных и высокоопасных волн в конце столетия может находиться в пределах статистической погрешности или указывать на достижение пика по данному сценарию. В конце столетия вероятность малоопасных тепловых волн превышает 80%, среднеопасных – более 60%, а высокоопасных – около 40%, что отражает резкий рост по сравнению с историческим периодом. Более подробная информация представлена на рисунках ниже.

Рисунок 7. Вероятность наступления тепловых волн для малоопасных событий

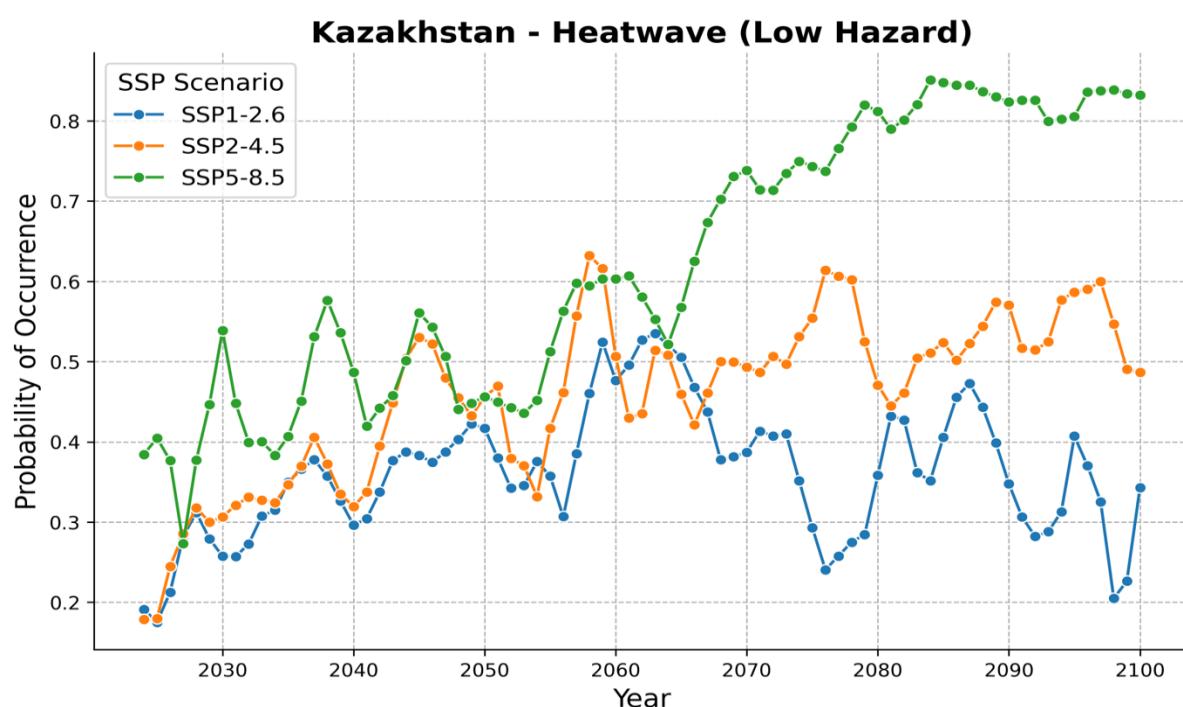


Рисунок 8. Вероятность наступления тепловых волн для событий средней опасности

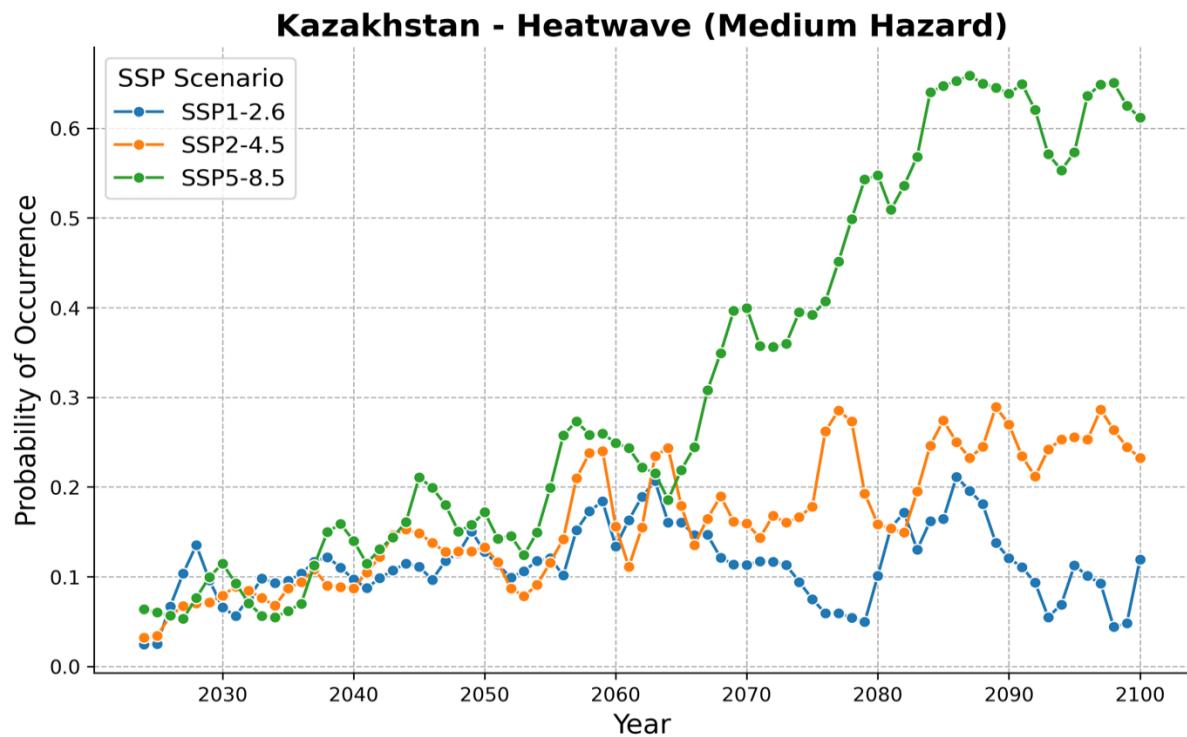
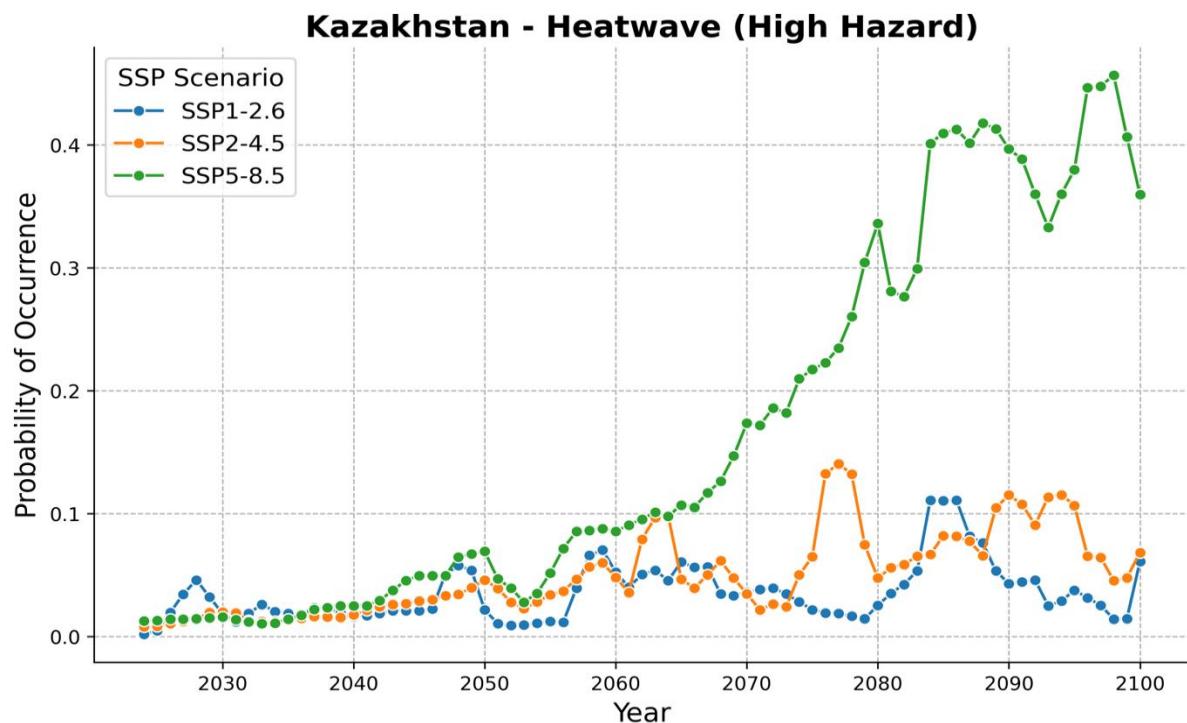


Рисунок 9. Вероятность наступления тепловых волн для событий высокой опасности



## 5.4. Оценка

Прогнозируемые опасные водные явления в условиях изменения климата для Казахстана показывают рост рисков тепловых волн, засух и речных наводнений по большинству сценариев, при этом сценарий SSP 5-8.5 указывает на потенциально серьёзные последствия. Эти выводы подчёркивают настоятельную необходимость для Казахстана не только разрабатывать адаптационные стратегии, но и активно участвовать в глобальных усилиях по смягчению изменения климата с целью предотвращения дальнейшего усиления климатических угроз.

В Казахстане прогнозируется существенный рост как частоты, так и интенсивности тепловых волн по всем климатическим сценариям, с наибольшим увеличением вероятности по сценарию SSP 5-8.5. Тогда как SSP 1-2.6 демонстрирует возможность стабилизации и даже частичного снижения риска тепловых волн к концу века, сценарии SSP 2-4.5 и 5-8.5 указывают на то, что даже умеренные тепловые волны будут происходить всё чаще, практически ежегодно или раз в несколько лет. По сценарию SSP 5-8.5 к концу века экстремальные тепловые явления могут фиксироваться почти в половине всех лет. Эти изменения создадут серьёзную нагрузку на системы здравоохранения, приведут к росту заболеваний, связанных с жарой, увеличат потребность в электроэнергии для охлаждения, особенно в периоды затяжной жары. Кроме того, экстремальные температуры негативно повлияют на сельскохозяйственное производство, учитывая высокую зависимость экономики Казахстана от климатически чувствительных отраслей.

Историческая уязвимость Казахстана к засухам сохранится и, вероятно, усилится в рамках сценария SSP 5-8.5, который прогнозирует значительный рост вероятности засух. В сценариях SSP 1-2.6 и SSP 2-4.5 засухи

останутся на относительно стабильном уровне, однако всё равно выше исторического базового периода, что подчёркивает: даже при сценарии с низкими выбросами полностью исключить риски засух не удастся. По сценарию SSP 5-8.5 к концу века практически половина всех лет будет характеризоваться как минимум малоопасными засушливыми условиями. Это создаст дополнительные риски для водных ресурсов, питьевого водоснабжения, сельского хозяйства, может привести к сокращению пахотных площадей и необходимости пересмотра агротехнологий. Также возможно усиление деградации земель и процессов опустынивания в засушливых регионах Казахстана, что может спровоцировать миграцию населения в города и усилит нагрузку на городскую инфраструктуру.

Риски наводнений в Казахстане демонстрируют заметные различия между сценариями, при этом сценарий SSP 5-8.5 вновь показывает наиболее резкое увеличение угроз. Тогда как SSP 1-2.6 допускает, что вероятность наводнений со временем может даже снизиться относительно пиков середины века, SSP 2-4.5 и особенно SSP 5-8.5 прогнозируют устойчивый рост числа наводнений, особенно в категории событий низкой и средней опасности. К концу века в SSP 5-8.5 малые наводнения могут происходить в более чем 75% лет, что создаст серьёзные риски для инфраструктуры, населения и сельского хозяйства, особенно в прибрежных и речных регионах. Частые наводнения могут привести к ухудшению качества почвы, сбоям в сельском хозяйстве, повреждению инфраструктуры, включая дороги и жилые районы. Дополнительно, как в городских, так и в сельских районах возрастут затраты на восстановление и ремонт после наводнений.

Эти прогнозы подчёркивают острую необходимость для Казахстана в разработке и реализации эффективных стратегий адаптации к изменяющемуся климату. Сценарий SSP 1-2.6 показывает, что сокращение выбросов может стабилизировать ряд климатических рисков, подтверждая решающую роль глобальной климатической политики в минимизации частоты опасных явлений. Тем не менее, даже при умеренных и высоких выбросах Казахстан должен готовиться к увеличению вероятности тепловых волн, засух и наводнений. Развитие засухоустойчивого сельского хозяйства, совершенствование ирригационных систем, инвестиции в водосбережение помогут смягчить последствия засух. В то же время

укрепление инфраструктуры и совершенствование систем управления наводнениями будут критически важными для минимизации ущерба от наводнений при их высокой повторяемости.

В заключение следует отметить: климатические перспективы Казахстана подчёркивают необходимость как глобального сокращения выбросов, так и проведения продуманной адаптационной политики на национальном уровне. Совмещение этих двух подходов даёт наилучшие шансы для защиты населения, экосистем и экономической стабильности страны перед лицом нарастающих климатических угроз.

## 6. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УЩЕРБ

Экономические последствия описанных выше климатических рисков, связанных с водой, являются значительными. Казахстан сталкивается с серьёзными вызовами нехватки воды и последствиями изменения климата, которые могут оказывать влияние на доступность водных ресурсов и замедлить экономический рост в ближайшие десятилетия.

Особенно уязвим сельскохозяйственный сектор, который в значительной степени зависит от орошения, обеспечивающего 60% общего водозабора в 2020-2022 годах (ФАО, 2022). Согласно прогнозам, к 2050 году потребности сельскохозяйственных культур в воде возрастут на 15% по сравнению с 1990 годом (USAID, 2017). Учитывая, что производительность оросительных систем Казахстана в 6-8 раз ниже, чем в развитых странах (ФАО, 2013), это создаёт серьёзные риски для продовольственной безопасности, включая снижение урожайности и усиление волатильности цен и поставок продовольствия (ФАО, 2024).

Кроме того, засухи оказывают прямое воздействие на сельское хозяйство: фермеры, выращивающие влагозависимые культуры, сталкиваются с хроническим дефицитом воды, что уже привело к снижению урожайности зерновых в ряде регионов. Например, в Костанайской области урожайность зерновых в последние годы значительно ниже средних значений (Рашид и Исакоджаев, 2021).

Последствия засух распространяются и на другие сферы экономики и общества. Засухи вызывают падёж скота, усугубляют водный дефицит, способствуют деградации земель и опустыниванию. Эти процессы приводят к

миграции и депопуляции сельских районов, росту социально-экономических трудностей в пострадавших регионах. Таким образом, засуха представляет собой серьёзную и нарастающую угрозу, требующую комплексных стратегий, сочетающих как краткосрочные меры смягчения, так и долгосрочную адаптацию.

Наводнения также наносят значительный экономический ущерб, разрушая инфраструктуру, сельхозугодья и населённые пункты. Повторяющиеся наводнения вызывают переселение сельского и городского населения, рост бедности и потерю источников дохода (UNDRR, 2024a). Стоимость восстановления после таких катастроф велика, что подчёркивает необходимость совершенствования систем управления наводнениями. Ярким примером стал беспрецедентный паводок 2024 года, затронувший более 6000 домохозяйств и вынудивший эвакуировать 117 000 человек (UNDRR, 2024a).

Сокращение водных ресурсов перегружает существующую инфраструктуру водоснабжения. Дополнительную озабоченность вызывает загрязнение воды, примером которого является Балхашский горно-металлургический комбинат, ежегодно сбрасывающий в озеро Балхаш порядка 600 000 тонн промышленных отходов (ПРООН Казахстан, 2023). Подобные риски создают серьёзные вызовы для экологической и социально-экономической стабильности страны и требуют комплексных стратегий водного управления и развития международного сотрудничества.

## 7. АДАПТАЦИОННЫЕ МЕРЫ

В следующей главе будут представлены два детальных предложения по мерам адаптации, основанных на данных, приведённых в настоящем отчёте. Эти предложения следует рассматривать как дополнение к существующим или планируемым мерам адаптации и не как исчерпывающий анализ текущей ситуации. Обе меры являются предварительными подходами и требуют дальнейшей проработки с использованием экономического моделирования и анализа затрат и выгод. Выбор мер обусловлен рядом соображений:

- › Соответствие выявленным опасностям: Меры непосредственно ориентированы на устранение основных опасных климатических явлений, выявленных в ходе анализа данных. Они направлены на решение актуальных проблем и снижение воздействия на сельское хозяйство и гидроэнергетику.
- › Учет секторальных и региональных потребностей: При формулировании мер принимались во внимание интересы мелких и средних фермерских хозяйств, а также региональные особенности выявленных климатических опасностей.
- › Осуществимость: Меры отбирались с учётом их реализуемости и положительного опыта применения в аналогичных секторах.
- › Сопутствующие выгоды: Предложения направлены на достижение дополнительных положительных эффектов помимо снижения основного климатического риска.
- › Интеграция с существующими программами: Меры подобраны с учётом их совместимости и синергии с уже

реализуемыми проектами и инициативами.

В завершение главы приводится перечень дополнительных предложений по адаптации, которые могут быть рассмотрены в дальнейшем.

### 7.1. Прибрежные буферные зоны

**Сектор:** Среда обитания, управление водными ресурсами

**Угроза:** Наводнения, опустынивание

**Регион:** Вся территория страны вблизи ключевых водоёмов

**Водная информация:** Прибрежные буферные зоны и охраняемые территории вокруг водных объектов обеспечивают множество экологических преимуществ и служат естественным защитным барьером в управлении водными ресурсами. Это заросшие растительностью участки, прилегающие к рекам, озёрам и ручьям, которые выполняют функции предотвращения эрозии, фильтрации загрязняющих веществ и регулирования температуры воды. В Казахстане такие зоны расположены в основном вдоль крупных рек, таких как Сырдарья, Амударья, Шу и Или. Эти территории, известные как «тугайные леса», являются пойменными лесами и обеспечивают важную среду обитания для разнообразной дикой природы (UNEP-WCMC 2024). Такие зоны в Казахстане важны для сохранения биоразнообразия, регулирования водных потоков, обеспечения

среды обитания и накопления углерода (ФАО 1993).

**Текущие усилия:** Правительство Казахстана признаёт важность охраны таких зон вдоль крупных водоёмов, создало ряд заповедников, заказников, орнитологических территорий, а также ратифицировало международные соглашения с соседними странами (UNDP 2024).

**Предложение:** Расширение, улучшение и создание тугайных буферных зон вокруг всех крупных водных объектов.

Предлагаемые меры:

- › Определение потребностей и оценка участков местными органами власти для централизованного планирования мер по защите.
- › Расширение существующих охраняемых территорий для минимизации затрат.
- › Реализация проектов по лесовосстановлению и восстановлению среды обитания в районах, пострадавших от вырубок и отвода водных потоков.
- › Вовлечение местных сообществ в планирование и поддержание буферных зон. Повышение информированности о пользе прибрежных зон поможет укрепить вовлечённость населения и снизить возможные конфликты по вопросам землепользования.
- › Ужесточение правил землепользования и добычи ресурсов в пределах и вокруг прибрежных буферных зон.

Ожидаемые выгоды:

- › Улучшение качества воды: буферные зоны будут работать как естественные фильтры, снижая содержание азота и фосфора в водах.
- › Снижение силы, высоты и объёма паводковых вод за счёт их распределения по пойменным территориям.

- › Регулирование микроклимата: теневой эффект буферных зон способствует охлаждению водоёмов и стабилизации температурного режима.

## 7.2. Агроэкологические практики

**Сектор:** Сельское хозяйство

**Опасности:** Засухи, опустынивание

**Регион:** Вся территория страны

**Водная информация:** Агроэкология в Казахстане формировалась с учётом уникальных географических и исторических условий страны. Будучи крупнейшей страной, не имеющей выхода к морю, и девятой по величине территории в мире, Казахстан обладает разнообразными сельскохозяйственными ландшафтами – от обширных степей до орошаемых земель. За последнее столетие аграрный сектор претерпел значительные преобразования под воздействием социальных и институциональных изменений (Yan, 2020). Сельское хозяйство Казахстана сталкивается с такими вызовами, как дефицит водных ресурсов, деградация почв и последствия изменения климата, прежде всего – в виде частых и тяжёлых засух (GIZ, 2021). В ответ на эти вызовы возрастает интерес к агроэкологическим подходам. Правительство признало необходимость устойчивых сельскохозяйственных практик, что отражено в Концепции перехода к «зелёной экономике», нацеленной на повышение продуктивности и решение экологических проблем (GIZ, 2021). Кроме того, научные учреждения, такие как Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии, ведут исследования в области управления и восстановления почвенных ресурсов,

способствуя развитию агроэкологических практик в стране.

**Текущие усилия:** В настоящее время Казахстан реализует ряд инициатив по продвижению устойчивого сельского хозяйства и решению экологических проблем: проект углеродного земледелия «CarbonIQ» по оценке потенциала хранения углерода в казахстанских почвах, различные образовательные программы, исследования по устойчивым к климату культурам для засушливых районов, государственные программы в рамках Концепции перехода к «зелёной экономике» и мероприятия по экологизации сельскохозяйственного сектора.

**Предложение:** Усиление поддержки агроэкологических практик со стороны государства и международных доноров/партнёров.

Предлагаемые меры:

- › Расширение диверсификации сельскохозяйственных культур для улучшения состояния почв при поддержке финансовых стимулов со стороны государства.
- › Субсидирование приобретения техники для нулевой и полосовой обработки почвы (strip till, no-till farming) в засушливых и полузасушливых регионах (Центральный Казахстан) с целью предотвращения эрозии и опустынивания.
- › Введение норм по интегрированной защите растений вблизи крупных водных объектов для предотвращения засоления и загрязнения почв.
- › Инициирование государственных программ по установке систем сбора дождевой воды

Ожидаемые выгоды:

- › Экологическая устойчивость: Комплекс предложенных мер способствует оздоровлению почв, снижает ветровую и

водную эрозию, уменьшая риск опустынивания.

- › Экономическая стабильность: Снижение зависимости от химических удобрений и повышение плодородия почв позволяет снизить производственные издержки и увеличить прибыль фермеров.
- › Улучшение качества воды вблизи крупных водных объектов.

## 7.3. Дополнительные предлагаемые меры по адаптации

► Внедрение и адаптация комплексного управления водными ресурсами. Казахстан в настоящее время активно работает над совершенствованием комплексного управления водными ресурсами посредством принятия и обновления нового водного законодательства (Satulbadina, 2024), создания новых институтов по управлению водными ресурсами и внедрения систем мониторинга воды (GWP 2024). Тем не менее страна пока не соответствует международным стандартам в полной мере. В обновлённом Определяемом на национальном уровне вкладе (NDC) Казахстана признаются эти вызовы (повышение температуры и учащение тепловых волн), и включены меры адаптации, охватывающие сельское хозяйство, водное хозяйство, лесное хозяйство и управление рисками стихийных бедствий (UNDP, 2023c).

► Совершенствование систем раннего оповещения о наводнениях. Правительство Казахстана пересматривает Водный кодекс с целью повышения возможностей по прогнозированию наводнений и реализации превентивных мер, включая внедрение ИТ-решений, таких как система раннего оповещения Skymax и цифровая карта-схема прохождения паводковых вод (Премьер-министр Казахстана, 2024). Данный процесс следует ускорить, дополнив его мерами по

развитию локальных систем мониторинга рек и привлечению международных доноров для реализации долгосрочных решений, включая разработку прогнозных моделей и инструментов по снижению последствий будущих паводков. Одним из примеров таких инициатив является недавнее сотрудничество с Нидерландами, направленное на внедрение современных технологий управления рисками наводнений и повышение способности Казахстана прогнозировать, реагировать и адаптироваться к паводковым угрозам (Haidar, 2024; UNDRR, 2024b). Эта инициатива предусматривает разработку моделей и инструментов повышения устойчивости к наводнениям, а также укрепление межведомственного взаимодействия (UNDRR, 2024b).

► Повышение эффективности систем орошения и водопользования в сельском хозяйстве. Одной из основных причин потерь воды в сельском хозяйстве остаются неэффективные оросительные технологии и нерациональное использование воды. В настоящее время правительство работает над

/modernizacijey sistem orosheniya, vkluchajay vnedrenie kapel'nogo poliva, однако существует значительный потенциал для дальнейшего повышения эффективности водопользования и продуктивности через modernizaciju orositel'noj infrastruktury i vnedrenie bol'se effektivnyx praktik vodnogo upravleniya (FAO, 2023).

► Активизация сбора дождевой воды. Казахстан признаёт необходимость совершенствования водосберегающих технологий, однако развитие инициатив по эффективному сбору дождевой воды пока остаётся ограниченным. В настоящее время государство инвестирует в водосберегающие технологии и предоставляет субсидии на бурение скважин для полива (Times of Central Asia, 2024), однако существующая инфраструктура и практика всё ещё в значительной степени ориентированы на традиционные источники, такие как реки, а уровень информированности населения остаётся низким.

## 8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уязвимость Казахстана и его подход к управлению водными рисками, связанными с изменением климата, демонстрируют нарастающие угрозы и подчёркивают срочную необходимость оперативных действий по их смягчению и адаптации к наиболее тяжёлым последствиям. По мере роста глобальных температур проблемы водных ресурсов и связанных с ними опасностей становятся всё более актуальными во всём мире. Казахстан, уже сталкивающийся с серьёзными вызовами, такими как опустынивание, засухи и экстремальная жара, особенно уязвим к этим рискам и их глобальным последствиям.

В рамках проекта, на основе анализа текущих тенденций, были выделены три основные угрозы для Казахстана: засухи, речные наводнения и тепловые волны. Для анализа использовались данные глобальной климатической модели MRI-ESM2-0, загруженные с платформы Copernicus. При отборе данных учитывались критерии пространственного разрешения, временного охвата и годовых проекций. Модель MRI-ESM2-0 была выбрана благодаря её способности точно воспроизводить региональные климатические условия и высокому пространственному разрешению. Обработка данных проводилась с использованием языка программирования Python. Такой подход обеспечивает воспроизводимость расчётов с применением открытого программного обеспечения, учитывает ограничения данных и позволяет формировать прогнозы водных рисков при различных климатических сценариях (SSP 1-2.6, 2-4.5 и 5-8.5).

Для интеграции данных в экономическую модель был рассчитан показатель годовой вероятности возникновения опасных явлений. Следует отметить, что в климатическом моделировании годовые прогнозы носят ориентировочный характер и должны трактоваться как отражение общей тенденции, а не как абсолютные значения.

Кроме того, из-за ограниченных сроков исследования не удалось учесть более высокое пространственное разрешение и интегрировать гидрологические аспекты. В дальнейших исследованиях рекомендуется повысить пространственную детализацию расчётов и включить гидрологические модели при оценке рисков речных наводнений.

Полученные результаты показывают, что тепловые волны, вероятнее всего, станут чаще и интенсивнее по всем климатическим сценариям, при этом наибольшие риски ожидаются в сценарии SSP 5-8.5. Интенсивные тепловые волны могут стать регулярным явлением, создавая серьёзные угрозы как для здоровья населения, так и для экономики. Аналогично, уязвимость Казахстана к засухам, особенно в засушливых и полузасушливых регионах, сохранится или усилится. По сценарию SSP 5-8.5 вероятность засух существенно возрастёт, что указывает на высокую вероятность продолжительных засушливых периодов, способных серьёзно повлиять на сельское хозяйство, усугубить деградацию земель и усилить дефицит водных ресурсов. Даже при сценариях с низкими выбросами риски засух остаются выше исторического уровня, что подчёркивает необходимость постоянного управления рисками засух и реализации стратегий адаптации.

Наводнения, хотя и проявляют большую вариативность между сценариями, также представляют возрастающую угрозу для Казахстана. Особенно это актуально для северных и восточных регионов, где уже наблюдаются весенние паводки в результате таяния снега, ледовых заторов и переполнения рек Иртыш, Сырдарья и Ишим. Факторы изменения климата — более раннее таяние снега, ледяные заторы и интенсивные осадки — дополнительно усиливают риски. В сценарии SSP 5-8.5 прогнозируется рост частоты наводнений, особенно для событий низкой и средней опасности. Учитывая уязвимость инфраструктуры Казахстана, эти риски требуют повышения готовности и совершенствования мер по снижению последствий паводков для защиты населения и экосистем.

Предлагаемые меры адаптации, такие как прибрежные буферные зоны и агроэкологические практики, могут обеспечить эффективные и устойчивые решения для управления этими рисками. Прибрежные буферные зоны укрепляют берега рек, снижают эрозию и служат естественной защитой от наводнений, а

агроэкологические практики способствуют устойчивому землепользованию и рациональному управлению ресурсами, снижая последствия засух и опустынивания. Эти стратегии основаны на взаимодействии с природными процессами, обеспечивая экономически эффективные и экологически безопасные решения, которые не только защищают от непосредственных угроз, но и способствуют долгосрочной устойчивости.

Подход Казахстана демонстрирует активную готовность решать задачи, связанные с изменением климата. Усиление потенциала по прогнозированию, реагированию и адаптации к климатическим рискам формирует основу для снижения потенциального ущерба от наводнений, засух и тепловых волн. Дальнейшие инвестиции в климатическую устойчивость и адаптацию будут иметь ключевое значение для защиты населения, экосистем и экономики в предстоящие десятилетия. Настоящий проект является важным шагом на пути к устойчивой адаптации и подчёркивает значение национальных усилий в борьбе с глобальным климатическим кризисом.

## 9. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Ахметов, А. и др. (2021). Влияние опустынивания на здоровье населения Казахстана. *Journal of Environmental Health*.
- Азиатский банк развития (АБР). (2018). Казахстан: Оценка сектора водоснабжения и санитарии.
- Caretta, M. A. и др. (2022). Вода. В: Изменение климата 2022: Воздействие, адаптация и уязвимость. Вклад Рабочей группы II в Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) (стр. 551–712). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.006>
- Cotterill, D. и др. (2021). Увеличение частоты экстремальных осадков в Великобритании осенью. *Weather and Climate Extremes*, 33.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2021). Доклад по анализу климатических угроз для Грузии. Берлин, Германия.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2021). Казахстан: Макроэкономические эффекты адаптации в сельском хозяйстве. Применение макроэкономической модели e3.kz для ирригационных систем и точного земледелия. Бонн и Эшборн, Германия.
- Dukhovny, V. A., & de Schutter, J. (2011). Вода в Центральной Азии: прошлое, настоящее, будущее. CRC Press.
- Европейское агентство по охране окружающей среды (ЕЕА). (2021). Влажность и засуха. Интенсивные осадки и речные наводнения. <https://www.eea.europa.eu/publications/europes-changing-climate-hazards-1/wet-and-dry-1/wet-and-dry-heavy>
- Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО). (2013). Ирригация в Центральной Азии в цифрах — AQUASTAT 2012. FAO Water Reports 39. Рим, Италия.
- ФАО. (2022). Профиль страны по AQUASTAT — Казахстан. Рим, Италия.
- ФАО. (2024). Краткий обзор продовольственной ситуации в Казахстане. Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН.
- ФАО. (1993). Ирригация в странах бывшего Советского Союза в цифрах. Казахстан. Рим, Италия.
- Глобальное партнёрство по водным ресурсам (GWP). (2024). Программа поддержки ЦУР 6 по комплексному управлению водными ресурсами.  
<https://www.gwp.org/en/sdg6support/sdgmapping/?location=Kazakhstan>
- Haidar, A. (2024, 26 августа). Казахстан и Нидерланды сотрудничают в области управления рисками наводнений. *The Astana Times*. <https://astanatimes.com/2024/08/kazakhstan-and-netherlands-collaborate-to-enhance-flood-risk-management/>
- Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC). (2014). Сводный отчёт по пятому оценочному докладу МГЭИК.
- IPCC. (2019). Изменение климата и землепользование: Специальный доклад IPCC о изменении климата, опустынивании, деградации земель и устойчивом управлении.
- Международная федерация обществ Красного Креста и Красного Полумесяца (IFRC). (2021). Казахстан: Засуха. Итоговый отчет DREF.  
<https://reliefweb.int/report/kazakhstan/kazakhstan-drought-dref-operation-n-mdrkz010-final-report>
- Международная организация по миграции (IOM). (2023). Заседание комитета по управлению проектом IOM: "Миграция в условиях изменения климата в горных районах Казахстана".

<https://kazakhstan.iom.int/news/meeting-iom-project-steering-committee-addressing-human-mobility-changing-climate-mountainous-areas-kazakhstan>

Isayev, A. (2024). Изменение климата и аномальные наводнения: Готов ли Казахстан к новым катастрофам? CABAR.asia. <https://cabar.asia/en/climate-change-and-anomalous-floods-is-kazakhstan-prepared-for-new-cataclysms>

Kanashayev, D.E. (2017). Экономика Казахстана после обретения независимости: Основные вызовы и потенциал развития. The Journal of Economic Research & Business Administration, 3(121), 55-63.

Karatayev, M. и др. (2017). Приоритеты и проблемы устойчивого управления водными ресурсами в Казахстане. Sustainability Science, 12(6), 1019-1039.

Министерство экологии Казахстана. (2019). Национальная программа действий по борьбе с опустыниванием.

Министерство экологии Казахстана. (2020). Национальный отчет по адаптации к изменению климата.

Khaibullina, A. (2024, 16 июля). Казахстанский исследователь о нехватке воды и региональном сотрудничестве. The Astana Times. <https://astanatimes.com/2024/07/kazakh-researcher-discusses-water-scarcity-regional-cooperation-mechanisms/>

Khamzina, A. и др. (2015). Засоление почв на орошаемых землях Казахстана: причины и последствия. Soil Use and Management.

Micklin, P. (2007). Катастрофа Аральского моря. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 35, 47-72.

Micklin, P. (2016). Будущее Аральского моря: надежда и отчаяние. Environmental Earth Sciences, 75(9), 844.

Министерство экологии, геологии и природных ресурсов РК. (2023). Национальный отчёт по водным ресурсам.

Министерство энергетики РК. (2023). Четвёртый двухгодичный отчёт Казахстана в РКИК ООН.

Oladjejo, T. и др. (2023). Изменение климата в Казахстане: последствия для здоровья населения. Bulletin of the National Research Centre, 47, статья № 144.

Perrera, D. и др. (2020). Проблемы и технологические достижения в системах раннего предупреждения о наводнениях. Flood Impact Mitigation and Resilience Enhancement. <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.93069>

Propastin, P. (2012). Динамика уровня озера Балхаш и её климатические корреляты в 1992–2010 гг. Lakes & Reservoirs: Research & Management, 17(3), 161-169.

Ran, Q. и др. (2022). Влияние начальной влажности почвы и осадков на формирование паводков в среднем и нижнем течении Янцзы. Hydrology and Earth System Sciences, 26(19).

Rashid, M., & Isakodzhaev, A. (2021). Воздействие изменения климата на сельское хозяйство в Казахстане. Central Asian Journal of Water Research, 7(1), 108-121.

Reliefweb. (2021). Казахстан: Засуха – июль 2021 г. <https://reliefweb.int/disaster/dr-2021-000085-kaz>

Reyer, C.P. и др. (2017). Последствия изменения климата в Центральной Азии и их влияние на развитие. Regional Environmental Change, 17(6), 1639-1650.

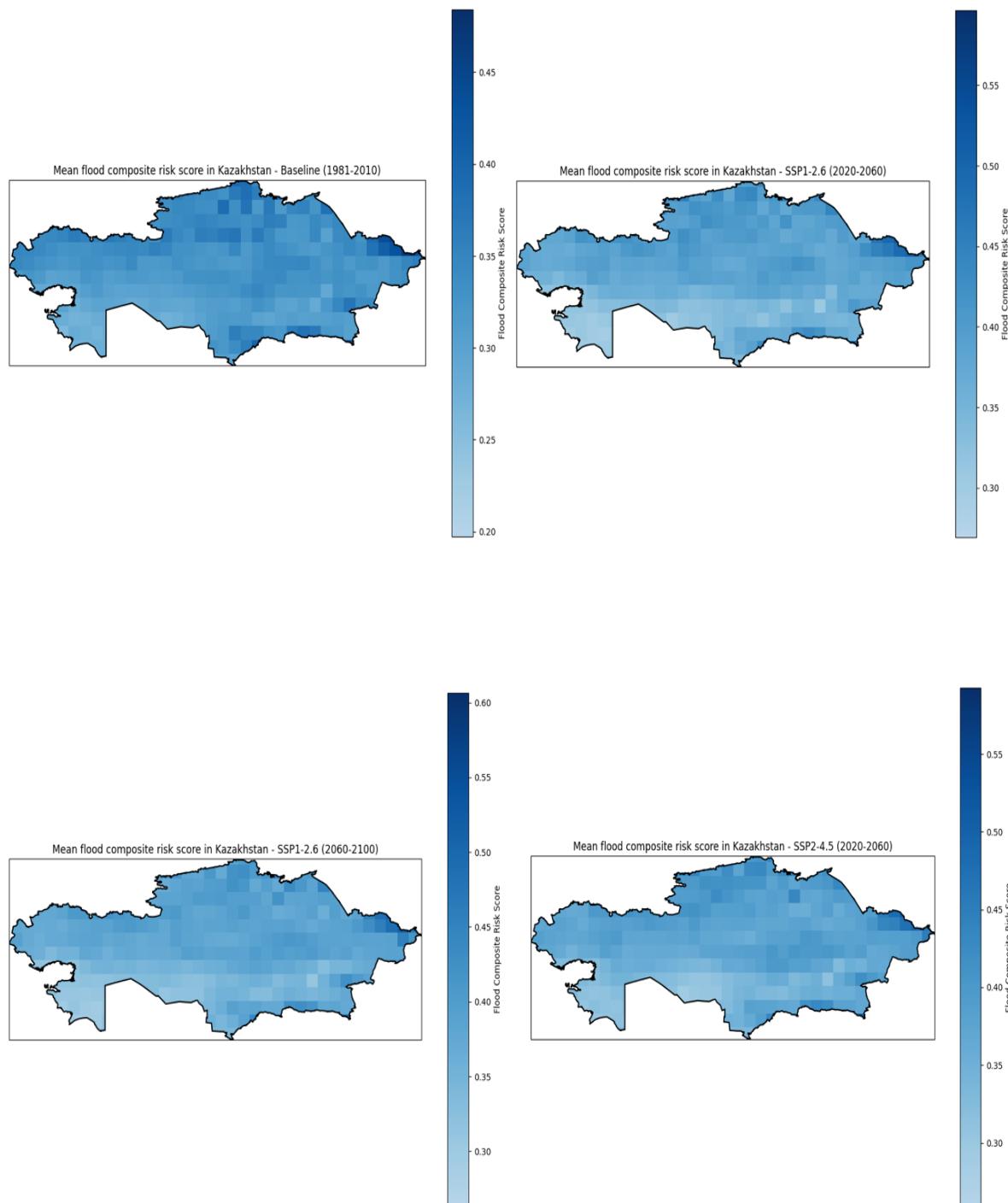
Sadrdinova R. и др. (2024). Улучшенное прогнозирование засух в Казахстане с использованием машинного обучения. Hydrology Research, 55(2), 237-261. <https://doi.org/10.2166/nh.2024.154>

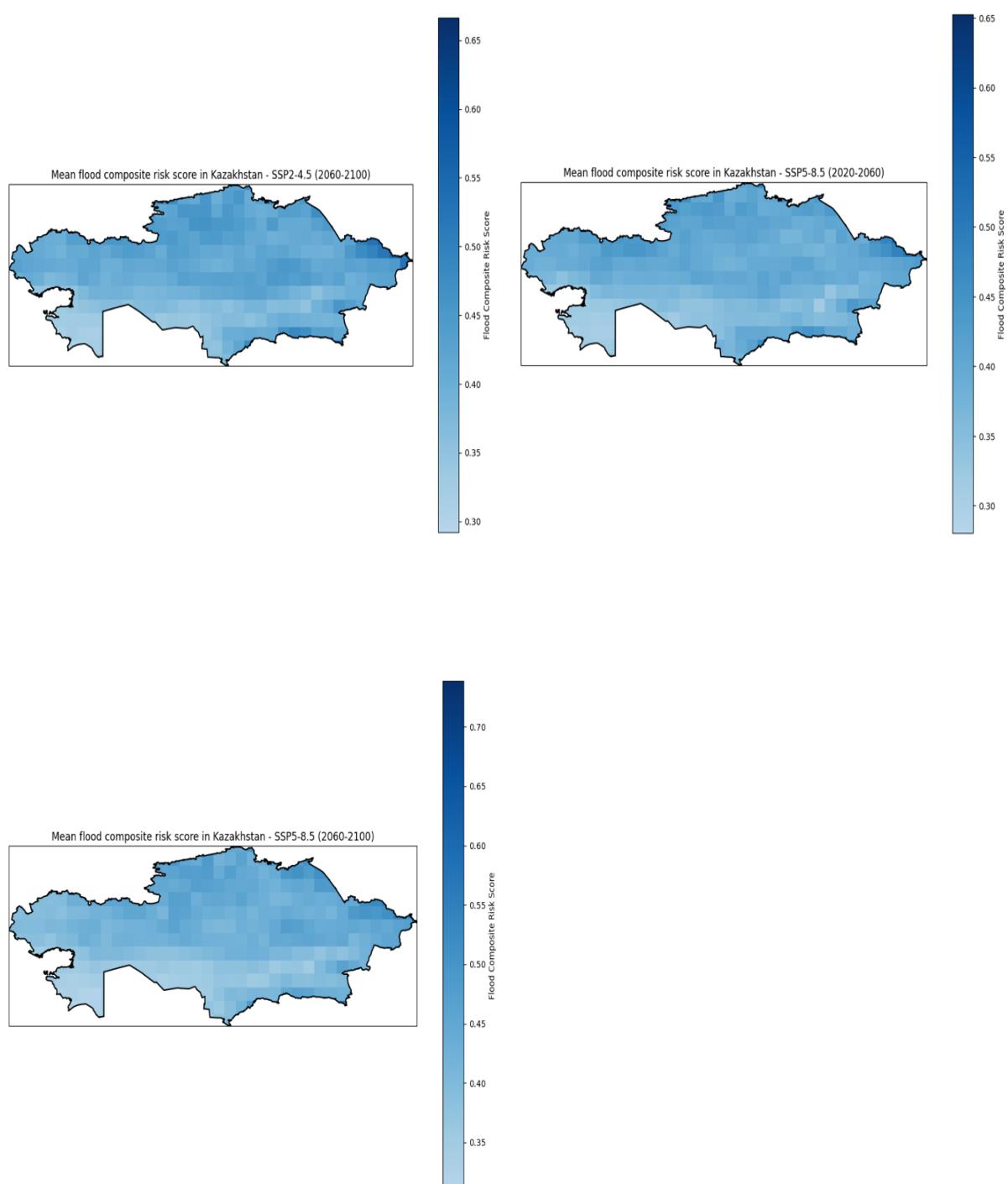
Salnikov V. и др. (2015). Изменение климата в Казахстане за последние 70 лет. Quaternary International, 358, 77-82.

- Satulbadina, A. (2024, 7 августа). Казахстан примет новый Водный кодекс в 2024 году. The Astana Times. <https://astanatimes.com/2024/08/kazakhstan-to-adopt-new-water-code-in-2024/>
- Sorg A. и др. (2012). Воздействие изменения климата на ледники и сток в Тянь-Шане. Nature Climate Change, 2(10), 725-731.
- Tamm, O. и др. (2023). Интенсификация кратковременных ливневых осадков вследствие изменения климата. Climate Services, 30.
- Think Hazard. (2020). Казахстан — нехватка воды. <https://thinkhazard.org/en/report/132-kazakhstan/DG>
- Times of Central Asia. (2024, 6 мая). Казахстан продвигает водосберегающие технологии. <https://timesca.com/kazakhstan-forwards-water-saving-technology>
- UNEP-WCMC Author Team. (2024). Прибрежные леса Центральной Азии. OneEarth. <https://www.oneearth.org/ecoregions/central-asian-riparian-woodlands/>
- Организация Объединённых Наций (ООН). (2019). Прогноз численности населения мира 2019 года. <https://www.un.org/development/desa/news/world-population-prospects-2019-0>
- Программа развития ООН (ПРООН). (2022-2024). Несколько публикаций о воздействии изменения климата на Казахстан.
- ЮНЕП (2020). Как изменение климата делает экстремальные наводнения новой нормой. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/how-climate-change-making-record-breaking-floods-new-normal>
- UNDRR (2024). Казахстан — обзор по управлению рисками бедствий. <https://www.undrr.org/>
- USAID. (2017). Профиль климатических рисков: Казахстан. <https://www.climatelinks.org/resources/climate-risk-profile-kazakhstan>
- Whish-Wilson, P. (2002). Экологический кризис Аральского моря. Journal of Rural and Remote Environmental Health, 1(2), 29-34.
- World Bank & ADB. (2021). Профиль климатических рисков: Казахстан. Вашингтон и Манила.
- Всемирный банк. (2022). Глобальные показатели развития. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- ВМО. (2024). Доклад о состоянии глобальных водных ресурсов 2023. <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-water-resources-2023>
- Yan, H. и др. (2020). Социальные институциональные изменения и их экологические последствия в Казахстане за последние 100 лет. Environmental Development, 34.
- Yapiyev V. и др. (2017). Изменение водного цикла в Национальном природном парке Бурабай. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, 4(5).
- Yu, T. и др. (2023). Влияние осадков и влажности почвы на паводки в горных районах. Frontiers in Earth Sciences, 11.
- Zhupankhan A. и др. (2018). Вода в Казахстане — ключевой фактор в управлении водными ресурсами Центральной Азии. Hydrological Sciences Journal, 63(5), 752-762.

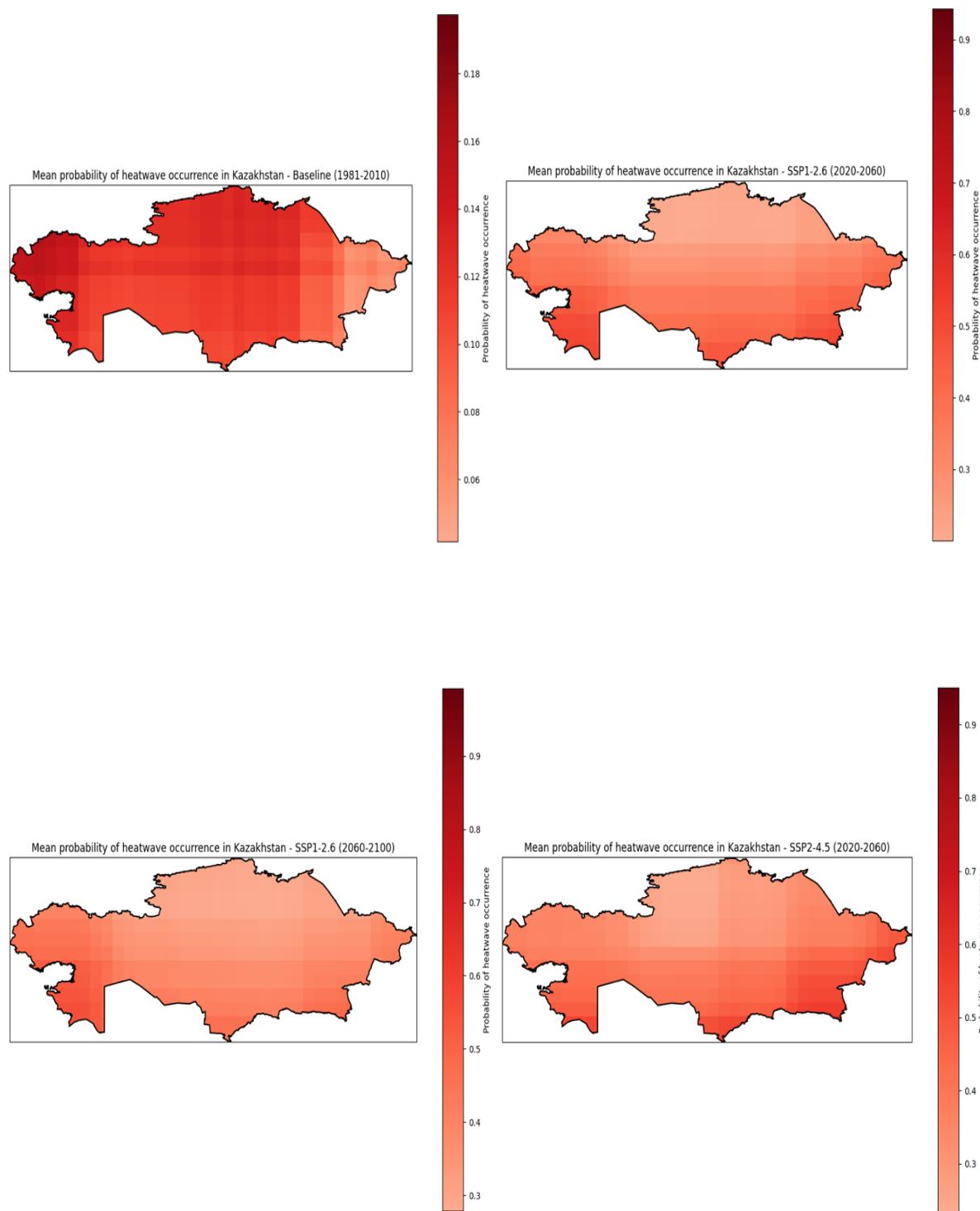
## 10. ПРИЛОЖЕНИЕ

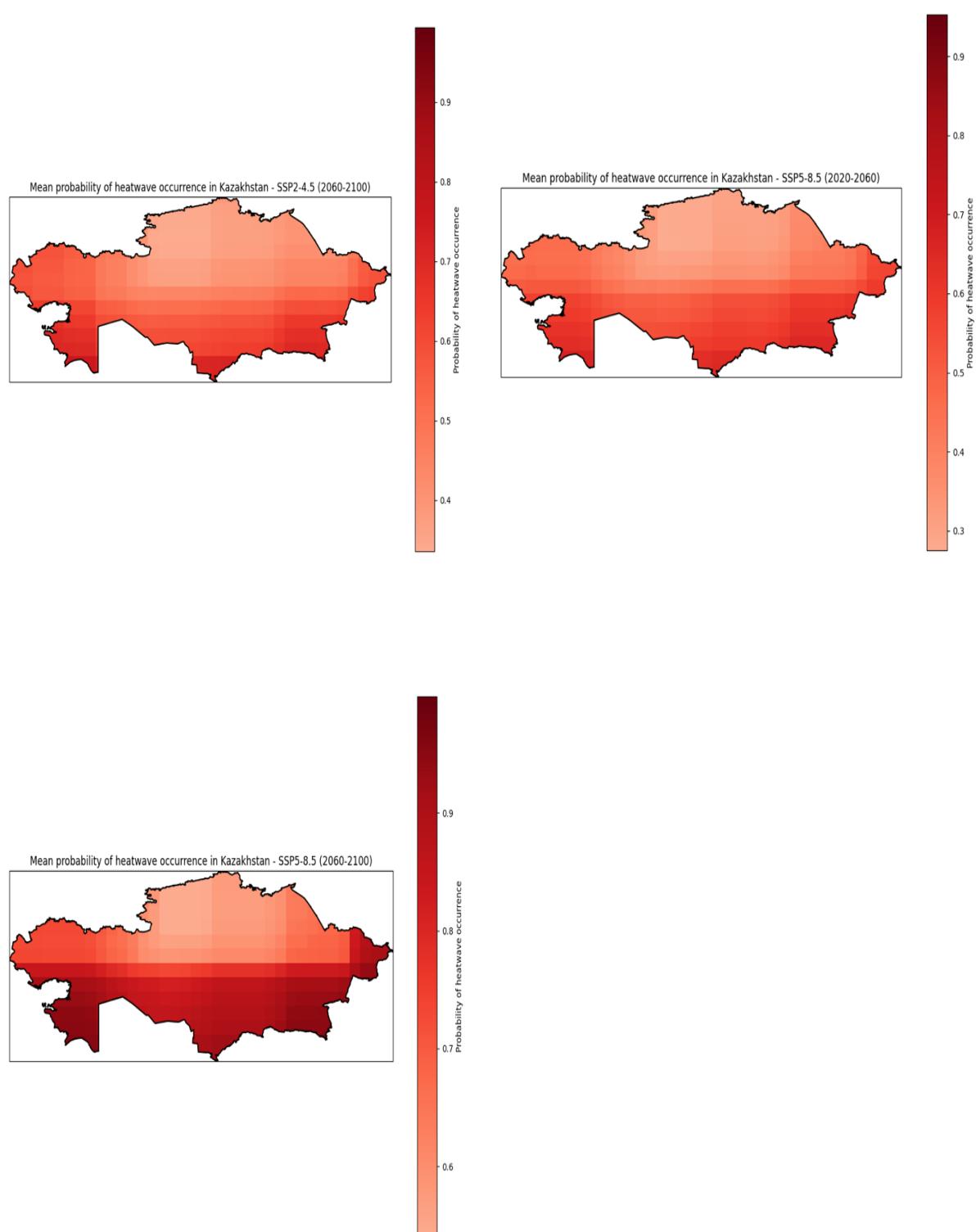
### 10.1. Средний составной балл риска наводнений





## 10.2. Вероятность тепловой волны





## 10.3. Различия в средних значениях SPEI

