



Доклад

# Управление климатическими рисками для защиты целей в области «зеленой» энергетики

Возможности перехода к углеродной  
нейтральности в Кыргызстане, Таджикистане и  
Узбекистане

Сара Опиц-Стэплтон, Олена Бородина, Илайда Ниджхар, Викрант Панвар  
и Ребекка Надин, при участии Фаруха Касимова, Сардора Кошназарова и  
Азамата Усубалиева

Август 2022



Отказ от ответственности: Этот отчет был разработан в рамках Политики действий по климатической безопасности в Центральной Азии, Фаза II, финансируемой Министерством иностранных дел по делам Содружества и Развития (МИДСР) или Программы развития Организации Объединенных Наций (ПРООН). Используемые в докладе карты не являются подтверждением конкретных границ на субнациональном, национальном или региональном уровнях со стороны ODI или ПРООН.

Читатели могут использовать материалы данного исследования для своих собственных публикаций, если только они не продаются на коммерческой основе, при условии указания соответствующей ссылки на исследование ODI в качестве источника информации и предоставления копии публикации. При использовании в интернете читатели должны давать ссылку на оригинальный ресурс на сайте ODI. Мнения, представленные в данном ответе, принадлежат автору (авторам) и не обязательно отражают точку зрения ODI или наших партнеров.

Данная работа проведена в рамках лицензии CC BY-NC-ND 4.0.

Как цитировать: Опиц-Стэплтон, С., Бородина, О., Ниджхар, И., Панвар, В. и Надин, Р. (2022) *Управление климатическими рисками для защиты целей в области «зеленой» энергетики: Возможности перехода к углеродной нейтральности в Кыргызстане, Таджикистане и Узбекистане*. Доклад. Лондон: ODI ([www.odi.org](http://www.odi.org))

# Выражение признательности

Авторы хотят поблагодарить Фаруха Касимова, Сардора Кошназарова и Азамата Усубалиева за установление и предоставление исходных данных по производству, потреблению энергии и тенденциям для Кыргызстана, Таджикистана и Узбекистана. Они также дали представление о быстро меняющемся климате, управлении рисками бедствий и целях политики в области «зеленой» энергетики в трех странах. Авторы также выражают благодарность ПРООН и членам соответствующих государственных гидрометеорологических центров за их комментарии и отзывы на предварительный вариант доклада; мы также хотим поблагодарить Пола Сэйерса (Sayers and Partners) за обзор настоящего документа. Компания Green Ink предоставила услуги технического редактирования и верстки макета публикации.

## Об авторах

### Сара Опиц-Стэплтон

Научный сотрудник программы ODI «Глобальные риски и устойчивость». Будучи ученым-климатологом и гидрологом по образованию, она работает на стыке климатических служб и системного управления рисками бедствий, включая климатическую адаптацию и переход к низкому уровню выбросов. В сферу ее интересов входит сотрудничество с правительствами для лучшего понимания взаимосвязанных, каскадных и трансграничных климатических, экологических и геополитических рисков, и для понимания того, каким образом управлять этими рисками для защиты инвестиций. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4710-6692>

### Олена Бородина

Аналитик рисков перехода в программе ODI «Глобальные риски и устойчивость». Будучи аналитиком геополитических рисков по образованию, она работала с аналитическими центрами и в корпоративном секторе. В сферу ее интересов входят риски геополитического перехода и перехода к низкому уровню выбросов, управление социальными и политическими рисками в странах с переходной экономикой и геостратегия Китая.

### Илайда Ниджхар

Аналитик программы ODI «Глобальные риски и устойчивость». Будучи аналитиком политических рисков по образованию, она уделяет особое внимание геополитическим трендам и значениям для секторов энергетики в Каспийском и Центрально-Азиатском регионах.

### Викрант Панвар

Старший научный сотрудник программы ODI «Глобальные риски и устойчивость». Будучи экономистом со специализацией по последствиям бедствий для макро-фискальных показателей, он проводит исследования в области налогового климата и последствий бедствий на государственном и областном уровнях.

## **Ребекка Надин**

Директор программы ODI «Глобальные риски и устойчивость» и руководитель инициативы ODI «Глобальный Китай 2049». Она руководит командой политических аналитиков и экспертов, занимающихся изучением рисков, возникающих в результате таких взаимосвязанных глобальных проблем как изменение климата, международная преступность и геополитическая нестабильность.

# Оглавление

Краткий обзор .....	8
1 Введение .....	11
1.1 Обзор .....	11
Вставка 1 Определение климатического риска .....	12
1.2 Предварительный анализ рисков .....	13
2 Сценарии: климатические тенденции и прогнозы на 2050-е годы.....	15
2.1 Методологический обзор .....	15
2.2 Исторические тенденции и наблюдения: осадки, температура, экстремальные явления и таяние ледников .....	17
2.3 Сценарии: прогнозы изменения климата на 2050-е годы .....	20
2.3.1 Прогнозы среднегодовых и сезонных осадков и температур .....	20
2.3.2 Прогнозируемые изменения в интенсивности и частоте экстремальных явлений .....	25
3 Анализ климатических рисков: последствия, чувствительность и риски .....	28
3.1 Последствия .....	28
3.1.1 Исторические данные о генерации и передаче электроэнергии .....	28
3.1.2 Будущие последствия.....	29
3.2 Чувствительность и возможности.....	31
3.2.1 Чувствительность: растущий спрос, общие эксплуатационные пределы.....	31
3.2.2 Возможности: текущая политика управления рисками.....	35
3.3 Предварительный анализ рисков: риски изменения климата для энергетической инфраструктуры .....	37
4 Рекомендации: возможности через принятые нормы управления рисками .....	41
4.1 Рекомендация 1 .....	42
4.2 Рекомендация 2 .....	43
4.3 Рекомендация 3 .....	44
4.4 Рекомендация 4 .....	45
4.5 Рекомендация 5 .....	45
4.6 Рекомендация 6 .....	46
4.7 Рекомендация 7 .....	46
Список литературы .....	48
Приложение 1 Методология.....	54

## Список рисунков

Рисунок 1 Типология рисков энергетических систем.....	13
Рисунок 2 Среднее годовое и сезонное количество осадков за 1971–2000 гг. ....	17

Рисунок 3	Среднегодовые и сезонные максимальные и минимальные температуры за 1981–2005 гг.....	19
Рисунок 4	Прогнозируемое процентное изменение количества годовых и сезонных осадков на 2036–2065 гг.....	21
Рисунок 5	Прогнозируемые средние аномалии годовых и сезонных максимальных температур на 2041–2065 гг.....	22
Рисунок 6	Прогнозируемые аномалии годовых и сезонных минимальных температур на 2041–2065 гг. ....	23
Рисунок 7	Потеря баланса массы ледников в 2000–2018 гг.....	24
Рисунок 8	Экстремально жаркие дни в июле-сентябре .....	26
Рисунок 9	Существующая основная энергетическая инфраструктура, 2017 г.....	28
Рисунок 10	Метеорологические станции APHRODITE .....	55
Рисунок 11	Диаграмма Тейлора.....	56

### Список таблиц

Таблица 1	Набор моделей CORDEX, использованный в исследовании.....	16
Таблица 2	Изменения в интенсивности и частоте экстремальных дождевых осадков.....	27
Таблица 3	Тенденции потребления электроэнергии .....	32
Таблица 4	Прогнозы спроса на электроэнергию .....	32
Таблица 5	Прямые и нарастающие климатические риски для энергетических систем .....	38

# Сокращения

---

APHRODITE	Осадки в Азии – Интеграция данных наблюдения в высоком разрешении для оценки
CASA-1000	Проект передачи электроэнергии и торговли Центральная Азия – Южная Азия
АБР	Азиатский банк развития
ГЭС	Гидроэлектростанция
КОРДЭКС	Скоординированный проект по даунскейлингу регионального климата
МГЭИК	Межправительственная группа экспертов по изменению климата
ОМЦ	Общая модель циркуляции
ПРООН	Программа развития Организации Объединенных Наций
ПССМ	Проект по сравнению сопряженных моделей
РКМ	Региональная климатическая модель
РПК	Репрезентативный путь концентрации
$T_{\max}$	Дневная максимальная температура
$T_{\min}$	Дневная минимальная температура
ТЭС	Теплоэлектростанция
ФЭ	Фотоэлектрический

# Краткий обзор

Данное исследование представляет собой предварительный анализ региональных рисков, касающихся изменения климата, для инфраструктуры производства, передачи и распределения электроэнергии в Кыргызской Республике, Республике Таджикистан и Республике Узбекистан. Все три страны разработали свои концепции развития «зеленой» энергетики и реализуют портфели проектов по использованию возобновляемых источников энергии для генерации энергии, включающие малые и коммунальные солнечные, ветряные и гидроэнергетические проекты за счёт смешанного финансирования, предоставляемого международными банками развития, Зеленым климатическим фондом, а также посредством привлечения частных инвестиций.

В то время как расширение возобновляемых источников энергии и переход к экономике с нулевым уровнем выбросов крайне необходимы для предупреждения катастрофических последствий изменений климата, инвестиции в инфраструктуру таких возобновляемых источников энергии должны быть устойчивыми к ряду быстро меняющихся угроз, связанных с изменением климата, деградацией окружающей среды и кибератаками. Энергетические системы с низким уровнем выбросов также должны обеспечивать возможность диверсификации экономики и внедрения новых технологий, таких как широкое использование электромобильного транспорта. Тем не менее, планирование долгосрочных перспектив изменения климата является новым для многих разработчиков энергетической политики и для энергетических компаний во всем мире. Энергетическая инфраструктура – это значительные капиталовложения, при этом ожидаемый срок службы солнечных электростанций в масштабах предприятия составляет от 25 до 40 лет, а гидроэлектростанций – около 80 лет. Климатическая угроза может повлиять не только на конкретный объект энергетической инфраструктуры, но и вызвать каскадное воздействие на всю энергетическую систему, а также на экосистемы.

Данное исследование основано на анализе прогнозов будущей климатической ситуации с использованием региональных климатических моделей высокого разрешения (КОРДЭКС) в сочетании с обзором национальных планов по управлению климатическими измерениями и рисками бедствий, а также на изучении литературы по климатическим рискам и вопросам изменения климата и их воздействия на энергетическую инфраструктуру, в целях представления предварительного анализа рисков. Региональные модели КОРДЭКС входят в группу международных климатических моделей, которые используются в Шестом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Однако они еще не использовались для выполнения национальных оценок в Кыргызстане, Таджикистане и Узбекистане. Использование этого набора моделей расширяет группу моделей для изучения более локализованных климатических рисков для энергетической инфраструктуры.

Последствия изменения климата уже ощущаются во всех трех странах, рассматриваемых в данном исследовании. За последние несколько десятилетий обнаружено явное и статистически значимое повышение максимальных и минимальных температур во всех трех странах и на большинстве высот. Прогнозы КОРДЭКС на 2050-е годы (2036–2065) указывают на потенциальное повышение среднегодовой максимальной температуры от 1,8°C до 2,2°C для большей части региона при РПК2.6 и РПК4.5, с повышением до 4.0°C для Памиро-Алая и восточного Памира в Таджикистане. Увеличение среднегодовой минимальной температуры также более выражено на Памире, Памиро-Алае и части Тянь-Шаня - до 3,1°C при РПК2.6 и 3.6°C при РПК4.5. К 2050-м годам, согласно прогнозу при использовании РПК2.6, на большей части Бухарской области в Узбекистане и в полосе, простирающейся от южной части Навоийской области на восток Узбекистана, в июле-сентябре будут наблюдаться более 60 дней с дневной максимальной температурой выше 33°C; согласно прогнозу при РПК4.5, более половины Узбекистана столкнется с волнами жары.

Пространственные масштабы изменения количества осадков существенно варьируются в диапазоне РПК2.6 и РПК4.5, при этом в некоторых районах прогнозируется их увеличение, а в других – уменьшение. Прогнозируется, что интенсивность и частота экстремальных дождевых осадков 24-часовой продолжительности возрастут. При этом, если раньше дождевые осадки 24-часовой продолжительности встречались 1 раз в 100 лет, то в некоторых местах они будут происходить 1 раз в 20 лет. Повышение температуры и возможные сдвиги осадков оказывают и будут продолжать оказывать воздействие на ледники и речные стоки. В зависимости от размера ледника, высоты и его положения относительно более высоких/низких темпов потепления, в некоторых водосборных бассейнах могут быть достигнуты критические точки, при достижении которых ледники и снежные покровы уже не смогут вносить значительный вклад в базовые или пиковые стоки. В реке Большой Нарын достижение критического момента ожидается к 2040-м годам. В речном бассейне Малого Нарына он уже достигнут. Это имеет последствия для гидроэнергетики и управления энергетическими системами.

Новые солнечные фотоэлектрические, ветряные и гидроэлектростанции строятся или планируются для строительства в рамках амбиций страны в области развития «зеленой» энергетики. Также укрепляются региональные сети передачи электроэнергии, например, с помощью проекта CASA-1000 (Проект передачи и торговли электроэнергией Центральная Азия-Южная Азия). Энергетическая инфраструктура, построенная в настоящее время или которая будет введена в строй к 2030 году, будет вынуждена сталкиваться с прогнозируемыми изменениями климата в 2050-е годы. Гидроэлектростанции и тепловые электростанции имеют более длительный срок службы и должны быть готовы к последствиям изменения климата к 2100 году. Учитывая региональную взаимосвязанность, повреждение или нарушение выработки или передачи электроэнергии на локальном уровне из-за опасного климатического явления может привести к каскадному увеличению рисков во всей региональной энергосистеме. Существует возможность того, что засуха или волны аномальной жары распространятся на территории нескольких стран, что также приведет к каскадным региональным последствиям для объединенной энергетической системы и возможности удовлетворить спрос на энергоресурсы.

Необходимы новые региональные политики управления климатическими рисками и механизмы страхования от климатических рисков. Обеспечение устойчивости

энергетической системы требует прогнозирования будущих рисков и спроса на энергоресурсы. Упреждающее управление рисками должно предусматривать проведение полных полуколичественных или количественных оценок климатических рисков и рисков, касающихся соответствующих бедствий (включая кибербезопасность) в рамках выполнения оценки воздействий на окружающую среду для планируемой энергетической инфраструктуры в каждой стране. Несмотря на то, что требуется оценка конкретной энергетической инфраструктуры, она должна быть интегрирована с оценкой водосборного бассейна или всей энергосистемы. Отдельная генерирующая или передающая инфраструктура является частью более крупной региональной водно-энергетической системы, а климатические риски являются трансграничными. Далее приведены обобщенные рекомендации по упреждающему управлению рисками для обеспечения инвестиций в энергетический сектор с нулевым уровнем выбросов, национальных экономик и будущих целей в области экономического развития:

**Рекомендация 1:** Усовершенствовать национальную политику в области управления рисками бедствий и Национальные планы по адаптации с целью обеспечения управления рисками бедствий для энергетической инфраструктуры, и разработать региональную концепцию и руководящие положения по управлению рисками бедствий.

**Рекомендация 2:** Потребовать провести полуколичественную и качественную оценки рисков бедствий для энергетической инфраструктуры и разработать региональную систему оценки энергетической системы.

**Рекомендация 3:** Продолжать восстановление погодных, речных и ледниковых станций наблюдения и увеличивать их количество для получения более точных данных наблюдения. Национальные гидрометеорологические центры должны присоединиться к КОРДЭКС и другим инициативам по моделированию глобального климата, на которых основаны оценочные доклады МГЭИК.

**Рекомендация 4:** Рассмотреть экономическую эффективность, надежность и дополнительные выгоды потенциальной энергетической инфраструктуры в краткосрочной и долгосрочной перспективе с учетом затрат, вызванных изменением климата и невозможностью внедрения надежной энергетической инфраструктуры.

**Рекомендация 5:** Повысить диверсификацию типов производства энергии и укрепить линии электропередач и распределительные сети, но при этом учитывать место их нахождения с целью уменьшения внешнего воздействия и потерь при передаче электроэнергии.

**Рекомендация 6:** Присоединиться к Механизму передачи рисков бедствий ЦАРЭС Азиатского банка развития для снижения финансовых рисков, и одновременно наращивать региональное сотрудничество в области управления климатическими рисками и рисками бедствий.

**Рекомендация 7:** Продолжать активизировать усилия по эффективному снижению спроса на энергоресурсы и водные ресурсы, и применять их как внутри страны, так и в координации с региональными партнерами.

# 1 Введение

## 1.1 Обзор

Кыргызская Республика, Республика Таджикистан и Республика Узбекистан ратифицировали Парижское соглашение и находятся в процессе обновления и укрепления своих Определяемых на национальном уровне вкладов в сокращение выбросов парниковых газов и Национальных планов по адаптации. Каждая страна также обеспокоена вопросами энергетической безопасности и соответствующими последствиями для их социально-экономического развития. В соответствии с обязательствами, принятыми тремя странами в рамках ратифицированного Парижского соглашения, они начинают уделять приоритетное внимание диверсификации производства электроэнергии за счёт использования возобновляемых источников энергии, а также благодаря повышению энергоэффективности. Хотя эти сдвиги являются позитивными, предстоит проделать большую дальнейшую работу и сосредоточить усилия, чтобы обеспечить осуществление амбициозных планов, касающихся более масштабного использования возобновляемых источников энергии и повышения эффективности, или даже рассмотреть возможность повышения этих амбиций.

Критически важные объекты энергетической инфраструктуры, такие как генерирующие мощности (электростанции), линии передачи и распределения электроэнергии и трубопроводы сжиженного природного газа, подвержены ряду опасностей и рисков – от антропогенных (например, кибератаки и изменение климата) до природных (например, землетрясения и изменчивость климата, обусловленная природой). При повреждении или разрушении энергетической инфраструктуры во время опасного явления антропогенного или природного характера социально-экономические последствия могут быстро распространяться, вызывать сбои и приводить к соответствующим потерям и ущербу во всех системах. Например, согласно оценкам, ураган «Сэнди» 2012 года нанес экономический ущерб в размере 60 миллиардов долларов Восточному побережью США, нарушив транспортные линии и оставив без электроснабжения 8,5 миллионов домохозяйств и предприятий (ОЭСР, 2019; Штраус и др., 2021).

Характер угроз и рисков для энергетической инфраструктуры быстро меняется. Изменение климата приводит к изменению не только частоты и интенсивности экстремальных явлений, таких как волны тепла и сильные штормы, но и средних сезонных температур и осадков (МГЭИК, 2022). Пространственные масштабы таких климатических изменений различны. Некоторые регионы (и, как следствие, инфраструктура) будут подвержены им в большей степени, чем другие регионы, или будут подвержены новым угрозам, с которыми они не сталкивались прежде.

Технологическим достижениям также сопутствуют определенные риски и возможности, влияющие на производство и передачу энергии. Развитие промышленности, урбанизация, рост численности населения, майнинг биткоинов,

переход на электромобильный транспорт и общий рост уровня жизни ведут к увеличению спроса на энергоресурсы. Однако кибератаки становятся все более изощренными и способны нарушить работу энергосистем и повредить инфраструктуру, оставив без электроснабжения миллионы домов, предприятий и больниц, а также нанести удар по другим важнейшим объектам инфраструктуры, таким как водоснабжение и очистка сточных вод. Также не исключено, что одна страна может начать кибератаку на энергетическую инфраструктуру другой страны одновременно с наступлением засухи или другой угрозы, связанной с изменением климата.

По мере модернизации и обновления существующей энергетической инфраструктуры, а также строительства новых генерирующих мощностей и линий передачи и распределения электроэнергии необходимо учитывать меняющийся характер опасностей и рисков. То, что гидроэнергетика на конкретной реке в настоящее время является перспективной, не означает, что этот потенциал останется таким же через 40 лет или около того из-за вызванных последствиями изменения климата сдвигов в температуре и количестве осадков. Проект тепловой электростанции, в ходе разработки которого использовались исторические данные об осадках и температуре, не сможет справиться с сезонными изменениями в температурном режиме и объеме осадков, а также более интенсивными экстремальными явлениями, вызванными изменением климата. Каждая локальная инфраструктура имеет свою особую чувствительность к изменению климата или пороговым значениям, при которых начинают накапливаться негативные последствия. Однако необходимо учитывать не только отдельные объекты инфраструктуры, но и всю энергетическую систему, поскольку риски являются «встроенными» и могут распространяться каскадом на национальные и региональные энергетические системы. Управление рисками опасностей должно быть включено в этапы планирования, проектирования, строительства, эксплуатации и технического обслуживания, чтобы обезопасить капиталовложения и инвестиции, снизить финансовые риски и обеспечить наличие необходимого объема энергии для достижения желаемых социально-экономических выгод.

### **Вставка 1 Определение климатического риска**

«Потенциал неблагоприятных последствий... В контексте изменения климата риски могут возникать в результате потенциального воздействия изменения климата, а также реакции человека на изменение климата... риски являются результатом динамического взаимодействия между опасностями, связанными с климатом, и подверженностью и уязвимостью затронутой человеческой или экологической системы к этим опасностям».

Риски для инфраструктуры обусловлены уязвимостью (например, эксплуатационные потребности в воде или нагрузки на спрос на энергетические ресурсы во время экстремальных тепловых явлений), подверженностью (например, гидроэлектростанция, расположенная в регионе с высокой скоростью таяния ледников) и опасностями изменения климата не только для отдельных объектов инфраструктуры, но и для энергетической системы в целом.

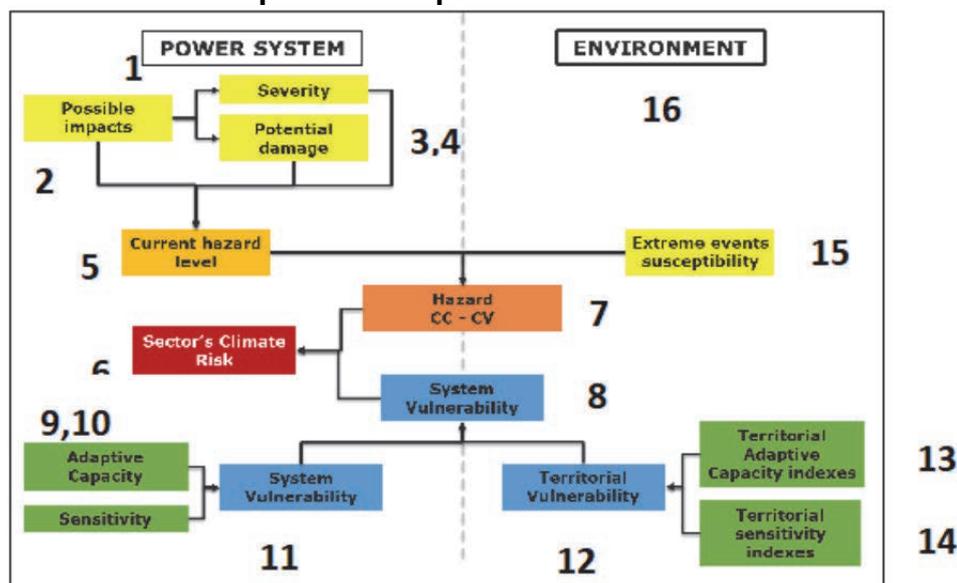
Источник: Адаптировано из МГЭИК (2022) и Форзиери и др. (2015)

## 1.2 Предварительный анализ рисков

Данный проект «Обеспечение усиления научно обоснованной и амбициозной климатической политики в Центральной Азии» демонстрирует социально-экономические и инвестиционные возможности перехода к углеродно-нейтральной экономике и предоставляет предварительный анализ климатических рисков, которыми необходимо управлять, чтобы обезопасить строящихся и приоритетных для трех стран активы и инвестиции в возобновляемую энергетику – гидроэнергетику, ветровую и солнечную энергетику.

Предварительный анализ рисков позволяет быстро определить их категории: 1) связанные с изменением климата опасности, которым подвержена отдельная инфраструктура и энергетическая система (пространственный масштаб опасностей); 2) уязвимые места инфраструктуры в плане проектирования, эксплуатации и управления людьми; 3) прямые и каскадные риски, которые могут возникнуть (Уиллоуз и Коннелл, 2003; Санчес-Сьерра и др., 2021). Такой анализ помогает качественно определить, какие прямые воздействия – повреждения, сбои или разрушения – могут произойти с генерирующей, передающей или распределительной энергетической инфраструктурой в случае климатической опасности, а также как эти воздействия могут распространяться каскадом через энергетические системы и соответствующие экосистемы окружающей среды. (Рисунок 1).

Рисунок 1 Типология рисков энергетических систем



Источник: Санчес-Сьерра и др. (2021: 5)

1. Система энергоснабжения
2. Возможные воздействия
3. Уровень
4. Потенциальный вред
5. Текущий уровень опасности
6. Климатический риск для сектора

7. Опасность СС-CV
8. Уязвимость системы
9. Адаптивная емкость
10. Чувствительность
11. Уязвимость системы
12. Территориальная уязвимость
13. Индексы адаптивной территориальной емкости
14. Индексы территориальной чувствительности
15. Подверженность экстремальным явлениям
16. Окружающая среда

Данный доклад структурирован следующим образом в виде анализа предварительных рисков:

- В Главе 2 определены сценарии потенциально значительных изменений режимов и экстремальных значений температуры и осадков в результате изменения климата.
- В Главе 3 описано, какая инфраструктура может подвергнуться воздействию в связи с ожидаемым пространственным распределением таких изменений, и представлен предварительный анализ рисков, выполненный на основе анализа климатических прогнозов и обзора вторичной литературы.
- В заключение доклада в Главе 4 обсуждается имеющаяся передовая практика управления климатическими рисками в энергетической инфраструктуре.

Термин «Лучшая практика» не используется, поскольку еще многое предстоит узнать, а управление рисками изменения климата при проектировании, планировании и эксплуатации энергетических объектов в рамках подхода, учитывающего все опасности, находится еще только в стадии своего зарождения. В Докладе 2 *«Возможности и дополнительные выгоды перехода к экономике с нулевым уровнем выбросов в Кыргызстане, Таджикистане и Узбекистане»* (Панвар и др., 2022) описываются возможности перехода к экономике с нулевым уровнем выбросов.

## 2 Сценарии: климатические тенденции и прогнозы на 2050-е годы

### 2.1 Методологический обзор

Прогнозы изменения климата нужно сопоставлять с историческими наборами данных с базового периода. Осадки в Азии – Интеграция данных наблюдений высокого разрешения для оценки (APHRODITE), с привязкой к сетке ежедневных данных об осадках, является основным долгосрочным (1951-2005 гг.) набором данных высокого разрешения для Центральной Азии. Данные об осадках при использовании APHRODITE были собраны и интерполированы из наборов данных наблюдений, предоставленных в рамках соглашений о сотрудничестве с национальными гидрометеорологическими центрами и международными организациями (Ятагай и др., 2012). Интегрируя многочисленные источники данных наблюдений, APHRODITE преодолевает снижение плотности метеостанций и пробелы в записях после распада Советского Союза. Такие пробелы в данных метеостанций затрудняют масштабирование и коррекцию смещения прогнозов будущего климата.

По этой причине и в связи с необходимостью изучения изменений в трех странах была использована модель APHRODITE, а не данные станций, полученные от гидрометцентров. Для данных об осадках использовался базовый исторический период 1971-2000 гг. Данные о суточной максимальной и минимальной температуре, с привязкой к сетке с высоким разрешением, получены из данных ERA-Interim (Ди и др., 2011), при этом использовался базовый исторический период 1981–2005 гг. Данные ERA-Interim используются в качестве набора исторических данных для сравнения в Скоординированном эксперименте по даунскейлингу региональных климатических моделей (КОРДЭКС).

Модели общей циркуляции (МОЦ) – это климатические модели, используемые для прогнозирования возможных его изменений. В рамках последнего набора модельных экспериментов в рамках шестой фазы Проекта по сравнению сопряженных моделей (ПССМ6), на основании которых был подготовлен Шестой оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), десятки модельных экспериментов были проведены институтами во всем мире. МОЦ хорошо моделируют континентальный климат, но разрешение их сетки около 100-500 км является слишком грубым для прогнозирования изменения климата как на местном, так и региональном уровнях, или для использования в оценках климатических рисков и климатической адаптации.

Необходимо использовать динамические (Региональные климатические модели – РКМ) или статистические методы даунскейлинга. В данном исследовании были

использованы ежедневные прогнозы температуры и осадков из домена КОРДЭКС Центральной Азии. КОРДЭКС – это международный совместный эксперимент по моделированию климата, в рамках которого множество региональных климатических моделей (РКМ) управляются моделями общей циркуляции (МОЦ). Модели КОРДЭКС также использовались в рамках Шестого оценочного доклада МГЭИК. Разрешение сетки в прогнозах КОРДЭКС в исследуемом домене составляет 0,22°С или 0,44°С, или около 24–50 км. Для нашего анализа были использованы следующие комбинации РКМ-МОЦ и репрезентативные пути концентрации (РПК), как показано в Таблице 1.

Прогнозы климатических моделей не должны напрямую использоваться при моделировании рисков и при оценке риска для энергетической инфраструктуры. Эти модели имеют погрешности с точки зрения моделирования локального, регионального и глобального исторического климата (Сеневиратне и др., 2021) и эти погрешности могут переноситься на будущие прогнозы. Поэтому климатологическое сообщество использует ряд методов коррекции смещений, чтобы устранить смещения из будущих прогнозов без устранения сигнала об изменении климата. В данном исследовании мы использовали непараметрическое квантильное отображение, которое описано в Приложении к данному докладу.

**Таблица 1 Набор моделей КОРДЭКС, использованный в исследовании**

РПК2.6	Эксперимент МОЦ-РКМ	Описание
	NCC-NorESM1-M, GERICS-REMO2015_v1	Норвежский климатический центр (NCC) – Модель земной системы; Региональная модель Центра климатического обслуживания Германии (REMO)
	MPI-ESM-MR, GERICS-REMO2015_v1	Институт метеорологии Макса Планка (MPI) – Модель земной системы; Региональная модель Центра климатического обслуживания Германии (REMO)
	MOHC-HadGEM2-ES, GERICS-REMO2015_v1	Метеобюро Центра Хэдли (МОНС) – Глобальная модель окружающей среды Центра Хэдли, версия 2; Региональная модель Центра климатического обслуживания Германии (REMO)
РПК4.5	Эксперимент МОЦ-РКМ	Описание
	MOHC-HadGEM2-ES, RegCM4-3_v5	МОНС; Региональная климатическая модель (RegCM4) Международного центра теоретической физики им. Абдуса Салама (ICTP)
	MPI-ESM-MR, RegCM4-3_v5	MPI; Региональная климатическая модель (RegCM4) Международного центра теоретической физики им. Абдуса Салама (ICTP)

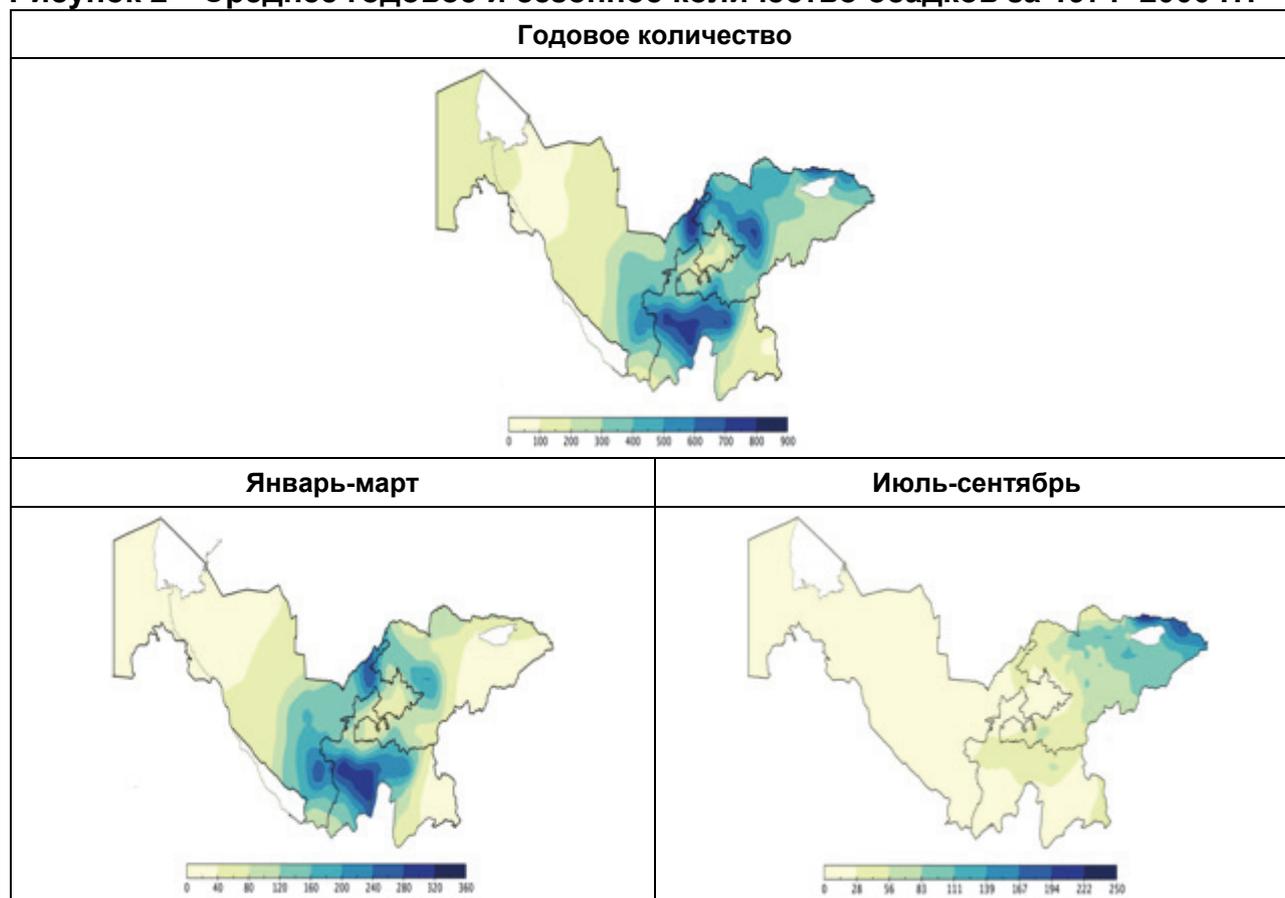
Источник: КОРДЭКС (2021)

Данный проект рассматривал РПК2.6 и РПК4.5, так как эти два РПК представляют потенциальные результаты наряду с текущими климатическими соглашениями и политикой в области климата. РПК2.6 ориентировочно эквивалентен сценарию удержания среднего глобального потепления на уровне 2°С и соответствует Парижскому соглашению. РПК4.5 примерно эквивалентен сценарию среднего глобального потепления на 2–3°С к 2100 году и соответствует текущим безусловным Определяемым на национальном уровне вкладам (ПРООН, 2021). Выбрав эти два РПК, мы демонстрируем, что даже выполнение Парижского соглашения (РПК2.6) может иметь отрицательные последствия для систем возобновляемых источников энергии и энергетических систем во всей Центральной Азии; текущие Определяемые на национальном уровне вклады (примерно РПК4.5) могут иметь еще более отрицательные последствия для энергетической инфраструктуры.

## 2.2 Исторические тенденции и наблюдения: осадки, температура, экстремальные явления и таяние ледников

Климат трех стран разнообразен: от жаркого засушливого на обширных территориях пустынь Республики Узбекистан и юго-западного региона Республики Таджикистан до высокогорного на хребтах Памира и Тянь-Шаня, на территории Кыргызской Республики и Республики Таджикистан. Существуют большие пространственные различия в средних сезонных и годовых осадках, минимальных и максимальных температурах. Значительная часть годовых осадков выпадает в зимние и весенние месяцы на большей части территории в регионе; только в восточной части Кыргызской Республики в районе бассейна реки Аксу преобладают летние осадки, как показано на Рисунке 2. Повышенные годовые суммы осадков наблюдаются вокруг Памиро-Алая в Республике Узбекистан (~800–900 мм/год), в центральной части Памирских гор Республики Таджикистан (~1000–1800 мм/год) и в северо-западной, юго-западной частях и вокруг озера Иссык-Куль в Кыргызской Республике (~600–1100 мм/год) (Правительство Республики Узбекистан, 2016; Правительство Республики Таджикистан, 2014; 2021; Правительство Кыргызской Республики, 2016). Общее количество осадков зависит от высоты над уровнем моря и направления осадков (в направлении ветра или в подветренную сторону) в горах. В пустыне на западе Республики Узбекистан и в высокогорном плато к востоку от Памира в Республике Таджикистан наблюдается наименьшее количество осадков, т.е. менее 100 мм/год (из того же источника).

**Рисунок 2 Среднее годовое и сезонное количество осадков за 1971–2000 гг.**



Примечание: Количество осадков дано в мм/год и мм/сезон. Средние суммарные значения были получены на основе данных наблюдений за осадками в период с 1971 по 2000 годы. Учитывая пространственное разнообразие годовых сумм осадков, шкала осадков на картах не отображает суммарные значения выше 1000 мм/год, которые наблюдаются в центральных горах Таджикистана и

некоторых частях Кыргызстана, в частности над горными территориями. Более подробная информация содержится в тексте.

Источник: Расчеты авторов с использованием APHRODITE

На большей части региона Центральной Азии с 1950-х годов отсутствуют статистически значимые тенденции показателей годовых и сезонных осадков. Высокая междугодичная и междекадная изменчивость связана с многолетними и мультидекадными климатическими процессами, такими как Эль-Ниньо или Южная осцилляция и Тихоокеанская декадная осцилляция (Умирбеков и др., 2022). В восточных районах Памира в Таджикистане наблюдается статистически значимое увеличение количества осадков в зимнее время с 1979 года (Правительство Республики Таджикистан, 2014). Небольшое, статистически значимое увеличение осадков происходит на севере Тянь-Шаня в Кыргызстане (Правительство Кыргызской Республики, 2016), и небольшие, но статистически незначимые тенденции к уменьшению осадков наблюдаются на юге центрального Узбекистана в Бухарской и Кашкардарьинской областях (Хайдаров и Герлиц, 2019). Других статистически значимых долговременных тенденций пока не выявлено.

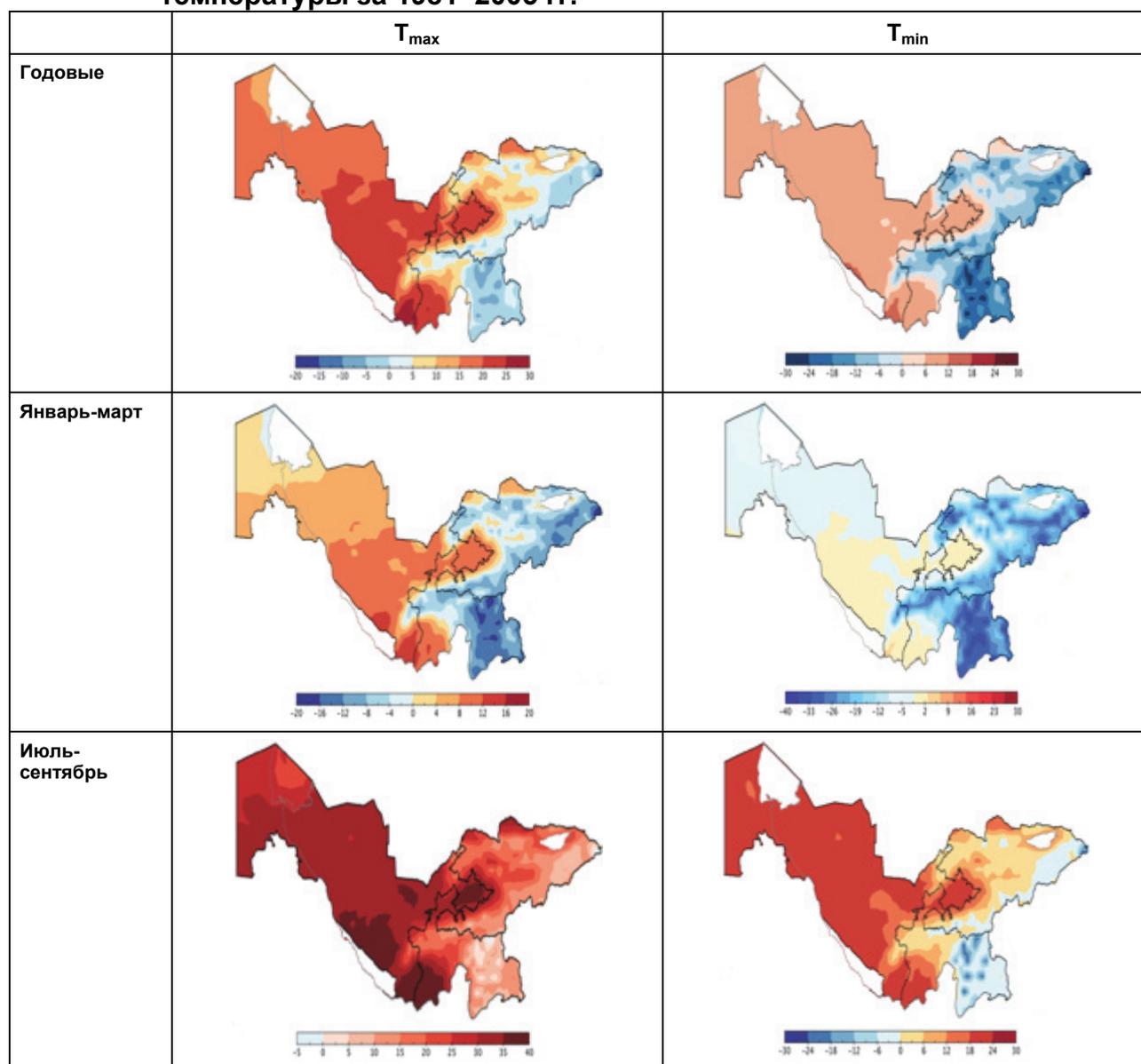
Как показано на Рисунке 3, между суточными максимальными ( $T_{\max}$ ) и минимальными температурами ( $T_{\min}$ ), усредненными по годовым и сезонным шкалам, существуют большие пространственные различия. Температурные различия наиболее выражены в горных районах с высокогорным рельефом. Например, суточная максимальная температура в Шаартузе на юго-востоке Таджикистана может достигать  $22^{\circ}\text{C}$ , в то время как на озере Булункуль на Памире наблюдается  $-60^{\circ}\text{C}$  (Правительство Республики Таджикистан, 2021). В Климат на большей части Республики Узбекистан континентальный, с холодной зимой и продолжительным жарким и сухим летом. Среднегодовые максимальные температуры в Республике Узбекистан колеблются от  $10^{\circ}\text{C}$  до свыше  $30^{\circ}\text{C}$  (см. Рисунок 3), при этом дневная максимальная температура в июле достигает  $40^{\circ}\text{C}$  в г.Термезе Сурхандарьинской области (Правительство Республики Узбекистан, 2016). На западе и северо-западе Кыргызской Республики температура теплее, чем на востоке страны, и годовая температура  $T_{\max}$  составляет  $5\text{--}20^{\circ}\text{C}$ ; и в высокогорных районах Тянь-Шаня вдоль юга/юго-востока температура холоднее. Аналогичным образом, годовая температура  $T_{\max}$  в высокогорных районах Горно-Бадахшанской области ниже нуля в отличие от равнинной части Хатлонской области.

Влияние изменения климата наблюдается во всех трех странах, рассматриваемых в данном исследовании. Во всех трех странах и на большинстве высот обнаружено явное и статистически значимое повышение максимальных и минимальных температур. В Таджикистане средние темпы потепления каждые десять лет в период с 1976 по 2012 годы составили  $0,2^{\circ}\text{C}$  осенью,  $0,3^{\circ}\text{C}$  весной и  $0,15^{\circ}\text{C}$  зимой (Правительство Республики Таджикистан, 2014). Среднее повышение максимальной температуры отчетливо проявляется весной, повышаясь примерно на  $0,5^{\circ}\text{C}$  каждые десять лет в период с 1981 по 2015 годы (Фенг и др., 2017). В Республике Узбекистан в период с 1950 по 2019 годы наблюдалось потепление в среднем на  $0,27^{\circ}\text{C}$  каждую декаду (Правительство Республики Узбекистан, 2012). Темпы потепления в районе Ташкентской и Самаркандской областей ускорились до  $0,52^{\circ}\text{C}$  каждые десять лет с 1991 года (Холматжанов и др., 2020). Средние максимальные температуры весной в районе Аральского моря сегодня превышают  $40^{\circ}\text{C}$ , а в некоторых областях количество жарких дней выросло с 25 дней в год до 40 дней в год (Правительство Республики Узбекистан, 2021). С 1990 года на большей

территории Тянь-Шаня в Кыргызстане наблюдается потепление температур зимой и весной на  $0,3^{\circ}\text{C}$  каждые десять лет, а в ряде районов страны потепление достигает примерно  $0,7^{\circ}\text{C}$  каждые десять лет с 1990 года (Зигфрид и др., 2011; Правительство Кыргызской Республики, 2016).

Эти широко распространенные повышения средних сезонных максимальных и минимальных температур, а также рост числа экстремальных явлений оказывают заметное воздействие на протяженность и баланс массы ледников, многолетние снежники и снежный покров. В результате, формирование стока рек Пяндж, Нарын и Вахш, а также других притоков рек Амударья и Сырдарья, подвергается воздействию. Снегозапасы и ледники обеспечивают различный вклад в сток рек в зависимости от водосбора; весеннее и летнее таяние приводит к пиковым стокам и некоторым формам наводнений.

**Рисунок 3 Среднегодовые и сезонные максимальные и минимальные температуры за 1981–2005 гг.**



Примечание:  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$  указаны в  $^{\circ}\text{C}$ , температурные шкалы различны для каждого сезона и годовых показателей.  $T_{\max}$  летом превышает  $40^{\circ}\text{C}$  в некоторых районах Узбекистана и Таджикистана, и не

учитывается в условных обозначениях шкалы. Экстремальные значения температуры зимой в некоторых районах Памира в Таджикистане также не отражены должным образом в условных обозначениях.

Источник: Расчеты авторов с использованием температурных данных ERA-Interim

## 2.3 Сценарии: прогнозы изменения климата на 2050-е годы

### 2.3.1 Прогнозы среднегодовых и сезонных осадков и температур

По данным моделей КОРДЭКС, климатические сдвиги по сезонам и экстремальные явления могут стать значительными к 2050-м годам во всех трех странах.

При использовании РПК2.6 и РПК4.5 возможно как потенциальное увеличение, так и уменьшение годовых и сезонных суммарных осадков, и при этом наблюдаются значительные пространственные различия (Рисунок 4 – представлен в виде процентных изменений). Прогнозируется, что среднегодовое общее количество осадков уменьшится по сравнению с историческим количеством осадков за период с 1971 по 2000 гг. в следующих районах:

#### Республика Узбекистан:

- РПК2.6: Сурхандарьинская (от –6 до –20%); Бухарская и Навоийская области (от 0 до –12%)
- РПК4.5: Сурхандарьинская область (от 0 до –6%)

#### Кыргызская Республика:

- РПК2.6: Районы Чуйской, Нарынской, Ошской и Иссык-Кульской областей (от 0 до –8%)
- РПК4.5: Иссык-Кульская и Таласская области (от 0 до –8%)

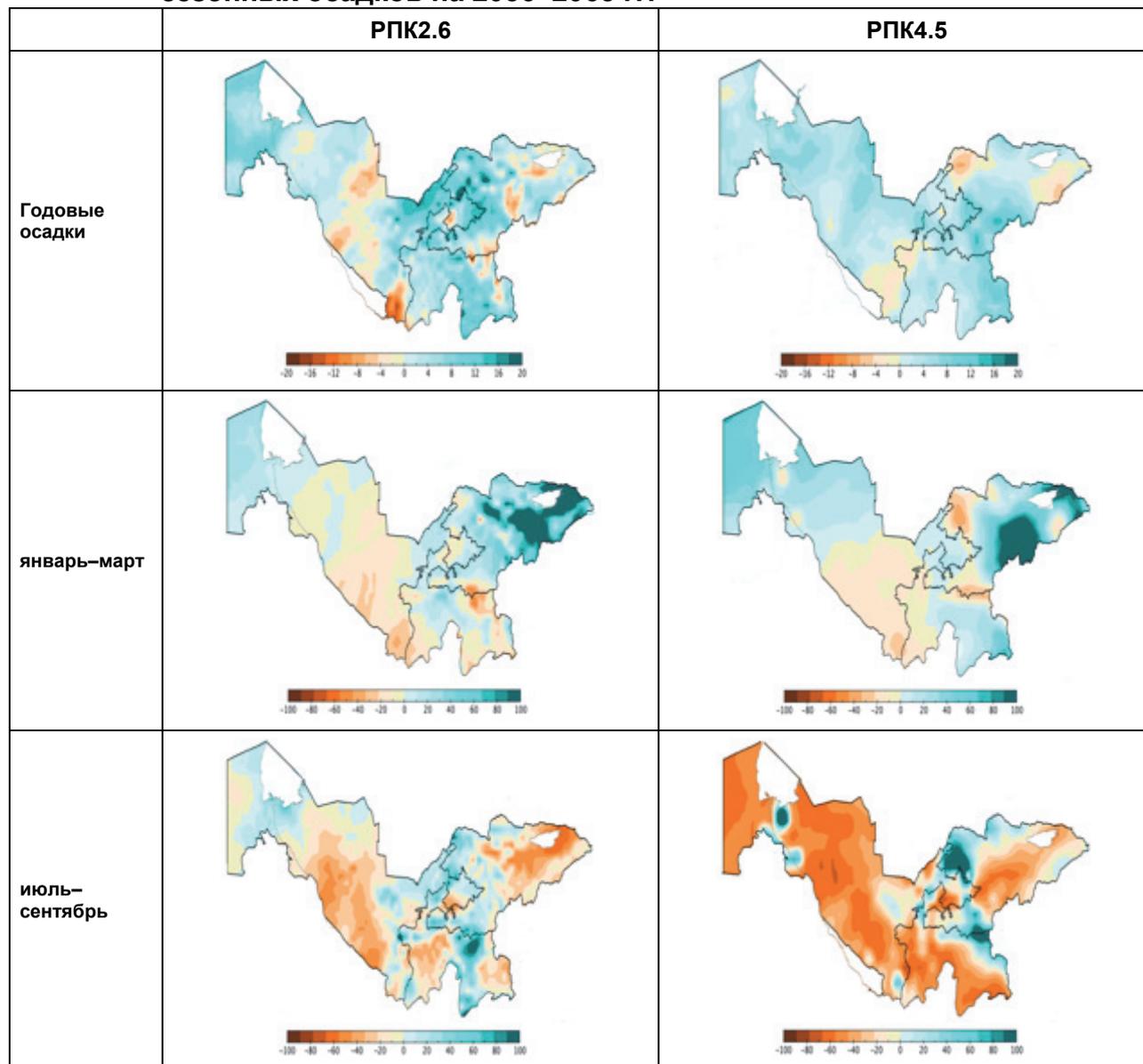
#### Республика Таджикистан:

- РПК2.6: Восточная часть Горно-Бадахшанской области (от 0 до –8%)
- РПК4.5: Южная часть Согдийской области (от 0 до –5%)

Изменения в количестве сезонных осадков показывают, что зима (январь-март) и лето (июль-сентябрь) скорее всего станут более засушливыми на значительной территории исследуемого региона. По прогнозам, количество зимних осадков в Иссык-Кульской области увеличится при обоих РПК, вероятно, в два раза. Однако лето, по прогнозам, станет значительно засушливее (РПК2.6: от 0 до -50%) с уменьшением от -40 до -70% при РПК4.5.

Снижение и небольшое увеличение количества годовых и сезонных осадков будет компенсировано повышением температуры. Вероятно, произойдет увеличение годовых и сезонных температур  $T_{\max}$  и  $T_{\min}$  (Рисунки 5 и 6), а также увеличение частоты аномально жарких дней с температурой выше  $30^{\circ}\text{C}$  (Рисунок 8). Согласно прогнозам, среднегодовая температура  $T_{\max}$  увеличится от  $1,3^{\circ}\text{C}$  до  $1,8^{\circ}\text{C}$  на большей части исследуемой территории при РПК2.6; при РПК4.5 годовая температура  $T_{\max}$  может увеличиться от  $1,8^{\circ}\text{C}$  до  $2,2^{\circ}\text{C}$  на большей территории региона, причем на Памиро-Алае и в Восточном Памире в Таджикистане прогнозируется увеличение до  $4,0^{\circ}\text{C}$  (Рисунок 5). Повышение зимней температуры  $T_{\max}$  больше при РПК2.6, чем при РПК4.5, при этом летнее потепление больше при РПК4.5, чем при РПК2.6.

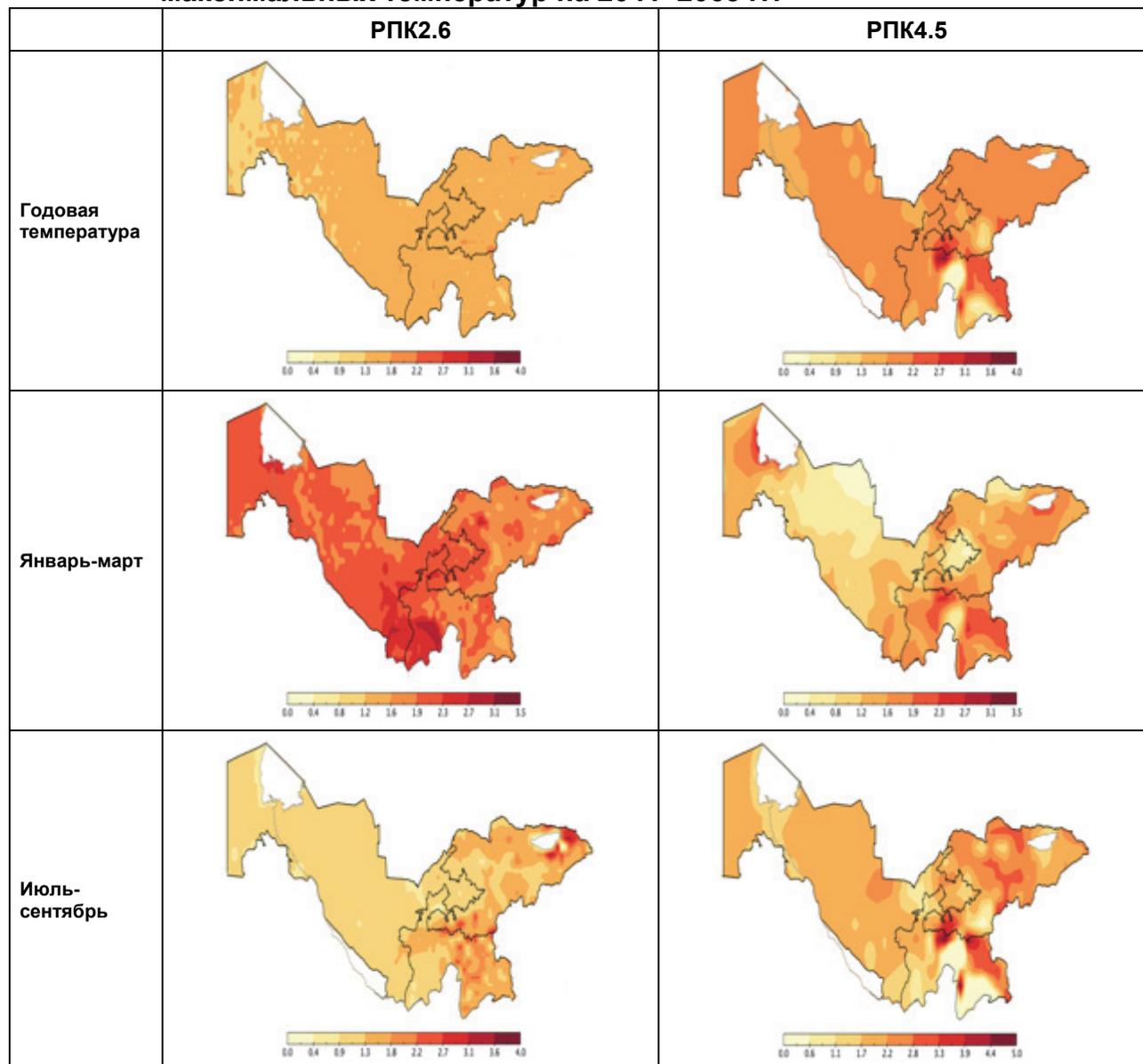
**Рисунок 4 Прогнозируемое процентное изменение количества годовых и сезонных осадков на 2036–2065 гг.**



Примечание: Прогнозируемое мультимодельное среднее процентное изменение среднегодового и сезонного количества осадков по сценариям РПК2.6 и РПК4.5. Аномалии рассчитаны между прогнозами с поправкой на смещение (2036-2065 гг.) и данными наблюдений (1971–2000 гг.)

Источник: Анализ авторов с использованием данных APHRODITE и КОРДЭКС

**Рисунок 5 Прогнозируемые средние аномалии годовых и сезонных максимальных температур на 2041–2065 гг.**

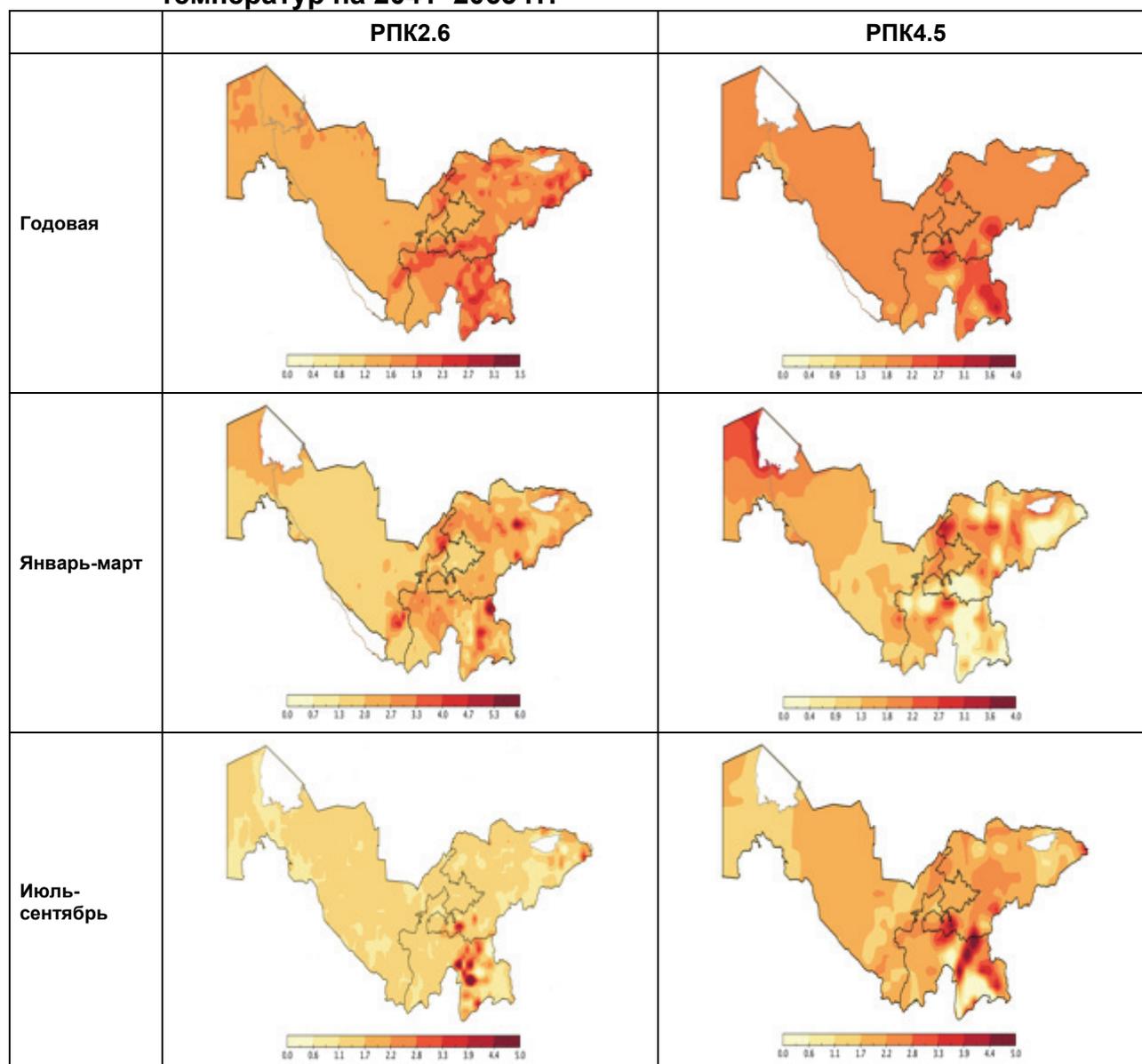


Примечание: Прогнозируемые мультимодельные средние аномалии среднегодовых и сезонных максимальных температур ( $T_{\max}$ , °C) по сценариям РПК2.6 и РПК4.5. Аномалии рассчитаны между прогнозами с поправкой на смещение (2041-2065 гг.) и данными наблюдений (1981-2005 гг.)

Источник: Расчеты авторов основаны на данных ERA Interim и КОРДЭК

Ожидается также повышение минимальных (ночных) температур на сезонной и годовой основе (Рисунок 6). Повышение температуры  $T_{\min}$  наиболее выражено над Памиром, Памиро-Алаем и районами Тянь-Шаня при обоих РПК – среднегодовое потепление до 3,1°C при РПК2.6 и 3,6°C при РПК4.5. В других районах к 2050-м годам повышение минимальных температур может составить от 1,2°C до 2,2°C.

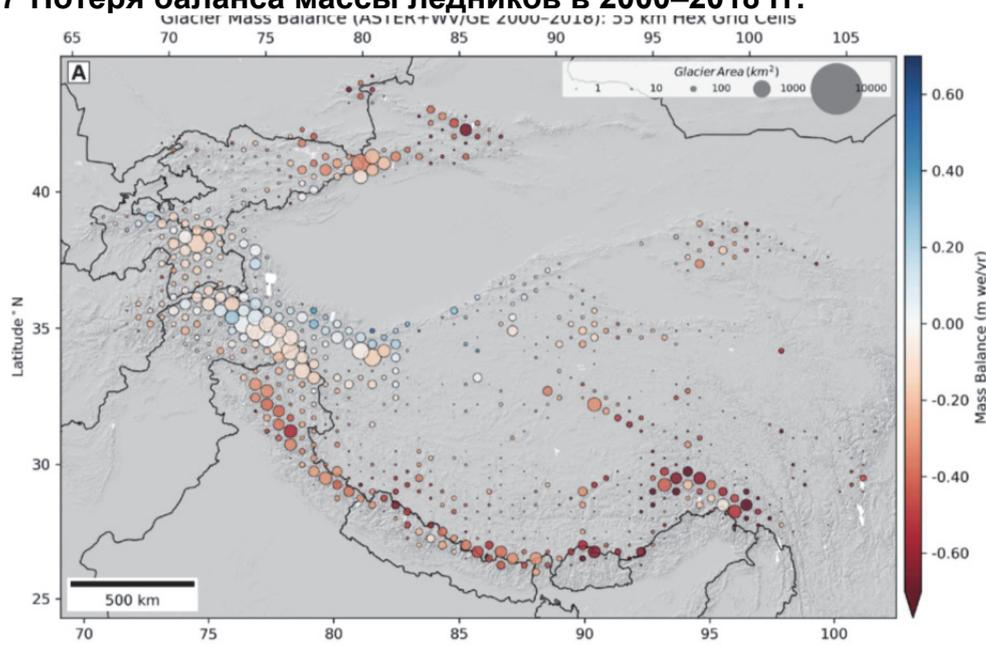
**Рисунок 6 Прогнозируемые аномалии годовых и сезонных минимальных температур на 2041–2065 гг.**



Примечание: Прогнозируемые мультимодельные средние аномалии среднегодовых и сезонных минимальных температур ( $T_{\min}$ , °C) по сценариям РПК2.6 и РПК4.5. Аномалии рассчитаны между прогнозами с поправкой на смещение (2041–2065 гг.) и данными наблюдений (1981–2005 гг.)

Источник: Расчёты авторов основаны на данных ERA-Interim и КОРДЭКС

Территориально повышение температуры во все сезоны в разной степени влияет на площадь ледников и снежного покрова, а также на гидрологию рек. Также наблюдается высокая внутригодовая изменчивость. По данным Третьего национального сообщения Республики Таджикистан, ледники чувствительны к изменениям температуры на 0,5–1°C в летний период (Правительство Республики Таджикистан, 2014). Данные дистанционного зондирования MODIS показывают, что с 2002 года среднее потепление на Памире составило 0,7–1,2°C каждые десять лет (Поль и др., 2017); а темпы потепления на Тянь-Шане в среднем составили 0,1–0,2°C каждые десять лет в период с 1960 по 2007 гг. (Барандун и др., 2020).

**Рисунок 7 Потеря баланса массы ледников в 2000–2018 гг.**

Примечание: Удельный баланс массы ледников в период с 2000 по 2018 гг.

Источник: Шин и др. (2020: Рисунок 4а)

Общая средняя протяженность ледников, по оценкам, составляет 30% от протяженности в 1930-х годах в Республике Таджикистан (Правительство Республики Таджикистан, 2014); Кыргызстан же потерял 23%. В горах Памира и Тянь-Шаня существует широкая пространственная изменчивость в изменении баланса массы ледников (Барандун и др., 2020 и 2021; Поль и др., 2017; Шин и др., 2020 – см. Рисунок 7). Воздействию подвергаются небольшие ледники на более низких высотах, а площадь ледников в бассейнах рек Вахш, Пяндж и Зерафшан уменьшилась. По другую сторону границы, в Кыргызской Республике, бассейн реки Карадарьи может остаться без ледников к 2050-м годам (Гафуров, 2022). В бассейнах рек Нарын и Зерафшан к 2100 году может произойти сокращение площади ледников до 80% (из того же источника).

Изменение климата будет иметь ряд последствий для взаимосвязи энергетических и водных ресурсов. В связи с нехваткой средств мониторинга на местах необходимо использовать данные дистанционного зондирования для оценки тенденций изменения ледников, что затрудняет оценку конкретных сдвигов на уровне водосбора для различных притоков (Поль и др., 2017). Тем не менее, по данным наблюдений в Кыргызстане и Таджикистане, на многих водосборах с 2000 года увеличился совокупный сток (Барандун и др., 2020; Поль и др., 2017). Потенциальные последствия изменения климата будут индивидуальны для каждого речного бассейна, особенно для бассейнов, в которых снежники или ледники вносят вклад в базовые стоки рек. По мере усиления таяния ледников речной сток сначала будет увеличиваться, но, согласно результатам моделирования, к 2100 году он, вероятно, уменьшится (Барандун и др., 2020). Для каждого ледника и снежника существует критический момент, после наступления которого ледник или снежник больше не сможет вносить значительный вклад в базовые стоки рек, что приведет к сокращению водоснабжения. Для небольших речных бассейнов эти критические моменты, вероятно, будут достигнуты раньше, чем для более крупных бассейнов, но

многое зависит от темпов потепления на возвышенностях и эволюции деградации ледников и/или снежников, поддерживающих стоки (Гафуров, 2022). В реке Большой Нарын такой критический момент ожидается в 2040-х годах. Критический момент для реки Малый Нарын уже достигнут. Для Большого Нарына он может наступить примерно в 2035 году (из того же источника).

Деградация вечной мерзлоты в ледниках приведет к усилению эрозии почвы, камнепадов, селей и увеличению наносов в реках. Также существует вероятность увеличения числа весенних паводков из-за увеличения количества дождей со снегом на низких и средних высотах, в дополнение к риску наводнений в результате прорыва ледниковых озер в некоторых речных бассейнах. Более теплые температуры весной повышают риск лавиноопасности в низкогорных зонах (Правительство Республики Узбекистана, 2016). Все эти изменения создадут риски для гидроэнергетических систем и управления водными ресурсами.

### 2.3.2 Прогнозируемые изменения в интенсивности и частоте экстремальных явлений

Существует целый ряд климатических экстремальных явлений, имеющих отношение к пределам повреждения инфраструктуры генерации и передачи электроэнергии, а также к удовлетворению спроса на энергетические ресурсы. В период с осени до весны экстремальные холода, обледенение и дождь со снегом в горных районах могут снизить эффективность генерации и передачи электроэнергии и привести к повреждениям электроэнергетической инфраструктуры. Например, наледи, сопровождаемые сильным ветром или без него, на линиях электропередач могут привести к провисанию, обрыву линий и обрушению опор ЛЭП, а также к другим последствиям. Энергетические компании в трех странах имеют опыт работы с экстремальными зимними явлениями и учитывают их при проектировании, эксплуатации и обслуживании энергетической инфраструктуры, как сообщалось в ходе национальных консультаций для данного исследования.

Планирование энергетической инфраструктуры менее устойчиво к экстремальным тепловым явлениям и последующим прямым и каскадным рискам, которые могут возникнуть в энергосистеме. Поэтому в данном докладе основное внимание уделяется прогнозам по двум индексам, связанным с экстремальной жарой – количеству дней в сезоне, когда дневная температура превышает  $33^{\circ}\text{C}$ <sup>1</sup>, и количеству ночей с температурой выше  $27^{\circ}\text{C}$ <sup>2</sup>. Также в доклад включен обзор

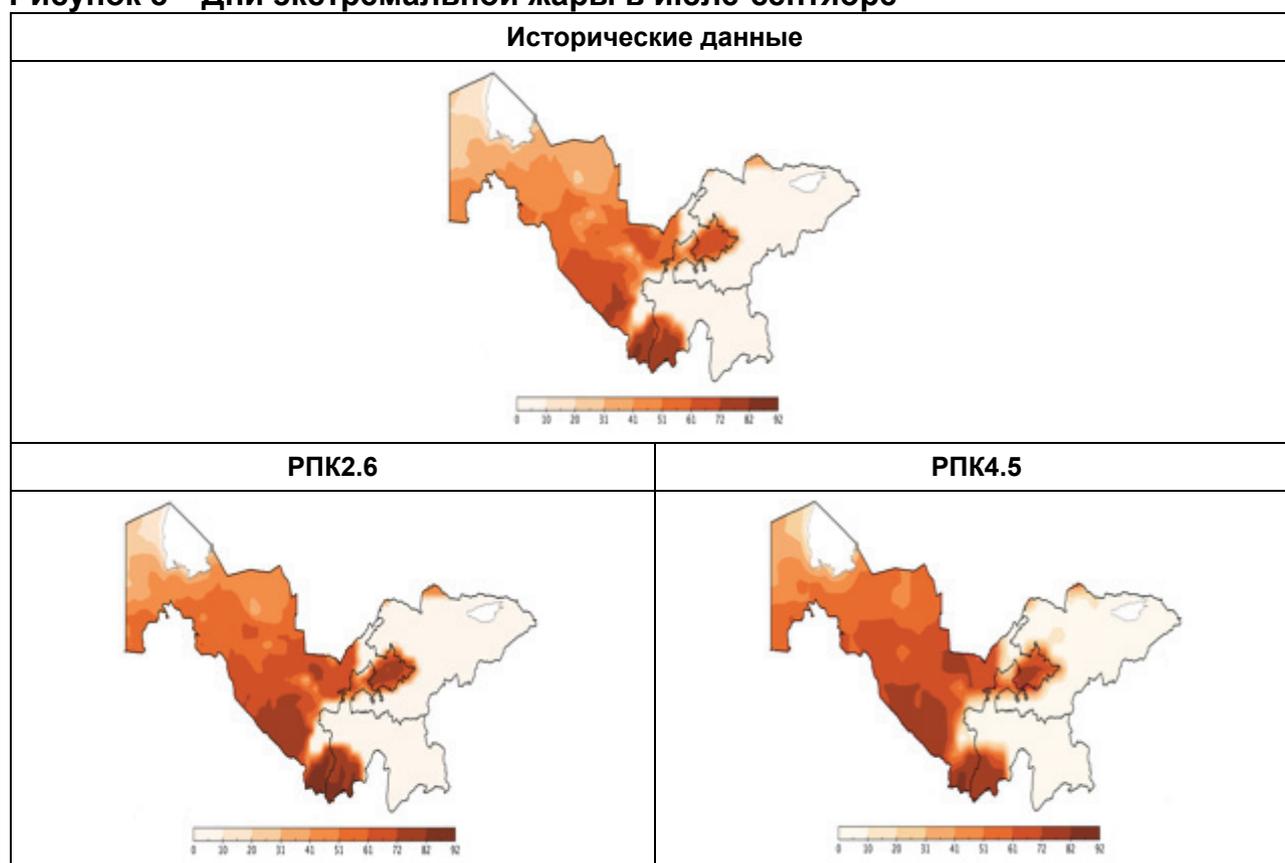
<sup>1</sup> Мы используем этот порог экстремальной жары в качестве стандартного порога в  $35^{\circ}\text{C}$ , применяемого к здоровым мужчинам. У людей с такими заболеваниями, как диабет, легочные или сердечные заболевания, рак, у беременных женщин, детей и пожилых людей порог теплового удара и стресса может быть ниже, и поэтому у них быстрее развивается тепловой удар. У работающих на открытом воздухе (например, у фермеров и строителей), а также у тех, кто занимается умеренной или тяжелой физической деятельностью без соответствующего охлаждения, также быстрее развивается тепловой удар (Эби и др., 2021; Опиц Стаплтон и др., 2016).

<sup>2</sup> Национальная метеорологическая служба США установила пороговую ночную температуру в  $27^{\circ}\text{C}$  (Робинсон, 2001). Средняя относительная влажность высока в регионах трех стран. Кроме того, влажность часто повышается в ночное время по мере охлаждения температуры окружающей среды; при относительной влажности 80% и  $T_{\min}$   $27^{\circ}\text{C}$  это соответствует тепловому индексу  $29^{\circ}\text{C}$ . Температура выше  $27^{\circ}\text{C}$ , особенно с учетом повышенной влажности, может привести к тепловому удару и обезвоживанию (даже ночью). Даже при низкой относительной влажности, при  $T_{\min}$  выше  $27^{\circ}\text{C}$ , человеческому организму все равно трудно охладиться. Это может привести к проблемам со здоровьем, поскольку физиологическое воздействие постоянных жарких дней и ночей возрастает.

потенциальных изменений в экстремальных дождевых осадках 24-часовой продолжительности с точки зрения интенсивности и продолжительности в отдельных географических районах, и обсуждение изменений в динамике наводнений в условиях меняющегося климата.

В прошлом (1981–2005 гг.), только в южных регионах Узбекистана (Сурхандарьинская, Кашкадарьинская и Самаркандская области), в южных регионах Таджикистана (Хатлонская область) и в Ферганской долине в период с июля по сентябрь наблюдалось 60 и более дней с температурой выше 33°C (анализ данных ERA-Interim). К 2050-м годам (2041–2065 гг.), прогнозируется увеличение пространственной протяженности территорий, на которых, вероятно, будет наблюдаться 60 или более дней, превышающих порог жарких дней при обоих сценариях РПК (Рисунок 8). По сценарию РПК2.6, воздействию жарких температур подвергнется большая часть Бухарской области и полоса, простирающаяся с южной части Навоийской области на восток; по сценарию РПК4.5, будут затронуты территории, простирающиеся дальше на север, и больше половины территории Узбекистана будет сталкиваться с волнами тепла. Крупные населенные пункты во всех трех странах, такие как Ташкент, Джизак, Ош и Бохтар, столкнутся с последствиями. Кроме того, теплый сезон может потенциально стать еще более продолжительным, начинаясь в апреле и продолжаясь вплоть до октября в некоторых местах. Ареал распространения теплых ночей в конце весны и летом также расширится при использовании сценариев РПК2.6 и РПК4.5 (не показаны).

**Рисунок 8 Дни экстремальной жары в июле-сентябре**



Примечание: Количество дней, когда температура воздуха превышает 33°C с июля по сентябрь в 1981–2005 гг. (исторические данные) и по прогнозам (2041–2065 гг.).

Источник: Расчеты авторов по данным ERA-Interim и КОРДЭК

Анализ изменений в силе экстремальных порывов ветра, продолжительных штормов и града в результате изменения климата в трех странах не входил в задачи данного доклада. В рамках предыдущего исследования были проанализированы изменения в интенсивности и частоте экстремальных дождевых осадков продолжительностью 24 часа для усредненных по площади зон в каждой стране к 2050-м годам при использовании РПК4.5 и РПК8.5 (Опиц-Стэплтон, 2021). В Таблице 2 показаны изменения в суточных экстремальных дождевых осадках в избранных областях или регионах, где существует или планируется создание крупной энергетической инфраструктуры (подробную информацию о воздействиях см. в следующей главе).

**Таблица 2 Изменения в интенсивности и частоте экстремальных дождевых осадков продолжительностью 24 часа**

Повторяемость (лет)	Наблюдалось	РПК4.5
Кыргызская Республика: Джалал-Абадская область		
20	1,41	1,72
50	1,63	1,96
100	1,80	2,14
Республика Таджикистан: Горно-Бадахшанская область		
20	0,52	0,66
50	0,59	0,76
100	0,64	0,83
Республика Узбекистан: Джизакская область		
20	1,42	1,85
50	1,68	2,14
100	1,88	2,36

Примечание: Прогнозируемые изменения в усредненной по площади интенсивности экстремальных дождевых осадков продолжительностью 24 часа на 2036–2065 гг. (2050-е гг.) по сравнению с историческими максимумами (1971–2000 гг.). Значения даны в мм/час. Автор проводил анализ экстремальных событий в рамках предыдущего исследования.

Источник: Опиц-Стэплтон (2021), неопубликованный анализ для TA-9878 REG

# 3 Анализ климатических рисков: последствия, чувствительность и риски

## 3.1 Последствия

### 3.1.1 Исторические данные о генерации и передаче электроэнергии

В Кыргызской Республике и Республике Таджикистан гидроэлектростанции (ГЭС) доминируют над другими генерирующими мощностями. По состоянию на 2021 год 5406 МВт из 6124 МВт общей генерирующей мощности Республики Таджикистан приходилось на гидроэнергетику (Министерство энергетики и водных ресурсов, 2022). В Кыргызской Республике на гидроэнергетику приходится 3034 МВт из 3896 МВт общей генерирующей мощности (Национальный статистический комитет, 2022). В данный момент Республика Узбекистан в большей степени зависит от газовых и угольных тепловых электростанций (ТЭС), а ветровая, солнечная и гидроэнергия составляют менее трети (2,25 ГВт) от общей генерирующей мощности 15,6 ГВт (Министерство энергетики, 2022).

**Рисунок 9 Существующая основная энергетическая инфраструктура, 2017 г.**



Примечание: Данная карта датируется 2017 годом и показывает не все гидроэнергетические и солнечные и ветряные проекты коммунального масштаба, которые находятся в процессе строительства или запланированы тремя странами, линии в рамках CASA-1000 или другие запланированные региональные линии передач.

Источник: GENI (2017)

Инфраструктура генерации и передачи электроэнергии устаревает во всем регионе. В Узбекистане средний возраст ТЭС и ГЭС составляет 60 лет. В последние пять лет

были построены две солнечные установки коммунального масштаба (солнечные панели, генерирующие более 1 МВт), одна ГЭС и одна газовая ТЭС. В Кыргызстане средний возраст ГЭС и угольных ТЭС также составляет 60 лет, при этом за последние 10 лет были введены в эксплуатацию дополнительные малые ГЭС. В Таджикистане ГЭС мощностью более 1 МВт имеют возраст от 4 до 86 лет; новая угольная ТЭС была построена вблизи Душанбе шесть лет назад (Министерство энергетики и водных ресурсов, 2022).

Исторически сложилось так, что большая часть инфраструктуры генерации и передачи электроэнергии в трех странах (и в южной части Казахстана и Туркменистана) была объединена в рамках Центрально-Азиатской энергосистемы (ЦАЭС), созданной в советское время. Существует множество линий электропередач, соединяющих страны и регион, хотя некоторые страны отсоединялись от единой энергетической системы Центральной Азии в различные периоды с 2000 года.

Существовала и продолжает иметь место сезонная зависимость генерирующих мощностей от конкретного места генерации электроэнергии. Те страны, которые больше зависят от ГЭС – Таджикистан и Кыргызстан – имеют более высокую генерирующую мощность в конце весны – начале осени, когда сток рек Вахш и Нарын (и это лишь некоторые из них) высок из-за таяния снежного покрова. Благодаря ЦАЭС, сезонность в летних генерирующих мощностях ГЭС в странах верховья (Таджикистан и Кыргызстан) была компенсирована за счёт генерации на ТЭС в другие сезоны в более богатых ископаемым топливом странах (Узбекистан) (Винокуров и др., 2021). Устаревая инфраструктура и различия в управлении генерирующими мощностями между странами с преобладанием гидроэнергетики и ископаемого топлива способствуют дисбалансу нагрузки и отключениям в зимний период (из того же источника).

### 3.1.2 Будущие последствия

Все три страны взяли на себя обязательства по увеличению использования возобновляемых (солнечная и ветровая энергия) и традиционных (гидроэнергетика) источников энергии в различной степени.

**Кыргызская Республика:** Национальная стратегия развития на 2018–2040 годы определяет приоритеты развития энергетического сектора, в которые входит повышение энергоэффективности и одновременное обеспечение энергетической безопасности за счёт использования потенциала ГЭС, увеличения доли возобновляемых источников энергии (солнечные, ветряных и накопительных ГЭС) до 10% в энергобалансе и «газификации» (Национальный совет по устойчивому развитию Кыргызской Республики, 2018). Программа «Зеленая экономика» на 2019–2023 годы подчеркивает необходимость изменения государственной политики в сторону стимулирования энергоэффективности и энергосбережения, а также производства возобновляемой энергии. Целевые показатели для возобновляемых источников энергии не менее 50 МВт, включая солнечную и ветровую энергию, установлены для районов, где они могут быть более конкурентоспособными по стоимости в сравнении с электроснабжением из национальной электроэнергетической сети, и учитывают прогнозируемый рост потребления энергии до 2040 года (Министерство экономики и торговли Кыргызской Республики, 2019а). Концепция развития топливно-энергетического комплекса до 2030 года будет доработана в течение срока действия Программы (Министерство экономики и торговли Кыргызской Республики, 2019б).

Кыргызстан восстанавливает крупные ГЭС в Джалал-Абадской области (Токтогульская ГЭС 1 200 МВт выше города Каракол, Камбар-Атинская ГЭС-2 120 МВт и Уч-Курганская ГЭС 180 МВт возле города Таш-Комур – все они расположены на реке Нарын) и одну в Нарынской области (Ат-Башинская ГЭС 44 МВт). Работы по восстановлению проводятся в сотрудничестве с Азиатским банком развития и заключаются в удалении ила и наносов с речного дна, а также в замене устаревшего оборудования. Страна планирует строительство еще двух ГЭС – Бала-Саруу мощностью 25 МВт (Российско-Кыргызский фонд развития) в Таласской области и Каракульской ГЭС мощностью 18 МВт (Чаканская ГЭС) в Джалал-Абадской области. В этом году ожидается начало строительства трех солнечных электростанций (тип не уточняется) установленной мощностью от 125 до 500 МВт и одной ветряной электростанции (10 МВт). Места расположения этих возобновляемых источников энергии будут разбросаны по Иссык-Кульской и Чуйской областям. Правительство признает, что изменение климата усугубит существующие энергетические проблемы «из-за снижения выработки гидроэлектроэнергии» (Правительство Кыргызской Республики, 2016), причем выработка электроэнергии ГЭС, расположенными в водосборных бассейнах малых рек, по прогнозам, снизится на 19% при потеплении на 2°C (Правительство Кыргызской Республики, 2020) – сценарий РПК2.6 указан в предыдущей главе.

**Республика Таджикистан:** Энергетические приоритеты Республики Таджикистан сформулированы в Национальной стратегии развития Республики Таджикистан до 2030 года, где энергетическая безопасность и эффективное использование электроэнергии указаны в качестве одного из четырех ключевых приоритетов Стратегии (Правительство Республики Таджикистан, 2016). Для электроэнергетического сектора стратегия предусматривает развитие на основе концепции «10/10/10/10»: (1) увеличение проектной мощности электроэнергетической системы до 10 ГВт; (2) достижение ежегодного экспорта электроэнергии в соседние страны до 10 млрд киловатт-часов; (3) обеспечение диверсификации мощности электроэнергетической системы страны не менее чем на 10% за счёт увеличения мощности других источников электроэнергии, включая уголь, нефть, газ и возобновляемые источники энергии; (4) снижение потерь электроэнергии в стране до 10% (из того же источника). Генеральный план развития энергетического сектора, разработанный при поддержке Азиатского банка развития (АБР), является основным стратегическим документом, определяющим развитие энергетического сектора (АБР, 2017). В генеральном плане не рассматривалась ветровая или солнечная энергия в качестве приоритетных вариантов энергоснабжения с оговоркой, что они могут стать более привлекательными по мере совершенствования технологий и снижения затрат.

В то время как Таджикистан продолжает расширять планы по строительству ГЭС, он также диверсифицирует свой энергетический портфель за счёт строительства солнечных и ветряных электростанций, начиная с Генерального плана 2017 года. В сотрудничестве с АБР, Всемирным Банком, Агентством США по международному развитию и Южной Кореей, в стране ведется строительство малых и крупных солнечных электростанций установленной мощностью от 0,2 МВт до 200 МВт. Проекты расположены по всей стране в Согдийской, Хатлонской и Горно-Бадахшанской областях. Кроме того, с начала 2000-х годов страна проводит ремонт и модернизацию существующих ГЭС, систем передачи и распределения электроэнергии.

**Республика Узбекистан:** Согласно Стратегии по переходу Республики Узбекистан на «зеленую» экономику на период 2019–2030 годов, Узбекистан стремится увеличить долю возобновляемых источников энергии в общем объеме производства электроэнергии до свыше 25% к 2030 году, при этом ожидается, что генерирующие мощности по производству электроэнергии увеличатся в 2,5 раза и удвоят годовое производство к 2030 году. В стратегии также говорится о модернизации и реструктуризации системы электроснабжения с внедрением системы децентрализованного производства электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии для повышения энергоэффективности и надежности работы электросетей. Для этого также необходима установка современных солнечных и ветряных электростанций общей мощностью 8 ГВт в качестве приоритета в развитии электроэнергетики.

Разработка солнечных и ветряных электростанций находится на разных стадиях. Многочисленные солнечные фотоэлектрические (ФЭ) станции (работающие не на концентрированной солнечной энергии) и ветряные электростанции общей установленной мощностью от 100 МВт до 1 000 МВт разрабатываются в сотрудничестве с АБР, Международной финансовой корпорацией/Всемирным банком, Европейским банком реконструкции и развития, Masdar (ОАЭ), ACWA Power (Саудовская Аравия) и Phanes Group (ОАЭ). Такие объекты будут расположены в Сурхандарьинской, Кашкадарьинской, Бухарской, Джизакской, Наманганской, Хорезмской, Самаркандской, Навоийской и Ферганской областях, Республике Каракалпакстан – словом, по всей стране.

**Региональная взаимосвязанность:** Некоторые крупные региональные проекты по передаче электроэнергии включают CASA-1000, предусматривающий строительство линии 500 кВ между Таджикистаном, Кыргызстаном, Пакистаном и Афганистаном, по которой Пакистан будет получать энергию в летний период для удовлетворения своих пиковых потребностей.

Если взглянуть на карту существующей и планируемой энергетической инфраструктуры по состоянию на 2017 год (Рисунок 9), то становятся очевидными последствия опасностей в результате изменения климата, описанных в предыдущей главе, для отдельных ГЭС, ветряных электростанций и солнечных фотоэлектрических станций, ТЭС и региональных систем электропередачи.

## 3.2 Чувствительность и возможности

### 3.2.1 Чувствительность: растущий спрос, общие эксплуатационные пределы

Потребности, неэффективность и потери являются источником чувствительности в национальных и региональных энергетических системах. В данное время энергоэффективность во всем регионе низкая, а потери – высокие, в соответствии с Докладом 2. Спрос на электричество во всех трех странах неуклонно растет с 2000 года (см. Таблица 3) в связи с увеличением численности населения, а также укреплением и диверсификацией экономики без осуществления (исторически) политики повышения энергоэффективности и управления спросом (Всемирный банк, 2020).

Существуют некоторые сезонные колебания спроса на энергетические ресурсы, при этом ирригационные насосы потребляют значительное количество электроэнергии в

период с апреля по сентябрь. При этом в сельском хозяйстве, по оценкам, занято примерно 45%, 19% и 26% всех занятых в Таджикистане, Кыргызстане и Узбекистане, соответственно (МОТ, 2022). Спрос на водные ресурсы в целях орошения совпадает с засушливыми месяцами, примерно с апреля по октябрь. Сбои в энергоснабжении из-за засухи или других опасных явлений оказывают отрицательное влияние на возможность доставки поливной воды насосными станциями. Рост спроса на электроэнергию в связи с развитием криптомайнинга в Казахстане и технологическая диверсификация во всем регионе представляют собой новые тенденции такого спроса, увеличивающего нагрузку на существующую энергосистему.

**Таблица 3 Тенденции потребления электроэнергии**

Страна	2000	2010	2019
Кыргызстан	8,3	7,5	12,6
Таджикистан	13,4	14,3	15,4
Узбекистан	43,8	41,8	60,1

Примечание: Значения даны в ТВт/ч.

Источник: МЭА (2022)

Спрос на электроэнергию будет расти во всех трех странах (Таблица 4), несмотря на нехватку прогнозов спроса после 2030 года в общем доступе. Национальная Стратегия адаптации к изменению климата Республики Таджикистан на период до 2030 года признает рост необходимости в орошении в результате увеличения частоты засух (Правительство Республики Таджикистан, 2019). Было доказано, что пиковый спрос и его продолжительность (часов в сутки) увеличиваются во время тепловых волн во многих странах. В Пакистане спрос увеличился на 109,3 ТВт/ч на каждый 1°C при увеличении температуры окружающей среды свыше 30°C (Али и др., 2013). Рост спроса на электроэнергию для нужд охлаждения во время тепловых волн оценивается в 25% для Узбекистана и Таджикистана (Петерсен и др., 2021a; 2021b), хотя не было представлено никаких расчетов о том, как проводилась оценка увеличения спроса или учитывался ли спрос на более мощные насосы для орошения. Поэтому необходимо провести дополнительное прогнозирование пикового спроса на электроэнергию для этих стран.

**Таблица 4 Прогнозы спроса на электроэнергию**

Страна	2022	2025	2030
Кыргызстан	–	–	–
Таджикистан	20,4	22,7	26,9
Узбекистан	76	93	138

Примечание: Значения указаны в ТВт/ч.

Источник: Таджикистан: Министерство энергетики и водных ресурсов; Узбекистан: Министерство энергетики

Помимо спроса и нагрузки, которую растущий спрос может создать в отношении генерации, передачи и распределения электроэнергии, другие чувствительные факторы связаны с эксплуатационными требованиями и пороговыми значениями конкретной энергетической инфраструктуры.

**Солнечная фотоэлектрическая и концентрированная солнечная энергия (КСЭ):**

Ожидаемый срок службы солнечных фотоэлектрических установок общего пользования и малых установок, которые планируются к установке во всех трех странах, составляет 25–40 лет (NREL, 2022). Поэтому солнечные фотоэлектрические установки, устанавливаемые сейчас и которые будут установлены до 2030 года, будут пригодны к эксплуатации в 2050-х годах, т.е. в период, охватываемый анализом сценариев изменения климата. Солнечные фотоэлектрические установки чувствительны к воздействию температур, пыли и имеют ограниченную защиту от воды. Солнечные фотоэлектрические батареи преобразуют только часть поступающего солнечного излучения в энергию, а остальная часть поглощается в виде тепла. Эффективность преобразования энергии зависит от состава солнечных фотоэлементов и освещенности солнечного излучения, а также от температуры воздуха в окружающей среде, скорости ветра и других климатических условий. В жаркие дни (выше 25°C) эффективность преобразования энергии снижается; темпы снижения зависят от состава фотоэлементов (Калделлис и др., 2014). В будущем высока вероятность возникновения пылевых бурь в связи с повышенным испарением влаги. Пыль снижает потенциал солнечных фотоэлектрических установок и может вызвать истирание панелей и оборудования. Солнечные фотоэлектрические установки и КСЭ имеют разные потребности в воде для очистки; эффективность может упасть до 30% в течение месяца из-за запыленности поверхностей панелей (Панат и Варанаси, 2022). Для охлаждения КСЭ с системой влажного или гибридного охлаждения необходима вода. Общая потребность в воде для солнечных электростанций коммунального масштаба все равно намного ниже, чем для ТЭС (Клизе и др., 2013). И, наконец, в условиях теплого климата высока вероятность усиления ураганов. Ветры и град, вызванные такими ураганами, могут повысить вероятность причинения ущерба солнечным установкам.

**ТЭС – атомные, угольные, газовые и нефтяные:** Ожидаемый срок службы ТЭС составляет от 60 до 80 лет и больше; поэтому ТЭС, построенные в настоящее время, будут вынуждены столкнуться с возможными изменениями климата в 2100 году. ТЭС чувствительны к экстремальному теплу, засухам и наводнениям. Им часто требуются значительные объемы воды для генерации электричества и охлаждения, что намного превышает объемы воды, необходимые для солнечных и ветровых установок. Охлаждающая вода на станциях с прямоточными системами охлаждения сбрасывается в местные каналы, оказывая воздействие на водные экосистемы; во время тепловых волн воздействие более теплой отработанной воды усиливается. (Замкнутые системы охлаждения требуют меньше объемов воды и имеют минимальный сброс воды). Производительность ТЭС снижается при высокой температуре окружающей среды, и, по оценкам, варьируется от –0,4% до –0,7% на каждый градус повышения температуры охлаждающей воды выше эксплуатационного порога (Кронин и др., 2018). Засуха, особенно с одновременными тепловыми волнами, может понижать качество и объем воды, что способствует коррозии объектов инфраструктуры и приводит к сокращению производительности из-за недостатка воды для эксплуатации (Дайресон и др., 2022). Наводнения могут причинить ущерб и разрушить инфраструктуру, и нарушить поставки угля, нефти и газа посредством причинения ущерба или разрушения транспортных сетей (Опиц-Стэплтон и др., 2021). В случае повреждения или разрушения ТЭС во время наводнения или шторма, может произойти загрязнение окружающих экосистем. В рамки данного доклада не входит оценка конкретной климатической чувствительности каждой отдельной ТЭС в каждой из исследуемых стран.

**Ветряные электростанции:** Ожидаемый срок службы ветряных электростанций составляет около 20 лет (NREL, 2022). Объекты, установленные до 2030 года, будут эксплуатироваться до начала 2050-х годов и будут подвержены опасностям, изложенным в предыдущей главе. Похолодания, способствующие обледенению лопастей, скорее всего будут происходить реже (Прайор и Бартелми, 2013). При этом они будут продолжать представлять опасность для горных районов или районов с повышенной влажностью вблизи озер. Однако тепловые волны могут также повреждать компоненты ветровых турбин и башенных опор. Диапазон стандартных рабочих температур для турбин составляет от  $-30^{\circ}\text{C}$  до  $50^{\circ}\text{C}$ , в зависимости от требований производителя. Турбинные системы могут отключаться при температурах окружающей среды, приближающихся к эксплуатационным пределам, во избежание повреждений. Однако точные технические требования отсутствуют в открытом доступе. Увеличение количества непостоянных ветров и скорости ветра из-за более интенсивных ураганов в результате изменения климата исследуется с точки зрения влияния на общее сезонное генерирование электроэнергии и возможный ущерб (Солаун и Серда, 2020; Абдин и др., 2019). В зависимости от рабочего диапазона, ветряные электростанции должны отключать турбины во избежание чрезмерной нагрузки и ущерба для оборудования во время ураганного ветра (Дас и др., 2020).

**Гидроэнергетика:** Гидрология рек – подземные стоки, стоки паводка и их цикличность, а также качество воды, например, мутность воды – имеет важное значение для эксплуатации русловых и гидроаккумулирующих ГЭС. На эти факторы влияет наличие гидроаккумулирующих ГЭС в верховьях, и они сохраняются на протяжении всего речного бассейна и во всех водохранилищах на нем. Любые изменения в гидрологии рек сразу же влияют на мощность генерации русловых ГЭС; гидроаккумуляционные ГЭС могут буферизировать часть гидрологических изменений в зависимости от объема водохранилища. На генерацию электроэнергии ГЭС влияют маловодный период в результате засухи, особенно одновременно с тепловыми волнами, и/или повышенное испарение в результате теплого сезона, изменения времени стока паводка, а также ливневые паводки из-за экстремальных дождей или ледяных дождей в холодные месяцы (Као и др., 2016; Шэфли, 2015). Наносы в дамбах ГЭС также являются основной проблемой, сокращая генерацию электроэнергии и вместимость водохранилища. Нурекская ГЭС столкнулась с сокращением установленной мощности на 20–25% в результате наносов и устаревающей энергетической инфраструктуры (Всемирный Банк, 2020).

В зависимости от скорости и пространственной протяженности таяния ледников и снежников и увеличения наносов в результате таяния вечной мерзлоты и эрозии, гидроэнергетический потенциал может первоначально увеличиться в течение последующих трех-четырёх десятилетий, но с большой долей вероятности снизится к 2080–2100 годам в зависимости от водосборной площади (Барандун и др., 2020; Гуваров, 2022). Таджикистан и Кыргызстан выпускают воду из водохранилищ зимой, чтобы покрыть сезонный дефицит в производстве электроэнергии, но это приводит к сокращению производства электроэнергии и водообеспечения в последующий год (Винокуров и др., 2021). Изменения в эксплуатации водохранилищ влияют на экологию водохранилищ в низовье и грунтовых вод рек.

ТЭС также являются источником геополитического риска, который может усилиться в зависимости от метода управления водными ресурсами в каждой отдельной стране при консультации со странами низовья в условиях изменения климата.

Между тремя странами исторически существовали напряженность и споры относительно водных ресурсов, предназначенных для орошения и производства гидроэлектроэнергии вдоль реки Сырдарья и вдоль таких притоков рек как Нарын или Амударья. Судя по докладам, Токтогульское водохранилище в Кыргызстане и Нурекское водохранилище в Таджикистане контролируют 60% текущего объема водохранилищ в Центральной Азии, которые находятся между ними (Сакал, 2015); управление этими водохранилищами вызывает разногласия с соседними странами.

**Линии передач, распределительные линии и подстанции:** Ожидаемый срок службы этих видов инфраструктуры составляет от 35-45 лет для подстанций до 50 лет для линий передач. Система линий электропередач CASA-1000 скорее всего все еще будет функционировать в конце 2070 годов. Поскольку наледи и ветровые помехи будут продолжать представлять риск для целостности и мощности линий передач и распределительных линий, экстремальные тепловые волны будут все чаще создавать проблемы для межрегиональных линий передач и локальных распределительных сетей. По прогнозам, количество холодных дней сократится, но все еще будет проблематичным для средних высот и высокогорья. Мощность линий передач и распределительных линий снижается во время экстремальных тепловых волн и последующего повышенного спроса на 20% (Бурилло и др., 2018). Поэтому необходимо перенаправление нагрузки на другие линии передач. Повышенная силовая нагрузка может вызывать быстрое нагревание линий передач во время экстремальных явлений, а также статизм, что приводит к каскадным потерям электроэнергии при передаче и распределении. Линии передач и распределительные линии также не защищены от сильного ветра (Кай и др., 2019). Это может привести к каскадной неустойчивости во всей системе.

### 3.2.2 Возможности: текущая политика управления рисками

Все три страны имеют политику управления рисками бедствий и министерства или департаменты с различными функциями управления рисками в зависимости от функций самих министерств. Существующие национальные рамочные программы по управлению рисками бедствий направлены на ликвидацию последствий и ранее предупреждение бедствий. При этом все три страны подтвердили свои обязательства по смягчению последствий и адаптации к изменению климата, в рамках национальных стратегий по адаптации, которые находятся на разных уровнях их разработки и утверждения. Однако фактические возможности и рабочие стратегии по внедрению управления (адаптации) климатическими рисками в секторальное планирование и управление все еще находятся в процессе создания.

**Программа Таджикистана** 2014 года по предупреждению и устранению чрезвычайных ситуаций предусматривает меры реагирования, раннее предупреждение чрезвычайных ситуаций и планирование в зависимости от категорий чрезвычайных ситуаций, но не затрагивает конкретно управление рисками изменения климата. В рамках этой программы Министерство энергетики и водных ресурсов Республики Таджикистан, в чьи функции входит контроль за ГЭС, должно разработать «меры по предупреждению наводнений» и «меры предупреждения и реагирования на чрезвычайные ситуации в области поставок электроэнергии» (Правительство Республики Таджикистан, 2014). Новая Национальная стратегия управления рисками бедствий находится в стадии разработки и будет учитывать важность изменения климата при управлении рисками бедствий. Национальная стратегия адаптации к изменению климата Республики Таджикистан на период до 2030 года уделяет внимание четырем приоритетным секторам: энергетики,

сельского хозяйства, водных ресурсов и транспортному, а также сопутствующим сферам (Правительство Республики Таджикистан, 2019). Необходимо разработать фактические стратегии внедрения управления климатическими рисками внутри и между секторами и возможности для усиленного институционального координирования внутри государственных органов и между ними в целях планирования и внедрения. Правительство Республики Таджикистан осознает необходимость и работает с Программой Развития Организации Объединенных Наций (ПРООН), Всемирным банком, Европейским банком реконструкции и развития, АБР и другими организациями в целях улучшения управления климатическими рисками по ряду программ (Правительство Республики Таджикистан, 2020). В национальной стратегии и в мерах, проводимых Зеленым климатическим фондом, приоритетным является укрепление потенциала Министерства энергетики и водных ресурсов и персонала энергетических компаний для проведения оценки климатических рисков для энергетики-водного хозяйства и для учета рекомендаций по рискам.

**Кыргызская Республика** прошла через ряд изменений в органах власти за последние десять лет, которые оказали влияние на управление рисками бедствий. Страна стремится разработать программу устойчивости к бедствиям и недавно участвовала в обновлении своей национальной стратегической концепции. Кыргызская Республика приняла стратегию защиты от чрезвычайных ситуаций на 2018-2030 годы, в которой приоритет отдается инвестированию в меры по снижению риска чрезвычайных ситуаций для усиления возможностей по их преодолению. В соответствии с Приоритетными направлениями адаптации к изменению климата 2013 года была создана общая рамочная программа адаптационных мероприятий по укреплению институционального сотрудничества и обеспечению руководства по методологии оценки климатического риска в приоритетных секторах, а также требующая составления адаптационных планов в разных отраслях (Правительство Кыргызской Республики, 2019). Энергетический сектор не должен был разрабатывать обновленный план, так как он уже разработал такой план ранее; отраслевые планы, разработанные в соответствии с приоритетами 2013 года, утратили силу в 2017 году (из того же источника). Для данного исследования не была найдена копия предварительного плана климата для энергетического сектора за 2013 год, и поэтому мы не смогли его оценить, и скорее всего этот документ уже стал недействительным. Кыргызстан в данное время разрабатывает Национальную стратегию и план адаптации к изменению климата в сотрудничестве с ПРООН при участии Зеленого климатического фонда, уделяя особое внимание, судя по документам, управлению бедствиями и поливной/оросительной воде. Процесс обновления национального адаптационного плана завершится, как ожидается, в августе 2023 года.

Министерство чрезвычайных ситуаций **Республики Узбекистан** является ответственным за координирование управления рисками бедствий и восстановительных работ на национальном уровне; Кабинет министров определяет финансовые резервы на восстановление после стихийных бедствий. Была создана Государственная система предупреждения и действий в чрезвычайных ситуациях, которая находится в процессе разработки. Она объединена в единую систему руководящих органов, сил и средств республиканских и местных органов власти, предприятий, институтов и организаций, в чьи полномочия входит решение вопросов защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций. Она спроектирована для организации и выполнения мер по защите и устранению чрезвычайных ситуаций, обеспечения безопасности населения в случае их наступления, защиты

окружающей среды и сокращения ущерба экономике государства в мирное и военное время.

Государственная система чрезвычайных ситуаций состоит из территориальных и функциональных подсистем и имеет три уровня: республиканский, локальный и целевой. На каждом уровне Государственной системы чрезвычайных ситуаций имеются:

- руководящие органы Государственной системы чрезвычайных ситуаций
- оперативные органы управления Государственной системы чрезвычайных ситуаций
- силы и средства реагирования на чрезвычайные ситуации
- резервы финансовых и материальных ресурсов для реагирования на чрезвычайные ситуации
- системы предупреждения, коммуникации и системы автоматизированного контроля и информационной поддержки.

Узбекистан разработал Стратегию Республики Узбекистан до 2030 года, которая находится на рассмотрении правительства и охватывает вопросы сокращения интенсивности выбросов парниковых газов, с учетом национальных возможностей и условий; повышения устойчивости к изменению климата и управление рисками бедствий; усиления адаптационных мер и действий; и другие вопросы. В 2020 году вместе с ПРООН и Зеленым климатическим фондом была начата разработка Национального адаптационного плана для определения мер и действий по адаптации для пяти наиболее уязвимых секторов: водных ресурсов, сельского хозяйства, здравоохранения, жилищного управления и управления чрезвычайными ситуациями.

**Человеческие и логистические возможности:** Несмотря на то, что в каждой стране принята политика в области управления климатическими рисками и рисками бедствий, необходимо также учитывать логистические и человеческие возможности управления рисками на каждом отдельном объекте энергетической инфраструктуры, подстанции и линии передач. Несоответствующее обучение операторов или несоблюдение техники эксплуатации, особенно во время опасности или повышенного спроса на электроэнергию, может привести к повсеместным отключениям электроэнергии с каскадным эффектом. Например, крупное отключение электроэнергии в нескольких странах произошло 25 января 2022 года из-за «случайного отключения основной линии электропередач в Казахстане» (Аль Джазира, 2022).

### **3.3 Предварительный анализ рисков: риски изменения климата для энергетической инфраструктуры**

Сценарии климатических рисков из Главы 2 в сочетании с последствиями для существующей и запланированной энергетической инфраструктуры и вышеуказанными уязвимостями для общей эксплуатации освещают ряд общих<sup>3</sup> потенциальных прямых и нарастающих рисков изменения климата для региональной энергетической системы. Некоторые из этих общих рисков описаны в Таблице 5. Они

<sup>3</sup> В рамки данного исследования не входило проведение полуколичественной или количественной оценки рисков для отдельных объектов инфраструктуры или региональной энергетической системы.

были выявлены в ходе исследований существующих рисков изменений климата для энергетического сектора, проведенных в других странах.

**Таблица 5 Прямые и нарастающие климатические риски для энергетических систем**

Климатический риск	Прямой риск	Каскадный риск
<p>Экстремальная жара: <i>вероятность более 60 дней с <math>T_{max}</math> свыше 33°C с июля по сентябрь для больших территорий в Узбекистане и небольших территорий в Кыргызстане и Таджикистане (Рисунок 8)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Приводит к повышенной вероятности засух и природных пожаров</li> <li>• Испарение водохранилищ увеличивается; температура воды увеличивается</li> <li>• ТЭС – угольные, газовые или атомные – повышение температуры охлаждающей воды сокращает тепловой коэффициент полезного действия и мощность генерации</li> <li>• Эффективность солнечных фотоэлектрических станций снижается при температуре выше 25°C</li> <li>• Эффективность ветровых турбин снижается при приближении к максимальному эксплуатационному пределу; турбина отключается во избежание повреждений</li> <li>• Металлическая проводка в линиях передач расширяется; линии провисают, пересекаются и возникает короткое замыкание; сокращается передача энергии и/или происходит отключение электроэнергии</li> <li>• Спрос на электроэнергию в оросительных и охлаждающих насосных станциях повышается</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Повсеместное снижение выработки электроэнергии, в частности, если тепловая волна покрывает большую территорию</li> <li>• Спад напряжения и проблемы с выравниванием нагрузки</li> <li>• Ограничение нагрузки, частичное обесточивание и полное отключение электроэнергии</li> <li>• Сбои в электросети; короткое замыкание в линиях передач или распределительных линиях вызывает природные пожары</li> <li>• Расширение асфальта на трассах или на железнодорожных путях нарушает транспортный доступ для проведения ремонта энергосистемы</li> <li>• Социально-экономические последствия: срыв работы предпринимателей, домохозяйств, водоочистки и канализационной системы, больниц, аэропортов, метро</li> </ul>
<p>Атмосферная засуха и/или общий ожидаемый спад сезонных осадков: <i>ожидается уменьшение среднего количества осадков с января по март на 2-30% в разных частях трех стран, в том числе на Памиро-Алае (Рисунки 5 и 8)</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Риск засухи (определение зависит от страны)</li> <li>• Последствия засухи усугубляются за счёт одновременных тепловых волн</li> <li>• Доступность и качество воды для эксплуатации ТЭС снижается; температура воды для охлаждения и сброса повышается</li> <li>• Уровень наполненности водохранилища падает, сокращая выработку электроэнергии на ГЭС и сброс</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Возрастает спрос на электроэнергию для насосного орошения; истощение водоносного горизонта; воздействие на цены на продукты питания и продовольственную безопасность</li> <li>• Снижается выработка электроэнергии, потенциально на большой территории, в случае широкого распространения засухи</li> <li>• Ограничение нагрузки, частичное обесточивание и</li> </ul>

Климатический риск	Прямой риск	Каскадный риск
	<p>воды</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Доступность воды для строительства и эксплуатации солнечных фотоэлектрических станций</li> <li>• Нарушение речных экосистем</li> </ul>	<p>полное отключение электроэнергии</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Сбои в электросети; короткое замыкание в линиях передач или распределительных линиях вызывает природные пожары</li> <li>• Социально-экономические последствия: срыв работы предпринимателей; перебои в подаче электроэнергии в жилые здания, водоочистные сооружения и канализационные системы; нарушение работы больниц, аэропортов, метро</li> <li>• Повышение геополитического напряжения в области энергетики, связанной с водными ресурсами</li> </ul>
<p>Сильные ураганы и сильные ветры и град: <i>не были проанализированы напрямую</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Повреждение солнечных панелей, линий электропередач и башенных опор</li> <li>• Отключение ветровых турбин во избежание избыточной нагрузки и повреждений</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Блокирование транспортного доступа для ремонта объектов энергетической инфраструктуры</li> <li>• Ограничение нагрузки, частичное обесточивание и полное отключение электроэнергии</li> <li>• Социально-экономические последствия: срыв работы предпринимателей; перебои в подаче электроэнергии в жилые здания, водоочистные сооружения и канализационные системы; нарушение работы больниц, аэропортов, метро.</li> </ul>
<p>Повышение дневной и ночной температуры во все сезоны ускоряет таяния снежников, вечной мерзлоты и ледников, и на региональном уровне влияет на взаимозависимость энергетики от водных ресурсов: <i>повышение <math>T_{max}</math> и <math>T_{min}</math> до 1,6–2,7°C зимой и 1,1–5°C летом над Памиром и Тянь-Шанем; повышенные дневные и ночные</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Повышенная вероятность оползней, селевых паводков и лавин</li> <li>• Сдвиги в стоках паводка с конца до начала лета</li> <li>• Прорыв ледниковых озер</li> <li>• Вероятность сильного паводка из-за ледяного дождя в конце зимы и весной на низменностях и в средней полосе</li> <li>• Повышение уровня наносов в реках</li> <li>• Повышение температуры воды</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Повреждение установок выработки и передачи электроэнергии оползнями, селевыми паводками или лавинами</li> <li>• Блокирование транспортного доступа для ремонта объектов энергетической инфраструктуры</li> <li>• Водоохранилища ТЭС теряют воду из-за наносов; спад выработки электроэнергии</li> <li>• Сдвиг речного стока и грунтового стока требует изменений в эксплуатации ГЭС, в частности, объектов, работающих в естественном режиме реки или объектов, имеющих малый объем</li> </ul>

Климатический риск	Прямой риск	Каскадный риск
<i>температуры во все сезоны над всем исследуемым регионом (Рисунки 6 и 7)</i>		<p>водохранилища, и баланса потребности в воде для орошении и водопотребности для выработки электроэнергии</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Повышение геополитического напряжения в области энергетики, связанной с водными ресурсами</li> </ul>
<p>Экстремальные дождевые явления: многочисленные регионы/области и районы. Во многих районах возрастает вероятность интенсивных и частых дождевых осадков 24-часовой продолжительности, и в некоторых районах, в которых планируется строительство новых объектов по производству и передаче электроэнергии, такие осадки станут происходить не один раз в 100 лет, как раньше, а один раз в 20 лет (Таблица 2)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Наводнения, в частности, в конце зимы и весной в случае ледяных дождей</li> <li>• Повышенная вероятность оползневой неустойчивости склонов и обрушений склонов; формирование селевых потоков и оползней</li> <li>• Повышенный уровень наносов в реках и водохранилищах</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Нормальный эксплуатационный уровень для водохранилищ ГЭС должен поддерживаться на низком уровне для регулирования течения паводка, сокращения водообеспеченности в низовьях</li> <li>• Излишний сток нарушает максимальную вместимость малых водохранилищ</li> <li>• Малые водохранилища ГЭС переполняются водой и открывают шлюзовые ворота для регулирования паводка, снижая таким образом емкость на лето</li> <li>• Мощность генерирования электроэнергии на ГЭС и ТЭС должна быть снижена для защиты инфраструктуры</li> <li>• Повреждение линий генерации и линий передач</li> <li>• Отсутствие транспортного доступа для проведения ремонтных работ</li> <li>• Ограничение нагрузки, частичное обесточивание и полное отключение электроэнергии</li> <li>• Социально-экономические последствия: срыв работы предпринимателей; перебои в подаче электроэнергии в жилые здания, водоочистные сооружения и канализационные системы; нарушение работы больниц, аэропортов, метро</li> </ul>

Примечание: Общие прямые и каскадные риски из сценариев (Глава 2); информация по данным о воздействии и общей уязвимости и адаптивной емкости взята из международной литературы о климатических рисках в энергетических системах, как показано ниже в пункте «Источник».

Источник: Абдин и др. (2019); Кронин и др. (2018); Дас и др. (2020); Дайресон и др. (2022); Форзиери и др. (2015); Ибрахим и др. (2014); Као и др. (2016); Клизе и др. (2013); Министерство энергетики и водных ресурсов (2021); Опиц-Стэплтон (2021); Опиц-Стэплтон и др. (2021); Санчез-Сьерра и др. (2020); Шэфли (2015); Спат и др. (1999); Винокуров и др. (2021)

## 4 Рекомендации: возможности через принятые нормы управления рисками

Переход к возобновляемым источникам энергии и экономике с нулевым уровнем выбросов является частью стратегии управления рисками изменения климата; температуры повышаются; количество экстремальных явлений возрастает; и общее изменение климата ухудшается в сценариях с повышенным уровнем выбросов в отличие от сценария глобального соблюдения уровня выбросов в соответствии с Парижским соглашением. Однако нам все еще необходим подход к управлению рисками опасностей для объектов ключевой инфраструктуры, включая системы выработки, аккумулирования электроэнергии, линии передач и распределительные линии. Спрос на электроэнергию будет продолжать повышаться во всех трех странах наряду с ростом населения, экономической диверсификацией и использованием новых технологий. И даже при наличии целевого уровня Парижского соглашения, а именно сдерживания глобального потепления в среднем на 2°C (примерно РПК4.5) или не ниже 1.5°C (примерно РПК2.6), сезоны будут продолжать становиться теплее, а частота и интенсивность экстремальных явлений возрастет.

Хотя в данном докладе основное внимание уделяется климатическим рискам, как показывают текущие каскадные последствия пандемии COVID-19 или кибератака 2021 года с целью вымогательства против нефтегазовогопровода США Colonial Pipeline, необходимо учитывать разнообразные виды опасностей. Кибератаки на объекты жизнеобеспечения, каким является энергетическая инфраструктура, могут быть широкомасштабными – начиная от промышленного шпионажа, финансируемого государством, для подрыва и разрушения промышленных систем, до отдельных групп хакеров, крадущих данные с целью вымогательства. Кибербезопасность требует участия специалистов по информационной безопасности в сфере энергетики при проектировании объектов энергетической инфраструктуры, строительстве и текущей деятельности для предупреждения недостатков в проектировании систем и для устранения проблем уязвимости динамических систем.

Мы представляем следующие рекомендации, которые помогут внедрить подход по управлению рисками опасностей в энергетическую инфраструктуру. Их не следует считать «наилучшей» практикой, так как в глобальном масштабе страны и энергетические компании все еще учатся проводить оценку рисков опасностей, пересматривать политику и улучшать технологии и стандарты по управлению будущими рисками. Мы еще многому должны научиться. Тем не менее на протяжении десятков лет накопилось достаточно опыта активного управления

рисками бедствий, и мы рекомендуем принятые нормы по снижению комплексных рисков в будущем.

#### **4.1 Рекомендация 1**

*Рекомендация 1: Обновить национальную политику в области управления рисками бедствий и Национальные адаптационные планы с тем, чтобы внедрить управление рисками опасностей в инфраструктуру и разработать региональную рамочную программу и директивы по управлению рисками опасностей.*

Необходимо обновить субнациональную и национальную политику в области рисков бедствий, климатических и технологических рисков и требования к оценке воздействия на окружающую среду с тем, чтобы обеспечить более активное управление рисками при планировании, выдаче разрешений и эксплуатации энергетической инфраструктуры. Кроме этого, с учетом взаимосвязанности энергетических систем трех рассматриваемых стран и других стран (например, Казахстан, Афганистан, Пакистан и Китай) необходимо усилить управление климатическими, киберрисками и рисками спроса, стоящими перед энергетической инфраструктурой и водными ресурсами с помощью существующей региональной организации, Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии (МКВК), координационно-диспетчерского центра «Энергия» и национальных министерств. Региональные страховые организации (см. Рекомендацию 7) также могут помочь в улучшении управления региональными климатическими рисками и рисками разных видов опасностей. Текущая программа Всемирного банка «Укрепление финансовой устойчивости и ускорение снижения риска бедствий в Центральной Азии» также предлагает еще одно средство для обеспечения сотрудничества в области управления региональными рисками.

Несмотря на то, что климатические риски для энергетики и водных ресурсов имеют геополитические последствия на субнациональном и региональном уровнях, желательно начать разрабатывать региональные рекомендации по управлению рисками опасностей и укреплять региональную оценку. МКВК использует комплексное управление водными ресурсами, а Оценки климатических рисков и уязвимостей были проведены в 2021 году для Таджикистана и Узбекистана в рамках «Программы по адаптации к изменению климата и смягчению его последствий в бассейне Аральского моря» (CAMP4ASB); такие оценки необходимо объединить в одну региональную оценку.

Множество международных рамочных программ и директив дополняют рамочные программы и директивы, разрабатываемые на региональном уровне, на основе которых страны могут делать выводы. Например, документ «Добросовестное управление для обеспечения устойчивости жизненно важной инфраструктуры» 2019 года Организации экономического сотрудничества и развития, онлайн-документ «Комплекс инструментов для обеспечения устойчивости к изменению климата: климатические данные и инструменты для энергетического сектора» США и глобальные продукты знаний Всемирного банка (например, «Появляющиеся тенденции во внедрении устойчивости к изменению климата в крупномасштабных, многоотраслевых инфраструктурных ГЧП» 2016 года) предлагают отправные точки для пересмотра и разработки национальных и региональных рамочных программ и политики.

## 4.2 Рекомендация 2

*Рекомендация 2: Внедрить полуколичественную и количественную оценку рисков опасностей в инфраструктуру и разработать оценку региональной энергетической системы.*

Для обеспечения устойчивости энергетической системы необходим прогноз будущих рисков и спроса, и проактивное, а не реактивное управление. А для этого необходимы полуколичественные и количественные оценки риска изменения климата и бедствий (включая кибербезопасность посредством участия экспертов в области информационной безопасности) в рамках оценки воздействия на окружающую среду для запланированной энергетической инфраструктуры в каждой стране. Оценка конкретной инфраструктуры необходимо сочетать с оценкой бассейна или всей системы. Отдельный объект инфраструктуры генерации или передачи электроэнергии является частью большой региональной системы водных ресурсов и энергетики.

Существуют руководства и инструменты по проведению оценки климатических рисков, ряд из которых были отмечены в данном исследовании (Уиллоу и Коннелс, 2003; Санчез-Сьерра и др., 2021; Форзиери и др., 2015; Бертольди и др., 2018; Дайресон и др., 2022). Руководство по гидроэнергетике «Руководство по климатической устойчивости сектора гидроэнергетики» (ИНА, 2019) было разработано при поддержке Европейского банка реконструкции и развития, Всемирного банка и Корейского трстового фонда зеленого роста для практикующих специалистов в области гидроэнергетики и включает оценку климатических рисков в сочетании с оценкой воздействия на окружающую среду. Также отмечается, что Программа среднесрочного развития Республики Таджикистан на 2021–2025 годы упоминает необходимость утверждения методологий оценки климатических рисков в определенных отраслях в рамках разработки планов по адаптации отраслей.

**Гидроэнергетика:** Для проведения индивидуального и общесистемного анализа воздействия и рисков потребуются расширенный набор прогнозов на основе множества климатических моделей, которые были доведены до масштаба водосбора. Прогнозы, полученные с помощью даунскейлинга, необходимо внедрить в совместную или связанную модель, состоящую из модели расхода воды в водостоке с учетом изменений в гидрологии рек (грунтовый сток, пиковый сток, регулирование течения паводка, тепловой режим и наносы), а затем в модель управления системой водохранилищ. Инструменты моделирования включают RiverWare (полный инструмент моделирования системы рек-водохранилищ с включением гидрологических процессов, производства и использования гидроэлектроэнергии, и водных угодий и качества воды) и RiverSMART, в который входит RiverWare, для выявления изменений климата и формирования последствий по сценарию (CADSWES, 2022), или дискретную модель стоков с водосбора и накопления энергии (Као и др., 2016). Инструменты данных и моделирования также доступны в сети «Вода в Центральной Азии» (CAWa).

**Ветряная, солнечная, аккумулирующая инфраструктура и инфраструктура ТЭС:** При проектировании и эксплуатации этих типов инфраструктуры генерации следует учитывать повышенную частоту и интенсивность экстремальных тепловых событий, общее количество теплых дней и ночей, и повышенную вероятность более частых и интенсивных ураганов с сильным ветром, градом и экстремальными осадками. Как и в случае с гидроэнергетикой, при планировании климатических

рисков для этих типов инфраструктуры генерации необходимо использовать прогнозы с применением даунскейлинга, и использовать информацию в качестве источника данных для инструментов моделирования производительности и финансового моделирования объектов ветряной и солнечной инфраструктуры, например Модель системного консультанта (Блэр и др., 2018).

**Линии передач и распределительные линии:** Множество субнациональных и региональных проектов по строительству линий передач и распределительных линий находятся на стадии разработки. Они могут помочь снизить частоту частичных отключений и полного отключения электричества в одной локации, но распространяемые территориально тепловые волны или экстремальные ветры, обусловленные ураганом в регионе, могут распространять риски вдобавок к повышению спроса в ряде стран. Различные мультимодельные оценки, как описанные у Коэна и др. (2022), Бурилло и др. (2019) или Кая и др. (2019) могут помочь определить слабые стороны энергосистемы.

### 4.3 Рекомендация 3

*Рекомендация 3: Продолжать восстанавливать метеорологические, гидрологические и ледниковые мониторинговые станции и увеличивать их количество для получения улучшенных данных наблюдения. Национальные гидрометцентры должны присоединиться к КОРДЭКС.*

Для проведения полуколичественной и количественной оценки рисков при планировании и управлении инфраструктурой необходимы достоверные данные наблюдений за климатом, реками и ледниками и прогнозы, полученные методом даунскейлинга, из множества климатических моделей. Количество метеостанций и гидрологических станций уменьшилось во многих странах после распада Советского союза; в некоторых местах уменьшен или полностью отсутствует локальный мониторинг ледника. Низкая плотность наблюдений является особой проблемой в горах, где мониторинг изменения температур, осадков, протяженности снежника или ледника, стоков реки и качества воды является неравномерным и недостаточным для фиксации изменений в масштабе бассейна притока.

Проект модернизации гидрометеорологического обслуживания в Центральной Азии с помощью инвестиций Всемирного банка помогает восстановить метеорологические и гидрологические станции в Таджикистане и Кыргызской Республики, и расширить возможности национальных гидрометеорологических служб. Несмотря на особую важность восстановления, необходимо также увеличивать количество метеорологических, речных и ледниковых станций мониторинга, в частности в горах для фиксации изменений в верховьях и в среднем течении рек. Первая сеть «Вода в Центральной Азии» (CAWa), а сейчас «Зеленая Центральная Азия» (CAWa-Green) расширяет сеть удаленных станций в ходе работы нескольких стран, а данные о них доступны в открытой общественной базе данных (Шёнэ и др., 2019). В Узбекистане проводится крупномасштабная модернизация наблюдательной сети при поддержке Всемирного банка и ПРООН. Было установлено шестьдесят автоматизированных метеостанций, и планируется установить еще 25.

Помимо улучшения данных наблюдений, для Центральной Азии ограничено число региональных климатических моделей высокого разрешения (50 км и меньше). КОРДЭКС является одним из крупнейших совместных проектов международного

климатического сообщества, предоставляющий данные для оценок МГЭИК, для запуска комбинаций РКМ-МОЦ с целью оценки климатических моделей в определенных регионах и создания климатических прогнозов достаточно высокого разрешения, которые будут применяться в оценке климатических рисков и адаптации (Гиорги и др., 2009). На сегодняшний день участие гидрометцентров Центральной Азии в проекте КОРДЭКС ограничено. Институты моделирования климата в Европе, Пакистане и Турции провели небольшое количество модельных экспериментов. Из-за этого для Центральной Азии была протестирована работа ограниченного количества РКМ или МОЦ из-за отсутствия дополнительных моделей потенциального изменения климата. По сообщениям, проект КОРДЭКС связывался с рядом национальных гидрометцентров в 2001 году, и призывает региональных разработчиков моделей к участию и сотрудничеству с целью доведения количества моделей до количества, доступного другим регионам.

#### **4.4 Рекомендация 4**

*Рекомендация 4: Учитывать экономичность, надежность и сопутствующие выгоды потенциальной энергетической инфраструктуры в краткосрочной и долгосрочной перспективе с учетом затрат на изменения климата и невозможности ввести в эксплуатацию надежных объектов инфраструктуры.*

Министерства энергетики должны учитывать краткосрочную и долгосрочную экономичность, надежность и излишек потенциальной энергетической инфраструктуры. Поэтому они должны рассмотреть вариант инвестирования в новые технологии, которые уже доступны на рынке, для получения надежной инфраструктуры, которая может выдержать изменения частоты и интенсивности экстремальных явлений и может иметь больше экономической целесообразности с точки зрения предотвращенного ущерба и финансовых потерь в долгосрочном периоде. Например, компания General Electric работает с Масдаром для оптимизации потока воздуха в ветровых турбинах и снижения влияния экстремальной жары на промышленные ветрогенераторы. Системы воздушного охлаждения, охлаждения с помощью низкой воды или замкнутого контура для ТЭС могут сокращать риски, связанные с повышенными температурами и засухой. В ГЭС можно вносить другие функциональные адаптационные корректировки, например, повысить пропускную способность водосброса и установить лабиринтные плотины для регулирования течения паводка. Улучшение стеклянной обшивки солнечных фотоэлектрических установок в случае града или реализация технологий низкой воды или отсутствия воды, доступных для очистки панелей, являются двумя возможными вариантами адаптации солнечных установок.

#### **4.5 Рекомендация 5**

*Рекомендация 5: Повысить диверсификацию типов генерации и усилить сети электропередач и распределительные сети с учетом их локации для сокращения воздействия и потерь при передаче.*

Для обеспечения устойчивости энергетической инфраструктуры требуется ряд корректировок, отвечающих динамическому и неопределенному будущему. Два важных компонента устойчивости – это диверсификация типа генерации электроэнергии и обеспечение гибкости внутри субнациональных и региональных сетей для размещения дополнительных возобновляемых источников энергии, которые будут построены в течение последующих 40 лет. Установленная мощность

должна быть увеличена, чтобы отвечать меняющемуся спросу, так как глобальные технологические инновации меняют экономики. Для таких операций, как майнинг криптовалют или прочих операций в сфере информационных технологий, может потребоваться бесперебойное обеспечение электричества, и эти сферы конкурируют с сельским хозяйством и установившимися отраслями. Для баланса меняющегося и повышающегося спроса необходима диверсификация типов генерации и гибкость системы генерации и передачи в целом.

При принятии решений о том, в каком месте построить новый объект по выработке электроэнергии и где разместить линии передач и распределительные линии, необходимо учитывать подверженность неблагоприятным воздействиям и сокращение потерь при передаче электроэнергии. Новый объект по выработке электроэнергии должен быть установлен вблизи потребителей электроэнергии – либо в крупном населенном пункте, либо в центре сельских населенных пунктов. Необходимо учитывать риски наводнений и водообеспеченности из-за изменения климата. Строительство в существующей или возможной зоне затопления нецелесообразно, равно как и строительство в зоне с недостаточным объемом воды, не отвечающим эксплуатационным требованиям.

#### **4.6 Рекомендация 6**

*Рекомендация 6: Присоединиться к Механизму передачи риска стихийных бедствий ЦАРЭС АБР для снижения финансовых рисков и укрепить региональное сотрудничество в области управления климатическими рисками и рисками опасностей.*

Региональная система водных ресурсов и энергетики Центральной Азии подвержена более частым и интенсивным климатическим опасностям на больших территориях, которые потенциально могут оказать неблагоприятное влияние на национальное и региональное социально-экономическое положение. Существующая и новая энергетическая инфраструктура, входящая в эксплуатацию, будет подвержена определенной степени повреждений и может стать непригодной к эксплуатации несмотря на меры по сохранению устойчивости. Во всех трех странах высока доля экономических потерь в результате бедствия, которая не покрывается страховкой. Среднегодовые потери от наводнений составляют 396 млн долларов в Узбекистане, 395 млн долларов в Таджикистане, и 73,3 млн долларов в Кыргызстане (ТА-9878 REG, 2021a; 2021b; 2021c). Среднегодовые потери от землетрясений тоже существенны. Индивидуальное страховое обеспечение находится на низком уровне, и правительства несут большую часть потерь (из того же источника). Региональные страховые пулы до сих пор отсутствуют несмотря на то, что АБР разработал прототип Механизма передачи риска бедствий в программе «Центрально-Азиатское региональное экономическое сотрудничество» (ЦАРЭС). Национальным правительствам рекомендовано принимать участие для лучшего управления финансовыми рисками и для улучшения регионального сотрудничества в области управления климатическими рисками и рисками опасностей.

#### **4.7 Рекомендация 7**

*Рекомендация 7: Продолжать усиление эффективных мер по снижению спроса на энергию и водные ресурсы и использовать их внутри страны и в координации с региональными партнерами.*

И, наконец, постоянное усиление мер по эффективному потреблению электричества и воды сократить риски в системе энергетики-водных ресурсов. Правительства трех стран в данном исследовании дали обязательства по смягчению и адаптации к изменению климата и уделили первостепенное внимание росту эффективности и сокращению потерь. Все три страны проводят мелко и крупномасштабные проекты по улучшению эффективности совместно с АБР, Фондом Ага Хана, Агентством США по международному развитию, ПРООН и Всемирным банком, не считая других международных участников. Кроме того, между странами, соединенными региональными линиями передач, необходимо усилить координационные меры по повышению эффективности потребления электроэнергии и воды. Недостаточные амбиции и низкий уровень реализации в одной стране могут снизить эффективность действий в других странах и стать источником риска для всех.

# Список литературы

- Абдин И., Фанг Ю. и Зио Э. (2019) «Основы моделирования и оптимизации для проектирования энергосистем с эксплуатационной гибкостью и устойчивостью к экстремальным волнам тепла и засухе», *Обзоры возобновляемой и устойчивой энергетики* 112: 706-719
- АБР – Азиатский банк развития (2017) Генеральный план развития энергетического сектора Таджикистана. Манила: АБР
- Али М., Икбал М., и Шариф М. (2013) «Взаимосвязь между экстремальными температурами и спросом на электроэнергию в Пакистане», *Международный журнал энергетики и инженерии по охране окружающей среды* 4: 36-41.
- Бертольди П. (редактор) (2018) Руководство «Как разработать План действий в области устойчивой энергетики и климата (ПДУЭК) – Часть 2 – Базовый кадастр выбросов (БКВ) и Оценка рисков и уязвимости (ОРУ)». EUR 29412 EN. Люксембург: Бюро публикаций Европейского Союза.
- Блэр Н., ДиОрио Н., Фриман Дж., и др. (2018) *Модель системного советника (SAM), общее описание (версия 2017.9.5)*. Голден: Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии (NREL), США, Министерство энергетики.
- Бурильо Д., Честер М., Пинсетл С. и Фурнье Э. (2018) «Уязвимость инфраструктуры электроснабжения из-за долгосрочного роста и сильной жары из-за изменения климата в округе Лос-Анджелес» *Политика в области энергетики* 128: 943-953, doi:10.1016/j.enpol.2018.12.053
- CADSWES - Центр передовой поддержки принятия решений для водных и экологических систем (2022) «Инструменты оценки климата «RiverWare» и «RiverSMART». CADSWES <https://www.colorado.edu/cadswes/>
- Кай И, Сие С, Су С, и др. (2019) «Структура моделирования хрупкости опор линий электропередачи под воздействием ветра» *Инженерные сооружения* 191: 686-697, doi:10.1016/j.engstruct.2019.04.096
- Кэннон А., Соби С. и Мердок Т. (2015) «Коррекция погрешности картирования осадков в МОЦ: насколько хорошо методы сохраняют изменения квантилей и экстремумов?», *Журнал о климате*, DOI: 10.1175/JCLI-D-14-00754.1.
- Кристенсен Дж., Боберг Ф., Кристенсен Б. и др. (2008) «О необходимости коррекции погрешности региональных прогнозов изменения климата температуры и осадков». *Геофизические исследования*, doi.org/10.1029/2008GL035694.
- Козн С., Дайресон А., Тернер С., и др.. (2022) «Мультимодельная основа для оценки долгосрочного и краткосрочного климатического воздействия на электрическую сеть» *Applied energy* 317:119193, doi:10.1016/j.apenergy.2022.119193
- КОРДЭКС – Скоординированный эксперимент по даунскейлингу региональных климатических моделей (2021) 'Перечень РКМ КОРДЭКС' веб-страница: CORDEX ([https://is-enes-data.github.io/CORDEX\\_RCMs\\_info.html](https://is-enes-data.github.io/CORDEX_RCMs_info.html))

- Кронин Дж., Анандараджа Г. и Дессенс О. (2018) «Влияние изменения климата на энергетическую систему: обзор тенденций и пробелов» *Климатические изменения* 151: 79-93, doi:10.1007/s10584-018-2265-4
- Дас К., Го Ф., Нуньо Э. и Кутулулис Н. (2020) «Стабильность частоты энергосистемы с большой долей энергии ветра в штормовых условиях», *Журнал современных энергетических систем и чистой энергии* 8 (2): 219-228
- Ди Д., Уппала С., Симмонс А., Беррисфорд П., и др. (2011) «Реанализ ERA-Interim: конфигурация и производительность системы усвоения данных» *Ежеквартальный журнал Королевского метеорологического общества* 137: 553-597, doi:10.1002/qj.828
- Досио А. и Парuolo П. (2011) «Коррекция погрешности прогнозов изменения климата с высоким разрешением ENSEMBLES для использования в моделях воздействия: оценка современного климата». *Журнал геофизических исследований*, doi:10.1029/2011JD015934.
- Дайресон А., Девинени Н., Тернер С., и др. (2022) «Роль региональных связей в планировании будущей работы энергосистемы в условиях экстремальных климатических явлений». *Будущее Земли* 10, doi:10.1029/2021ER002554
- Эби К, Капон А. Берри П и др. (2021) «Жаркая погода и экстремальная жара: риски для здоровья» *The Lancet* 398(10301) 698–708
- Фэн Р., Ю Р., Чжэн Х. и Ган М. (2017) «Пространственные и временные колебания экстремальных температур в Центральной Азии», *Международный журнал климатологии*, doi:10.1002/joc.5379
- Форзиери Г., Бьянки А., Эррера М. и др. (2015) *Устойчивость крупных инвестиций и важнейших инфраструктур в Европе к изменению климата*. EUR 27598 EN. Люксембург: Бюро публикаций Европейского Союза.
- Гафуров А. (2022) Оценка климатических сценариев МГЭИК в Кыргызстане: оценка воздействия на воду и ледники». Презентация на Политическом обсуждении ПРООН: Климатические действия и климатология, 18-22 марта, ПРООН Кыргызстан, Алматы
- Гиорги Ф., Джонс К. и Асрар Г. (2009) «Удовлетворение потребностей в климатической информации на региональном уровне: структура КОРДЭКС», *Бюллетень ВМО* 58(3): 175–183.
- GENI – Институт глобальных энергетических сетей (2017) «Карты региональных сетей: энергосистема Центральной Азии», Веб-страница. GENI (<http://www.geni.org>)
- Правительство Кыргызской Республики (2016) *Третье национальное сообщение Кыргызской Республики в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата*. Бишкек: Государственное агентство охраны окружающей среды и лесного хозяйства.
- Правительство Кыргызской Республики (2020) *Предложение о готовности сотрудничества с ПРООН для Кыргызской Республики: Планирование адаптации*. Предложение в Зеленый климатический фонд, Бишкек: Министерство экономики.
- Правительство Республики Таджикистана (2014) *Третье национальное сообщение Республики Таджикистан в рамках Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата*. Душанбе: Государственное управление по гидрометеорологии и Комитет по охране окружающей среды.
- Правительство Республики Таджикистан (2016) *Национальная стратегия развития Республики Таджикистан на период до 2030 г.* Душанбе: Министерство экономического развития и торговли правительства Таджикистана (<https://medt.tj/en/strategy-and-programmes/nds2030>).
- Правительство Республики Таджикистан (2019) *Национальная стратегия адаптации к изменению климата Республики Таджикистан до 2030 г.* Постановление №. 482. Душанбе: Правительство Республики Таджикистан

- Правительство Республики Таджикистана (2020) *Предложение о готовности сотрудничества с ПРООН для Республики Таджикистан: Планирование адаптации*. Предложение в Зеленый климатический фонд, Душанбе: Комитет по охране окружающей среды.
- Правительство Республики Узбекистана (2016) *Третье национальное сообщение Республики Узбекистан в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата*. Ташкент: Узгидромет.
- Правительство Республики Узбекистан (2019) *Предложение о готовности сотрудничества с ПРООН для Республики Узбекистан: Планирование адаптации*. Предложение в Зеленый климатический фонд, Ташкент: Узгидромет.
- Правительство Республики Узбекистан (2021) *Первый обновленный двухлетний доклад Республики Узбекистан в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата*. Ташкент: Узгидромет.
- Гудмундссон Л., Бремнес Дж., Хауген Дж.Э. и Энген-Скауген Т. (2012) «Техническое примечание: уменьшение масштаба РКМ осадков до масштаба станции с использованием квантильного картирования — сравнение методов». *Обсуждения гидрологии и наук о системе Земли*, doi:10.5194/hessd-9-6185-2012.
- Халимжанова М., Шульц Д., Деттманн К. и Ахророва А. (2016) «Энергоэффективность в контексте доступности энергии в Республике Таджикистан» *WIT Труды об экологии и окружающей среде* 250, doi:10.2495/EQ160111
- Халимжанова М., Деттманн К., Шульц Д. и др. (2017) "Пути повышения энергоэффективности в энергосистеме на примере Республики Таджикистан" *WIT Труды об экологии и окружающей среде* 214, doi:10.2495/ECO170061
- Харрис И., Осборн Т., Джоунс П., и Листер Д. (2020) «Версия 4 набора ежемесячных данных по климату высокого разрешения со многими параметрами с географической привязкой» *Природа: Научные данные* 7(109)
- Ибрахим С., Ибрахим М. и Аттиа С. (2014) «Влияние изменений климата на тепловые характеристики предлагаемого реактора с водой под давлением: атомная электростанция», *Международный журнал ядерной энергетики*: 793908, doi:10.1155/2014/793908
- МЭА – Международное энергетическое агентство (2022) «Просмотр данных: Потребление энергии: Потребление электроэнергии по странам» Веб-страница. МЭА (<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser>)
- МГА – Международная гидроэнергетическая ассоциация (2019) *Руководство по устойчивости гидроэнергетического сектора: для существующих и будущих гидроэнергетических проектов*, Лондон: МГА
- МОТ – Международная организация труда (2022) «Уровень в %, занятость по секторам – поиск данных о занятости и социальных перспективах в мире». Веб-страница. МОТ ([www.ilo.org/wesodata/](http://www.ilo.org/wesodata/))
- Калделлис Дж., Капсали М. и Кавадиас К. (2014) «Влияние температуры и скорости ветра на эффективность фотоэлектрических установок. Опыт, полученный в результате наружных измерений в Греции» *Возобновляемая энергетика* 66: 612-624
- Као С., Ашфак М., Наз Б., и др. (2016) *Вторая оценка воздействия изменения климата на федеральную гидроэнергетику*. Отчет ORNL/SR-2015/357 представлен в Министерство энергетики США. Оук-Ридж: Национальная лаборатория Оук-Ридж.
- Хайдаров М. и Герлиц Л. (2019) «Изменчивость и изменение климата в Узбекистане – анализ на основе данных CHELSA с высоким разрешением», *Центральноазиатский журнал водных исследований*, doi:10.29258/CAJWR/2019-R1.v5-2/1-19.eng

- Холматжанов Б., Петров П., Хужаназаров Т. И др. (2020) «Анализ изменения температуры в Узбекистане и региональной атмосферной циркуляции Средней Азии за 1961-2016 гг.» *MPDI Climate* 8 (101), doi:10.3390/cli8090101
- Кьеллстрём Э., Боберг Ф., Кастро М. и др. (2010) «Статистика дневной и месячной температуры и осадков как показатели эффективности региональных климатических моделей». *Климатические исследования*, <https://doi.org/10.3354/cr00932>
- Клизе Г., Тидвелл В., Рено М., и др. (2013) *Проблемы использования и снабжения водой для проектов солнечной энергетики коммунального масштаба на юго-западе США*. Отчет Sandia SAND2013-5238. Альбукерке и Ливермор: Национальные лаборатории Сандия.
- Ли Х., Шеффилд Дж. и Вуд Э. (2010) «Коррекция погрешности полей месячных осадков и температуры из моделей AR4 Межправительственной группы экспертов по изменению климата с использованием эквидистантного сопоставления квантилей». *Журнал геофизических исследований*, doi: 10.1029/2009JD012882..
- Министерство экономики и торговли Кыргызской Республики (2019а) *Программа развития «зеленой» экономики в Кыргызской Республике на 2019-2023 годы*. Бишкек: Министерство экономики и торговли
- Министерство экономики и торговли Кыргызской Республики (2019b) *План действий Программы развития «зеленой» экономики в Кыргызской Республике на 2019-2023 годы*. Бишкек: Министерство экономики и торговли
- МЭ – Министерство энергетики (2022). Данные и оценки. Правительство Республики Узбекистан
- МЭВР – Министерство энергетики и водных ресурсов (2021) *План борьбы с засухой в бассейне реки Пяндж*. Департамент водных ресурсов в зоне бассейна реки Пяндж. Правительство Республики Таджикистан.
- МЭВР – Министерство энергетики и водных ресурсов (2022) Личная коммуникация: Правительство Республики Таджикистан.
- Национальный совет по устойчивому развитию Кыргызской Республики (2018) *Национальная стратегия развития Кыргызской Республики на 2018-2040 годы*. Бишкек: Национальный совет по устойчивому развитию Кыргызской Республики.
- NREL – Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии (2022) «Анализ энергии: срок полезного использования». Веб-страница. NREL ([www.nrel.gov/analysis/tech-footprint.html](http://www.nrel.gov/analysis/tech-footprint.html))
- НСК – Национальный статистический комитет (2022) При Правительстве Кыргызской Республики
- ОЭСР – Организация экономического сотрудничества и развития (2019) *Хорошее управление для обеспечения устойчивости жизненно необходимой инфраструктуры*, ОЭСР Обзоры политики управления рисками. Париж: Публикация ОЭСР
- Опиц-Стэплтон С. (2021) Анализ интенсивности и частоты экстремальных осадков в течение 24 часов для проекта АБР: *TA-9878 REG: Разработка механизма передачи рисков бедствий в регионе Центральноазиатского регионального экономического сотрудничества*. Данные не опубликованы.
- Опиц-Стэплтон С., Саббаг, Хоули Л., и др. (2016) «Тенденции теплового индекса и последствия изменения климата для воздействия жары на рабочем месте в Дананге, Вьетнам» *Климатические службы* 2-3: 41-51, doi:10.1016/j.cliser.2016.08.001
- Опиц-Стэплтон С., Хан Ф., Као Й., и др. (2021b) *Энергетическая инфраструктура BRI в Пакистане: экологические и климатические риски и возможности*. Лондон: ODI.

- Панат С. и Варанаси К. (2022) «Электростатическое удаление пыли с использованием индукции заряда с помощью поглощенной влаги для устойчивой работы солнечных панелей» *Научные открытия* 8(10): eabm0078, doi:10.1126/sciadv.abm0078
- Петерсен Г., Бош Р., Дядин Д. и Каттаросси А. (2021a) *Оценка климатических рисков и уязвимости (CRVA) (D1.7) Проект отчета национального уровня по Республике Узбекистан*. Программа адаптации к изменению климата и смягчения его последствий для бассейна Аральского моря (CAMP4ASB). Подготовлено для ЦАРЭС.
- Петерсен Г., Бош Р., Дядин Д., Каттаросси А. и др. (2021b) *Оценка климатических рисков и уязвимости (CRVA) (D1.7) Проект отчета национального уровня для Республики Таджикистан*. Программа адаптации к изменению климата и смягчения его последствий для бассейна Аральского моря (CAMP4ASB). Подготовлено для ЦАРЭС.
- Прайор С. и Бартелми Р. (2013) «Оценка уязвимости энергии ветра к изменению климата и экстремальным явлениям» *Изменение климата* 121: 79-91
- Робинсон П. (2001) «Об определении волны тепла», *Журнал прикладной метеорологии* 40: 762-775.
- Сакал Х. (2016) «Гидроэнергетический аспект узбекско-кыргызского водного спора в бассейне реки Сырдарья», *журнал Энергетика и дипломатия* 3, ISSN: 2149-0457
- Санчес-Сьерра Э., Грахалес Д. и Галвис О. (2021) *Методологический подход к оценке рисков изменения климата в энергетическом секторе: тематическое исследование в Колумбии*. NREL/SR-7A40-77289. Golden CO: Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии, Министерство энергетики США
- Шэфли Б. (2015) «Прогнозирование производства гидроэлектроэнергии в условиях будущего климата: руководство для лиц, принимающих решения, и разработчиков моделей по интерпретации и разработке оценок воздействия изменения климата» *WIREs Water* 2(4): 271-289
- Шёне Т., Зубович З., Зех К., и др. (2019) «Мониторинг на месте и дистанционный мониторинг водных ресурсов в Центральной Азии – Центральноазиатская сеть водных ресурсов (CAWa)», в Мюллер Л. и др. (ред.) *Современные тенденции в ландшафтных исследованиях. Инновации в ландшафтных исследованиях*, Чам: Спрингер
- Шин Д., Бхушан С., Монтесано П., и др. (2020) «Систематическая региональная оценка баланса массы ледников высокогорной Азии» *Границы в науке о земле* 7:363
- Зигфрид Т., Бернауэр Т., Гиеннет Р., и др. (2012) «Усугубит ли изменение климата нехватку воды в Центральной Азии» *Изменение климата* 112: 881-899, doi: 10.1007/s10584-011-0253-z
- Солаун К. и Серда Э. (2020) «Влияние изменения климата на энергию ветра - четыре ветряные электростанции в Испании» *Возобновляемая энергия* 145: 1306-1316
- Спат П., Манн М. и Керр Д. (1999) *Оценка жизненного цикла производства электроэнергии на угле*. NREL/TP-570-25119, Голден: Национальная лаборатория возобновляемых источников энергии, Министерство энергетики США.
- Штраус Б., Ортон П., Биттерманн К., и др. (2021) «Экономический ущерб от урагана Сэнди, связанный с повышением уровня моря, вызванным антропогенным изменением климата» *Информация о природе* 12: 2720.
- TA-9878 REG: Разработка механизма передачи рисков бедствий в регионе Центральноазиатского регионального экономического сотрудничества (2021a) *Профиль страновых рисков: Узбекистан*, Манила: АБР и ЦАРЭС
- TA-9878 REG (2021b) *Профиль страновых рисков: Таджикистан*, Манила: АБР и ЦАРЭС
- TA-9878 REG (2021c) *Профиль страновых рисков: Кыргызстан*, Манила: АБР и ЦАРЭС

- Умирбеков А., Пенья-Герреро М. и Мюллер Д. (2022) «Регионализация климатических телесвязей в горах Центральной Азии повышает предсказуемость сезонных осадков» *Записи об исследованиях в области окружающей среды* 17: 055002, doi: 10.1088/1748-9326/ac6229
- ПРООН – Программа развития Организации Объединенных Наций (2021) *Отчет о пробелах в уровне выбросов 2021: Жара наступила – Обещания мира климата еще не выполнены*. Найроби: ПРООН
- Винокуров Э., Ахунбаев А., Усманов Н., и др. (2021) *Инвестиции в водно-энергетический комплекс Центральной Азии*. Отчеты и рабочие документы 21/3. Алматы, Москва: Евразийский банк развития.
- Всемирный банк (2020) *Таджикистан: Проект по снижению энергетических потерь в Таджикистане*. Независимая группа оценки, Отчет об оценке эффективности проекта 151202. Вашингтон, округ Колумбия, Всемирный банк.
- Ятагай А., Камигути К., Аракава О., и др. (2012) «APHRODITE: построение набора долгосрочных дневных данных об осадках с географической привязкой для Азии на основе плотной сети осадкомеров», *BAMS*, doi: 10.1175 / BAMS -Д-11-00122.1

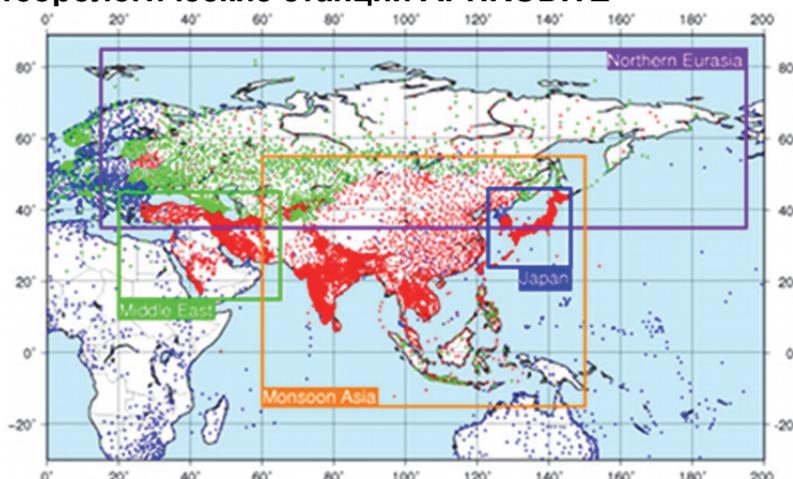
# Приложение 1 Методология

Исторические климатические наблюдения в Кыргызской Республике, Республике Таджикистан и Республике Узбекистан ограничены из-за низкой плотности метеостанций и переменного учета сведений; после распада СССР некоторые страны отказались предоставить данные после 1990-х годов. Низкая плотность станций особенно мешает выявлять тенденции в осадках и температурах на Памире и Тянь-Шане на уровне бассейнов, так как локальный климат и климатические тренды могут сильно отличаться по высоте над уровнем моря и ориентации с подветренной или наветренной стороны.

Рельеф местности влияет на время и характер выпадения осадков. В сочетании с перепадом температур на разных высотах, это влияет на типы опасностей, которые могут представлять риск для безопасности энергетической инфраструктуры и водных ресурсов по мере смены экономики трёх стран в меняющемся мире. На больших высотах ледяной дождь может вызвать наводнение и сели вдоль рек в долинах. Скопление выпавшего снега и воды в горных ледниках и снежниках имеют решающее значение для управления водоснабжением и водохранилищем, в том числе для гидроэнергетики, контроля наводнений и орошения.

Для прогнозирования смены осадков и температур на сезонной основе и интенсивности и частоты экстремальных явлений, например, сильных осадков, тепловых волн или засухи, необходимы достаточные исторические климатические данные. Вследствие недостаточности данных со станций, в данном проекте использовались исторические климатические данные с географической привязкой-набор данных APHRODITE.

APHRODITE – это набор ежедневных данных с географической привязкой за 50 лет и более, который охватывает Муссонную Азию, Центральную и Восточную Азию, Средний Восток и части России с разрешением сетки  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  – или примерно 25 км на сетку на широтах проводимого исследования. Набор данных APHRODITE остается единственным долгосрочным (с 1951 года) набором данных об осадках и температурах высокого разрешения для Азии. В нем содержатся больше разрешенных станций для континента, чем в любых других доступных наборах климатических данных с географической привязкой, благодаря соглашениям о сотрудничестве в области обеспечения безопасности данных с национальными органами.

**Рисунок 10 Метеорологические станции APHRODITE**

Источник: <http://aphrodite.st.hirosaki-u.ac.jp/products.html>

Для региона Муссонной Азии, охватывающего Таджикистан, набор данных охватывает период с 1951 по 2015 годы. По всем другим странам проекта данные APHRODITE доступны за период с 1951 по 2007 годы. Поскольку исследование проводилось в нескольких странах, базовым историческим периодом для данных об осадках считается период с 1971 по 2000 годы. Хотя страновые исследования указывают на то, что сигнал об изменении климата за этот период уже определяется, темпы потепления ускорились с 2000 года. Использование данного исходного уровня уменьшает влияние ускоренного сигнала на систематическую погрешность в климатических прогнозах.

Наборы данных о дневной минимальной и максимальной температуре воздуха на уровне 2 метров высокого разрешения с географической привязкой к Центральной Азии отсутствуют в широком доступе. Для обоснования модели многие глобальные инициативы по моделированию климата используют либо сетку  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  ERA-Interim (Ди и др., 2011) либо сетку  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  CRU (Харрис и др., 2020). ERA-Interim и последующие методы являются глобальными продуктами по реанализу данных. Типичным исходным периодом для данных ERA-Interim, используемым в инициативах по моделированию климата, является период 1981–2005 годов, и мы использовали этот исходный период для данных о температуре.

В идеале, можно было бы сделать корректировку набора данных APHRODITE и ERA-Interim на данные станций. Однако на данное исследование было отведено всего три месяца, чего недостаточно для получения данных из национальных гидрометеостанций и их последующей обработки.

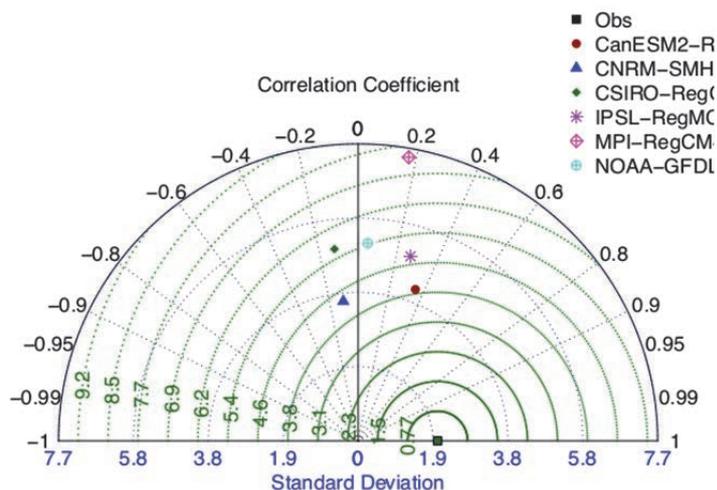
Для проверки влияния изменения климата на осадки и температуру использовались региональные климатические модели-глобальные климатические модели (РКМ-ГКМ) из области Центральной Азии в КОРДЭКС. КОРДЭКС – это инициатива Всемирной метеорологической организации, объединяющая моделирование регионального климата и статистический даунскейлинг для получения прогнозов более высокого разрешения, чем это возможно в глобальных климатических моделях ПССМ5 или ПССМ6 с разрешением 100–500 км. Дополнительные преимущества РКМ над ГКМ включают лучшее представление моделирования в региональном-местном масштабе, и прогнозы с разрешением, которое можно откорректировать для использования в оценках и планировании климатических рисков и климатической адаптации (Гиорги и др., 2009).

В исследовании использовались два РПК (2.6 и 4.5). РПК4.5 является сценарием промежуточных выбросов; по сути, он является инерционным сценарием и в грубых чертах соответствует Совместному социально-экономическому варианту (ССВ) 2–4.5 на отметке 2100 года. РПК2.6 – это сценарий с низким уровнем выбросов, в грубых чертах соответствующий ССВ1–2.6 на отметке 2100 года; он равен средним глобальным температурам, остающимся на уровне ниже 2,0°C, и уровень выбросов сокращается после 2050 года. Мы выбрали РПК2.6 вместо РПК8.5, чтобы показать потенциальные риски для инфраструктуры, даже если уровень среднего глобального потепления будет приближен к целевым значениям Парижского соглашения.

Хотя РПК и могут моделировать локализованные климатические показатели лучше, чем ГKM, они все равно имеют существенные погрешности – слишком большое/малое количество осадков в неправильное время года или неправильных местах; слишком высокая или низкая температура и так далее. Погрешности в осадках в исторических моделях могут быть слишком большими для экстремальных значений осадков (Кьеллстром и др., 2010). Эти погрешности могут переноситься на будущие прогнозы и даже быть завышены (на Рисунке 11 подытожены основные погрешности для муссонного региона Пакистана). Из-за этих погрешностей не рекомендуется прямое использование данных РКМ для оценки воздействия изменений климата (Кристенсен и др., 2008), например, для оценки модели будущих наводнений. Данные РКМ должны быть скорректированы на погрешность перед их использованием.

### Рисунок 11 Диаграмма Тейлора

Taylor Diagram Monsoon Precip: 1961–2005



Примечание: Диаграмма Тейлора сравнивает эффективность моделей КОРДЭКС в Южной Азии за исторический период с наблюдениями APHRDITE по дневным осадкам, усредненным по территории, над северо-центральной Пакистаном (30.625–37.12N и 69.125–75.625E). Шесть моделей имеют низкую корреляцию с наблюдаемым ежедневным дождем с июля по сентябрь в 1961–2005 годах. Центрированная средняя квадратичная ошибка моделей большая, что указывает на погрешность в дождливых днях от ~3,8 мм/сутки до 7,5 мм/сутки. Все модели также переоценивают стандартное отклонение, и два значения (CanESM2-RegCM4 и CNRM-SMHI-RC4A) почти в два раза; все другие модели имеют показатели еще хуже в данной статистике.

Источник: Авторский анализ для RA-7989-REG.

Существует ряд методов коррекции погрешностей. Для данного исследования мы использовали метод квантильного картирования. Квантильное картирование – это создание функции преобразования для сравнения распределения наблюдаемых исторических данных с историческим имитационным моделированием и преобразование распределения моделируемой переменной для сопоставления с распределением исторических данных (Досио и Парауоло, 2011). Функция преобразования обычно описывается как (Гудмундссон и др., 2012):

$$P_o = F_o^{-1}(F_m(P_m))$$

где  $P_o$  – наблюдаемая переменная,  $P_m$  – моделируемая переменная,  $F_m$  – функция распределения моделируемой переменной и  $F_o^{-1}$  – обратная функция распределения наблюдаемой переменной.

Данная функция преобразования применяется к будущим моделируемым прогнозам (Ли и др., 2010). Однако погрешности РКМ могут быть непостоянными. То есть погрешности за исторический период могут не иметь такой же вид в будущем. В то же время вполне вероятно, что сигнал изменения реального климата может поменять функцию распределения переменной в будущем. Метод квантильного дельта-картирования корректирует погрешности из исторического периода и сохраняет будущие прогнозируемые относительные изменения в квантилях переменной (Кэннон и др., 2015). В данном методе относительное изменение находят по формуле:

$$\Delta_m(t) = \frac{x_{m,p}(t)}{F_{m,h}^{-1}\left(F_{m,p}^{(t)}\left(x_{m,p}(t)\right)\right)}$$

Где индекс  $p$  обозначает будущее прогнозируемое значения во времени ( $t$ ), и индекс  $h$  обозначает моделируемые исторические симуляции. Будущие прогнозы с откорректированными погрешностями находят умножая функцию относительных изменений на исторически смоделированное значение с откорректированной погрешностью:

$$\hat{x}_{m,p}(t) = \widehat{x_{o:m,h:p}}(t)\Delta_m(t)$$

Прогнозы осадков в КОРДЭКС были скорректированы на погрешность в отношении данных APHRODITE, до анализа того, как могли измениться условия к 2050-м годам (2036–2065). Дневные максимальные и минимальные температуры в КОРДЭКС на 2050-е годы (2041–2065) были откорректированы на погрешность в отношении данных ERA-Interim.

Мультимодельный прогноз с корректировкой погрешности был использован для проверки годовых и сезонных изменений в соответствии с РПК2.6 и РПК4.5, и был проведен анализ того, как могут измениться сильные дожди и тепловые волны. Анализ исторических тенденций был рассмотрен в соответствии с национальными адаптационными планами, оценками риска для страны и учебной литературой. Анализ прогноза тоже будет рассмотрен в соответствии с различными источниками.

Для заметок: