

Техническое примечание по моделированию рисков

ТП-9878 REG: Развитие механизма передачи
риска бедствий в регионе Центральноазиатского
регионального экономического сотрудничества

Содержание

Список сокращений	1
Список рисунков	2
Список таблиц	2
Об этом документе	3
Анализ риска	4
Определение показателей и терминологии рисков	4
Исторические потери и воздействия	6
Источники данных и методология	6
Неопределенности и ограничения в данных и методологии	7
Опасное явление	9
Источники данных и методология	9
Землетрясение	9
Наводнение	10
Исторические климатические данные	14
Климатические прогнозы на будущее	14
Инфекционное заболевание	18
Неопределенности и ограничения в данных и методологии	21
Землетрясение	21
Наводнение	21
Климатические прогнозы на будущее	22
Инфекционное заболевание	23
Воздействие	24
Источники данных и методология	24
Определение классов зданий	25
Сопоставление данных переписи жилищного фонда и обследований заведений с классами зданий	26
Сопоставление жилищных единиц или заведений со зданиями	28
Оценка застроенных площадей и затрат на замещение выбывающих активов	29
Неопределенности и ограничения в данных и методологии	31
Уязвимость	32
Источники данных и методология	32
Землетрясение	32
Наводнение	35
Инфекционное заболевание	38
Неопределенности и ограничения в данных и методологии	41
Оценка пробелов в защите в регионе ЦАРЭС	42

Определение пробела в защите	42
Источники данных и методология	42
Моделирование мер по снижению риска бедствий и адаптации к изменению климата	44
Источники данных и методология	44
Неопределенности и ограничения в данных и методологии.....	49
Заключение и последствия.....	51

Список сокращений

АБР	Азиатский банк развития
ADRC	Азиатский центр снижения риска стихийных бедствий
ALCS	Обследование условий жизни в Афганистане
APHRODITE	Осадки в Азии – интеграция данных с высоким разрешением для оценки экстремальных явлений
ЦАРЭС	Центральноазиатское региональное экономическое сотрудничество
CLIMADA	Платформа моделирования рисков «CLImate ADAdaptation»
CRED	Центр исследований эпидемиологии стихийных бедствий
КЛ	коэффициент летальности
CMIP	Проект взаимного сравнения связанных моделей
CORDEX	Скоординированный эксперимент по уменьшению масштабов регионального климата
COVID-19	коронавирусное заболевание
EMCA	модель землетрясений по Центральной Азии
EM-DAT	база данных стихийных бедствий
EMME	Модель землетрясений в Ближневосточном регионе
EPI	индекс готовности к эпидемиям
GAR	Отчет о глобальной оценке снижения риска бедствий
ОМЦ	общая модель циркуляции (загрязнителей атмосферы)
GEM	Глобальная модель землетрясений
GFES	глобальное множество событий: наводнения
ЗГН	зоны гидрологического накопления
IFRC	Международная федерация обществ Красного Креста и Красного Полумесяца (МФОКК и КП)
МГЭИК	Межправительственная группа экспертов по изменению климата
JBA	Джереми Бенн Ассошиэйтс (Jeremy Benn Associates)
MMI	модифицированная шкала интенсивности (землетрясений) Меркалли
НЦЭИ	Национальные центры экологической информации
NEA	Модель землетрясения в Северо-Восточной Азии
ОСНА	Управление Организации Объединенных Наций по координации гуманитарных вопросов (УКГВ ООН)
ТДО	Тихоокеанская декадная осцилляция (колебание)
КНР	Китайская Народная Республика
ВАСО	вероятностный анализ сейсмической опасности
РКМ	Региональная климатическая модель
ВОИУ	восприимчивый-открытый-инфекционный-удаленный

СЗ	стандарт защиты
ТП	техническая помощь
ООН	Организация Объединенных Наций
ВПИК	Всемирная программа исследования климата

Список рисунков

Рисунок 1: Карта сейсмической опасности, изображающая географическое распределение пикового ускорения грунта с 10%-ной вероятностью превышения расчетного сейсмического воздействия в ближайшие 50 лет. Отобранные страны-члены ЦАРЭС выделены синим цветом.	9
<i>Рисунок 2: Пример Глобальной карты наводнений с периодом 100-летней повторяемости для небольшой территории бассейна Инда в Пакистане</i>	12
Рисунок 3: Пример гидрологических водосборов, используемых для моделирования наводнений	13
Рисунок 4: Распределение дождемеров APHRODITE для различных областей данных	14
Рисунок 5: Пример структуры компартментальной модели пандемического гриппа	19
Рисунок 6: Рабочий процесс для назначения уровней пластичности	28
<i>Рисунок 7: Модель экспозиции жилых домов для региона Центральной Азии, показывающая расчетную пространственную плотность жилых зданий</i>	29
Рисунок 8: Типы заполняемости зданий в зависимости от физической уязвимости Грузии к землетрясениям	33
Рисунок 9 Расчет индекса готовности к эпидемиям	39
Рисунок 10 Оценка и количественная оценка разрыва в защите в регионе ЦАРЭС	42

Список таблиц

<i>Таблица 1: Справочные базы данных для сопоставления информации о воздействии стихийных бедствий и потерях по странам-членам ЦАРЭС</i>	6
Таблица 2 Местные источники данных, используемые для получения информации о прошлых потерях	7
Таблица 3: Список моделей ОМЦ-РКМ из инициативы CORDEX, используемых в этом проекте	15
Таблица 4: Классификация зданий, использованная в моделях воздействия для Казахстана, Кыргызской Республики, Таджикистана, Туркменистана и Узбекистана	26
Таблица 5: Средний размер жилья и средняя стоимость дома на единицу площади в городских, пригородных и сельских районах Синьцзян-Уйгурского автономного района и Автономного района Внутренняя Монголия КНР	30
Таблица 6: Время восстановления после стихийного бедствия по периодам повторяемости и для трех сценариев	35
Таблица 8: Время восстановления после стихийного бедствия по периодам повторяемости и для трех сценариев	38
Таблица 9 Области концентрированного воздействия, включенные в структуру моделирования CLIMADA	45
Таблица 10 Сводка наборов данных, которые необходимо интегрировать с помощью платформы CLIMADA	46
Таблица 11 Описание мер по управлению рисками землетрясений и наводнений/адаптации к изменению климата, смоделированных с помощью CLIMADA	48

Об этом документе

Азиатский банк развития (АБР) поддерживает страны-члены ЦАРЭС в укреплении их стратегий управления рисками стихийных бедствий и устойчивости бюджета государственного сектора. Эта техническая помощь (ТП) является частью такой поддержки. В частности, эта ТП будет профилировать риск землетрясений, наводнений и инфекционных заболеваний, чтобы предоставить информацию для проектирования регионального фонда передачи рисков для распространения и распределения такого риска.

Этот документ представляет собой Техническую записку, в которой подробно описывается моделирование рисков, проводимое в рамках данной технической помощи. Некоторые продукты и документы, написанные в рамках данной ТП, основаны на данных, моделировании и исследованиях, описанных в этой Технической записке, а именно:

- **Профили риска бедствий**, в которых описываются характеристики опасности, подверженности и уязвимости каждой из одиннадцати стран-членов ЦАРЭС. В этом Техническом примечании содержится справочная информация об использованных данных, описываются методологии и обсуждаются ограничения, связанные с данными и подходами.
- **Отчеты о совокупном риске и инфекционных заболеваниях**, которые представляют риск инфекционных заболеваний в регионе ЦАРЭС и количественно определяют совокупный риск землетрясений, наводнений и инфекционных заболеваний.
- **Отчет об оценке пробелов в защите**, в котором обсуждается и оценивается «пробел в защите» от риска наводнений и землетрясений в регионе ЦАРЭС.
- **Интерфейс управления рисками стихийных бедствий (DRMI)**, который был разработан для поддержки развития знаний, повышения осведомленности и принятия политических решений, связанных с риском стихийных бедствий в регионе ЦАРЭС.
- **Руководство пользователя интерфейса управления рисками стихийных бедствий**, в котором представлен обзор функций, включенных в DRMI.

Анализ риска

Определение показателей и терминологии рисков

Раздел анализа рисков объединяет входные данные о подверженности, опасности и уязвимости, которые подробно описаны в специальных разделах этой технической записки. Риск землетрясений и наводнений описывается в профилях риска бедствий с использованием набора стандартных показателей риска.

Пострадавшие – воздействие на человека стихийных бедствий, которые могут включать нарушение источников средств к существованию, приток доходов, травмы и гибель людей.

Среднегодовая смертность (AAF) – смоделированные смертельные случаи в результате наводнения/землетрясения, которые ожидаются в среднем для данного года. Рассчитывается как на уровне страны, так и на уровне провинции/области.

Среднегодовой коэффициент смертности (AAFR) – AAF, нормализованный по общей численности населения. AAFR представляет собой долю от общей численности населения, которая, как ожидается, погибнет в результате наводнения/землетрясения. Рассчитывается на уровне провинции/области.

Среднегодовой убыток (AAL) – смоделированный убыток в результате наводнения/землетрясения, который ожидается в среднем для данного года. Рассчитывается на уровне страны, провинции/области и по типу активов.

Среднегодовые потери (смерти) – смоделированное количество смертей в результате инфекционного заболевания, которые ожидаются в среднем за данный год. Рассчитывается на уровне страны.

Среднегодовые потери (инфекции) – моделируемые потери в результате инфекционного заболевания, которые ожидаются в среднем за данный год. Рассчитывается как на уровне страны, так и на уровне провинции.

Среднегодовой коэффициент убытков (AALR) – AAL, нормализованный по общей незащищенной стоимости зданий. AALR представляет собой долю восстановительной стоимости строительного фонда, которая, как ожидается, будет потеряна из-за ущерба от наводнения/землетрясения. Рассчитывается на уровне провинции/области.

Среднегодовое количество пострадавших людей (AAPA) – смоделированное количество людей, которые, как ожидается, пострадают от наводнения/землетрясения в среднем за данный год. Рассчитывается как на уровне страны, так и на уровне провинции/области.

Прямые убытки – убытки, возникшие в результате воздействия опасных событий на активы, включая инфраструктуру, здания и их содержимое.

Кривая вероятности превышения случаев заболевания – смоделированное количество случаев данного патогена, которое ожидается в среднем за данный период повторяемости. Рассчитывается для отдельных возбудителей заболеваний, относящихся к рассматриваемой стране.

Кривая вероятности превышения ущерба от землетрясения/наводнения – смоделированные убытки в результате наводнения/землетрясения, которые ожидаются в среднем для данного периода повторяемости. Рассчитывается на прямой и косвенный ущерб.

Экономический ущерб и убытки – прямой и косвенный ущерб и убытки, возникшие в результате стихийного бедствия. Это включает в себя воздействие на природную и искусственную среду, людей, предприятия и государства.

Косвенный ущерб – убытки, возникающие вследствие нарушения из-за опасного события социальной, управленческой/административной и экономической деятельности, важнейших и общественных услуг и средств к существованию людей.

Исторические потери и воздействия

Источники данных и методология

Были проведены консультации с несколькими базами данных/источниками для сопоставления исторических данных о потерях и воздействиях для каждой из стран-участниц ЦАРЭС, уделяя особое внимание землетрясениям, наводнениям и инфекционным заболеваниям с 1990 года. Описание каждой базы данных представлено в Таблице 1.

Таблица 1: Справочные базы данных для сопоставления информации о воздействии стихийных бедствий и потерях по странам-членам ЦАРЭС

База данных	Описание
Азиатский центр снижения риска стихийных бедствий	Основанный в 1988 году, ADRC собирает и архивирует ключевую информацию о крупных стихийных бедствиях по всему региону. Дополнительно доступны подробные отчеты по крупнейшим стихийным бедствиям.
База данных стихийных бедствий (EM-DAT)	Центр исследований эпидемиологии стихийных бедствий (CRED) учредил EM-DAT в 1988 году. В EM-DAT содержатся основные данные о возникновении и последствиях более 22 000 массовых бедствий в мире с 1900 года по настоящее время. EM-DAT составляется из различных источников, включая агентства ООН, неправительственные организации, страховые компании, исследовательские институты и агентства печати. Исторический охват варьируется в зависимости от региона, от 1900 года до наших дней. Чтобы событие стихийного бедствия было внесено в EM-DAT, оно должно удовлетворять, по крайней мере, одному из следующих критериев: i) по сообщениям, погибло не менее 10 человек; ii) по сообщениям, пострадало не менее 100 человек; iii) объявление чрезвычайного положения, iv) обращение за международной помощью.
FloodList	Основан в 2008 году для предоставления новостей и отчетов о крупных наводнениях по всему миру. Сайт также действует как историческая база данных для новостных сообщений. FloodList финансируется программой Европейского союза Copernicus и управляется группой исследователей из Германии.
Глобальная база данных о значительных землетрясениях	Эта база данных, размещенная Национальными центрами экологической информации (НЦЭИ), содержит глобальный список из более чем 5700 землетрясений с 2150 г. до н.э. по настоящее время. «Сильные» землетрясения определяются как те, которые i) причинили умеренный ущерб (приблизительно 1 миллион долларов США или более); ii) стали причиной не менее 10 смертей; iii) имели магнитуду не менее 7,5; iv) имели интенсивность по модифицированной шкале Меркалли, равную X или более; v) или вызвали цунами.
Международная федерация обществ Красного Креста и Красного Полумесяца (IFRC)	Глобальная гуманитарная организация, которая координирует и направляет международную помощь после стихийных бедствий и антропогенных катастроф в неконфликтных ситуациях. Выпускает отчеты о последствиях крупных стихийных бедствий.
База данных инфекционных болезней Metabiota	Глобальная база данных собрана из > 240 источников данных, фиксируя >1200 вспышек за 100-летний период. База данных охватывает 230 стран и территорий и более 150 патогенов.

Мюнхен Ре	NatCatSERVICE компании Munich Re собирает данные о потерях в результате стихийных бедствий с 1980 года. Хотя сама база данных является частной, были использованы соответствующие отчеты/статьи для триангуляции последствий/потерь конкретных событий.
Национальные центры экологической информации (НЦЭИ)	Архив данных атмосферных, прибрежных, геофизических и океанических исследований, включая специальный раздел, посвященный стихийным бедствиям, катастрофам и суровым погодным условиям.
ReliefWeb	Служба гуманитарной информации, предоставляемая Управлением Организации Объединенных Наций по координации гуманитарной помощи (ООН). Включает подробные статьи и отчеты о крупных гуманитарных катастрофах.
Отчеты Swiss Re Sigma	Предоставляет глобальную оценку застрахованных и незастрахованных убытков по ряду рисков.
Всемирный банк	Изучены избранные отчеты/материалы, в которых была оправдана триангуляция воздействий/потерь конкретных событий.

Также были проведены консультации с местными источниками данных, на которые имеются ссылки в соответствующем разделе каждого документа профиля риска. Список стран, по которым были доступны местные источники данных, представлен в Таблице 2. Данные о потерях, собранные из этих и отобранных местных источников данных, были согласованы по профилям и с течением времени путем преобразования значений в доллары США в соответствии с ценами 2019 года. По возможности, данные о воздействии и потерях из этих баз данных были проверены путем ссылки на национальные отчеты/источники.

Таблица 2 Местные источники данных, используемые для получения информации о прошлых потерях

Страна	Источник данных
Азербайджан	Министерство по чрезвычайным ситуациям Азербайджанской Республики. Государственное агентство водных ресурсов. Доступно по адресу: https://www.fhn.gov.az/?eng
Кыргызская Республика	Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики. Доступно по адресу: http://en.mes.kg/
Монголия	Институт метеорологии, гидрологии и окружающей среды, Монголия
Пакистан	Национальное управление по борьбе со стихийными бедствиями Пакистана. Доступно по адресу: http://cms.ndma.gov.pk/
Таджикистан	Комитет по чрезвычайным ситуациям и гражданской обороне при Правительстве Республики Таджикистан
Узбекистан	Центр гидрометеорологической службы при Кабинете Министров Республики Узбекистан; Государственный комитет Республики Узбекистан по статистике.

Неопределенности и ограничения в данных и методологии

Историческая информация о потерях, собранная в ходе этого проекта, представляет собой важный вклад в моделирование рисков и помогает выработать рекомендации по управлению рисками стихийных бедствий. Демонстрация ценности своевременного и точного сбора данных после стихийных бедствий должна дать четкую мотивацию для

инвестиций в соответствующие методы сбора данных и в институты, необходимые для их поддержки. По мере того, как базы данных продолжают совершенствоваться и обновляться, результаты моделирования рисков могут быть дополнительно уточнены, что приведет к улучшению результатов моделирования.

Базы данных, объединяющие информацию об исторических потерях и воздействиях, характеризуются определенными неопределенностями и ограничениями. Это включает в себя:

- **Занижение сведений о потерях и воздействиях.** Это происходит по разным причинам, включая отсутствие учреждений, ответственных за сбор и архивирование такой информации, отсутствие формальных критериев отчетности/изменение критериев с течением времени, трудности, связанные с сопоставлением информации, собираемой глобально/на разных языках;
- **Исторический уклон.** Полнота отчетности о потерях и/или повреждениях увеличивается ближе к настоящему времени. Это может привести к пропуску более мелких/умеренных событий, имевших место быть в более далеком прошлом, что приведет к частичному охвату, т.е. к уклону в сторону включения более крупных событий;
- **Локальные источники данных.** Там, где это было возможно, проводились консультации с местными источниками данных, хотя было отмечено, что иногда к таким источникам трудно получить доступ, они собираются на разовой, а не структурированной основе и их труднее интерпретировать согласованным образом.

Неопределенности и ограничения отдельных баз данных были до некоторой степени устранены путем консультирования с отобранными базами данных, что позволяло проводить триангуляцию с дополнительными наборами данных (статьи, отраслевые и академические отчеты, рецензируемые исследовательские работы). В случаях необходимости проводились дополнительные проверки путем консультаций с местными заинтересованными сторонами в государствах-членах ЦАРЭС.

Опасное явление

Источники данных и методология

Землетрясение

Такое опасное явление как землетрясение было рассчитано по странам-членам ЦАРЭС с использованием набора моделей опасностей, включенных в Hazard Mosaic (Мозаику опасных явлений) GEM.¹ Hazard Mosaic GEM – это сборник лучших научных данных об опасности землетрясений, доступных в открытом доступе в глобальном масштабе (Рисунок 1). В этом проекте используются следующие модели:² Модель землетрясений в Ближневосточном регионе³ (EMME), охватывающая Ближний Восток, Модель землетрясений по Центральной Азии⁴ (EMCA), охватывающая Центральную Азию, и модель по Северо-Восточной Азии (NEA), охватывающая Монголию.

Управление землетрясений Китая не санкционировало использование модели Hazard Mosaic GEM для Китайской Народной Республики (КНР). GEM в настоящее время разрабатывает новую модель для КНР, причем первая версия этой модели используется для расчета опасности для автономных регионов Внутренняя Монголия и Синьцзян-Уйгурский автономные районы.

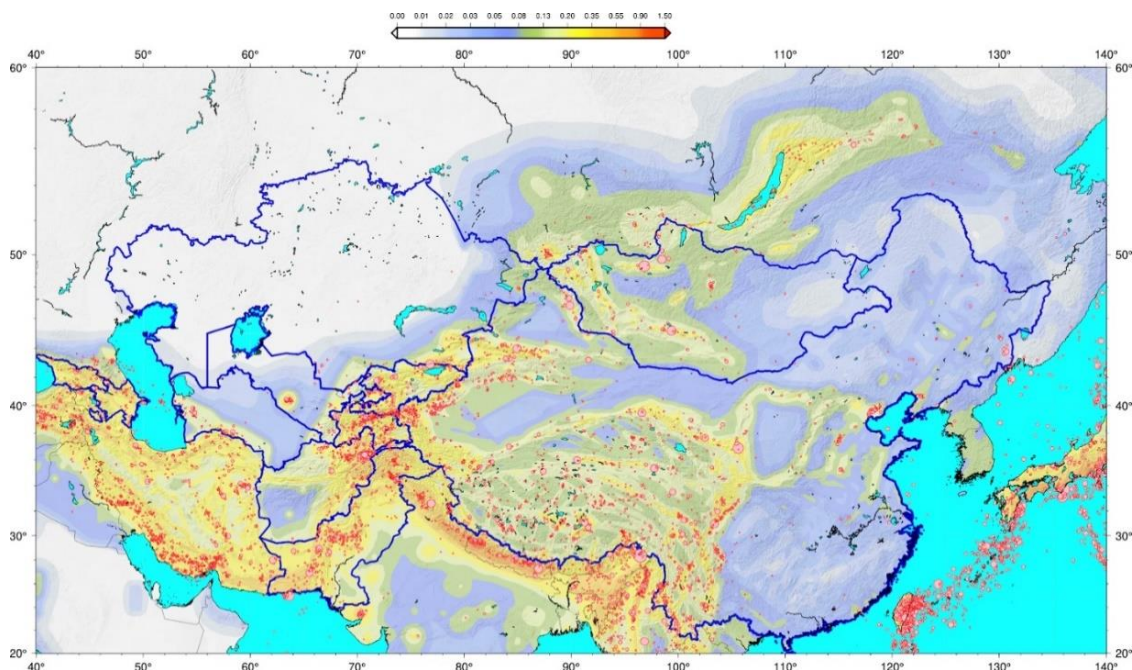
Рисунок 1: Карта сейсмической опасности, изображающая географическое распределение пикового ускорения грунта с 10%-ной вероятностью превышения расчетного сейсмического воздействия в ближайшие 50 лет. Отобранные страны-члены ЦАРЭС выделены синим цветом.

¹ М. Пагани, Дж. Гарсия-Пелаес, Р. Джи и др. (2020) Глобальная модель землетрясений: компонент опасных явлений, версия 2018 года. Earthquake Spectra, 36 (1_suppl), 226-251. <https://doi.org/10.1177/8755293020931866>

² GEM Типовая документация по опасным явлениям. Доступно по ссылке: <https://опасное.earthquake.org/gem/>

³ Д. Джардини, Л. Данчу, М. Эрдик, К. Сесетян, М. Демирджоглу, С. Аккар, Л. Гюлен, М. Заре (2018) Карта сейсмических опасностей Ближнего Востока. Бюллетень сейсмологической инженерии, 16, 3567-3570. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0347-3>

⁴ С. Уллах, Д. Бинди, М. Пилз, Л. Данчу, Г. Узеририл, Э. Цукколо, А. Ишук, Н. Н. Михайлова, К. Абдрахматов и С. Паролаи. (2015) Вероятностная оценка сейсмических опасностей для Центральной Азии. Анналы геофизики, 58 (1). <https://doi.org/10.4401/ag-6687>.



Карты сейсмической опасности были рассчитаны на основе региональных моделей с использованием *OpenQuake Engine*, механизма расчета опасностей и рисков, разработанного GEM,^{5,6} который следует процедуре вероятностного анализа сейсмической опасности (BACO).⁷ BACO включает построение входной модели, содержащей сейсмический источник и характеристику движения грунта. Входная модель определяет положение источников землетрясений, их геометрию и частоту, с которой каждый источник генерирует события разной магнитуды. Последний определяет модели движения грунта, используемые для расчета уровня сотрясения в совокупности участков с учетом разрыва.

Следующим шагом является вычисление так называемого интеграла опасности. Этот интеграл вычисляется численно в *OpenQuake Engine* с использованием двух стратегий: одна измеряет разрывы и движение грунта с помощью процедуры Монте-Карло,⁸ а вторая решает интеграл с использованием дискретных представлений функций. Первый подход генерирует информацию, необходимую для вычисления риска, а второй рассчитывает карты сейсмической опасности и результаты опасностей, которые используются, например, в строительных нормах.

Наводнение

⁵ М. Пагани, Д. Монелли, Г. Уэзерилл, Л. Данчу, Х. Кроули, В. Сильва, П. Хеншоу и др. (2014) *OpenQuake Engine*: программное обеспечение с открытым исходным кодом для оценки сейсмических опасностей (и рисков) для Глобальной модели землетрясений. *Заметки о сейсмологических исследованиях*, 85 (3), 692-702. <https://doi.org/10.1785/0220130087>.

⁶ В. Сильва, Х. Кроули, М. Пагани, Д. Монелли и Р. Пинхо (2014) Разработка *OpenQuake Engine* - программного обеспечения с открытым исходным кодом для оценки сейсмического риска для Глобальной модели землетрясений. *Опасные природные явления*, 72 (3), 1409-27. <https://doi.org/10.1007/s11069-013-0618-x>.

⁷ К.А. Корнелл (1968) Инженерный анализ сейсмического риска. *Бюллетень сейсмологического общества Америки*, 58 (5), 1583-1606. <https://doi.org/10.1785/BSSA0580051583>

⁸ Подход Монте-Карло включает случайную выборку распределения вероятностей (в данном случае – распределения местоположений разрывов и интенсивности движения грунта) для захвата вероятного диапазона опасных событий.

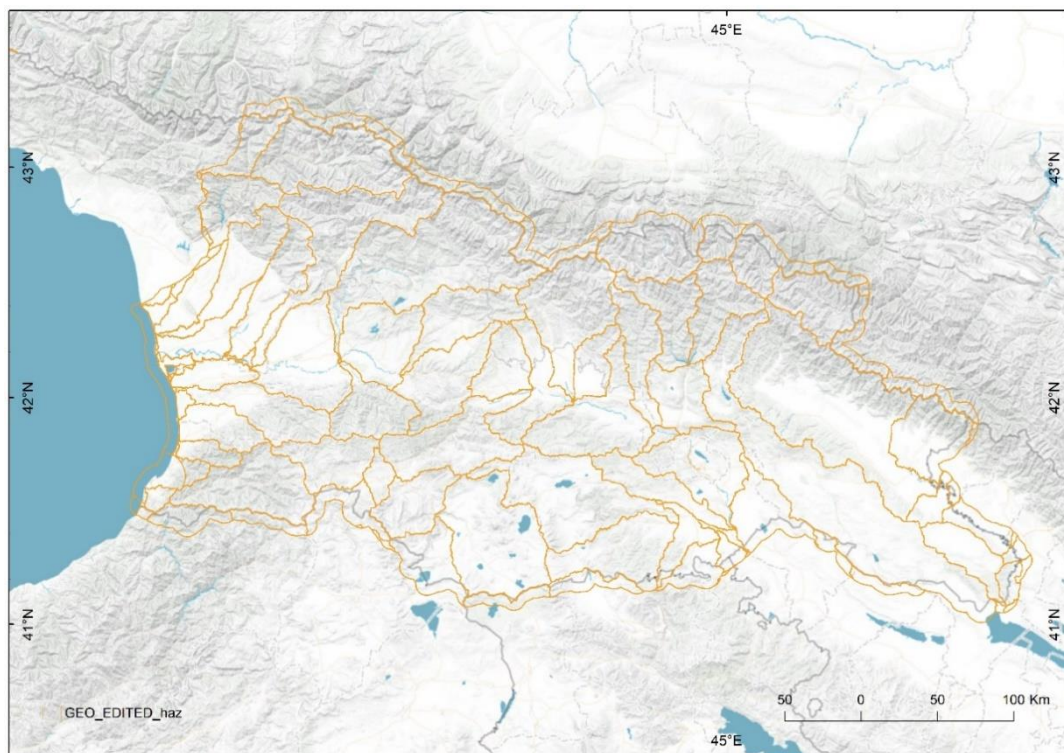
Моделирование риска наводнений в странах-членах ЦАРЭС было проведено с использованием вероятностной модели глобального наводнения JBA с постоянным пространственным разрешением 30 метров для всех стран/регионов. Модель глобальных наводнений включает в себя карту глобальных наводнений JBA и глобальное множество таких событий как наводнения, и реализована с использованием технологии FLY компании JBA. FLY используется для реализации обновленных функций уязвимости (глубинного ущерба) и дезагрегации значений воздействия по координатным точкам (взвешенным по распределению населения WorldPop 2015) в интересующей области. Результатом является географически непрерывное распределение точек воздействия, позволяющее зафиксировать полное распределение интенсивности опасностей (т.е. глубины наводнения).

Глобальное множество событий: наводнения (GFES) представляет собой каталог из более чем 15 миллионов вероятных внутренних наводнений во всем мире. События характеризуют степень и интенсивность наводнения географически и представлены интенсивностью речных и поверхностных вод в точечных местах. GFES генерируется с использованием каскада моделирования, который начинается с моделирования дождя повсюду, затем – дождевого стока (паводков, вызванных проливными дождями), и, наконец, завершается выбором события. Моделирование осадков выполняется с использованием уникального сочетания сложных статистических методов, а дождевые потоки моделируются повсюду с использованием физически обоснованных гидрологических моделей и прогнозов в бассейнах без оценки. Важно отметить, что GFES содержит более экстремальные наводнения, чем те, которые наблюдались в недавней истории, но которые, все же, физически вероятны.

Регионально откалиброванный подход к дождевым стокам позволяет создавать наводнения на реках в тех местах, где нет расходомеров. Результатами моделирования являются временные ряды суточного речного стока и интенсивности дождя, которые затем группируются в события с использованием многомерной декластеризации.

На Глобальной карте наводнений указаны протяженность и глубина незащищенных речных и поверхностных вод паводков для шести периодов повторяемости (20, 50, 100, 200, 500 и 1500 лет). Карта создается с использованием наблюдаемых данных по рекам и осадкам, чтобы генерировать экстремальные объемы осадков и речных потоков и позволять этим объемам распространяться по местности с помощью гидравлического моделирования. Моделирование рек отражает наводнения из рек с площадью водосбора более 500 км², а моделирование поверхностных вод отражает наводнения из более мелких рек и мест, где ливневые бассейны находятся во впадинах топографии (Рисунок 2).

Рисунок 3: Пример гидрологических водосборов, используемых для моделирования наводнений



Защита от наводнений моделируется параллельно с незащищенными картами наводнений JBA, и два набора данных объединяются для создания защищенного представления о наводнении. Расположение и степень защиты определяются с использованием комбинации сторонних источников (например, опубликованной государством информации, аэрофотоснимков, инженерных отчетов и других онлайн-материалов). Если сторонняя информация имеет низкое качество или является неполной, собственный анализ JBA используется для определения местоположения защитных мер и вероятности того, что мера защиты окажется неэффективной из-за наводнения с незащищенных территорий. Средства защиты, включенные в модель глобального наводнения, включают постоянные физические барьеры (например, дамбы) и построенные схемы защиты. Временные или съемные защитные сооружения не включены.

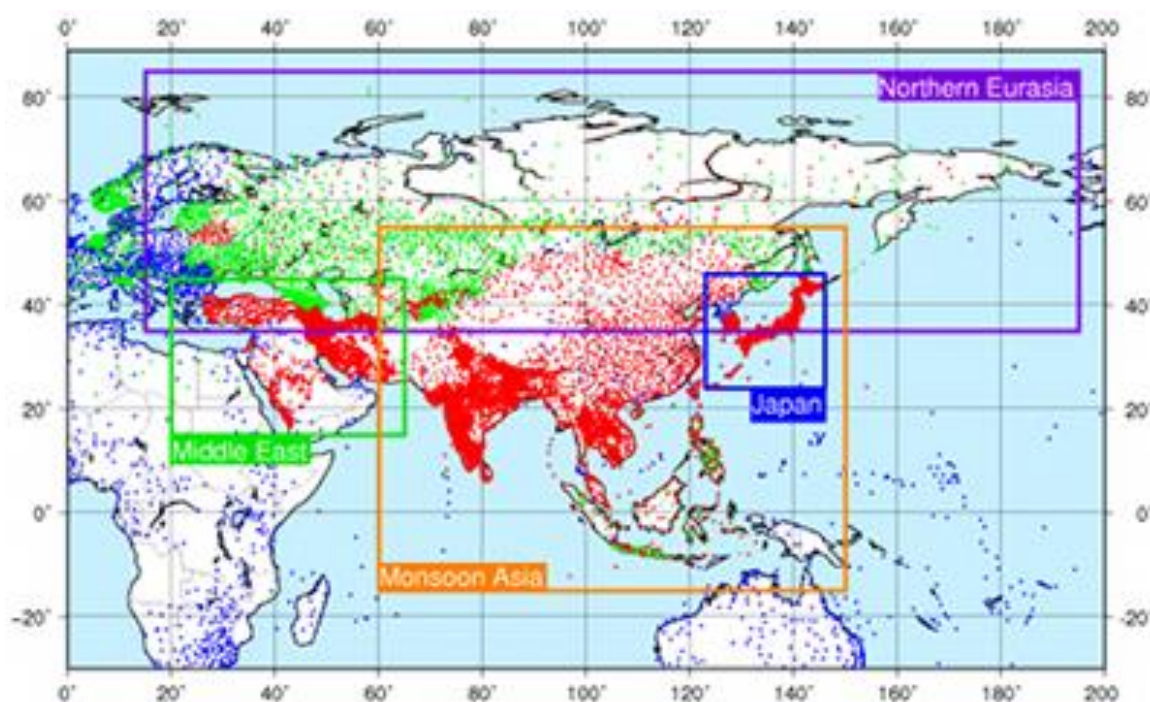
Зона, которая получает выгоду от защиты, определяется для каждого сооружения защиты от наводнений, и стандарт защиты (СЗ), выраженный как период повторяемости, затем приписывается защищаемой зоне. В тех случаях, когда серьезность (как период повторяемости) смоделированного наводнения в Глобальной модели наводнений остается ниже СЗ, защита моделируется как полностью эффективная, и затопления не происходит. Если серьезность смоделированного наводнения превышает возможности защиты, применяется расчет превышения защиты для уменьшения воздействия наводнения на основе объема воды, превосходящего возможности защиты. Изменение периода повторяемости наводнений применяется ко всем точкам воздействия, расположенным в пределах охраняемой территории.

Исторические климатические данные

Исторические климатические данные были получены из региональных климатических моделей; систематическая ошибка скорректирована с использованием набора данных об осадках в Азии с интеграцией данных в высоком разрешении для оценки экстремальных явлений (APHRODITE).⁹ Этот набор данных содержит наибольшее количество действительных станций для континента по сравнению с другими доступными наборами климатических данных с координатной привязкой, благодаря соглашениям о сотрудничестве с национальными агентствами для обеспечения безопасности данных (Рисунок 4).

Данные о суточных осадках с привязкой к сетке APHRODITE представляют собой набор данных за 50 и более лет (полученный из данных наблюдений и данных дистанционного зондирования), охватывающий муссонную Азию, Центральную и Восточную Азию, Ближний Восток и некоторые районы Российской Федерации с разрешением сетки 0,25°x0,25°. Для области муссонной Азии, охватывающей страны этого проекта – Пакистан, Таджикистан и Афганистан, – набор данных охватывает период с 1951 по 2015 год. По всем остальным странам проекта доступны данные APHRODITE за период с 1951 по 2007 гг.

Рисунок 4: Распределение дождемеров APHRODITE для различных областей данных



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

Климатические прогнозы на будущее

⁹ А. Ятагай, К. Камигучи, О. Аракава, А. Хамада, Н. Ясутоми и А. Кито (2012) APHRODITE: Построение долгосрочного ежедневного набора данных об осадках в Азии на основе плотной сети датчиков дождя. Бюллетень Американского метеорологического общества, 1401-1415. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00122.1>

Прогнозы будущих осадков в рамках репрезентативных траекторий концентрации (RCP) RCP4.5 и RCP8.5 были получены в результате Скоординированного эксперимента по уменьшению масштабов регионального климата (CORDEX).¹⁰ CORDEX, учрежденный Всемирной программой исследований климата (ВПИК) в 2009 году, представляет собой совместный международный эксперимент по моделированию климата, посредством которого несколько региональных климатических моделей (РКМ) управляются общими моделями циркуляции (ОМЦ) из Проекта взаимного сравнения связанных моделей 5 и 6 (CMIP5 и CMIP6) – моделирование которых используется в отчетах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Для этого проекта следующие многомодельные прогнозы осадков были использованы с целью построения кривых интенсивности-продолжительности-частоты возможных будущих экстремальных дождевых явлений, вызванных изменением климата (Таблица 2).

Таблица 3: Список моделей ОМЦ-РКМ из инициативы CORDEX, используемых в этом проекте

Домен CORDEX в Южной Азии – используется для Пакистана, Таджикистана и Афганистана		
Название эксперимента	Описание РКМ	Главная ОМЦ
CCCma-CanESM2-IITM-RegCM4	Региональная климатическая модель Международного центра теоретической физики имени Абдуса Салама (ICTP), версия 4.4.5 (RegCM4)	Канадский центр климатического моделирования и анализа (CCCma) – модель канадской системы Земли второго поколения (CanESM2)
CSIRO-Mk3.6-IITM-RegCM4		Организация Содружества научных и промышленных исследований (CSIRO) – Mk3.6
IPSL-CM5A-LR-IITM-RegCM4		Институт Пьера-Симона Лапласа (IPSL) – Модель земной системы CM5A
MPI-ESM-MR-IITM-RegCM4		Институт метеорологии Макса Планка (MPI) – Модель системы Земли
NOAA-GFDL-ESM2M-IITM-RegCM4		Национальное управление океанических и атмосферных исследований (NOAA), Лаборатория геофизической гидродинамики (GFDL) – Модель системы Земли (ESM2M)
CNRM-CERFACS-CM5-SMHI-RCA4	Центр Россби, Шведский метеорологический и гидрологический институт (SMHI) – региональная модель атмосферы, версия 4	Национальный центр метеорологических исследований (CNRM) и <i>Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique</i> (CERFACS) – Модель системы Земли
Восточноазиатский домен: CORDEX Монголия и КНР (Внутренняя Монголия и Синьцзян-Уйгурский автономные районы)		
CNRM-CERFACS-CM5-CLMcom-CCLM5		CNRM и CERFACS
ICHEC-EC-EARTH-DMI-HIRHAM5	Датский метеорологический институт (DMI) – региональная гидростатическая модель климата (HIRHAM5)	Ирландский центр высокопроизводительных вычислений (ICHEC), Европейский консорциум (EC) – Модель системы Земли

¹⁰ Ф. Джорджи, К. Джонс и Г. Асрар (2009) Удовлетворение потребностей в климатической информации на региональном уровне: рамочная структура CORDEX. Бюллетень ВМО, 58 (3), 174-183.

IHECH-EC-EARTH-CLMcom-CCLM5		ICHEC-EC
MPI-ESM-LR-CLMcom-CCLM5		MPI
Домен CORDEX в Центральной Азии: Азербайджан, Грузия, Казахстан, Кыргызская Республика, Туркменистан и Узбекистан		
MOHC-HadGEM2-ES-BOUN-RegCM4		
MPI-ESM-MR-BOUN-RegCM4		MPI

Ежедневные данные об осадках с привязкой к сетке загружались для каждого эксперимента из узла данных *Earth System Grid Federation*. Для исторического моделирования были получены данные за периоды 1961-2005 гг. (CORDEX SA и EA) и 1970-2005 гг. (CORDEX CA). Для будущего моделирования были получены данные для двух RCP (4.5 и 8.5) за период примерно с 2031 по 2070 гг. (сосредоточены вокруг 2050-х годов).

45-летнее окно было выбрано вместо стандартного 30-летнего климатологического окна CORDEX для Южной и Восточной Азии, поскольку на эти муссонные регионы влияют многодесятилетние телесвязи, такие как Тихоокеанская декадная осцилляция (ТДО).^{11,12} ТДО претерпевает фазовые сдвиги примерно каждые 20-30 лет, что требует более длительных временных рядов (в идеале – 50 лет и больше),¹³ чтобы зафиксировать такие сдвиги и их влияние на региональный азиатский климат. К домену CORDEX для Центральной Азии было применено 36-летнее окно, так как исторические симуляции модели ОМЦ-РКМ были доступны только за период 1970-2005 гг.

Хотя РКМ могут моделировать локализованные климатические особенности намного лучше, чем ОМЦ, они все же часто имеют значительные смещения.¹⁴ Смещение осадков в исторических моделях может быть довольно большим – в частности, для экстремальных осадков;¹⁵ эти предубеждения могут быть перенесены в будущие прогнозы и даже раздуты. Из-за этих смещений не рекомендуется напрямую использовать данные прогнозов РКМ для исследований по оценке воздействия изменения климата – например, для оценки будущих моделей наводнений, без предварительной коррекции смещения.

Для этого анализа была проведена коррекция систематической ошибки с использованием метода квантильного картирования. Квантильное картирование включает в себя разработку передаточной функции, сравнивающей распределения

¹¹ С. Фу, З. Цзян и др. (2008) Глава 3: Междесятилетняя изменчивость климата в Китае, связанная с тихоокеанским десятилетним колебанием. Региональные исследования климата Китая, стр. 97-117. Янг, Х. и Ю. Чжу [ред.], Springer Nature: Switzerland.

¹² Р. Кришнан и М. Сури (2003) Тихоокеанские десятилетние колебания и изменчивость летних муссонных дождей в Индии, *Climate Dynamics*, 21, 233-242. <https://doi.org/10.1007/s00382-003-0330-8>

¹³ К. Дезер, К. Тренберт и NCAR (2016) «Руководство по климатическим данным: Тихоокеанские десятилетние колебания (ТДО): определение и индексы». Получено с <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/pacific-decadal-oscillation-pdo-definition-and-indices>.

¹⁴ Е. Кьелстрём, Ф. Боберг, М. Кастро et al. (2010) Ежедневная и ежемесячная статистика температуры и осадков как индикаторы эффективности для региональных климатических моделей. 4 (2-3), 135-150, *Исследования климата*, <https://doi.org/10.3354/cr00932>

¹⁵ Дж. Кристенсен, Ф. Боберг, Б. Кристенсен и др. (2008) О необходимости коррекции смещения региональных прогнозов изменения климата температуры и осадков. Заметки о геофизических исследованиях, 35 (20) <https://doi.org/10.1029/2008GL035694>.

наблюдаемых исторических данных с моделируемыми историческими симуляциями и преобразование распределения моделируемой переменной в соответствие с распределением исторических данных.¹⁶

Затем эта передаточная функция применяется к прогнозам будущих моделей.¹⁷ Однако смещения РКМ могут не быть стационарными. То есть, предубеждения за исторический период могут не сохраняться точно так же в будущем. В то же время, вполне вероятно, что реальный сигнал об изменении климата может сместить кумулятивную функцию распределения переменной в будущем. Метод (отображение квантильной дельты) исправляет отклонения от исторического периода, сохраняя при этом прогнозируемые относительные изменения в переменных квантилях.¹⁸ Будущие прогнозы с поправкой на смещение затем находятся путем умножения функции относительного изменения на значение с поправкой на смещение, смоделированное за прошлые периоды.

В различных исследованиях использовался ряд параметрических и непараметрических передаточных функций. После тестирования производительности подмножества параметрических передаточных функций мы обнаружили, что использование эмпирических кумулятивных функций распределения (непараметрический метод) для корректировки смоделированных значений работает лучше и требует меньше вычислительных ресурсов для тестируемой страны – Пакистана. Пакистан был выбран в качестве тестируемой страны с учетом сложности его топографии и влияния южноазиатской системы муссонов и западных ветров в различных провинциях на сезонные осадки. Тогда мы использовали этот метод для остальных стран.

Наконец, сдвиги интенсивности-продолжительности-частоты в будущих экстремальных погодных условиях (2050-е годы) в связи с изменением климата (RCP4.5 и RCP8.5) были рассчитаны с использованием функции распределения вероятностей типа I.¹⁹ Подход к расчету 24-часового максимального сдвига интенсивности осадков в 2050-е годы из-за изменения климата можно резюмировать следующим образом:

- *Шаг 1:* Преобразование данных CORDEX с целью приведения в соответствие с системой координат APHRODITE. Данные CORDEX представлены во вращающейся полярной системе координат, а данные APHRODITE – в регулярной географической сетке долготы/широты. Данные CORDEX были зарегистрированы с использованием операторов климатических данных (CDO).
- *Шаг 2:* APHRODITE и зарегистрированные данные CORDEX были извлечены для административного уровня 1 для каждой страны.
- *Шаг 3:* Были извлечены данные за каждый месяц, и квантильное дельта-отображение выполнялось по отдельности за каждый месяц. Месяцы моделировались по отдельности для учета резких сезонных различий в количестве осадков и последовательностях засушливых дней.

¹⁶ А. Досио и П. Парuolo (2011) Коррекция смещения прогнозов изменения климата с высоким разрешением ENSEMBLES для использования в моделях воздействий: Оценка текущего климата. Журнал геофизических исследований, 116 (D16). <https://doi.org/10.1029/2011JD015934>

¹⁷ Х. Ли, Дж. Шеффилд и Э. Вуд (2010) Коррекция смещения месячных полей осадков и температуры из моделей AR4 Межправительственной группы экспертов по изменению климата с использованием эквидистантного квантильного сопоставления. 115 (D10). Журнал геофизических исследований, <https://doi.org/10.1029/2009JD012882>

¹⁸ А. Кэннон, С. Соби и Т. Мердок (2015) Коррекция смещения карт осадков ОМЦ: насколько хорошо методы сохраняют изменения в квантилях и экстремумах? Журнал климата, 28 (17), 6938-6959. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00754.1>

¹⁹ В. Чоу, Д. Мейдмент и Л. Мэйс (1988) Прикладная гидрология. Серия "Гражданское строительство". Стр. 572. McGraw-Hill Book Company: Нью-Йорк.

- *Шаг 4:* Будущие прогнозы, скорректированные на ежемесячную погрешность, были затем повторно объединены в годовые наборы данных, и было извлечено максимальное годовое значение осадков за каждый год.
- *Шаг 5:* Затем были использованы максимальные годовые прогнозируемые значения осадков за 24 часа из 25-го, медианного и 75-го элементов прогноза по всему набору моделей для расчета 24-часовых кривых интенсивности-продолжительности-частоты для периодов повторяемости: 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000, 1500, 5000 и 10000 лет.

Инфекционное заболевание

Профили риска инфекционных заболеваний были смоделированы для каждого государства-члена ЦАРЭС, индивидуально и в качестве региона. Профили риска включают вероятностные профили риска инфицирования, госпитализации и смертности для каждого государства-члена ЦАРЭС с разбивкой по возбудителям заболеваний (патогенам). Эта работа также формирует основу для моделирования потенциальной траектории пандемии COVID-19 в регионе, а также воздействия потенциального столкновения между опасным природным явлением и эпидемией или пандемией, а также передовых методов и вариантов финансирования рисков.

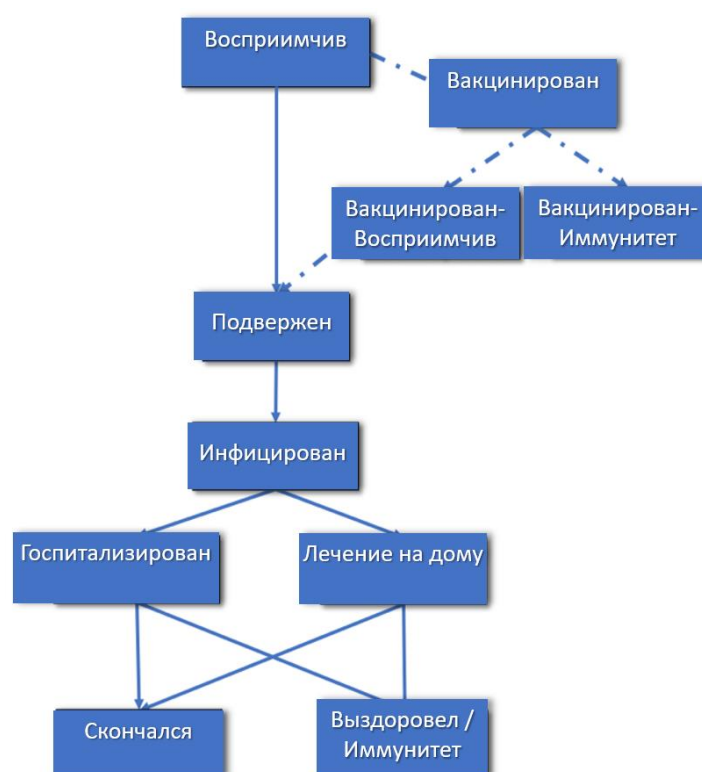
Моделирование профиля риска инфекционных заболеваний

Хотя моделирование инфекционных заболеваний также учитывает элементы опасности, подверженности и уязвимости, общая структура отличается от той, которая используется для землетрясений и наводнений. Модель инфекционного заболевания использует структуру компартмент-модели, специфичную для патогена (пример см. на Рисунке 5), которая включает эпидемиологическую динамику интересующего заболевания, включая доступность фармацевтических ответных мер (например, вакцин).²⁰

Модель распространения болезни действует на уровне человеческого населения, который объединяет популяционные и демографические характеристики каждой субпопуляции. Явно моделируются два типа моделей мобильности человека: мобильность на большие расстояния, которая происходит в ежедневном масштабе времени, и мобильность на короткие расстояния (поездки на работу), которая происходит в течение периода времени короче одного дня. Смоделированный мир разделен на 1413 географических регионов; каждый считается субпопуляцией. Страны ЦАРЭС представлены в 52 географических регионах. Таким образом, входы/допущения и выходы были сделаны для каждой страны индивидуально, но также и для разных подгрупп и для всего регионального блока ЦАРЭС.

²⁰ Н. Мадхав, Н. Стивенсон, Б. Оппенгейм (2021). Каталоги событий, связанных с множественными патогенами: Техническое примечание. Вашингтон, округ Колумбия: Группа Всемирного банка. Доступно по ссылке: <http://documents.worldbank.org/curated/en/181791625232959415/Multi-Pathogen-Event-Catalogs-Technical-Note>

Рисунок 5: Пример структуры компартментальной модели пандемического гриппа



Разделение стран на субпопуляции позволяет конкретизировать моделирование вспышек эпидемий и пандемий. Внутри каждой субпопуляции болезнь накапливается во время моделирования вспышки и может распространяться на соседние субпопуляции (через компонент мобильности на короткие расстояния) или далеко идущие субпопуляции (через компонент мобильности на большие расстояния).

Модель распространения болезни имитирует развитие каждого смоделированного события на ежедневном временном интервале, включая мобильность населения, инфекции, госпитализации и смерти. Это создает данные временного ряда для каждого смоделированного события.

Готовность к вспышке варьируется в зависимости от страны. Готовность можно определить как способность обнаруживать вспышки и реагировать на них. Компания Metabiota разработала Индекс готовности к эпидемиям (EPI)²¹ для каждой страны, показатель готовности к эпидемиям, охватывающий 188 стран мира (включая все государства-члены ЦАРЭС). EPI измеряет национальный потенциал по эффективному обнаружению, сообщению и реагированию на чрезвычайные ситуации в области общественного здравоохранения, которые будут влиять на возникновение и распространение смоделированных событий в регионе. Методология, данные и результаты тестирования и валидации EPI были опубликованы в рецензируемом научном журнале, цитировались и использовались в научной литературе, а также в анализах глобальной готовности к пандемии, а также в макроэкономических анализах, проведенных Всемирным банком.

Модель учитывает готовность конкретной страны через EPI, а не использует агрегированные региональные допущения. Различия в возможностях влияют на возникновение и распространение смоделированных событий в регионе, влияя на

²¹ Б. Оппенгейм, М. Галливан, Н.К Мадхав и др. (2019) Оценка глобальной готовности к следующей пандемии: разработка и применение Индекса готовности к эпидемиям, BMJ Global Health; 4: e001157.

время до обнаружения, объем и масштаб мобилизации ответных мер, а также на количество случаев и временную динамику моделирования эпидемии.

Смоделированные кривые вероятности превышения включают только те инфекции и случаи смерти, которые превышают регулярно встречающийся годовой базовый уровень. Для включенных респираторных заболеваний, таких как пандемический грипп и новые коронавирусы, этот базовый уровень будет равен нулю, но для таких заболеваний, как Конго-Крымская (среднеазиатская) геморрагическая лихорадка, которая является эндемической в некоторых странах ЦАРЭС, базовый уровень будет выше нуля.

Моделирование сценария COVID-19

Для этой ТП компания Metabiota предоставила моделирование потенциальной траектории пандемии COVID-19 с использованием индивидуализированной структуры блоковой модели, которая учитывает эпидемиологическую динамику коронавируса тяжелого острого респираторного синдрома 2 (SARS-CoV-2, этиологический агент COVID-19). Эта вычислительная модель использовалась для моделирования пространственно-временной динамики распространения SARS-CoV-2 в странах-членах ЦАРЭС. Модель включает в себя как потенциальные фармацевтические, так и нефармацевтические меры – например, доступность вакцин или реализацию мер социального дистанцирования, – которые реализуются по-разному в каждой стране в зависимости от степени реализации соответствующих ответных мер политики и мер по смягчению последствий.

Моделирование инфекционных заболеваний для анализа сложных рисков

Моделирование сочетания природных опасностей инфекционных заболеваний основывается на описанной выше структуре компартментальной (блоковой) модели, входных наборах данных, относящихся к каждой стране/региону-члену ЦАРЭС, и связанных с ними допущениях в отношении предлагаемых мероприятий.

В частности, для составного моделирования были выбраны исходные допущения и значения параметров, отражающие событие пандемического гриппа с периодом повторяемости приблизительно от 100 до 200 лет. Моделирование было начато со 100 начальных случаев заболевания и длилось три года. Смоделированные сценарии включали вакцинацию восприимчивого населения, начиная с 9 месяцев, с учетом времени разработки вакцины против нового вируса пандемического гриппа, которая применяется во всех странах ЦАРЭС.

Как только в сценарии начинается вакцинация, восприимчивое население вакцинируется с постоянной скоростью, которая варьируется в зависимости от готовности к эпидемии, пока не будет вакцинировано 65% населения или пока не закончится симуляция. Предполагается, что эффективность вакцины в моделировании составляет 75%. Базовый коэффициент репродукции составляет 1,9 и со временем снижается до 1,5 за счет принятия мер нефармацевтического характера (например, социального дистанцирования и т.д.). Коэффициент летальности (КЛ) варьируется в зависимости от готовности к эпидемии – от 0,003 до 0,006. Предположения относительно базовых значений параметров соответствуют значениям параметров, наблюдавшимся во время предыдущих пандемий гриппа.

Неопределенности и ограничения в данных и методологии

Землетрясение

В четырех разработанных моделях факторов риска используются разные наборы данных и методологии для одиннадцати стран ЦАРЭС. Это означает, что на границах между моделями неизбежно присутствуют некоторые различия в результатах моделирования опасных явлений. В целом, эти различия можно считать приемлемыми, учитывая разные подходы и компоненты, включенные в разные модели (например, модели движения грунта). Стоит отметить, что анализ риска землетрясений был проведен в национальном масштабе, поэтому подходы к построению моделей, используемые для различных моделей, не повлияли на внутреннюю согласованность результатов, рассчитанных в каждой стране.

Модели, используемые для этой работы, представляют собой региональные модели, охватывающие большие континентальные районы; что означает, что они не обязательно достигают уровня детализации, ожидаемого для модели опасных явлений в национальном масштабе. Более того, недавно проведенные мероприятия по оценке и тестированию моделей подчеркнули необходимость улучшения некоторых моделей, используемых в этом проекте (например, Модель землетрясения для Центральной Азии).

Наводнение

Наводнение – это сложная природная угроза, которая может иметь последствия в широком диапазоне пространственных масштабов. Хотя физические процессы, приводящие к затоплению реки (также известному как флювиальное затопление), относительно хорошо изучены и могут быть эффективно смоделированы, затопление поверхностными водами, также называемое плювиальным или внезапным наводнением, представляет собой проблему. Кроме того, в тех местах, где происходит затопление поверхностных вод, редко проводятся измерения количества осадков или установлены контрольно-измерительные приборы. Это означает, что существует мало данных за прошлые периоды, на основании которых можно было бы выстроить модели. Ограничения в вычислительной мощности означают, что сложно смоделировать наводнение поверхностными водами в пространственных масштабах, в которых оно происходит. Если поверхностные воды встречаются в городских районах, расположение объектов собственности (включая незапланированные поселения) и состояние городских дренажных сетей оказывают значительное влияние на риск наводнений. В горных частях региона таяние снегов и отток ледников также могут повлиять на риск наводнений.

Глобальная модель наводнений была валидирована на региональном уровне с использованием наблюдений из разных стран-членов ЦАРЭС. На эту процедуру влияет плотность расположения контрольно-измерительных приборов. Для Центральной Азии пространственная доступность данных датчиков ограничена, что приводит к неопределенности в применении измеренных характеристик водосбора к отдаленным бассейнам без измерения.

Интенсивность затопления сильно варьируется в небольших пространственных масштабах, поэтому разрешение, при котором проводится анализ, может иметь значительное влияние на предполагаемые потери. Например, моделирование гидрологических зон накопления (ЗГН) зависит от анализа цифровых моделей рельефа, разрешение и точность которых являются переменными в глобальном масштабе.

Исторические климатические данные

Хотя APHRODITE и остается единственным долгосрочным (начиная с 1951 г.) набором данных об осадках и температуре с высоким разрешением для Азии, существуют неопределенности, связанные с его использованием. Например, в некоторых странах постсоветского периода 1990-х годов плотность станций наблюдения снизилась, что может привести к переоценке или занижению количества осадков (или температуры) в определенных областях в определенный период времени в данных APHRODITE.

Топография также вносит неопределенность в данные. Интерполяция осадков на высоких высотах Гиндукуша в Гималаях может быть неопределенной из-за сочетания низкой пространственной плотности наземных наблюдений и микроорографических эффектов. Сложная топография оказывает значительное микроорографическое воздействие на осадки,^{22,23} при этом, в некоторых исследованиях отмечается четырехкратная разница в количестве осадков на расстоянии менее 10 км в некоторых частях Гималаев. Эти эффекты вносят неопределенность в количество осадков в высокогорных районах, независимо от того, связаны ли осадки с Азиатской системой муссонов, зимними западными ветрами из Средиземного моря или более локальной конвекцией.

Тем не менее, качество наборов данных APHRODITE повысится в ближайшие десятилетия за счет включения данных дистанционного зондирования и улучшенных расчетов топографии. Основные данные наблюдений проходят строгий контроль качества и очищаются перед включением в модель интерполяции. По этим причинам, набор данных APHRODITE остается предпочтительным набором долгосрочных климатических данных с высоким разрешением для Азии.

Климатические прогнозы на будущее

На климатические прогнозы влияют многочисленные источники неопределенности. Некоторая неопределенность возникает внутри самих моделей из-за несовершенного понимания земной системы. Кроме того, определенные модели предназначены для разрешения некоторых процессов (например, конвекции) с более высоким разрешением или для определенных областей лучше, чем другие.²⁴ Источники неопределенности, внутренние для моделей климата, сокращаются благодаря лучшему пониманию динамики суши, океана и атмосферы и улучшенной вычислительной мощности, позволяющей реализовать больше моделей для поиска и уменьшения неопределенностей модели.

Другие источники неопределенности являются внешними по отношению к моделям климата, например, хотя хорошо известно, что изменение землепользования и выбросы являются движущей силой изменения климата, трудно точно количественно оценить, насколько серьезными будут оба эти явления в будущем. Текущие RCP, используемые для управления моделями, представляют собой правдоподобные оценки различных климатических вариантов будущего, обусловленные сценариями траекторий изменения выбросов. То, насколько и с какой скоростью будут продолжать расти выбросы и изменения в землепользовании, в значительной степени зависит от политики и

²² Т. Ланг и А. Баррос (2002) Исследование наступления муссонов 1999 и 2000 годов в центральном Непале. Ежемесячный обзор погоды, 130 (5), 1299-1316.
[https://doi.org/10.1175/1520-0493\(2002\)130<1299:AIOTOO>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(2002)130<1299:AIOTOO>2.0.CO;2).

²³ А. Баррос, Г. Ким, Э. Уильямс и С. Несбитт (2004) Зондирование орографических средств контроля в Гималаях во время сезона дождей с использованием спутниковых изображений. Опасные природные явления и науки о Земле, 4, 29-51. <https://doi.org/10.5194/nhess-4-29-2004>.

²⁴ Ф. Джорджи, К. Джонс и Г. Асрар (2009) Удовлетворение потребностей в климатической информации на региональном уровне: рамочная структура CORDEX. Бюллетень ВМО, 58 (3), 174-183.

действий, предпринимаемых обществом для преобразования экономики в низкоуглеродную и устойчивую.

По этим причинам необходимо использовать несколько климатических моделей, чтобы получить диапазон возможных изменений климата на рассматриваемой территории. Большее количество моделей может обеспечить более надежный диапазон будущих изменений климата (на основе имеющихся знаний), чем одна или несколько моделей.

В этом исследовании только две комбинации ОМЦ-РКМ были доступны для домена CORDEX Central Asia в начале проекта, для которого существовала научная литература, оценивающая производительность модели. И, как описывалось ранее, данные наблюдений во многих странах ограничены. По региону Южной Азии комбинация включала целых 6 ОМЦ, но только 2 РКМ. Для области Восточной Азии были доступны результаты 3 ОМЦ и 2 РКМ. Следовательно, для всех трех регионов возможный диапазон изменений экстремальных значений осадков и сезонных средних значений может быть не таким надежным. Рекомендуется повторить упражнение для всех трех регионов, как только в будущем станут доступны новые комбинации ОМЦ-РКМ.

Инфекционное заболевание

Модели распространения болезни Metabiota включают несколько параметров, связанных с ответными мерами, мерами сдерживания и вмешательствами. Все они включены в механистическую модель как компоненты. Для каждого каталога возбудителей (патогенов) включенное распределение параметров (например, время доступности вакцины, эффективность нефармацевтических мероприятий и т.д.) основано на наилучших доступных данных и оценках текущих возможностей реагирования на вспышки заболеваний. Предположения модели относительно вариаций в скоростях передачи, а также эффективности и сроков принятия мер по смягчению последствий были оценены посредством тестирования чувствительности.

Воздействие потенциальных улучшений в усилиях по сдерживанию (например, более быстрое время реакции, доступность новой вакцины) было протестировано в рамках моделирования путем изменения предположений, связанных с этими распределениями параметров, и будет отражено в смоделированных результатах.

Воздействие

Источники данных и методология

При моделировании рисков землетрясений и наводнений использовался согласованный набор данных о воздействии на человека, основанный на базе данных GEM *Global Exposure Database*.²⁵ База данных подверженности содержит информацию о количестве зданий, географическом положении, стоимости замены (включая структурные и неструктурные компоненты и содержимое здания), количестве людей и классах уязвимости фонда зданий. Таксономия зданий GEM (версия 2.0)²⁶ использовалась для классификации фонда зданий в странах-членах ЦАРЭС.

Мы используем региональные и национальные модели воздействия, которые легли в основу глобального моделирования сейсмических рисков GEM.²⁷ Четыре модели воздействия охватывают регион, представляющий интерес для этого проекта: модель воздействия для Центральной Азии, охватывающая Казахстан, Кыргызскую Республику, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан; модель воздействия для КНР; модель воздействия для Ближнего Востока, охватывающая Афганистан, Азербайджан, Грузию и Пакистан; и модель воздействия для Монголии.

Немецкий научно-исследовательский центр наук о Земле возглавил разработку гармонизированной модели воздействия на здания для Центральной Азии,^{28,29} и впоследствии эти модели были усовершенствованы GEM. Модель подверженности для Синьцзян-Уйгурского автономного района и Автономного региона Внутренняя Монголия КНР основана на национальной модели воздействия для КНР, разработанной GEM в сотрудничестве с Пекинским педагогическим университетом на основе компиляции наборов данных о жилищах, заведениях и промышленности, полученных из Национального центра исследований Бюро статистики Китая.³⁰ Модели подверженности рискам для Афганистана, Азербайджана, Грузии, Пакистана и Монголии были разработаны GEM на основе соответствующих национальных переписей населения и жилищного фонда и обследований заведений/предприятий.

В целом, данные о воздействии включают жилые, коммерческие и промышленные объекты для всех стран-участниц. Модели подверженности для каждой страны определяются на самом низком административном уровне, на котором доступны исходные наборы данных. Во всех случаях разработка моделей воздействия проводилась в четыре основных этапа:

1. Определение классов зданий.
2. Сопоставление данных переписи с классами зданий.

²⁵ Глобальная база данных воздействий GEM. Доступно по ссылке: <https://storage.globalquakemodel.org/what/physical-integrated-risk/exposure-database/>

²⁶ Брэв, К. Скауторн, Э.В. Чарльсон, Л. Аллен, М. Грин, К. Джайсвал и В. Сильва (2013) Таксономия зданий GEM (версия 2.0). Технический отчет GEM 2013-02. Доступно по ссылке: <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70058718>

²⁷ В. Сильва, Д. Амо-Одуро, А. Кальдерон, К. Коста, Дж. Даббек, В. Деспотаки, Л. Мартинс и др. (2020) Разработка модели глобального сейсмического риска. *Earthquake Spectra*, февраль. <https://doi.org/10.1177/8755293019899953>.

²⁸ Марк Виланд, Массимилиано Питторе, Стефано Паролаи, Улугбек Бегалиев, Пулат Ясунов, Сергей Тягунов, Болот Молдобеков, Саидислом Саидий, Индалип Ильясов и Танаткан Абаканов. «Многомасштабная модель воздействия для оценки сейсмического риска в Центральной Азии». *Заметки о сейсмологических исследованиях* 86, вып. 1 (2015): 210-22. <https://doi.org/10.1785/0220140130>.

²⁹ Марк Виланд, Массимилиано Питторе, Стефано Паролаи, Улугбек Бегалиев, Пулат Ясунов, Джафар Ниязов, Сергей Тягунов и др. «К модели трансграничного воздействия для модели землетрясения в Центральной Азии». *Анналы геофизики* 58, вып. 1 (2015). <https://doi.org/10.4401/ag-6663>.

³⁰ Дж. Ма, А. Рао, В. Сильва и др. (2021) Модель воздействия жилых домов на уровне поселка для материкового Китая. *Опасные природные явления*, 147. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04689-7>

3. Сопоставление жилых единиц или заведений со зданиями.
4. Оценка застроенных площадей и затрат на замену.

В следующих разделах этого документа кратко описываются эти шаги, а более подробный обзор общей методологии, принятой для разработки моделей воздействия, можно найти в работе под редакцией Йепес-Эстрады и др.³¹

Определение классов зданий

Первым шагом в разработке модели воздействия является определение классов, которые позволяют группировать здания со схожими характеристиками. Текущая модель включает, по крайней мере, информацию о материале и типе системы сопротивления поперечной нагрузке, количестве этажей, уровне пластичности и классе занятости. Существуют и другие атрибуты, которые могут повлиять на реакцию конструкций зданий на повреждение, но большинство стран имеют ограниченную информацию об этих свойствах, и лишь немногие сообщили о дополнительных функциях, которые были включены в модели.

Определение преобладающих классов зданий в каждой стране зависит от строительной практики, метеорологических условий и наличия строительных материалов. Были изучены местные, национальные и региональные отчеты о преобладающих классах строительства и обследованиях ущерба от прошлых землетрясений в каждой стране, а также дополнительная информация из глобальных инициатив – таких как Всемирная жилищная энциклопедия, ООН-Хабитат и база данных инвентаризации зданий PAGER. Для Афганистана и Пакистана список классов зданий также основан на классификации типологии зданий для Южной Азии, предложенной в совместном исследовании Сети развития Ага Хана (AKDN) и Норвежской сейсмической группы (NORSAR).³² Модели для стран-членов ЦАРЭС были классифицированы в соответствии с расширенной версией таксономии зданий GEM. Пример таксономии, примененной к выборке стран-членов ЦАРЭС, представлен в Таблице 3.

³¹ Каталина Йепес-Эстрада, Витор Сильва, Анируд Рао, Алехандро Кальдерон, Катарина Коста, Джамал Даббек, Луис Мартинс, Ана Беатрис Асеведо, Хелен Кроули и Мюррей Джурни. (2020) Разработка глобальной модели воздействия для оценки регионального сейсмического риска. На 17-й Всемирной конференции по сейсмической инженерии, Сендай, Япония, 2020 г.

³² Д. Х. Ланг, А. Кумар, С. Сулайманов и А. Меслем (2018). Классификация типологии зданий и шкала уязвимости зданий в Центральной и Южной Азии к землетрясениям. Журнал Строительной техники, 15, 261-277.

Таблица 4: Классификация зданий, использованная в моделях воздействия для Казахстана, Кыргызской Республики, Таджикистана, Туркменистана и Узбекистана

Класс здания	Описание	Таксономия(GEM v2.0)	Число обитателей (в ночное время)	Средняя удельная площадь (м ³)	Средняя удельная стоимость на ед. площади (\$/м ³)	Средняя удельная стоимость (\$)
URM1	неармиров. каменная кладка	/MUR+CLBRS+MOC/LWAL+DNO/FW	3.8	488	\$ 175	\$ 85,450
URM2	НАКК, бетонные полы	MUR+MOCL/LWAL+DNO/FC	3.8	493	\$ 200	\$ 98,669
CM	кладка в обойме	/MCF+MOC/LWAL+DNO/FC/HBET	76	2,322	\$ 288	\$ 668,736
RM-L	АКК, малая этажность	/MR+MOC/LWAL+DNO/FC/HBET:1	5.2	2,054	\$ 160	\$ 359,488
RM-M	АКК, средняя этажность	/MR+MOC/LWAL+DNO/FC/HBET:3	104	3,380	\$ 160	\$ 540,731
RC1	ЖБ конструкция без ERD	/CR+CIP/LFM+DUC/FC/HBET	152	4,208	\$ 425	\$ 359,488
RC2	ЖБ конструкция с умер. ERD	/CR+CIP/LDUAL+DNO/FC/HBET:7	152	18,412	\$ 425	\$ 7,825,189
RC3	ЖБ конструкция с высоким ERD	/CR+CIP/LFINF+DNO/FC/HBET:3	152	4,901	\$ 425	\$ 2,082,802
RC4	ЖБ стены без ERD	/CR+CIP/LWAL+DNO/FC/HBET:8	190	14,677	\$ 425	\$ 6,237,659
RCPC1	ЖБ стены с умеренным ERD	/CR+PC/LWAL+DUC/FC/HBET	152	4,910	\$ 425	\$ 2,086,638
RCPC2	ЖБ стены с высоким ERD	/CR+PC/LFLS+DUC/FC/HBET:5	152	5,112	\$ 425	\$ 2,172,612
ADO	саманное сооружение	/MUR+ADO/LWAL+DNO/FW/HBET:1	5.2	103	\$ 60	\$ 6,174
WOOD1	деревянное сооружение	/W/LWAL+DUC/FW/HBET:1	5.2	1,867	\$ 255	\$ 476,032
WOOD2	деревянное сооружение	/W+WLI/LO+DUC/FW/HBET:1	5.2	1,812	\$ 100	\$ 181,189
STEEL	стальная конструкция	/S/LFM+DNO/FME/HBET:1	3.8	387	\$ 175	\$ 218,125
OTH	другие сооружения	OTH	76	2,054	\$ 425	\$ 359,488

Сопоставление данных переписи жилищного фонда и обследований заведений с классами зданий

Модели воздействия на жилые помещения, представленные во всех случаях, за исключением Туркменистана, получены с использованием последних опубликованных таблиц переписи жилищного фонда в каждой стране на минимально доступном административном уровне и с модульной структурой, которая позволяет включать местные, национальные и региональные улучшения или обновления, по мере появления новых данных. Это считается восходящим подходом для создания моделей воздействия на здания, в отличие от нисходящих подходов, которые используют агрегированные статистические данные, такие как общая численность населения или ВВП на единицу площади, для оценки количества зданий в этой области. Для Афганистана, в котором общенациональная перепись населения не проводилась с 1979 года, в качестве основного источника данных используется Обследование условий жизни в Афганистане (ALCS)³³ за 2016-2017 годы. ALCS было разработано для получения репрезентативных результатов на национальном и провинциальном уровне. Для Туркменистана, где нет информации о жилищном строительстве на субнациональном уровне, принят нисходящий подход с использованием набора данных о населении с координатной привязкой от WorldPop³⁴ в качестве прокси для количества зданий.

Как правило, перепись жилого фонда для данной страны предоставляет количество зданий или жилых домов по типу жилищной единицы (например, частный дом, многоквартирный дом). Реже включается информация о материале стен здания, возрасте, высоте постройки и наличии подвалов. Данные обычно собираются агрегированными по данному административному делению (например, провинция, муниципалитет). Информация, предоставляемая переписью жилищного фонда, значительно различается в зависимости от страны. Более того, различие между сельскими и городскими районами часто не проводится во всех переписях жилищного фонда.

³³ Центральная статистическая организация (2018 г.), Обследование условий жизни в Афганистане, 2016-17 гг. Кабул, CSO. Доступно по ссылке: https://www.nsia.gov.af:8080/wp-content/uploads/2020/10/ALCS-2016-17-Analysis-report-English-23-09-2018_compressed-1.pdf

³⁴ WorldPop. 2021. Доступно по ссылке: <https://www.worldpop.org/methods/populations>

Для подсчета коммерческих и промышленных зданий не существует национальных обследований, которые собирали бы конкретную информацию о зданиях ни в одной из рассматриваемых стран-участниц, и поэтому использовались вторичные источники данных – такие как перепись предприятий, статистические ежегодники и рабочая сила (количество сотрудников). Во всех случаях, за исключением Туркменистана, существующие базы данных включали количество заведений, размер предприятий (или количество сотрудников) и основную экономическую деятельность (например, розничная торговля, производство, склады, строительство, добыча полезных ископаемых) на минимально доступном административном уровне. Для Туркменистана, где эти данные не были доступны, косвенные данные о распределенной рабочей силе по секторам экономики были объединены с национальными и региональными оценками средней площади на одного работника и средней площади на объект по секторам экономики, чтобы получить распределение зданий по секторам экономики.

Каждая страна представляет соответствующие базы данных переписи с разным уровнем детализации, форматами и пространственным разрешением, а базы данных переписи обычно сосредоточены на динамике населения, жилищных условиях, экономической активности и характеристиках и показателях занятости, а не на количестве зданий, относящихся к разным классам уязвимости напрямую. Определение количества существующих зданий по типу занятости плюс категоризация по классам зданий требует дополнительных усилий, которые включают неопределенности в процессе моделирования.

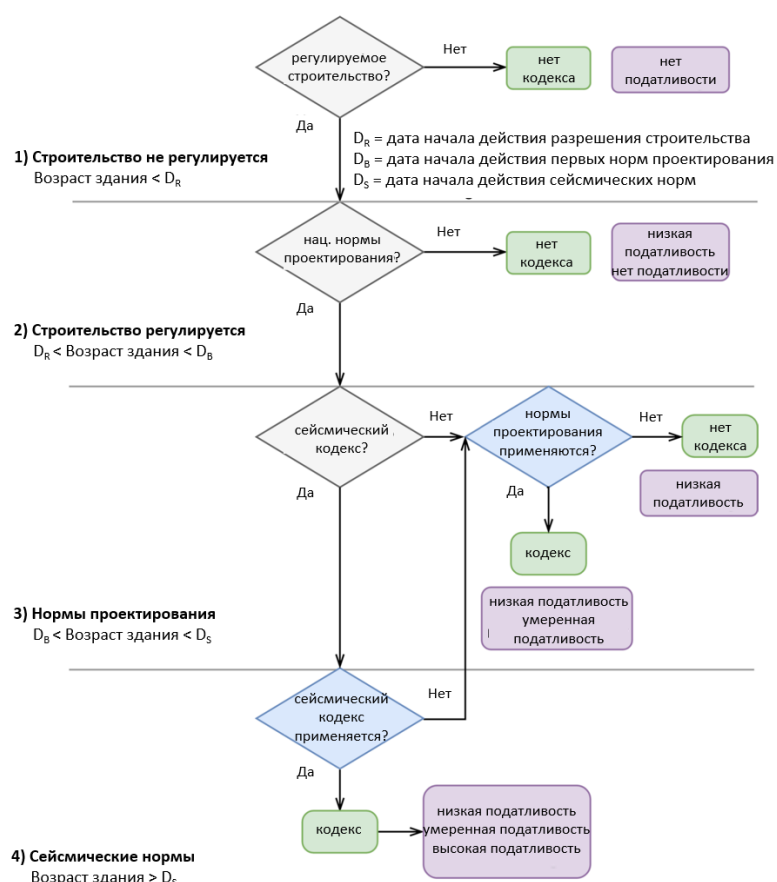
Для Синьцзян-Уйгурского автономного района и Автономного района Внутренняя Монголия КНР первичными базовыми наборами данных для воздействия на население являются таблицы статистики домашних хозяйств, опубликованные по итогам Шестой национальной переписи населения Китайской Народной Республики, проведенной в 2010 году. подробное обследование включает информацию о характеристиках домохозяйств в сельской местности, малых и крупных городах. Эта информация агрегируется до различных административных уровней. В то время как таблицы статистики домашних хозяйств на уровне провинций и префектур доступны для всех провинций, агрегированные данные на уровне округов недоступны для нескольких провинций. Основные характеристики домохозяйств, представляющие интерес для разработки модели подверженности зданиям, включая тип несущих зданий, диапазон этажности и год постройки, получены из развернутого раздела переписи 2010 года. Дополнительные характеристики, такие как средний размер семейных домохозяйств и средняя площадь на душу населения, получены из подробных таблиц переписи населения.

Тип несущих зданий в данных переписи КНР грубо разделен на «Сталь и железобетон», «Композитная конструкция», «Кирпично-деревянная конструкция» и «Прочее». В целях присвоения зданиям соответствующих функций структурной уязвимости, эта область должна быть дополнительно подразделена на структурные классы – такие как деревянные каркасные конструкции, земляная или сырцовая кладка, каменная кладка, кирпичная кладка (неограниченная и армированная), железобетонные конструкции (каркасная стена с заполнением, стенка-диафрагма жесткости и двойная система), а также стальные конструкции. Этот шаг разукрупнения основан на консультациях с местными техническими экспертами, имеющейся литературе и знаниях авторов. Разбивка домохозяйств по типу несущих зданий на домохозяйства по структурному типу проводится отдельно для сельских, городских и городских районов, поскольку методы строительства и доминирующие технологии часто различаются в трех случаях.

Другой атрибут, который зачастую сложно определить, – это уровень пластичности зданий, который часто используется для описания ожидаемых сейсмических характеристик здания. Уровни пластичности назначаются в зависимости от типа

конструкции, возраста постройки и эффективности соблюдения норм. В этом исследовании рассматривались четыре уровня пластичности: непластичный, низкий, средний и высокий. Для определения пластичности необходимо понимать историю реализации сейсмического проектирования в каждой стране, и это включает в себя исследование существующих норм сейсмического проектирования в разных странах и степени их применения (если применимо). На рис. 6 представлен обзор рабочего процесса, используемого для присвоения уровней сейсмической пластичности зданиям в разных странах.

Рисунок 6: Рабочий процесс для назначения уровней пластичности



Источник: Дабик и Сильва, 2019 г.

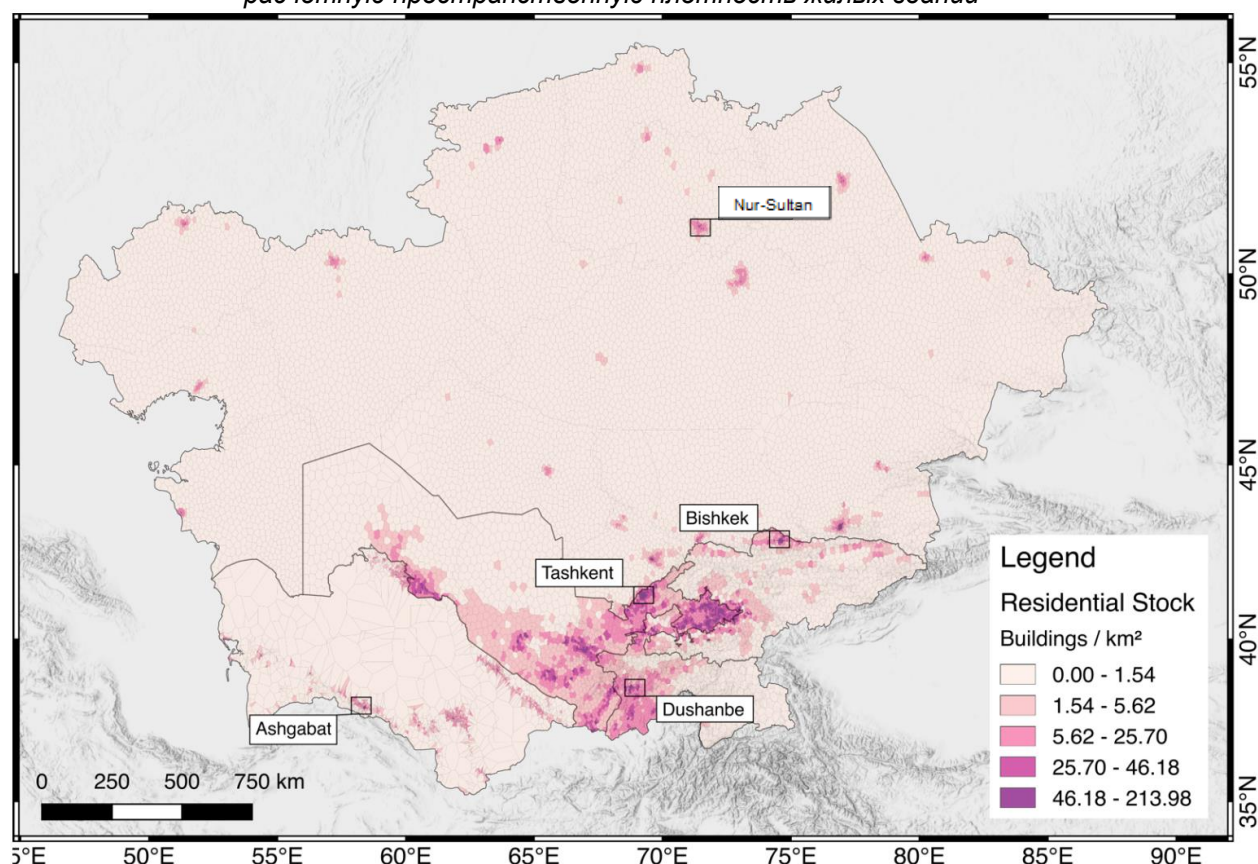
Сопоставление жилищных единиц или заведений со зданиями

Метод, используемый для оценки количества зданий, зависит от типа использования, поскольку источники данных по жилым и нежилым (коммерческим и промышленным) значительно различаются. Для жилых домов первичными источниками данных были данные переписи населения и жилищного фонда, которые, как правило, обновляются каждые 10 лет и соответствуют международным принципам и стандартам. Для каждой страны была собрана информация с географической привязкой на минимальном административном уровне, объединяющая как можно больше соответствующих переменных, таких как основной строительный материал внешних стен (например, каменная кладка, бетон, дерево, пальмовые листья), тип жилья (например, дом на одну семью, квартиру, хижину), количество этажей, материал пола (например, черепица, земля, бетон), материал крыши (например, бетонная плита, дерево, соломенная

крыша), тип поселения (город или село), год постройки и, в редких случаях, информация о сохранности здания (Рисунок 7).

Как правило, данные переписи жилищного фонда выражаются в количестве единиц жилищ или построек. Количество жилых помещений необходимо преобразовать в оценку количества зданий с использованием среднего количества этажей в каждом здании и среднего количества жилых помещений на этаже для различных типов зданий, рассматриваемых в модели воздействия.

Рисунок 7: Модель экспозиции жилых домов для региона Центральной Азии, показывающая расчетную пространственную плотность жилых зданий



Источник: Pittore et al., 2020 г.

Оценка застроенных площадей и затрат на замещение выбывающих активов

Количественная оценка застроенных площадей и стоимости замещения зданий в модели воздействия имеет важное значение для расчета экономических потерь. Определение средней застроенной площади и средней стоимости замещения зависит от класса здания, типа застройки, а для жилых домов – от типа поселения (город или село). Для Монголии и КНР национальные статистические управления сообщили средние размеры и затраты в своих национальных отчетах о переписи населения, тогда как для остальных стран-членов ЦАРЭС, где национальные данные не были доступны, в качестве справочных значений использовались региональные и глобальные оценочные обследования. Затраты на замещение, указанные в модели, указаны в долларах США и были скорректированы до приведенных значений. Затраты включали структурные и неструктурные компоненты зданий и их содержимое, и были рассчитаны на основе того, что все здания должны быть заменены формальным строительством в

соответствии с национальными строительными стандартами, а не существующими условиями.

Для стран Центральной Азии – таких как Казахстан, Кыргызская Республика, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан – средние площади этажей получены с использованием следов зданий, извлеченных из OpenStreetMap, из выборки, охватывающей примерно 7000 обследованных зданий в Кыргызской Республике и Таджикистане.³⁵ Оценки средней стоимости замены блока основаны на средней застроенной площади и среднем количестве этажей в здании определенного класса. Класс ОН (другой) был назначен по умолчанию для восстановительной стоимости неармированной кладки на основании результатов обследования. Стоимость замены для каждого класса зданий указана в Таблице 3 выше.

Для Азербайджана, Грузии, Пакистана и Афганистана для целей определения затрат на замену на основе качества строительства были приняты два уровня качества строительства в зависимости от основного строительного материала: железобетон считается промежуточным по качеству, а остальные материалы считаются материалами более низкого качества.

Затраты на замену для Монголии различных типов строительства, включая юрты, квартиры и отдельные дома, взяты из таблиц цен в национальном отчете переписи населения и жилищного фонда Монголии 2020 года.³⁶

Основным источником затрат на замену для Синьцзян-Уйгурского автономного района и Внутренней Монголии является Статистический ежегодник Китая за 2010 год,³⁷ в котором используются данные о площади завершенного строительством жилых домов и общей стоимости жилых домов для определения средней стоимости строительства. Предполагалось, что ежегодный рост стоимости строительства на 3% приведет к приведению стоимости квадратного метра в 2010 году к приведенной стоимости (2020 г.). Стоимость замещения была рассчитана отдельно для сельской местности, малых и больших городов в каждой из двух провинций. Она представляет собой среднюю стоимость строительства жилья, включая как структурные, так и неструктурные компоненты, но не включает содержимое здания. Средний размер жилого помещения и площадь застройки из расчета на одного человека используются для оценки средней площади всех домов и зданий, а средняя стоимость единицы площади применяется для оценки общей восстановительной стоимости зданий. Средний размер жилья и средняя стоимость жилья на единицу площади в городских, полугородских и сельских районах для двух автономных провинций указаны в Таблице 4.

Таблица 5: Средний размер жилья и средняя стоимость дома на единицу площади в городских, пригородных и сельских районах Синьцзян-Уйгурского автономного района и Автономного района Внутренняя Монголия КНР

³⁵ М. Питтор, М. Хаас и В. Сильва (2020). Вероятностное моделирование подверженности и уязвимости жилых помещений с переменным разрешением для приложений управления рисками. *Earthquake Spectra*, 36 (1_suppl), 321-344. <https://doi.org/10.1177/8755293020951582>

³⁶ Национальное статистическое управление (НСУ) Монголии. Перепись населения и жилищного фонда Монголии 2020 г. Национальный отчет.

³⁷ Статистический ежегодник Китая. Доступно по ссылке: <http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/2010/indexch.htm>.

Автономный регион	Город				Полугород				Село			
	Стоимость зданий			Средняя площадь на душу нас. (м²)	Стоимость зданий			Средняя площадь на душу нас. (м²)	Стоимость зданий			Средняя площадь на душу нас. (м²)
	(¥/m², 2010)	(¥/m², 2019)	(US\$/m², 2019)		(¥/m², 2010)	(¥/m², 2019)	(US\$/m², 2019)		(¥/m², 2010)	(¥/m², 2019)	(US\$/m², 2019)	
Nèi Měnggǔ Zìzhìqū Внутренняя Монголия	¥ 2,700	¥ 3,163	\$ 455	31.8	¥ 2,350	¥ 2,753	\$ 396	31.5	¥ 600	¥ 703	\$ 101	29.9
Xīnjiāng Wéiwú'ěr Zìzhìqū Синьцзян	¥ 1,800	¥ 2,109	\$ 303	36.2	¥ 1,800	¥ 2,109	\$ 303	33.4	¥ 600	¥ 703	\$ 101	29.6

Неопределенности и ограничения в данных и методологии

В целом, данные о воздействии включают жилые, коммерческие и промышленные объекты для всех стран-участниц, за двумя исключениями: Монголия и Туркменистан имеют только модель воздействия на жилые дома, поскольку для моделирования воздействия на коммерческие и промышленные здания было недостаточно информации. Подсчет зданий и населения в моделях подверженности бедствиям основывается на последней доступной переписи для каждой страны, за исключением Афганистана, Монголии и Туркменистана, как объяснялось ранее, в которых не проводилась недавняя перепись.

Неопределенности сохраняются в рамках разработки модели подверженности бедствиям, особенно в определении местоположения активов, определении структурных атрибутов активов, включая типологии зданий и приблизительный период строительства, оценку площадей и затрат на замену зданий.

Данные о воздействии в настоящее время недоступны для некоторых регионов Азербайджана, Грузии и Пакистана. Например, данные по Кельбаджар-Лачинскому району отсутствуют в переписи населения Азербайджана. В случае с Грузией перепись 2014 года не могла быть проведена на территориях Абхазии и Южной Осетии. Кроме того, северные части региона Шида Картли отсутствуют в данных национальной переписи населения. Наконец, модель подверженности бедствиям для Пакистана основана на переписи жилищного фонда 2017 года. На момент моделирования наборы данных переписи жилого фонда для территорий Гилгит-Балтистан и Азад Джамму и Кашмир еще не были опубликованы. На этих территориях была проведена перепись, но наборы данных до сих пор не опубликованы. Для вышеупомянутых территорий/регионов Азербайджана, Грузии и Пакистана воздействие моделируется с использованием оценок населения для соответствующих регионов из WorldPop в качестве вспомогательного показателя для оценки количества зданий.

Уязвимость

Источники данных и методология

Землетрясение

Экономический ущерб

Уязвимость активов к землетрясениям тесно связана с характеристиками самих активов. Соответственно, классификации зданий в *GEM Global Asset Database*, описанные в разделе подверженности опасным явлениям, учитывают основные физические характеристики, которые влияют на ожидаемые характеристики зданий при сейсмических нагрузках.

Как показано в Таблице 3, для стран Центральной Азии – таких как Казахстан, Кыргызская Республика, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан – модель подверженности определяет пятнадцать классов уязвимости зданий.³⁸ Эта классификация основана на серии дистанционных картографических съемок, проведенных местными инженерами в Кыргызской Республике и Таджикистане в период с 2012 по 2016 год.^{39,40} В жилищном фонде этих стран преобладает сельское строительство – в основном, с использованием самана, неармированной кирпичной кладки и дерева в качестве предпочтительного материала для строительства. Здания, которые нельзя было однозначно отнести к какой-либо одной типологии из-за двусмысленности, были отнесены к шестнадцатому классу – «ОТН» (другое).

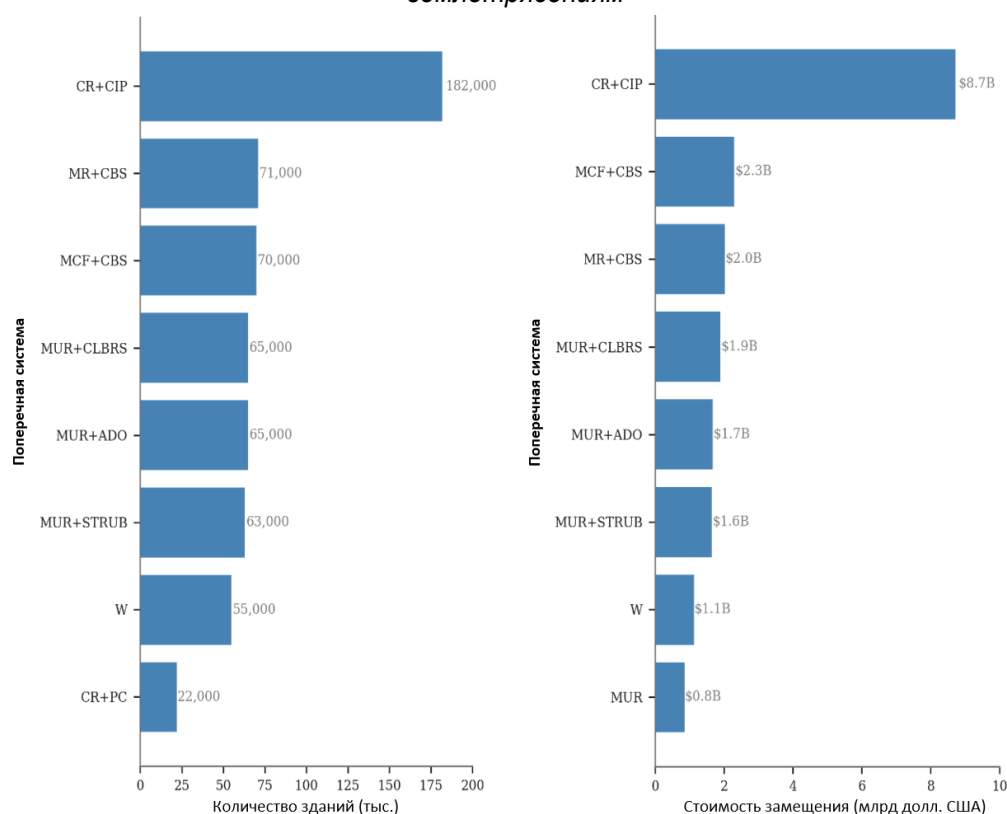
Для Азербайджана, Грузии, Пакистана и Афганистана преобладающие классы строительства были определены на основе обзора существующей литературы, исследований, описывающих архитектуру и энергопотребление, и получения отзывов от местных инженеров. Тридцать уникальных классов зданий были определены в зависимости от материала конструкции, системы сопротивления поперечной нагрузке, уровня пластичности и количества этажей. Пример того, как уязвимость зависит от типа занятости, представлен ниже на Рисунке 8.

³⁸ М. Питторе, М. Хаас, В. Сильва (2020) Вероятностное моделирование подверженности и уязвимости жилых помещений с переменным разрешением для приложений управления рисками, *Earthquake Spectra*, 36 (1), 321-344.

³⁹ К. Г. Мегалуиконому, С. Паролаи, М. Питторе (2018) К мониторингу сейсмических рисков для геотермальных платформ, ориентированному на производительность: разработка специальных кривых хрупкости. Геотермальная энергия, 6: 8.

⁴⁰ М. Питторе, М. Хаас, К. Г. Мегалуиконому (2018) Риск-ориентированное восходящее моделирование портфелей построения с фасетными таксономиями. Границы искусственной среды, 4: 41.

Рисунок 8: Типы заполняемости зданий в зависимости от физической уязвимости Грузии к землетрясениям



Источник: Глобальная модель землетрясений. Объяснение строк Таксономии GEM: CR+CIP = Монолитный железобетон; MR+CBS = Армированная кладка из монолитных бетонных блоков; MCF+CBS = Замкнутая кладка из массивных бетонных блоков; MUR+CLBRS = Неармированная кладка из обожженного глиняного кирпича; MUR+ADO = Неармированная кирпичная кладка; MUR+СТРУБ = Неармированная кладка из щебня или полутесаных камней; W = Деревянная рама; CR+PC = Сборный бетон; MUR = Неармированная кладка (общая).

Пострадавшие и погибшие

Число пострадавших от землетрясений определяется как население, которое, как можно ожидать, станет свидетелем землетрясения интенсивностью по модифицированной шкале Меркалли (MMI), равной VI или выше (соответствует сильному землетрясению, способному причинить небольшой или более значительный ущерб). Среднегодовое количество людей, серьезно пострадавших от землетрясений, определяется как население, которое, как можно ожидать, станет свидетелем землетрясения интенсивностью MMI VIII или выше (что соответствует сильному сотрясению грунта, способному причинить значительный ущерб, включая частичное обрушение обычных конструкций, а также небольшие повреждения хорошо спроектированных конструкций).

Число погибших в результате землетрясений оценивается с использованием глобальной базы данных GEM аналитических кривых сейсмической уязвимости и функций уязвимости. Кривые хрупкости описывают вероятность превышения набора состояний повреждения, обусловленного уровнем интенсивности сотрясений земли, и являются основополагающими для оценки ущерба в сценариях землетрясений. Эти функции преобразуются в функции уязвимости со смертельным исходом для людей, находящихся в здании, с использованием модели «ущерб-потери», т.е. отношения между заданным состоянием повреждения для определенного класса здания и

соответствующим коэффициентом смертности⁴¹ для людей, находящихся в здании, что приводит к распределению вероятности летальных исходов, обусловленных набором интенсивности сотрясений грунта.

Косвенный экономический ущерб

Косвенный экономический ущерб определяется как дополнительные воздействия, помимо прямого ущерба, в результате землетрясения. Они относятся к экономическим сбоям в результате повреждения инфраструктуры и промышленных объектов и связанных с этим сбоев в экономической деятельности (например, трудности доступа рабочих к рабочему месту, ведущие к снижению производительности). Воздействие возрастает при более серьезных событиях из-за продолжительности реконструкции и потребности в квалифицированных специалистах и материалах, необходимых для реконструкции. Следуя Халлегатту,⁴² чистая приведенная стоимость дисконтированных косвенных убытков от землетрясения была оценена с использованием следующего уравнения:

$$(rN/rN+3) \times (1/\mu) \times (\Delta K)$$

где,

- ΔK – прямой ущерб или потеря капитала
- r – предельная производительность капитала
- (r/μ) – средняя производительность капитала
- N – количество лет, необходимое для ремонта/реконструкции более 95% поврежденных активов.

Предельная производительность капитала на национальном уровне оценивается с использованием последней доступной реальной процентной ставки в стране. Средняя производительность капитала рассчитывается как отношение ВВП страны к объему производства, разделенного на общий воспроизводимый капитал внутри страны, согласно Халлегатту и Фогту-Шильбу.⁴³ Обе эти переменные доступны в таблицах Penn World для всех стран ЦАРЭС, кроме Афганистана. Для Афганистана мы принимаем значение по умолчанию 0,3 для средней производительности капитала, как указано в работе Халлегатта (2015). Период реконструкции как функция периода повторяемости оценивается на основе другого рабочего документа Розенберга и Халлегатта (2016).⁴⁴ Для стран ЦАРЭС используется сценарий высокого уровня, поскольку обычно ожидается, что в развивающихся странах восстановление займет больше времени (Таблица 5).

⁴¹ Э. Со (2016). Оценка уровня смертности для моделей потерь от землетрясений. Издательство Springer International, стр. 71.

⁴² С. Халлегатт (2015) Косвенные затраты на стихийные бедствия и экономическое определение макроэкономической устойчивости. Рабочий документ Всемирного банка по исследованию политики <https://doi.org/10.1596/1813-9450-7357>

⁴³ С. Халлегатт и А. Фогт-Шильб (2016) Больше ли убытки от стихийных бедствий, чем просто потери активов? Роль агрегирования капитала, отраслевых взаимодействий и инвестиционного поведения. Рабочий документ Всемирного банка по исследованию политики. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-7885>

⁴⁴ Дж. Розенберг и С. Халлегатт (2016) Моделирование воздействия изменения климата на будущие вьетнамские домохозяйства: подход микромоделирования. Рабочий документ Всемирного банка по исследованию политики.

Таблица 6: Время восстановления после стихийного бедствия по периодам повторяемости и для трех сценариев

Сценарии	Период повторяемости			
	0-10	10-100	100-500	>500
Низкий	0,5	1	2	3
Средний	1	2	3	5
Высокий	3	3	5	10

Поскольку в кривых превышения потерь, представленных в профилях риска и моделировании, указывается несколько периодов доходности, для оценки времени восстановления на основе периода повторяемости используется функция, которая дает значения в соответствии с высокими оценками сценария из приведенной выше таблицы:

$$N = [\log_{10}(RP)]^2$$

Наконец, косвенный AAL рассчитывается как площадь под кривой превышения потерь.

Наводнение

Экономический ущерб

Модель глобального наводнения была разработана с набором стандартных функций региональной и глобальной уязвимости для различных сфер деятельности, включая уязвимость жилых, коммерческих и промышленных предприятий. Эти функции уязвимости описывают взаимосвязь между глубиной наводнения и ущербом на основе эмпирических исследований, инженерных данных и других источников информации. Функции уязвимости Глобальной модели наводнения были разработаны на основе двух основных источников:

- Существующие функции уязвимостей JBA разработаны на основе проектов в Австралии, Канаде, КНР, Сьерра-Леоне, Таиланде, Великобритании, США и Вьетнаме.
- Информация из недавнего исследовательского отчета о функциях уязвимости к глобальным наводнениям, опубликованного Объединенным исследовательским центром Европейской комиссии (Huizinga, Moel and Szewczyk, 2017).

Первоначально для создания выходных данных модели по умолчанию использовались функции уязвимости JBA для региона. Смоделированные результаты, полученные с использованием функций по умолчанию, затем сравнивались с оценками потерь для исторических событий. В литературе не было обнаружено функций уязвимости ни для одной из отдельных стран или регионов ЦАРЭС. В результате, смоделированные потери были сопоставлены с историческими потерями для оценки эффективности взаимосвязей уязвимостей. На основе этого сравнения смоделированных и зарегистрированных потерь от наводнений и с использованием информации, имеющейся в данных о подверженности, функции уязвимости были скорректированы с учетом некоторых конкретных типов зданий в регионе. Функции уязвимости были сопоставлены с категориями зданий в данных о воздействии до того, как были пересчитаны типовые оценки потерь. Оценка экономического ущерба от наводнения использует функции уязвимости, полученные в рамках проекта. Эти функции определяют взаимосвязь между интенсивностью опасности (глубиной затопления) и ущербом.

Пострадавшие и погибшие

Для определения количества людей, пострадавших от наводнения, используется порог 0,2 м, чтобы установить уровень, выше которого объект считается затопленным, а соответствующее население (количество человек из расчета на одно здание) считается «пострадавшим». Оценки численности населения были основаны на точечном распределении жилого населения с разрешением 1 км из данных глобального уровня населенных пунктов (GHSL) (значение в 2015 г.). Пространственное распределение на субнациональном уровне было получено из данных GHSL для всех стран ЦАРЭС. Соотношение между GHSL и данными ООН о населении за 2020 год было рассчитано на уровне страны для увеличения пространственного распределения до численности населения 2020 года. Затем эти подсчеты были суммированы для каждого многоугольника административного деления верхнего уровня.

Классификация людей, серьезно пострадавших от наводнения, используется для того, чтобы указать, где последствия наводнения настолько серьезны, что недвижимость непригодна для проживания в течение значительного периода времени (недели или месяцы). Предполагается, что с таким уровнем нарушений связаны воздействия на повседневную жизнь (например, нарушение трудовой жизни, временное перемещение в другой район, увеличение времени на дорогу до работы) и благополучие (например, воздействие на психическое здоровье перемещенных сообществ, ущерб или потеря имущества). Чтобы указать этот уровень воздействия, при моделировании затопления использовался второй порог глубины, установленный на уровне 1,0 м, чтобы определить те области и объекты, где воздействия на население, вероятно, будут серьезными.

В работе Йонкмана (2008)⁴⁵ был проанализирован ряд исследований, связывающих характеристики наводнений со смертельным исходом. Некоторые из них учитывают множество факторов, которые связывают опасность наводнения со смертельным исходом, включая тип наводнения, уязвимость различных групп населения, существующие меры по смягчению последствий наводнения (например, средства защиты от наводнений, системы предупреждения) и временные рамки события. Многие из этих исследований относятся к конкретной стране, что делает их применение к региону ЦАРЭС сомнительным. Не было обнаружено исследований, связывающих опасность наводнений со смертельным исходом в регионе ЦАРЭС. Из-за отсутствия данных для построения сложной функции, связывающей опасность наводнения со смертельным исходом, был использован эмпирический подход.

Смертность от наводнений была рассчитана с использованием функций, которые соотносят совокупное количество пострадавших людей с соответствующим числом погибших, на основе свидетельств исторических событий для каждой страны ЦАРЭС, собранных в рамках проверки достоверности моделирования наводнений, если таковая имеется. По двум странам, Казахстану и Туркменистану, эти данные отсутствовали. В этом случае использовалось среднее соотношение остальных девяти стран ЦАРЭС (Таблица 6).

⁴⁵ С. Н. Йонкман, Дж. К. Фрайлинг и А.К.В.М. Вроувенвельдер. (2008) Методы оценки гибели людей в результате наводнений: обзор литературы и предложение нового метода. Опасные природные явления, т. 46, стр. 353-389

Таблица значений коэффициента смертности людей, пострадавших от риска наводнений, в странах-членах ЦАРЭС

Страна	Соотношение погибших и пострадавших от наводнений
Афганистан	0,0005
Азербайджан	0,0001
Китайская Народная Республика	0,00005
Грузия	0,0068
Казахстан	0,0025
Кыргызская Республика	0,0071
Монголия	0,0053
Пакистан	0,0001
Таджикистан	0,0015
Туркменистан	0,0025
Узбекистан	0,001

Косвенный экономический ущерб

Косвенный экономический ущерб определяется как дополнительные воздействия, помимо прямого ущерба, в результате наводнения. Они относятся к экономическим сбоям в результате повреждения инфраструктуры и промышленных объектов и связанных с этим сбоев в экономической деятельности (например, трудности с доступом рабочих к рабочему месту, ведущие к снижению производительности). Воздействие возрастает при более серьезных событиях из-за продолжительности реконструкции и потребности в квалифицированных специалистах и материалах, необходимых для реконструкции. Следуя Халлегатту,⁴⁶ чистая приведенная стоимость дисконтированных косвенных убытков от наводнения была оценена с использованием следующего уравнения:

$$(rN/rN+3) \times (1/\mu) \times (\Delta K)$$

где,

- ΔK – прямой ущерб или потеря капитала
- r – предельная производительность капитала
- (r/μ) – средняя производительность капитала
- N – количество лет, необходимое для ремонта/реконструкции более 95% поврежденных активов.

Предельная производительность капитала на национальном уровне оценивается с использованием последней доступной реальной процентной ставки в стране. Средняя производительность капитала рассчитывается как отношение ВВП страны к объему производства, разделенного на общий воспроизводимый капитал внутри страны, согласно Халлегатту и Фогту-Шильбу.⁴⁷ Обе эти две переменные доступны в таблицах Penn World для всех стран ЦАРЭС, кроме Афганистана. Для Афганистана мы принимаем значение по умолчанию 0,3 для средней производительности капитала, как

⁴⁶ С. Халлегатт (2015) Косвенные издержки стихийных бедствий и экономическое определение макроэкономической устойчивости. Рабочий документ Всемирного банка по исследованию политики <https://doi.org/10.1596/1813-9450-7357>

⁴⁷ С. Халлегатт и А. Фогт-Шильб (2016) Больше ли убытки от стихийных бедствий, чем просто потери активов? Роль агрегирования капитала, отраслевых взаимодействий и инвестиционного поведения. Рабочий документ Всемирного банка по исследованию политики. <https://doi.org/10.1596/1813-9450-7885>

указано в работе Халлегатта (2015). Период реконструкции как функция периода повторяемости оценивается на основе другого рабочего документа Розенберга и Халлегатта (2016).⁴⁸ Для стран ЦАРЭС используется сценарий высокого уровня, поскольку обычно ожидается, что в развивающихся странах восстановление займет больше времени (Таблица 7).

Таблица 7: Время восстановления после стихийного бедствия по периодам повторяемости и для трех сценариев

Сценарии	Период повторяемости			
	0-10	10-100	100-500	>500
Низкий	0,5	1	2	3
Средний	1	2	3	5
Высокий	3	3	5	10

Поскольку в кривых превышения потерь, представленных в профилях риска и моделировании, указывается несколько периодов доходности, для оценки времени восстановления на основе периода повторяемости используется функция, которая дает значения в соответствии с высокими оценками сценария из приведенной выше таблицы:

$$N = [\log_{10}(RP)]^2$$

Первоначально для данной функции использовались значения по умолчанию, предложенные в исследовании Халлегатта. Из-за отсутствия информации о непропорциональных воздействиях на критически важную инфраструктуру «волновой эффект» был установлен на ноль. Процентные ставки для стран ЦАРЭС находятся в диапазоне от 4 до 16%, но было решено установить это значение на уровне 20%, чтобы указать на общие потенциальные возможности потерянного капитала и несовершенное функционирование рынков капитала.

Один из самых неопределенных элементов расчета – период реконструкции. В исследовании Халлегатта (2015) предлагается три года, но в другой литературе периоды восстановления от 6 месяцев до нескольких лет предлагаются для ряда сценариев стихийных бедствий – таких как азиатское цунами 2004 года. Выбор трех лет для периода реконструкции привел к очень высоким значениям косвенных потерь для событий с более высоким периодом повторяемости по сравнению с анализами для конкретных тематических исследований – таких как наводнение в Мумбаи 2005 года (период повторяемости оценивается в 100 лет) и ураган Катрина в том же году (ПП ~25 лет). Чтобы учесть изменение периода реконструкции и восстановления для событий с более высокими периодами повторяемости, а также диапазон оценок из литературы, была разработана скорректированная функция для расчета косвенных экономических потерь. Наконец, косвенный AAL рассчитывается как площадь под кривой превышения потерь.

Инфекционное заболевание

Применение методов моделирования катастроф к анализу инфекционных заболеваний требует разработки сложных динамических моделей, которые существенно отличаются от традиционных моделей природных катастроф (таких как землетрясение и

⁴⁸ Дж. Розенберг и С. Халлегатт (2016) Моделирование воздействия изменения климата на будущие вьетнамские домохозяйства: подход микромоделирования. Рабочий документ Всемирного банка по исследованию политики.

наводнение) с точки зрения того, как концептуализируются, измеряются и моделируются такие элементы, как опасность и уязвимость.

Уязвимость в рамках моделирования инфекционных заболеваний связана с рядом факторов, включая атрибуты конкретного моделируемого патогена, а также специфические для страны характеристики – такие как готовность и ответные меры политики. В рамках модели распространения болезни Metabiota уязвимость зависит от характеристик на уровне патогена, включая коэффициент летальности (в целом и для определенных возрастных групп), динамику передачи и доступность вакцин или терапевтических средств. Уязвимость также является динамической в рамках каждого смоделированного события, изменяясь на ежедневном временном шаге в модели: например, индивидуальная уязвимость может уменьшаться из-за иммунизации или инфекции, которая дает иммунитет в рамках моделирования, в то время как локальная уязвимость населения может снижаться по мере снижения количества восприимчивых людей на моделируемой географической территории.

На уязвимость на уровне страны также влияет готовность выявлять чрезвычайные ситуации в области здравоохранения и реагировать на них: выявлять потенциальный риск инфекционных заболеваний, осуществлять соответствующие ответные меры политики (например, социальное дистанцирование) и, если это возможно, осуществлять фармацевтические вмешательства. Как отмечалось выше, готовность измеряется через подготовленность к эпидемии, которая учитывает как потенциал системы здравоохранения, так и факторы, которые позволяют (или ограничивают) эффективные ответные меры, включая стратегическое руководство, финансирование, информирование о рисках, а также физическую и коммуникационную инфраструктуру.

Рисунок 9 Расчет индекса готовности к эпидемиям⁴⁹



В рамках моделирования оценка индекса готовности к эпидемии каждой страны влияет на скорость, с которой она осуществляет немедикаментозные ответные меры, и (если вакцины актуальны для моделируемого патогена) на время и скорость начала вакцинации. Это создает существенно разные профили уязвимости в разных странах и во времени.

⁴⁹ Б. Оппенгейм, М. Галливан, Н.К Мадхав и Н. Браун, В. Серхиенко, Н. Д. Вулф и П. Эйскью. (2019) Оценка глобальной готовности к следующей пандемии: разработка и применение Индекса готовности к эпидемиям, BMJ Global Health; 4: e001157.

Неопределенности и ограничения в данных и методологии

Неопределенность данных об уязвимости к землетрясениям обусловлена редкостью проводимых обследований уязвимости зданий в регионе. Например, исследования, проведенные в Кыргызской Республике и Таджикистане, были использованы для построения кривых, используемых здесь и в соседних странах – Казахстане, Туркменистане и Узбекистане. Кроме того, в некоторых случаях характеристики построения не точно соответствовали типологиям уязвимостей, что требовало использования «другого» класса уязвимости. В тех случаях, когда с полевыми исследованиями нельзя было обратиться напрямую, искали и применяли соответствующую литературу.

В литературе, охватывающей регион ЦАРЭС, не было обнаружено функций уязвимости к наводнениям. Соответственно, функции уязвимости JBA по умолчанию использовались для генерации начальных смоделированных потерь, а затем калибровались по оценкам потерь для исторических событий. При таком подходе могут возникнуть неопределенности, учитывая, что существует относительно немного исторических событий потерь, которые подходят для калибровки кривых уязвимости. Тем не менее, использованный подход был признан наиболее подходящим способом разработки индивидуальных кривых уязвимости для всего региона ЦАРЭС с учетом ограниченной доступности данных.

При расчете косвенного экономического ущерба – как от землетрясения, так и от наводнения – неопределенность возникает из-за использования макроэкономических показателей (реальная процентная ставка, ВВП, общий воспроизводимый капитал), которые, в действительности, будут пространственно варьироваться в зависимости от страны/региона. В некоторых случаях использовались значения по умолчанию для этих макроэкономических показателей (например, Афганистан). Аналогичным образом, допущения были необходимы при количественной оценке «волнового эффекта», процентных ставок и периодов реконструкции. В частности, периоды реконструкции могут варьироваться от месяцев до лет и существенно влияют на косвенный ущерб.

Оценка пробелов в защите в регионе ЦАРЭС

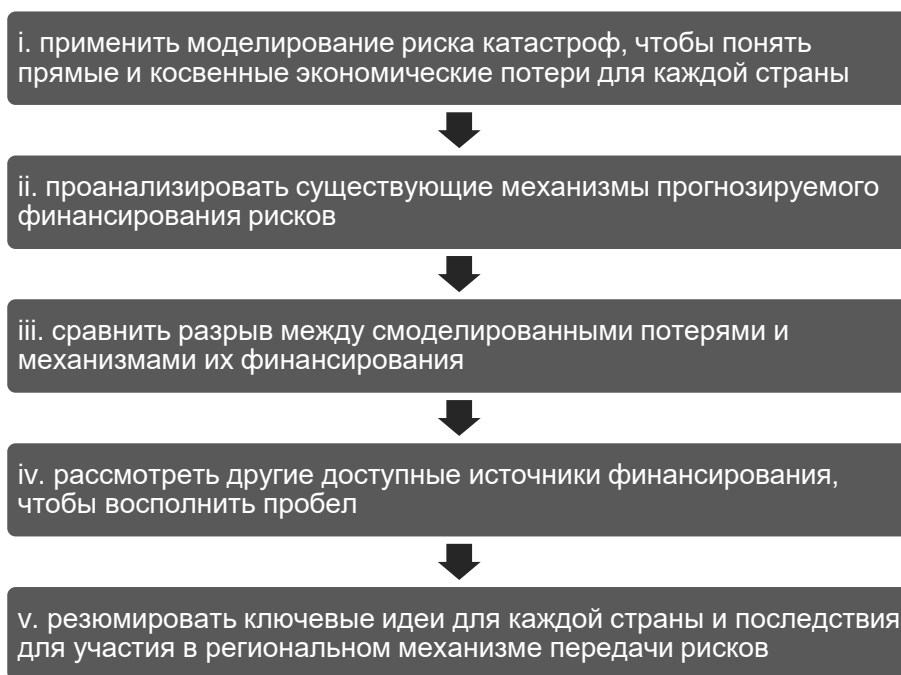
Определение пробела в защите

Разрыв в защите традиционно определяется как доля незастрахованных убытков от стихийных бедствий. Определение уровня риска, который не был снижен (за счет инвестиций в снижение риска) или передан (за счет финансирования рисков), предназначен для определения условного обязательства, которое необходимо будет выполнить в случае бедствия. Это используется как фундаментальный вклад в разработку управления рисками и организацию финансирования рисков.

Источники данных и методология

Оценка и количественная оценка пробела в защите была проведена по всему региону ЦАРЭС. Риски, связанные с землетрясениями и наводнениями в каждой из стран/регионов ЦАРЭС, сравнивались с подходами к финансированию, доступными для правительств, домашних хозяйств и предприятий, чтобы помочь определить, где и какой тип дополнительного финансирования риска бедствий может быть наиболее ценным для национального и регионального масштаба. Результаты этого анализа представлены в отчете об оценке пробелов в защите. В этом разделе подробно описана методология, лежащая в основе этого отчета (Рисунок 9).

Рисунок 10 Оценка и количественная оценка разрыва в защите в регионе ЦАРЭС



Вероятностное моделирование рисков, завершенное в рамках данной технической помощи (и описанное выше), использовалось для оценки прямых потерь и косвенных затрат, с которыми сталкивается каждая страна/регион. В этом случае прямые потери включают в себя ущерб, причиненный коммерческой, промышленной и жилой собственности, тогда как косвенные затраты учитывают продолжающееся сокращение доходов бизнеса/домашних хозяйств из-за сбоев (например, в цепочках поставок). Также учитываются человеческие жертвы в результате землетрясений и наводнений.

Наряду с анализом на уровне страны/региона был также проведен краткий субнациональный анализ, в котором сравнивались оценки ожидаемых экономических и

человеческих издержек с субнациональными данными о бедности,⁵⁰ признавая, что бедность может усилить уязвимость населения к стихийным бедствиям, которые не полностью улавливаются моделированием катастроф. Это позволяет на начальном этапе идентифицировать субнациональные «горячие точки», где и риск опасности высок, и бедность, по сравнению с другими районами страны, также высока.

Была проведена качественная оценка существующих механизмов прогнозируемого снижения рисков и финансирования рисков. Это включает в себя рассмотрение как положений, принятых на суверенном и суб-суверенном уровне, так и степени, в которой страховые решения принимаются различными группами общества.

«Пробел в защите» количественно определяется как разница между (i) потерями/затратами, с которыми сталкивается данная страна, и (ii) доступным механизмом финансирования для их покрытия. Произведены два сравнения:

- Чтобы определить разницу между среднегодовыми потерями и покрытием, предлагаемым существующими механизмами удержания и передачи рисков; и
- Чтобы установить случаи убытков в период повторяемости при учете убытков, которые могут быть застрахованы, исчерпали бы доступные механизмы удержания рисков.

Во втором случае «убытки, которые могут быть застрахованы», рассматриваются тремя способами:

- предполагая, что механизмы удержания риска должны покрывать как незастрахованные прямые убытки, так и косвенные расходы (как описано выше);
- предполагая, что механизмы удержания риска должны покрывать только незастрахованные прямые убытки, которые могут быть вызваны событиями; и
- при условии, что механизмы удержания риска должны покрывать расходы на реагирование на чрезвычайные ситуации, связанные с различными событиями.⁵¹

Затем были рассмотрены другие источники финансирования, доступные правительствам, домохозяйствам и предприятиям для покрытия финансовых затрат в случае стихийных бедствий. На государственном уровне это включает изучение макроэкономического контекста страны и, при наличии данных, ее финансового реагирования на предыдущие стихийные бедствия. На уровне домашних хозяйств и предприятий оценка проводится, в основном, путем анализа степени финансовой доступности в стране, которая дает представление об их простоте доступа к финансам. Это дополняется оценкой предоставления социальной защиты, в которой признается,

⁵⁰ При наличии данных, субнациональные оценки бедности берутся из Индекса многомерной бедности Оксфордской инициативы по бедности и развитию человеческого потенциала (<https://ophi.org.uk/multidimensional-poverty-index/#:~:text=The%20global%20Multidimensional%20Poverty%20Index,that%20a%20person%20faces%20simultaneously.>) Это – предпочтительный источник данных, поскольку он дополняет показатели денежной бедности, фиксируя одновременно лишения в отношении здоровья, образования и уровня жизни, с которыми сталкивается человек. Набор данных также предоставляет информацию о количестве/доле людей, живущих в бедности. Однако этот набор данных доступен не для всех стран ЦАРЭС, поэтому при необходимости вместо этого использовались данные об индексе человеческого развития на субнациональном уровне. (<https://globaldatalab.org/shdi/shdi/>). Индекс человеческого развития объединяет информацию о продолжительности жизни, образовании и доходе на душу населения и преобразует ее в индексный балл от 0 до 1, где баллы, близкие к 1, представляют более высокие уровни человеческого развития.

⁵¹ Предполагается, что затраты на реагирование на чрезвычайные ситуации равны 23% прямых потерь в результате наводнения и 16% прямых потерь в результате землетрясения, исходя из отраслевой практики, основанной на анализе исторических событий. Проникновение страховки не учитывается при оценке степени, в которой удержание риска покрывает затраты на реагирование на чрезвычайные ситуации.

что социальная защита часто является важным способом для уязвимых лиц и домохозяйств справляться со стихийными бедствиями,⁵² и в то же время признается, что такие механизмы также увеличивают условные обязательства на государственном уровне.

Наконец, каждый из вышеперечисленных шагов объединен, чтобы дать краткое изложение ключевых идей для каждой страны и последствий для участия в региональном механизме передачи рисков.

Моделирование мер по снижению риска бедствий и адаптации к изменению климата

В рамках этой ТП моделирование снижения риска бедствий и адаптации к климату будет выполняться с использованием платформы моделирования CLIMate ADaptation (CLIMADA).⁵³ Помимо содействия диалогу со странами-членами ЦАРЭС на протяжении всего срока реализации этого проекта и после него, эта работа продемонстрирует в более общем плане ценность CLIMADA в получении результатов полностью вероятностных моделей риска и исследовании сравнительных преимуществ альтернативных мер снижения риска бедствий и адаптации к изменению климата.

Источники данных и методология

CLIMADA предоставляет пользователям основу для объединения данных о подверженности, опасности и уязвимости для расчета риска. Это – модель открытого доступа, разработанная для обеспечения высокой гибкости в соответствии с потребностями пользователей. Кроме того, CLIMADA позволяет проводить анализ затрат и выгод различных мер по снижению риска бедствий и адаптации. Модель CLIMADA была разработана для оценки риска землетрясений и наводнений в конкретной стране и для расчета относительной рентабельности ряда мер по снижению риска бедствий.

Модель CLIMADA, разработанная для этого проекта, объединяет карты опасности землетрясений и наводнений, созданные с помощью полностью вероятностных моделей источников JBA и GEM, с точечными данными об активах строительства и кривыми уязвимости для конкретных стран.

В Таблице 9 показаны области концентрированного воздействия, включенные в модель CLIMADA. Большинство населенных пунктов являются столицами стран, чтобы захватить районы с наибольшим риском. В некоторых странах были выбраны альтернативные городские районы из-за характера опасности (например, в Пакистане) или подверженности (например, в Казахстане).

⁵² Всемирный банк (2019) Социальная защита и восстановление после стихийных бедствий. Доступно по ссылке: https://www.gfdrr.org/sites/default/files/publication/Social_Protection_Guidance_Note_FINAL.pdf

⁵³ Г. Азнар-Сигуан и Д. Н. Бреш, 2019. CLIMADA v1: глобальная платформа оценки погодных и климатических рисков. Модель Geosci Dev. 12 (7), 3085-3097. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-3085-2019>

Таблица 8 Области концентрированного воздействия, включенные в структуру моделирования CLIMADA

Страна	Площадь концентрированного воздействия	
	Наводнение	Землетрясение
Афганистан	Кабул	Кабул
Азербайджан	Баку	Баку
Грузия	Тбилиси	Тбилиси
Казахстан	Алматы	Алматы
Кыргызская Республика	Бишкек	Бишкек
Монголия	Улан-Батор	Улан-Батор
Пакистан	Карачи	Исламабад
КНР, Автономный район Внутренняя Монголия	Баотоу	Баотоу
КНР, Синьцзян-Уйгурский автономный район	Урумчи	Урумчи
Таджикистан	Душанбе	Душанбе
Туркменистан	Ашхабад	Ашхабад
Узбекистан	Ташкент	Ташкент

CLIMADA сопоставляет различные входные наборы данных, которые хранятся в структуре модели CLIMADA. Все наборы данных, кроме слоев опасности наводнений и землетрясений, содержатся в рабочей книге Excel (.xlsx) и могут быть легко изменены. Простота этой настройки гарантирует дальнейшее использование модели CLIMADA после завершения данной ТП. В Таблице 10 приведены исходные данные для модели CLIMADA.

Таблица 9 Сводка наборов данных, которые необходимо интегрировать с помощью платформы CLIMADA

Тип	Набор(ы) данных	Источник	Формат
Бедствие	Слои опасности наводнения в шести периодах повторяемости: 20, 50, 100, 200, 500, 1500 лет.	JBA	Растр (GeoTIFF, набор пространственных данных, содержащий значения опасности с постоянным разрешением)
	Слои сейсмоопасности с шестью периодами повторяемости: 50, 100, 200, 500, 1000, 2500 лет.	GEM	
Подверженность	Формирование стоимости структурных активов.	Стандартный формат <i>Oasis Exposure Data</i> .	Значения, разделенные запятыми (CSV)
Уязвимость	Функция повреждений, включающая интенсивность (глубина паводка, м) и коэффициент ущерба.	JBA	Значения, разделенные запятыми (CSV)
	Функция повреждения, включающая интенсивность (пиковое ускорение грунта, g) и коэффициент повреждения.	GEM	
Меры адаптации	Выбор мер адаптации и детали их воздействия на опасность, подверженность и/или уязвимость.	UNU	Книга Excel (.xlsx)
Климатические сценарии	Будущие климатические сценарии до 2050 года для репрезентативного сценария концентрации (RCP) 4.5 и 8.5.	ODI	Книга Excel (.xlsx)
Социально-экономические сценарии	Будущие социально-экономические сценарии, основанные на изменении ВВП или численности населения.	Всемирный банк	Книга Excel (.xlsx)

Входными данными об опасных явлениях для CLIMADA являются карты опасностей периодов повторяемости для наводнений и землетрясений, созданные с использованием полностью вероятностных моделей источников JBA и GEM. Вместо того, чтобы представлять конкретные события, эти карты периодов повторяемости показывают вероятность того, что данный пиксель испытает, например, одно событие

из 200 лет. Карты периодов повторяемости представлены для наводнений и землетрясений с шестью периодами повторяемости.

Входные данные воздействия или «актива» в CLIMADA включают набор точечных данных, связанных со стоимостью коммерческих, жилых и промышленных зданий. Набор данных о воздействии основан на Глобальной базе данных о воздействии GEM. База данных подверженности содержит информацию о количестве зданий, географическом положении, стоимости замены (включая структурные и неструктурные компоненты и содержимое здания), количестве людей и классах уязвимости фонда зданий. Таксономия зданий GEM (версия 2.0) использовалась для классификации фонда зданий в странах-членах ЦАРЭС. Каждая точка воздействия имеет код, который позволяет связать ее с соответствующей функцией удара для опасности наводнения и землетрясения.

Информация об уязвимости или «функции повреждения» была собрана для каждой области концентрированного воздействия. Для моделирования риска наводнений использовалась единственная функция ущерба, основанная на уязвимости жилых зданий в каждой стране. Для моделирования риска землетрясения были выбраны соответствующие функции повреждений на основе класса занятости (коммерческое, промышленное, жилое) и структурных характеристик здания (например, железобетон, неармированная кладка и т.д.).

Климатические сценарии могут применяться к анализу риска наводнений на основе наблюдаемых и прогнозируемых кривых частоты продолжительности интенсивности дождя. Моделирование региональной климатической модели-глобальной климатической модели (PKM-ОМЦ) из Скоординированного регионального эксперимента по уменьшению масштабов регионального климата (CORDEX) использовалось для изучения воздействия изменения климата на осадки. Это включало два моделирования PKM-ОМЦ из области CORDEX в Центральной Азии, шесть моделей из области CORDEX в Южной Азии и четыре модели из области CORDEX в Восточной Азии. Были выбраны два репрезентативных пути концентрации (RCP4.5 и RCP8.5); они соответственно представляют собой среднюю и высокую траекторию выбросов (в обычном режиме). PKM были скорректированы с поправкой на систематическую погрешность до анализа прогнозов осадков, показывающего, как условия могут измениться между 2050-ми годами (2031-2070) и историческим базисным периодом 1956-1995 годов. Информация о многомодельном среднем значении использовалась для изучения годовых и сезонных изменений в рамках RCP4.5 и RCP8.5. Никакое будущее изменение климата не может быть применено к моделированию риска землетрясений.

Будущие социально-экономические сценарии могут применяться к моделированию рисков как наводнений, так и землетрясений. Будущие социально-экономические изменения используются для изменения значений будущих рисков на основе прогнозов темпов роста ВВП и изменения численности населения. Будущие темпы экономического роста оценивались путем расчета средних темпов роста ВВП (в постоянных ценах 2010 года) за период 2000-2019 гг.⁵⁴ Информация о будущих темпах

⁵⁴ Всемирный банк. 2021 г. ВВП (в постоянных долларах США 2010 г.). Доступно по ссылке: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.KD>

роста населения поступает от Отдела народонаселения Департамента по экономическим и социальным вопросам Организации Объединенных Наций.⁵⁵

Меры адаптации были выбраны из набора репрезентативных вариантов адаптации, составленных группой разработчиков CLIMADA в Университете Организации Объединенных Наций (УООН) (Таблица 11). Эти варианты адаптации можно легко изменить, чтобы они отражали конкретные планы в любой конкретной области концентрированного воздействия.

Таблица 10 Описание мер по управлению рисками землетрясений и наводнений/адаптации к изменению климата, смоделированных с помощью CLIMADA

	Меры по адаптации к землетрясениям	Меры по адаптации к наводнениям
1	<i>Строительные нормы и правила.</i> Предполагается, что новые здания соответствуют заданному уровню сейсмостойчивых строительных норм.	<i>Обслуживание канала.</i> Включает удаление отложений/углубление и расширение/очистку канала от мусора.
2	<i>Сейсмоусиление.</i> Применение мер, повышающих сейсмостойкость существующих зданий.	<i>Экологическое восстановление.</i> Например, увеличение проницаемости поверхностного покрытия, посадка деревьев и восстановление водных путей.
3	<i>Страхование.</i> Применяется в качестве простого суверенного страхового покрытия, которое применяется к убыткам в результате событий с вероятностью повторения около 1 раза в 100 лет и исчерпывается на уровне убытков в результате событий с вероятностью повторения около 1 раза в 200 лет.	<i>Осведомленность о наводнении.</i> Например, кампании по обучению людей действиям, которые можно предпринять для уменьшения воздействия наводнений.
4		<i>Управление отходами.</i> Внедрение подходов к управлению потоками сточных вод.
5		<i>Страхование.</i> Применяется в качестве простого суверенного страхового покрытия, которое применяется к убыткам в результате событий с вероятностью повторения около 1 раза в 25 лет и исчерпывается на уровне убытков в результате событий с вероятностью повторения около 1 раза в 100 лет.

Соотношение выгод и затрат для каждой меры СРБ рассчитывается как общий предотвращенный убыток, деленный на общую стоимость меры за определенный период времени – в данном случае, с настоящего момента до 2050 года. Выгоды накапливаются за период с настоящего момента до 2050 года с учетом ставки

⁵⁵ Отдел народонаселения Департамента по экономическим и социальным вопросам Организации Объединенных Наций. 2018. World Population Prospectus 2018. Доступно по ссылке: <https://population.un.org/wup/>.

дисконтирования (установленной по умолчанию на уровне 2%), тогда как затраты предполагаются по чистой приведенной стоимости. Базовый сценарий предполагает постоянное воздействие и опасность в будущем.

Проведенное здесь моделирование дает количественную оценку риска землетрясений и наводнений в странах ЦАРЭС и представляет относительные затраты-выгоды от выбора репрезентативных мер адаптации. Такая информация помогает продемонстрировать ценность дальнейшего детального моделирования снижения риска бедствий и может внести свой вклад в широкую повестку дня по управлению рисками бедствий.

Модель CLIMADA, разработанная в ходе данной ТП, останется функциональной после завершения проекта. Унаследованная модель CLIMADA сохранит полную гибкость, позволяя конечному пользователю загружать пересмотренные данные об опасностях, подверженности и уязвимости, изменять допущения модели (например, в отношении будущего роста подверженности), а также вносить поправки или дополнения в текущую систему снижения риска бедствий и меры адаптации. К устаревшей модели CLIMADA было подготовлено отдельное техническое руководство. Полная документация по модели доступна по ссылке: <https://climada-python.readthedocs.io/en/stable/index.html>.

Неопределенности и ограничения в данных и методологии

Моделирование снижения риска бедствий и адаптации к климату, проведенное для данной ТП, охватывает двенадцать городов в одиннадцати странах и регионах-членах ЦАРЭС. Учитывая такой обширный географический охват, моделирование, проведенное в любом конкретном городе, обязательно является иллюстративным. Поэтому при интерпретации выходных данных модели важно помнить об определенных неопределенностях и ограничениях:

- Это моделирование охватывает выбранные области концентрированного воздействия. Выходные данные модели дают представление о величине снижения риска выбранных мер на ограниченной территории и не должны использоваться для заявлений в национальном или региональном масштабе.
- Входные данные об опасностях основаны на серии карт опасностей в период повторяемости. Затем CLIMADA интерполирует входные периоды доходности для расчета промежуточных убытков. Хотя такой подход и является обоснованным, он не обязательно является истинным отражением того, как именно масштабируются потери с интенсивностью опасного явления.
- Был смоделирован ряд «стандартных» мер адаптации к землетрясениям и наводнениям. Выбранные меры не отражают экономическую, социальную, политическую или физическую целесообразность мер в каком-либо конкретном городе. Стоимость и эффективность мер адаптации основаны на предыдущих полевых исследованиях, проведенных группой моделирования CLIMADA, и скорректированы для региона ЦАРЭС. Модель CLIMADA не учитывает пространственное распределение мер адаптации. Дальнейшее уточнение выбора, стоимости и эффективности мер следует рассматривать в зависимости от страны.
- Будущий социально-экономический рост основан на макроэкономических показателях, рассчитываемых на уровне страны с 2000 года. В действительности прошлый социально-экономический рост может неточно отражать будущий рост,

а будущий рост может пространственно варьироваться в пределах страны или региона.

Проведенное здесь моделирование снижения риска бедствий и адаптации к климату дает последовательное представление о потенциальной эффективности выбранных мер по снижению риска землетрясений и наводнений в регионе ЦАРЭС.

Заключение и последствия

Моделирование рисков, проведенное в рамках данной ТП, представляет собой наиболее сложное моделирование, которое на сегодняшний день проводилось в регионе. В результате, подход к моделированию, согласованный на региональном уровне, ценен именно потому, что он оценивает риск наводнений, землетрясений и инфекционных заболеваний в каждом государстве-члене ЦАРЭС на одинаковых условиях. В качестве первой попытки количественно оценить риск бедствий в регионе важно, чтобы этот подход был открыт для исследования и воспроизводился для будущих оценок риска. Например, открытый характер моделирования означает, что работа, проводимая в рамках проекта Всемирного банка по оценке множественных рисков, пять из которых являются странами-членами ЦАРЭС, является взаимодополняющей. Детальный характер проекта Всемирного банка позволит провести обзор и сравнение двух подходов.

Основные цели профилирования рисков и подробное описание подхода к моделированию в этом документе призваны: (i) улучшить понимание риска бедствий и управления рисками бедствий; и (ii) поддержать развитие регионального центра по передаче риска бедствий.

Одной из ключевых проблем, связанных с распространением вероятностного моделирования с высоким разрешением на регион ЦАРЭС, является ограниченная доступность высококачественных данных об опасностях, подверженности, уязвимости и потерях. Эта информация является важным элементом модели, а также помогает при их калибровке и проверке, чтобы гарантировать адекватный учет рисков. Улучшение процедур сбора, хранения и обмена данными должно стать приоритетом в будущем. Стимулирование этой деятельности и внедрение ее в соответствующие ответственные учреждения позволит в будущем усовершенствовать модели рисков и повысить точность результатов моделей. Импульс от разработки и внедрения регионального механизма передачи рисков еще больше усилит эти стимулы.

Несмотря на неопределенности и ограничения, подробно описанные в этом документе, моделирование рисков, проведенное в рамках данной ТП, позволило значительно улучшить понимание риска землетрясений, наводнений и инфекционных заболеваний в регионе. Это обеспечивает прочную основу для обсуждений с ключевыми заинтересованными сторонами во всем регионе, рекомендаций, касающихся финансирования риска бедствий, и будущих приоритетов для поддержки повышения устойчивости в будущем.