

Механизмы реагирования и стратегии построения городской и сельской среды в условиях каскадных последствий тайфунов

— Исследование на примере района Хунцяо города Юэцин

Го Жуй, Ван Цин, Чжан Хуаньван, Чжу Либин

Аннотация: Каскадный эффект тайфунов, характеризующийся цепной реакцией событий, взаимным влиянием множества факторов и накоплением ущерба, представляет серьезный вызов для городской и сельской среды в пострадавших районах. Снижение риска и повышение устойчивости посредством адаптивного строительства стали важной целью развития человеческой среды обитания. В рамках технического подхода «механизмы реагирования — катастрофические процессы — стратегии строительства» проведено эмпирическое исследование каскадных процессов «тайфун — ливневые паводки — наводнения» на примере городских агломераций бассейна реки Хунцяо в городе Юэцин. Исследование выявило три уровня масштабов — морские и наземные базовые системы, особенности бассейна и пространственную организацию городов и деревень, которые формируют каскадный процесс катастроф.

Определены приоритеты управления, ориентированные на контроль процессов, и сформированы строительные единицы городской и сельской среды, объединяющие гидрологические, геоморфологические и социальные требования в рамках цели объединения мер в обычное и экстренное время. Исследование выявило механизмы реагирования городской и сельской среды на каскадные эффекты тайфунов, что позволило уточнить нелинейные механизмы катастрофических процессов тайфунов. На этой основе разработаны стратегии адаптивного строительства с учетом характеристик единиц городской и сельской среды. Данные стратегии и методы могут быть использованы для проектирования адаптивной среды в районах с частыми тайфунами.

Ключевые слова: каскадные эффекты тайфунов; городская и сельская среда; механизмы реагирования; катастрофические процессы; стратегии строительства.

1. Введение: потребность в устойчивом и безопасном строительстве в условиях каскадных последствий тайфунов

1.1 Фон: Проблемы «каскадных эффектов» от ветра, дождя, наводнений, приливов и затоплений

Статистика Всемирной метеорологической организации (ВМО) показывает, что в период с 1970 по 2019 годы 38% мировых смертей и 38% экономических потерь были связаны с тропическими циклонами, что делает их основными среди всех гидрометеорологических

катастроф. В последние годы сложные экстремальные катастрофы, вызванные тайфунами, принесли значительные убытки в затронутых районах, при этом наиболее пострадала провинция Чжэцзян. В 2019 году супертайфун «Ликима» (№ 1909) перед своим и после своего прихода на землю привел к высокому уровню воды в почти всех реках, водохранилищах и шлюзах в бассейне реки Цзяоцзян, однако в городе Тайчжоу все равно выпали сильные дожди. В 16 метеостанциях количество осадков превышало 500 мм, а в 95,5% метеостанций оно было выше 100 мм. Все метеостанции города Линьхай, расположенные в устье реки Цзяоцзян, зафиксировали среднее количество осадков в 337,2 мм, что сделало его центром экстремального дождя, что привело к необходимости использования всего городского пространства для регулирования уровня воды. В 2020 году тайфун «Хагибис» (№ 2004) неожиданно сформировался недалеко от побережья и быстро усилился, в результате чего столкнулись ветер, дождь и прилив, нанеся прямой удар по городу Вэньчжоу. В 2021 году тайфун «Ин-Фа» (№ 2106) оставался на суше рекордные 95 часов. В 2022 году тайфун «Мэйхуа» (№ 2212) вызвал осадки более 300 мм в 70 городах и районах Нинбо, что совпало с астрономическими приливами, приведшими к широкому затоплению. В 2023 году тайфун «Дуксури» (№ 2305) вызвал обширные городские затопления и горные селевые катастрофы в районах Фуцзяни и Чжэцзяна, а его остаточные циркуляции, двигаясь на север, вызвали наводнения в еще более широких районах. Комплексное воздействие ветра, дождя, приливов, наводнений и затоплений, вызванное тайфунами, указывает на то, что в условиях усиления изменения климата и изменения тенденций активности тайфунов такие начальные события могут спровоцировать последующие цепные реакции с сильными взаимодействиями между несколькими факторами, что приводит к расширению рисков во времени и пространстве и вызывает накопление катастрофических потерь, усиливающихся за счет «каскадных эффектов», что становится реальной картиной воздействия тайфунов на городскую и сельскую среду сегодня.

В условиях современных вызовов, связанных с урбанизацией и различными неопределенностями, важным ориентиром становится предотвращение рисков и поддержание динамической безопасности в процессе развития человеческих поселений. В 2021 году в рамках «Пятилетнего плана развития Китая» в первый раз было внесено понятие «координации развития и безопасности», что сделало безопасное развитие одним из основных требований для будущего экономического и социального развития Китая. В ноябре 2023 года во время своей инспекции в Шанхае председатель Си Цзиньпин впервые заявил о необходимости «всеобъемлющего продвижения строительства устойчивых и безопасных городов», подчеркнув важность безопасности и устойчивости в планировании, строительстве и управлении городами. Поэтому активный отклик на стратегию новой урбанизации, строительство устойчивых и безопасных территорий и активное смягчение роста рисков природных катастроф стало важнейшей задачей в текущем строительстве городской и сельской среды.

1.2 Обзор: Тенденции исследований «каскадных эффектов» тайфунов

В последние годы, с углублением понимания взаимосвязей и сложных воздействий между катастрофическими событиями, «каскадные эффекты» тайфунов привлекают все большее внимание. Исследования в этой области сосредоточены на анализе каскадных сценариев, расчетах условий катастроф, количественной оценке рисков катастроф и устойчивости, а также методах адаптивного планирования. Некоторые ученые используют исторические данные о катастрофах или гидрологические данные для создания новых моделей, улучшая объяснение сложности и кросс-скалированности «каскадных эффектов» тайфунов с целью повышения точности принятия решений в области управления рисками катастроф. Другие исследуют модели сопряжения наводнений и сильных ветров, корреляцию тайфунов с наводнениями, столкновения наводнений и штормовых приливов, цепочки «тайфун-наводнение-геологические катастрофы» и множественные угрозы от тайфунов, дождя и астрономических приливов, разрабатывая механизмы катастроф и вероятности рисков для городской инфраструктуры, такой как дамбы, дренажные системы, мосты, промышленное оборудование и инженерные сети, в условиях многократных катастрофических воздействий, и предлагая соответствующие оптимизационные решения. Некоторые исследователи, опираясь на статистические данные, количественно исследуют вероятность возникновения катастроф, распределение рисков, экономические потери, уровень устойчивости в конкретных регионах, но из-за ограничений доступности данных результаты часто касаются глобальных, региональных, водосборных или городских масштабов, а также склонны строить системы оценки устойчивости с акцентом на экономические, социальные, восприятия и инфраструктурные аспекты и разрабатывать макроуровневые стратегии снижения рисков.

В области пространственного планирования и строительства, ориентированного на адаптацию к катастрофам, все большее внимание уделяется механизму связи и положительного взаимодействия между социальными и природными процессами. Например, после урагана «Сэнди» голландская фирма H+N+S предложила концепцию «сосуществования с заливом» в плане восстановления округа Нассо в Нью-Йорке, разработав адаптивную структуру, основанную на пяти типах заливных ландшафтов, таких как песчаные отмели, приливные острова, болота, ручьи и горы, используя динамику формирования ландшафтов как механизм пространственного вмешательства и предлагая городское проектирование, соответствующее гидрологическим и геоморфологическим законам. В Китае также некоторые ученые предложили методы динамического планирования адаптации к наводнениям и затоплениям, обеспечивающие нормальную работу города во время воздействия тайфунов, вместо того, чтобы полагаться только на горизонтальные меры устойчивости для разработки макроуровневых стратегий по снижению рисков. В то же время, некоторые ученые отметили необходимость фокусироваться на межмасштабном строительстве устойчивых городов, чтобы ответить на межмасштабные проблемы, связанные с «каскадными эффектами» тайфунов, что соответствует инициативе ООН по созданию многоуровневых механизмов снижения рисков катастроф. Однако существующие исследования по-прежнему мало уделяют внимания глубокому анализу ключевых факторов, приводящих к «каскадным эффектам» тайфунов, и процессам их развития, что затрудняет предоставление точных рекомендаций для

профилактики, адаптации и смягчения последствий в пострадавших районах. Устойчивость и безопасность городской и сельской среды не должны зависеть исключительно от локализованной оптимизации под определенные технологии или от фокусирования исключительно на совершенствовании идентификации рисков, но должны строиться на ясном понимании нелинейных взаимосвязей, выражаемых через «каскадные эффекты», а также на точном реагировании и строительных методах, способствующих достижению целей нормальной застройки и смягчения рисков экстремальных катастроф, при этом обеспечивая пространственную совместимость.

1.3 Исследовательский путь и значение

Процесс возникновения и развития каскадного эффекта тайфуна включает различные пространственные масштабы, экосистемы и взаимосвязи между городским и сельским строительством. Городская среда, являясь частью более крупной экосистемы, должна стремиться к целостной стратегии взаимодействия человека и природы для адаптации к бедствиям и снижения рисков. Исходя из этого, данное исследование сосредоточено на многомасштабном, многогранном и высоко связанном подходе с целью выявления механизмов адаптации пространственного строительства для смягчения каскадных рисков тайфуна. Основное внимание уделено изучению нелинейных механизмов каскадных процессов катастроф и точных путей практической реализации, с целью предоставить новые идеи для исследований и практики в области маломасштабного планирования для защиты от катастроф в регионе дельты реки Янцзы. Также предполагается, что исследование будет способствовать размышлениям о том, как удовлетворить жесткие требования по управлению рисками в области градостроительства, архитектуры, ландшафтной архитектуры и других дисциплин, открывая новые пути развития для всех этих профессиональных областей.

2. Обзор исследуемой области

2.1 Объект исследования: городская группа бассейна реки Хунцяо в городе Лэцин

Город Лэцин, административно подчинённый городу Вэньчжоу в провинции Чжэцзян, расположен на севере города Вэньчжоу. Лэцин является одним из пилотных районов второго этапа демонстрационной зоны высокого качества развития и общего процветания в провинции Чжэцзян и занимает первое место по валовому региональному продукту среди городов Вэньчжоу. Город находится на западе от гор Янданшань и на востоке от залива Лэцин. Горы Янданшань делят Лэцин на несколько малых речных бассейнов, и исследуемая зона расположена в бассейне реки Хунцяо с площадью 236,28 км². Центральная равнина бассейна окружена горными хребтами, с двумя основными источниками: реками Данци и Мэйци, которые сливаются после выхода из долин. Система рек плотная, прибрежные каналы были преобразованы для хранения пресной воды и соединены с реками, образуя два устья рек, которые сбрасывают воду в залив Лэцин. В «Общем пространственном плане

города Лэцин на 2021—2035 годы» городская группа Хунцяо была объединена с группами Любаи и Лечэн в три центральные группы города Лэцин, как показано на рис. 1.

2.2 Процесс каскадных катастроф: тайфун — дожди — наводнение — затопление

За последние 40 лет тайфуны, обрушившиеся на Вэньчжоу и Тайчжоу, составляют 75% от общего числа тайфунов в провинции Чжэцзян. Город Лэцин, расположенный на границе Вэньчжоу и Тайчжоу, всегда находится на передовой линии воздействия. Несмотря на значительное снижение числа жертв и разрушенных домов от сильных ветров, «наводнение при каждом тайфуне» остаётся нормой.

План по обеспечению водной безопасности города Лэцин на период «14-й пятилетки» выявил проблемы в системе водной безопасности, указывая на риск затоплений, возникающих при сочетании высоких уровней воды и сильных дождей, а также на недостаточную способность к отводке воды в центре группы Хунцяо [23]. «План защиты от горных наводнений города Лэцин» подчеркивает, что Лэцин всегда был районом с высокой степенью риска горных наводнений, которые обычно сопровождаются сильными дождями во время тайфунов [24]. Поэтому дождь, наводнение и штормовые приливы являются связующим звеном между тайфуном и затоплением, и процесс «наводнение при каждом тайфуне» можно резюмировать как каскадный процесс «тайфун — дожди, наводнение, штормовые приливы — затопление», где сильный дождь, горные потоки и штормовые приливы, вызванные тайфуном, образуют затопления. В условиях объективной реальности «не можем утонуть, не можем встать» [23], необходимо проанализировать причины катастроф и разобраться в их взаимосвязях.

3. Механизмы ответа городской и сельской среды на каскадные катастрофы тайфуна

С начала «13-й пятилетки» в районе Лэцин начали предъявляться высокие требования к безопасности и устойчивости в отношении защиты от тайфунов и наводнений, а в «14-й пятилетке» эти требования стали более системными и детализированными, с чётким определением основных стратегий в контексте предотвращения катастроф (таблица 1). В то же время акцент в текущем пространственном планировании смещается в сторону детализированных планов. Таким образом, формулировка механизмов ответа на каскадные эффекты тайфунов с учётом стратегий безопасного развития и акцентов в области пространственного планирования является одним из условий эффективных методов пространственного строительства.

3.1 Трёхуровневая интерпретация каскадного процесса катастроф: «морская и земельная поверхность — особенности бассейна — городское и сельское пространство»

Различные экологические и социальные процессы имеют разные пространственные масштабы, и переход между масштабами является ключевым для понимания кросс-уровневых процессов. В процессе каскадной катастрофы «тайфун — дожди, наводнение,

штормовые приливы — затопление» наблюдается явная деградация масштабов: на макроскопическом уровне преобразование энергии при штормовом воздействии зависит от взаимодействия морской и земельной поверхности; на мезоскопическом уровне гидрологические законы, связывающие дожди, наводнения и штормовые приливы с особенностями бассейна, а на микроскопическом уровне затопление является обратной связью городского и сельского пространства с гидрологическими процессами. На данный момент взаимосвязь между различными субъектами пространственного планирования, такими как городские, экологические, сельскохозяйственные и морские зоны, становится всё более тесной [25], и планирование пространства на разных уровнях всё больше ориентировано на обеспечение устойчивости [26]. Следовательно, понимание механизмов катастроф, анализ факторов их возникновения требует интеграции многомерных и кросс-уровневых подходов, включая морские и земельные особенности, характеристики бассейнов и городское пространство.

3.2 Orientación para la gestión del riesgo en cascada basada en el “control de procesos”

La conversión de energía del tifón, cuando interactúa con la superficie terrestre y marina, es inevitable y solo puede ser mitigada mediante medidas de prevención. Sin embargo, las leyes de acoplamiento hidrológico de las lluvias, inundaciones y mareas, así como la generación de inundaciones internas, representan un choque intenso en el proceso de “agua que entra, personas que entran”. Aunque las leyes de acoplamiento hidrológico, influenciadas por las características de la cuenca, son difíciles de evitar, se pueden mitigar parcialmente mediante la restauración ecológica, la construcción de infraestructuras hidráulicas y ajustes estructurales en el sistema de construcción del entorno urbano y rural.

Por lo tanto, la clave para mitigar el riesgo de los desastres en cascada provocados por los tifones radica en establecer un sistema de gobernanza orientado al “control de procesos”. Este sistema debe fomentar el consumo y la transferencia de la energía dinámica de los procesos hidrológicos, así como retrasar el encuentro de los subprocesos hidrológicos, para guiar eficazmente la planificación y la construcción del entorno urbano y rural.

3.3 Устранение последствий катастроф в рамках целей с координацией “Гидрология—Геоморфология—Потребности” для формирования единиц строительства городского и сельского окружения

Различия в текстуре рельефа приводят к различиям в гидрологических условиях. Некоторые геоморфологические единицы способствуют гидрологическим процессам, в то время как другие могут их ослабить. Следовательно, геоморфологические единицы, которые способствуют смягчению гидрологических подпроцессов, на самом деле являются природными носителями для выполнения функции “контроля процессов” в строительной системе. Направление гидрологических подпроцессов можно использовать в качестве

основы для закрепления геоморфологических единиц, сочетая это с потребностями в развитии городского и сельского строительства, через пространственную планировку и структурную реорганизацию функциональных элементов. Это усилит текстуру геоморфологических единиц и снизит энергию гидрологических подпроцессов, создавая единицу строительства городского и сельского окружения с координацией “Гидрология—Геоморфология—Потребности” (см. рис. 2). Это позволит регулировать прохождение гидрологических подпроцессов, вызванных тайфунами, в различных направлениях, задерживать столкновение подпроцессов и формировать кооперативную структуру, защищающую внутреннюю и нижнюю территорию городов и сельской местности, дополняя слой пространственного управления для предотвращения и снижения бедствий.

4. Стратегия кооперации единиц строительства городского и сельского окружения в городе Юэцин

4.1 «Устойчивый портовый район» для поддержания эффективности снижения приливов на прибрежных отмелях

4.1.1 Подводные склон и топография залива Юэцин способствуют увеличению уровня воды от штормового прилива

Штормовые приливы от тайфуна — это местные колебания морской поверхности или аномальные повышения уровня воды, вызванные сильными ветрами и резкими изменениями давления при прохождении тайфуна. Степень повышения уровня воды обычно является результатом наложения увеличения уровня воды от ветрового давления, пониженного давления и астрономических приливов. Однако особенности рельефа побережья и залива Юэцин также способствуют увеличению уровня воды во время штормового прилива. Средний уклон подводных накапливающихся склонов в прибрежных водах провинции Чжэцзян составляет всего 1‰, и наклон рельефа крайне мал. Глубина подводных склонов в районе Вэньчжоу составляет менее 20 метров, но их ширина достигает 20-50 км. Уменьшение глубины у побережья замедляет скорость продвижения волн, увеличивает высоту волн и повышает уровень воды. В то же время, залив Юэцин имеет типичную топографию сужающегося участка, и по мере того как штормовой прилив продвигается в более узкие зоны, ограничение водного пространства приводит к дальнейшему повышению уровня воды. Статистические данные показывают, что самый высокий уровень воды, зафиксированный на станции Ша Ганто в районе группы Хунцяо, составил 4,57 метра, что было вызвано воздействием тайфуна “Танмэй” в 2013 году.

4.1.2 Расширение портовой зоны усиливает концентрацию приливной энергии

Максимальный прилив в заливе Юэцин может составлять до 8,34 метров, а измеренный максимальный прилив на станции Ша Ганто составляет 7,95 метров. Преобразование гравитационной потенциальной энергии в кинетическую происходит интенсивно, что приводит к высокой водной энергии. С 2000 года прибрежные отмели залива Юэцин постоянно преобразуются в портовые строительные участки, а приливные каналы были перехвачены новыми прудами и водозаборами. Водоотводные каналы внутри прудов были рекультивированы, а приливные каналы за пределами прудов стали развиваться медленнее из-за ослабления гидродинамики. Ранее богатая система притоков деградировала, и не может выполнять свою роль по ослаблению энергии приливов и волн. При этом влияние штормового прилива на защитные дамбы увеличивает нагрузку на их структуру. Хотя структура дамб и защитных сооружений обновляется, основная проблема с усилением концентрации энергии штормового прилива еще не решена.

4.1.3 «Устойчивый портовый район» и восстановление каналов приливного потока

Существующий контрольный детализированный план первой расширенной зоны порта залива Юэцин отверг комплексное освоение прибрежных отмелей и планирует создание сети поверхностных водоемов. Поэтому каждый разделенный водной сетью модуль портовой зоны может быть спроектирован с независимыми кольцевыми стандартными дамбами, создавая модули для защиты от приливов. Это разрушает традиционную модель защиты от приливов, открывая внутреннюю водную сеть как каналы приливных потоков, возвращая пространство для приливов и отливов, тем самым предоставляя несколько путей для распределения давления. В то же время можно обратиться к проекту восстановления экосистемы Bolsa Chica в округе Ориндж, Калифорния, использующему комплексные стратегии, такие как предварительное наполнение песчаных отмелей, дноуглубление приливных бассейнов, создание искусственных островов и укрепление дамб, которые усиливают влияние полного прилива на открытые каналы, создавая условия для роста солончаков и стабилизации песчаных дюн, а также максимально сочетая экосистемные и зоны предотвращения бедствий от приливов. В будущем строительство «устойчивого портового района» в Юэцине должно глубоко понимать механизмы восстановления системы притоков и солончаков, резервировать приливные бассейны и использовать стратегию пространственного замещения для компенсации застройки прибрежных отмелей, оптимизируя организацию пространственных элементов и способствуя процессам сдерживания энергии и водоотведения в случае бедствий, сохраняя баланс осадков и биоразнообразие залива Юэцин.

4.2 Реконструкция функции отвода воды в прибрежной зоне через «экологические перегородки портового города»

4.2.1 Изменения в профильном порядке прибрежной зоны изменяют направление сбора

ВОДЫ

В прибрежной зоне группы Хунцяо, благодаря наличию низких холмов, традиционные поселения располагались на склонах, с сельскохозяйственными участками, расположенными в центре, в то время как прибрежные отмели и приливные каналы оставались гибкими нижними поверхностями, создавая профильный порядок для отвода воды. В настоящее время, с развитием портовой промышленности группы Хунцяо, часть сельскохозяйственных земель была преобразована в или спланирована как коммерческие и промышленные зоны. Новые участки, дороги и сооружения дамб имеют высокие строительные стандарты и elevations, что неизбежно создает небольшие высотные различия между старым и новым покрытием. В то же время, с тем, как старые дамбы утрачивают свою защитную функцию и становятся более слабыми, проблемы с оседанием и деформацией становятся все более распространенными. Даже дамбы, такие как Винтаж и Юйцзы, которые раньше считались эффективными, просели на 80–100 см, что затрудняет их способность защищать сельскохозяйственные участки от наружных наводнений. Когда сток в эстуарии сталкивается с высоким уровнем прилива, поверхностные стоки в прибрежной зоне легко собираются на сельскохозяйственных землях или в центральной равнине на северо-западе.

4.2.2 «Экологическая перегородка портового города» — местное самовыведение потоков

С учетом реализации строительства первой очереди расширения портовой зоны, прибрежная территория будет отведена, образуя промежуточную зону между центральным городом района Хунцяо и портом, которая станет важным сегментом для появления новых форм бизнеса и модернизации образа жизни в рамках интеграции города и порта. Необходимо перераспределить профильное устройство, создать микро-ландшафт для управления потоками, способствующий их местному самовыведению, чтобы замедлить передачу рисков подтопления в сельскохозяйственные угодья и центральные равнины, тем самым придавая значимость региональной перегородке (compartment). Конкретные строительные стратегии следующие:

1. Перераспределение высот на различных профилях

Несмотря на нарушение традиционного порядка от суши к морю, все же можно искать возможности для перераспределения высот в других профилях. Например, снос и перемещение старых прудов на коротких сторонах, освобождая пространство под водоемы или затопляемые экосистемы, что позволит создать подобную системе защиты от паводков модель застройки, повышая вероятность соединения участка с внешней рекой. Новые водоемы или экосистемы должны быть подключены к существующей водной сети, с учетом того, чтобы соединять обрывки рек и проводить работы по очистке, усиливая общую способность водной сети к регулированию.

2. Ограничение границ

В связи с высоким строительным стандартом шоссе Шэньхай, можно внедрить мелкие низко-воздействующие инфраструктурные элементы, такие как водоотводные каналы, травяные каналы, отстойники и другие объекты, на обеих сторонах трассы. Транспортные развязки могут служить большими зелеными зонами для снижения риска природных катастроф, соединяя дренажную систему с элементами низко-воздействующего развития. Также система управления дождевой водой вдоль шоссе Шэньхай может стать каналом для соединения рек Восточный и Западный Ган, способствуя улучшению регулировки водных ресурсов рек.

3. Оборудование «серых» зон

В уже построенной портовой промышленной зоне имеются многочисленные неиспользуемые пустые участки и городские газоны. Из-за однородности населения и видов использования, эти «серые» зоны не играют роли в улучшении экологии или качества городской среды. Эти пространства можно преобразовать в многозначные сплошные зоны для экстренных ситуаций, объединяя с основными объектами отдыха в туристической зоне залива Лэцин, создавая культурные узлы. В обычное время они могут служить для отдыха работников порта и туристов, а в случае стихийного бедствия быстро трансформироваться в водосборные пространства, которые через подземные каналы и технологии инфильтрации будут связаны с подземными застройками.

4.3 Стимулирование совместного сдерживания на склонах с помощью «горных кольцевых барьеров»

4.3.1 Сложный рельеф увеличивает интенсивность тайфунов, а особенности водосборного бассейна приводят к горным наводнениям

Горы Чжэцзяна высокие и сложные, и когда тайфун приближается к суше, горы оказывают влияние на воздушные потоки в нижних слоях атмосферы, поднимая их и замедляя их движение, что приводит к увеличению осадков. Кроме того, конвергенция воздушных потоков в долинах способствует образованию небольших и средних вихрей, что приводит к усилению дождевых бурь в сложном рельефе. Поэтому форма интенсивности тайфунных дождей в Чжэцзяне часто характеризуется резким увеличением после приземления.

Горы вокруг района Хунцяо имеют обворачивающее расположение, на западе — высокие горы, на востоке — низкие холмы более 200 м. Слои вокруг кольцевых склонов имеют наклон более 25%. На западе созданы быстрые горные потоки, в то время как на востоке нет постоянных рек, и процессы слива часто происходят через склоновые потоки. Во время ливней горные потоки могут обрушиться на центральную равнину со всех сторон.

Коэффициент стока представляет собой отношение глубины стока (R) к средней глубине осадков (P) за определенный период, обозначаемый как α . Для закрытого водосборного бассейна, поскольку $R < P$, $\alpha < 1$. Чем выше коэффициент стока, тем менее вода впитывается в почву, что увеличивает нагрузку на дренажную систему во время сильных дождей. Коэффициент стока в районе Хунцяо составляет 0,7, что означает, что около 70% осадков превращаются в поверхностный сток, а способность почвы к инфильтрации ограничена. Например, во время воздействия тайфуна Личима в 2019 году и тайфуна Хигос в 2020 году, осадки в районе Хунцяо составили 341,1 мм и 257,7 мм, соответственно, что привело к общему объему стока около 5,65 млн м³ и 4,26 млн м³, вызвав вспышки горных наводнений.

4.3.2 Отсроченное планирование системы сдерживания паводков на верховьях

Для защиты от горных наводнений район Хунцяо в основном опирается на водохранилище Данси, построенное в 1968 году, и различные дамбы вдоль реки. Однако сложность рельефа на верховьях Мэйси гораздо выше, чем на реке Данси, и поэтому требуется специальное управление паводками. Верховья Мэйси представляют собой небольшой бассейн, окруженный долинами. На западном склоне имеются небольшие конусообразные отложения, а на востоке — речные изгибы перед выходом из долины. Из-за различий в рельефе и гидрологических условиях, зависимость от гидротехнических сооружений недостаточна для сдерживания горных паводков. На данный момент развитие культурного и туристического сектора, а также ускоренное строительство канализаций и дренажных сетей ускоряют процесс, ослабляя функцию сдерживания.

4.3.3 Подчеркивание непроницаемости склонов и недостаточная водная поверхность горных рек

Типы использования земли в районе Хунцяо создают многослойную структуру с лесными территориями, садами, деревнями на склонах, сельскохозяйственными землями и центральными городскими территориями. Особенно на склонах горных долин, при активной застройке и аграрной модернизации, формируются террасированные структуры, способствующие сдерживанию дождевых потоков. Однако индустриализация и урбанизация ускоряют процесс, улучшая поверхностную непроницаемость почвы. Система горных рек в целом имеет низкий уровень, и общая площадь водных поверхностей составляет всего около 0,73 км², что недостаточно для эффективного контроля горных паводков при сильных дождях.

4.3.4 Пространственное совместное управление с “двухуровневыми барьерами” вокруг гор

Горная зона группы Хунцяо и центральная равнина между ней образуют кольцевое

пространство, которое сочетает в себе различные ландшафтные особенности. Необходимо организовать структуру пространства с фокусом на задержку паводков, с использованием общего подхода для реорганизации структуры пространства и создания “горного защитного барьера”. Соответствующие корректировочные стратегии представлены на рисунке 6.

В условиях мелких распределённых долин и аллювиальных конусов важно стремиться к расширению эффективного пространства как вниз, так и вверх. В нижнем направлении следует выявить одноуровневые зоны существующих горных рек, активировать прежнюю водную сеть и модернизировать существующие одноуровневые горные реки в двойную систему, что позволит компенсировать нехватку площадей для накопления воды. В верхнем направлении следует дополнительно разработать горные реки в верховьях бассейна Мэйси, активировать потенциал задержки паводков в бассейне и создать структуру “двух водохранилищ”, которая в периоды штормовых паводков будет снижать нагрузку на нижние районы после выхода вод из водохранилищ Даньси и Мэйси. На этой основе продолжится формирование четырёх типов землепользования в горном пространстве: садов, построенной среды, сельскохозяйственных угодий и мелких водоемов, которые будут совместно работать для задержки паводков. В соответствии с принципами “точечного планирования и вертикальной застройки” для горных деревень и поселков в провинции Чжэцзян, проектирование зданий ограничивается границами их контуров, с учётом рельефа для создания ступенчатой структуры, с использованием приподнятых или полуподземных конструкций для максимального сохранения террасной структуры садов и сельскохозяйственных угодий. Мелкие водоемы могут замедлять сток воды с помощью таких стратегий, как изменение направления водотока или увеличение пространства для накопления воды.

В заключение, несмотря на множество факторов, приводящих к увеличению интенсивности ливней и горных паводков в группе Хунцяо, возможно создать водообщее управление с “двухуровневыми водохранилищами”, а также многослойную структуру “сад—здание—земля—вода”, совместно участвующую в процессе управления паводками, для уменьшения угроз от ливней и горных паводков для нижних районов.

4.4 Создание “водочувствительной сети” для активизации резервных пространств от катастроф

4.4.1 Строительные цели для захвата водных пространств в центральной равнине

Водные пространства в центральной равнине группы Хунцяо имеют ровный рельеф и удобное транспортное сообщение, что делает их основными зонами для расширения урбанизации. Используя данные покрытия земли с разрешением 30 м за период с 1985 по

2020 год, были вычислены тенденции изменений типов землепользования в водных зонах. Результаты показали, что урбанизированная застройка активно захватывает низкие водные сельскохозяйственные земли и экосистемы, что приводит к утрате способности водоемов задерживать и аккумулировать воду. За последние 35 лет в водных зонах на расстоянии 10 м, 30 м и 50 м произошло значительное сокращение площади рисовых полей на 4,35 км², 7,5 км² и 10,5 км² соответственно, а площадь лесных угодий сократилась на 0,4 км², 1,06 км² и 1,71 км², в то время как площадь застроенных территорий увеличилась на 2,79 км², 6,07 км² и 9,28 км². В зоне 50 м рост застроенных территорий и их распределение совпало с целью городской застройки: с 1995 по 2005 годы центр города расширился, полностью зависел от водных зон; с 2005 по 2015 годы интенсивно застраивались водные пространства около выходов с автомагистралей, железнодорожных станций и портов; с 2015 по 2020 годы сельская индустриализация активно захватывала пограничные водные территории в рамках планирования промышленной магистрали Хуннань.

4.4.2 Слабая способность рек к поглощению и защите

Реки бассейна Хунцяо развиты неравномерно, в центральной равнине много низкокачественных прудов и рек, а топография рек и мелких влажных низин не имеет характерных элементов для гашения энергии водных потоков, таких как глубокие ямы, отмели, извилистые реки и водоотводы. Это затрудняет накопление дождевых и паводковых вод. Также в реке дефицит природных прибрежных возвышенностей, что затрудняет формирование естественного барьера для поселений в центральной равнине, что ведет к проблемам с водоотведением и затоплениям.

4.4.3 Слои поглощения вод в “водочувствительной сети”

В будущем замедление скорости перемещения тайфунов приведет к усилению экстремальных осадков, а приближение максимальной интенсивности тайфунов к побережью усилит эффект штормовых приливов. С учетом слабой способности водных пространств группы Хунцяо поглощать и защищать, необходимо создать “водочувствительную инфраструктурную сеть”, чтобы максимально эффективно использовать резервные пространства и снизить нагрузку на систему водоотведения.

“Водочувствительная сеть” может быть организована из пяти подсистем, таких как реки, G-тип зеленых зон и открытых пространств, неотапливаемые зоны типов A/B/M, мини S-тип транспортных зон и карманы на жилых территориях R. В городской застройке следует внимательно планировать эти подсистемы, чтобы создать гибридную систему, которая будет включать механизмы для регулирования потоков воды, восстановления саморегулирующих функций рек и обеспечения защиты от паводков.

5 Заключение

Для того чтобы справиться с вызовами, связанными с «каскадным эффектом» тайфуна, оказывающим влияние на городскую и сельскую среду, данное исследование использует в качестве примера урбанистический район Хонгчяо в городе Лэйцин. Оценивается каскадный процесс «тайфун - дождевая буря - наводнение - внутреннее подтопление». Механизм реакции на чрезвычайные ситуации городской и сельской среды проявляется в трех аспектах: во-первых, с использованием трехуровневой шкалы сбора информации — «морская и сухопутная поверхность - характеристики водосбора - городское и сельское пространство», с акцентом на взаимодействие различных уровней систем (океан, земля, водосборный бассейн, город и сельская местность) и экосоциальных процессов, что способствует усилению понимания взаимодействия между тайфуном и различными системами, что помогает более глубоко объяснить «каскадный эффект» тайфуна. Во-вторых, определение ориентированного на «управление процессом» подхода в оценке каскадных рисков, который направлен на усиление расхода и перемещения кинетической энергии воды в гидрологических процессах, а также на задержку взаимодействий и их объединения, что замедляет влияние урбанистического и сельского строительства на укрепление гидрологических закономерностей. В-третьих, создание строительных единиц городской и сельской среды, согласующих гидрологические, геоморфологические и потребностные аспекты в условиях сочетания с планами по преодолению катастроф, с ориентацией на решение проблем, что способствует интеграции управления рисками катастроф и целей устойчивого развития, с учетом пространственной совместимости. На основе данного подхода проведены количественные расчеты и полевые исследования, которые раскрывают нелинейный механизм катастроф, вызванных тайфунами в районе Хонгчяо, анализируют межмасштабные проблемы пространства, такие как усиление штормовых приливов, неупорядоченные морские оттоки, оползни на склонах, и утрата резервных площадей в центральных равнинах, и в итоге предложены строительные единицы для городской и сельской среды, такие как «устойчивые портовые районы», «экологические барьеры в портовых городах», «горные барьеры», «вода-чувствительные сети» и соответствующие стратегии. Исследование создает согласованный подход к смягчению наводнений, связанных с дождем, паводками и штормовыми приливами, с целью предоставления ориентиров и рекомендаций для создания устойчивой городской среды в регионах, часто подвергающихся воздействию тайфунов.

Примечания:

- ① Данные из Центра выпуска информации о водном положении в Тайчжоу.
<http://www.shui00.com/ZhswFloodWater/web/html/index.html?module=wssyq>
- ② Данные из «Китайского метеорологического ежегодника по природным катастрофам (2004-2021 гг.)», сайта Китая Тайфун и документы, опубликованные соответствующими ведомствами провинции Чжэцзян.
- ③ Данные из «Плана строительства проекта обеспечения безопасности водных ресурсов в

Лэйцине (2020-2030 гг.)».

http://www.yueging.gov.cn/art/2020/12/7/art_1229265762_25141.html

④ Данные из водного бюро Лэйцина.

⑤ Данные из Института аэрокосмической информации Китайской академии наук.

<https://doi.org/10.5281/zenodo.8239305>

⑥ Данные из отчета о водных условиях в Вэньчжоу, август 2020 г.

http://wzsl.wenzhou.gov.cn/art/2020/8/11/art_1324820_54270962.html

Список литературы

[1] Всемирная метеорологическая организация (WMO). Атлас смертности и экономических потерь от экстремальных погодных, климатических и водных явлений (1970-2019) [EB/OL]. 31 октября 2023. <https://library.wmo.int/records/item/57564-wmo-atlas-of-mortality-and-economic-losses-from-weather-climate-and-water-extremes-1970-2019#.YS4KedP7TX0>.

[2] Дин Е. “Мэйхуа” — степень интенсивности катастроф: от очень сильного до серьезного [N]. Ningbo Daily, 16 сентября 2022 (A2).

[3] Министерство по чрезвычайным ситуациям Китайской Народной Республики. Выпуск о природных бедствиях в Китае за первые три квартала 2023 года [EB/OL]. 2 ноября 2023. https://www.mem.gov.cn/xw/yjglbgzdt/202310/20231008_465002.shtml.

[4] Вэй Цзючан. Риск, сопряженный и каскадный: Причины сложности эволюции социальных новых рисков [J]. Journal of Learning Sea, 2019(4): 125-134.

[5] UNDRR. Исследование по комбинированным, каскадным и системным рискам в Азиатско-Тихоокеанском регионе [EB/OL]. 31 января 2024. <https://www.undrr.org/publication/scoping-study-compound-cascading-and-systemic-risks-asia-pacific>.

[6] Центральное правительство Китайской Народной Республики. 14-й пятилетний план социально-экономического развития и ориентировочная цель на 2035 год [EB/OL]. 20 июня 2023. https://www.gov.cn/xinwen/2021-03/13/content_5592681.htm.

[7] ТАНГ П., ЧЖОНГ В., ВЭН Цз. и др. Разработка и понимание сценариев каскадных эффектов тайфунов в прибрежных мегаполисах с системной точки зрения для уменьшения рисков бедствий: пример Шэньчжэня, Китай [J]. International Journal of Disaster Risk Reduction, 2023, 92: 103691.

[8] ЧЖАНГ Ц., ЛУЙ И., ХУД и др. Моделирование воздействия тайфунов на комбинированные наводнения и оценка экстренной реакции в городских районах [J]. Ocean and Coastal Management, 2023, 245.

[9] ЛАН Мэн. Механизм катастроф и оценка рисков при бедствиях от многократных стихийных бедствий в прибрежных промышленных кластерах [D]. Университет науки и технологий Китая, 2022.

- [10] СЮ Вэй, ЛЮ Пэй, ХУАН Пэнфэй и др. Совмещение рисков наводнений и приливов в речных участках бассейна реки Чжуцзян [J]. Гидрология, 2023, 43(2): 110-114.
- [11] ЯН Хайянь, Е Гуйхун, ЧЖОУ Гуанью и др. Анализ и оптимизация системы дренажа и защиты от наводнений в городских водных системах при встрече с дождем и приливом [J]. Наука и технологии в инженерии, 2019, 19(21): 271-277.
- [12] СНАИКИ Р., ВУ Т., УИТТАКЕР А. С. и др. Воздействие ураганных ветров и штормовых наводнений на прибрежные мосты в условиях изменения климата [J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2020, 2674(6): 23-32.
- [13] СИЕ Лэй, ЧЖОУ Пэнфэй, ЯН Хуньи и др. Исследование устойчивости инженерных объектов в прибрежных районах Китая на фоне изменения климата: пример города Нинбо [J]. Градостроительство, 2022 (S2): 81-88.
- [14] ВАН ЦИН. Моделирование тайфунов в прибрежных регионах Китая и исследование рисков от штормов в условиях изменения климата [D]. Zhejiang University, 2022.
- [15] ВАН ТИН, У ШАОХОН, ГАО Цзябо и др. Оценка способности к снижению рисков в регионе от цепочки тайфун — наводнение — геологические катастрофы [J]. Теория о бедствиях, 2022, 37(4): 193-200.
- [16] СЮ Хонши, ЛЯН Цицзянь, БИН Линли и др. Совместное распределение факторов риска в условиях тайфунных катастроф [J]. Географические науки, 2018, 38(12): 2118-2124.
- [17] ЦЗЭН Пэн, СУ Чжаохуэй, ФАН Вэйхуа и др. Оценка потерь от вторичных наводнений в городе Хайкоу на основе высокоточных данных о типах зданий [J]. Теория о бедствиях, 2022, 37(4): 155-165.
- [18] ВАН ЦЯНВЭН, ЧЖАО Гуанью, ЦЗЭН Цзянь. От “оппозиции” к “единству”: исследование путей развития городской земельной застройки, сочетающих экономическое развитие и защиту экологии [J]. Градостроительство, 2022, 46(12): 110-120.
- [19] Rebuild by Design. Жизнь с заливом [EB/OL]. 30 июня 2022.
<https://rebuildbydesign.org/work/funded-projects/living-with-the-bay/>.
- [20] ЧЕНЬ БИЛИН, ЛИ ИНГЛОН. Оценка адаптивных трансформаций высоко плотных прибрежных городов в условиях наводнений: пример района Хонгшу в Шэньчжэне [J]. Градостроительство, 2023 (4): 77-86.
- [21] ГУО РУЙ, ВАН ЧЖУ, ЦЮО ЧЖИ и др. Адаптивные стратегии для жилищного строительства в условиях наводнений и осадков при тайфунах: исследование прибрежных равнин Чжэцзяна [J]. Журнал западных исследований, 2022, 37(6): 52-58.
- [22] ПЭН СЮНЛЯН, ЦЗЯН ХОНГЦИН, ХУАН ДУО и др. Пространственная стратегия устойчивости в Большом заливе Гуандун-Гонконг-Макао в ответ на климатические условия тайфунов [J]. Исследования городской застройки, 2019, 26(4): 55-62.
- [23] Правительство города Лэцин. План обеспечения водной безопасности города Лэцин на “14-й пятилетний план” [EB/OL]. 25 октября 2023.
http://www.yueqing.gov.cn/art/2021/12/31/art_1229597093_4006343.html.

- [24] Правительство города Лэцин. Офис правительства города Лэцин о разработке “Плана по предотвращению горных паводков в Лэцине” [ЕВ/ОЛ]. 5 марта 2024.
https://www.yueqing.gov.cn/art/2022/6/9/art_1229145288_1999343.html.
- [25] ПАН ХАЙСЯО, ДАЙ ШЕНЧЖИ, ЧЖАО ЯНЦЗИН и др. “Устойчивость городов и пространственное планирование в ответ на изменение климата” [J]. Градостроительство, 2021 (5): 1-10.
- [26] ДАЙ ШЕНЧЖИ, ЛЮ ТИНТИН, ГАО СЯОЮ и др. Система и механизмы планирования для уменьшения рисков от бедствий и бедствий в национальном пространственном плане [J]. Градостроительство, 2023 (1): 48-53.
- [27] ГУО РУЙ, ВАН ЧЖУ, ЧЖЭН ЮАН и др. Концептуальные представления и строительные стратегии для адаптации к наводнениям в жилых районах в условиях каскадных катастроф: исследование [J]. Новые здания, 2022 (6): 129-133.
- [28] ЯН ВЭНТАО, РЕН ЦЗЕ, ЧЖАН ШАНГУ и др. Устойчивое городское планирование в Шанхае: ключевые вопросы, общая структура и стратегии планирования [J]. Журнал градостроительства, 2022 (3): 19-28.
- [29] ЛИ ШАНЛУ, ЦЗЭН ЦЗЯНЬ, ЧЖУ Е и др. Тайфуны и штормовые наводнения в Чжэцзяне: 1949-2020 [М]. Пекин: Издательство океанологии, 2021.
- [30] ЦАО ЧАО, ЦАЙ ФЭН, ЧЖЭН ЮНГЛИН и др. Характеристики подводного рельефа и профиля в прибрежных водах Китая [J]. Журнал Университета Центрального и Южного Китая (естественные науки), 2014, 45(2): 483-494.
- [31] ЦАЙ ФЭН. Атлас прибрежных вод Китая, подводный рельеф и форма дна [М]. Пекин: Издательство океанологии, 2016.
- [32] Комитет по составлению Китая: Китайский атлас заливов (том 6: Южные заливы провинции Чжэцзян) [М]. Пекин: Издательство океанологии, 1993.
- [33] СЯ ЖУОЦИ, ХАНЬ ЧЖИЮАНЬ, СЮ ТИН. Гидродинамические и осадочные характеристики залива Лэцин [J]. Порты и каналы, 2014 (5): 503-508.
- [34] Wetlands Recovery Project. Восстановление болот Болса Чика [ЕВ/ОЛ]. 6 декабря 2023.
<https://scwrp.org/projects/bolsa-chica-lowlands-restoration/>.
- [35] ЧЕНЬ ЛИАНШОУ, СЮ ИНГЛОН. Обзор сильных дождей и тайфунов в Китае [J]. Метеорология и экологические науки, 2017, 40(1): 3-10.
- [36] ЛОУ СЯОФЭН, МА ХАО, ХУАН СЮАНЬСЮАНЬ и др. Причины экстремальных осадков от тайфуна “Личима” в Чжэцзяне [J]. Метеорологические науки, 2020, 40(1): 78-88.
- [37] ВАН КАЙ, ЛИ ЮАН, ГАО ЛИ и др. Влияние рельефа Восточного Чжэцзяна на характер тайфунов: пример тайфуна № 1909 “Личима” [J]. Океанические прогнозы, 2022, 39(1): 11-20.
- [38] Ю ЖЭНЬШОУ, ЦЗИ ЧУНШЯО, ДОН МЭЙИН и др. Статистическое исследование увеличения интенсивности дождевых осадков и тайфунов в Чжэцзяне [J]. Метеорология,

2017, 43(12): 1496-1506.

[39] Управление водных ресурсов и гидроэнергетики города Лэцин. Лэцинский водный атлас [М]. Нанкин: Издательство Университета Хэхай, 1994.

[40] KNUTSON T R, MCBRIDE J L, CHAN J, и др. Тропические циклоны и изменение климата [J]. Nature Geoscience, 2010, 3 (3): 157-163.

[41] PATRICOLA C M, WEHNER M F. Антропогенные влияния на основные события тропических циклонов [J]. Nature, 2018, 563 (7731): 339-346.

[42] WANG S, TOUMI R. Недавняя миграция тропических циклонов к побережью [J]. Science (Американская ассоциация содействия науке), 2021, 371(6528): 514-517.