



Federal Ministry
for the Environment, Climate Action,
Nature Conservation and Nuclear Safety



INTERNATIONAL
CLIMATE
INITIATIVE



**ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ВОДОЙ,
ЭНЕРГИЕЙ И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕМ**
Системные решения для климатически устойчивой Центральной Азии

Опыт межбассейновой переброски стока в Китае



НИЦ МКВК

Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной
водохозяйственной комиссии
Центральной Азии

Ташкент 2026

Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии
Центральной Азии

Опыт межбассейновой переброски стока в Китае

Ташкент 2026

Подготовлено и издано при финансовой поддержке проекта «Региональные механизмы для низкоуглеродной и климатоустойчивой трансформации взаимосвязи энергии, воды и земли в Центральной Азии», реализуемого ОЭСР, НИЦ МКВК и ЕЭК ООН за счет средств Федерального министерства окружающей среды, борьбы с изменением климата, охраны природы и ядерной безопасности (BMUKN) в рамках Международной климатической инициативы (IKI)

Содержание

Введение.....	5
Проект переброски стока рек с юга на север	12
Общие сведения.....	12
Критика и альтернативы.....	15
Переброска воды с юга на север Китая: обзор и значение за пределами страны	20
Комплексная оценка межрегиональных выгод проекта переброски воды с юга на север в Китае	51
Строить или не строить: западный маршрут китайского проекта по переброске стока с юга на север	79
Между проектом и регионом: проблемы управления водой в провинции Шаньдун после ввода проекта переброски воды с юга на север.....	83
Вспомогательные проекты переброски вод	92
Проект переброски воды из реки Янцзы в реку Хань	92
Проект переброски стока в провинции Сычуань.....	94
Проект переброски воды в Центральный Юньнань	97
Проект переброски воды из Хуанхэ в Ваньцзячжай и его роль в восстановлении бассейна Юндинхэ	100

Введение

Китайская Народная Республика реализует крупнейший в мировой практике комплекс межбассейновой переброски водных ресурсов, известный как проект «Переброска вод с юга на север» (South to North Water Diversion Project). Необходимость проекта объясняется сочетанием двух устойчивых факторов. Первый фактор заключается в ограниченности водных ресурсов на фоне очень высокого водопотребления крупной экономики и многочисленного населения. В публичных источниках это часто формулируют как разрыв между долей населения мира и долей мировых запасов пресной воды, приходящихся на Китай. Второй фактор связан с резкой территориальной неравномерностью водных ресурсов внутри страны: водоизбыточные районы сосредоточены главным образом в бассейне Янцзы и южнее, тогда как северная часть Китая, где размещены крупные города, промышленность и значительная доля орошаемого земледелия, исторически испытывает дефицит воды и повышенную зависимость от подземных вод. В результате межбассейновая переброска рассматривается не как отдельный «канал», а как системное решение для перераспределения ресурсов и снижения водохозяйственных рисков (международное и региональное значение проекта рассматривается в статье «Переброска воды с юга на север Китая: обзор и значение за пределами страны»).



Проект «Юг Север» является не просто строительством одной линии, а формированием национальной водной сети, то есть каркаса, который соединяет ключевые бассейны страны и создаёт условия для гибкого управления водными потоками на большой территории. В проектной архитектуре заложены три маршрута переброски: восточный, центральный и западный. В программных оценках, широко цитируемых в аналитических обзорах, целевой показатель проекта к горизонту 2050 года формулируется как переброска порядка 44,8 миллиарда кубических метров воды в год. В тех же обзорах указывается общая протяжённость магистральных и вспомогательных линий порядка 4350 километров. Важно отметить, что эти значения относятся к масштабу всей системы, а не к уже введённым участкам, поскольку проект изначально задуман как долгосрочный и поэтапный.

Состояние реализации на сегодня можно описать следующим образом. Восточный и центральный маршруты введены в эксплуатацию в первой половине 2010-х годов и функционируют, обеспечивая переброску воды на северные территории. Западный маршрут остаётся наиболее сложной и капиталоемкой частью системы и по состоянию на середину 2020-х годов продолжает рассматриваться как проект на стадии планирования и предварительных проработок. При этом крайне важно понимать, что даже для введённых маршрутов «завершение строительства» не означает завершение проекта в управленческом смысле. После ввода магистрали начинается длительный период адаптации: присоединение региональных водопроводных и ирригационных сетей, строительство и модернизация распределительных узлов, настройка режимов учёта, качества воды и тарифов, а также согласование водохозяйственных балансов на уровне провинций и городов (см. статью «Между проектом и регионом: проблемы управления водой в провинции Шаньдун после ввода проекта переброски воды с юга на север»). Именно этот этап часто определяет фактическую эффективность переброски не меньше, чем сама магистраль.

Инженерный замысел китайской системы принципиально дифференцирован: на разных маршрутах по-разному сочетаются новое строительство и использование исторически сложившейся водной инфраструктуры. Это один из важнейших уроков проекта, потому что он показывает, что «переброска» может реализовываться разными способами в зависимости от рельефа, качества воды, плотности населения и наличия готовых водных коридоров.

Восточный маршрут в значительной степени опирается на существующую водную инфраструктуру востока Китая. Его идея состоит в том, чтобы использовать уже имеющийся водный коридор, прежде всего Великий канал, который исторически создавался для водного транспорта и

связки регионов, а также систему рек, озёр и водохранилищ, которые можно использовать для аккумуляции и регулирования потока. Использование такого коридора действительно позволяет сократить объёмы земляных работ и отчуждения земель по сравнению со строительством полностью нового канала на всём протяжении. Однако важно не упрощать: восточная линия не является простым «пуском воды по старому руслу». Рельеф местности повышается к северу, поэтому вода не может идти самотёком на всём протяжении. По этой причине восточный маршрут опирается на каскад насосных станций, которые поднимают воду и обеспечивают её передачу на север. В источниках встречается формулировка о многоступенчатой системе с двузначным числом насосных ступеней, а также сведения о том, что часть насосной инфраструктуры существовала ранее и была модернизирована, а часть построена заново именно в рамках проекта переброски. Таким образом, по восточному маршруту одновременно присутствуют три слоя инфраструктуры: исторический водный коридор, модернизированные элементы прежней водохозяйственной системы и новые насосные и сопрягающие сооружения, без которых режим переброски невозможен.

Отдельная и принципиальная составляющая восточного маршрута связана с качеством воды. Поскольку используются водные пути, на которые длительное время воздействовали промышленность, сельское хозяйство и городские стоки, проект потребовал усиленного комплекса мер по водоочистке и санитарной защите. На практике это означает, что часть капитальных вложений «переброски» на востоке приходится не столько на трассу как таковую, сколько на очистные мощности, защитные зоны и меры по снижению загрязнения на участках, влияющих на качество воды (см. «Комплексная оценка межрегиональных выгод проекта переброски воды с юга на север в Китае»). В инженерном отношении важным элементом стали пересечения крупных рек и препятствий, включая решения для пересечения Хуанхэ, которые требуют специальных тоннельных и сифонных конструкций. Это ещё раз подтверждает, что использование существующего коридора не отменяет необходимости нового строительства в наиболее сложных узлах.

Центральный маршрут устроен иначе. Он в большей степени представляет собой новое магистральное строительство, рассчитанное на самоотёчную подачу воды, и потому предъявляет особые требования к точности гидравлических отметок, к защищённости трассы и к эксплуатационному контролю. Источником воды для центрального маршрута является водохранилище Даньцзянкоу на реке Ханьшуй. Само водохранилище было создано ранее, но для целей переброски его параметры были существенно модернизированы, что стало одним из ключевых технических и социально чувствительных решений проекта. Нарращивание плотины и изменение ре-

жимов водохранилища позволили обеспечить необходимые напоры и стабильность самотёчной схемы, но одновременно привели к затоплению дополнительных территорий и к переселению населения. В публичных и аналитических материалах устойчиво фигурирует масштаб переселения в сотни тысяч человек, связанный с центральной линией и расширением водохранилища. При корректном изложении эти оценки следует воспринимать как порядок величины и диапазон, поскольку разные источники по-разному учитывают переселение в зоне водохранилища и вдоль трассы.

С точки зрения «нового или существующее» центральный маршрут можно описать как сочетание реконструируемого источника и новой магистрали. Источник и крупный регулирующий узел существовали ранее и были доработаны под новую функцию, а основная трасса от источника к северным агломерациям создавалась как новая инженерная система, включающая многочисленные акведуки, тоннели, закрытые участки и сложные пересечения. Важной особенностью центрального маршрута в публичных описаниях является усиленный режим защиты качества воды, то есть стремление максимально изолировать канал от внешних загрязнений и обеспечить подачу воды питьевого качества. В управленческой логике это означает, что центральный маршрут не только «передаёт воду», но и переносит на принимающие регионы обязательство поддерживать строгие правила охраны, санитарных зон и контроля вдоль трассы.

Западный маршрут существенно отличается от первых двух. Его концепция связана с переброской воды из верховьев южных бассейнов к северо-западу страны через высокогорные территории. В аналитической литературе этот маршрут описывают как наиболее сложный из-за геологии, высот, сейсмичности, необходимости длинных тоннелей и высоких требований к безопасности. В отличие от восточного маршрута здесь практически нет возможности опереться на готовый исторический водный коридор, сопоставимый по масштабу. Поэтому западный маршрут, если он будет реализован в полном виде, предполагает преимущественно новое строительство в экстремальных природных условиях. Именно по этой причине он и остаётся на стадии длительных проработок и обсуждений (см. детали в статье «Строить или не строить: западный маршрут китайского проекта по переброске стока с юга на север»).

Параллельно с основным трёхмаршрутным проектом Китай реализует крупные сопряжённые проекты, которые повышают надёжность национальной водной сети и решают более локальные задачи. Это принципиально важный момент: китайская стратегия не сводится к одному «мегаканалу», а формирует многоуровневую систему, где магистральные линии дополняются региональными перебросками, подпиткой донорских бассейнов и новыми регулирующими узлами. Такая логика позволяет компенсиро-

вать негативные эффекты изъятий, повышать устойчивость к засухам и обеспечивать водоснабжение быстрорастущих агломераций.

К числу стратегически значимых сопряжённых проектов относится проект, который обычно описывают как переброску воды из района Трёх ущелий для подпитки системы Ханьшуй ниже Даньцзянкоу. Его управленческий смысл состоит в компенсации части воды, которая отбирается из системы Ханьшуй для отправки на север по центральному маршруту. Такая компенсация снижает нагрузку на донорский бассейн, поддерживает экологические и хозяйственные режимы ниже по течению и создаёт условия для повышения фактической пропускной способности центральной линии в перспективе. По публично доступным данным этот проект относится к дорогостоящим объектам национального уровня, реализуемым как часть «второго контура» устойчивости центрального маршрута (см. «Проект переброски воды из реки Янцзы в реку Хань»).

Другой показательный блок связан с региональными перебросками в Юньнани и Сычуани (см. «Проект переброски воды в Центральный Юньнань» и «Проект переброски стока в провинции Сычуань»). Проект переброски воды в центральные районы провинции Юньнань демонстрирует современную технологическую тенденцию: переход к трассам, где подавляющая часть проходит в тоннелях. Такой выбор уменьшает конфликты землепользования на поверхности и повышает защищённость трассы, но резко увеличивает геотехническую сложность, капиталоемкость и требования к мониторингу и эксплуатации. В публичных описаниях этого проекта встречаются параметры общей протяжённости порядка шести сотен километров с преобладанием тоннельных участков, а также ориентация на водоснабжение миллионов жителей, включая крупные городские центры. Принципиально, что подобные проекты реализуются в той же идеологии «национальной сети», но решают задачи регионального дефицита независимо от магистральной переброски «Юг Север».

Для Сычуани в конце 2025 года в публичных источниках описывался старт нового проекта переброски воды из реки Дадухэ в сторону системы, питающей равнину Чэнду. Важность этого примера в том, что новая переброска не «строит водоснабжение с нуля», а встраивается в уже существующую водохозяйственную и ирригационную основу региона, включая историческую систему Дуцзяньян. То есть современная тоннельная и трубопроводная инфраструктура создаётся как дополнительный контур надёжности для давно функционирующей системы, что является характерной чертой китайского подхода: не замена старого новым, а наращивание устойчивости через добавление источников и связей.

Отдельно стоит отметить проекты на Хуанхэ, которые демонстрируют ещё один важный аспект китайской политики: использование пере-

броски не только для водоснабжения и промышленности, но и для экологической поддержки речных экосистем. В публичных материалах по некоторым проектам на Хуанхэ упоминается направление части перебрасываемой воды на восстановление стока в отдельных реках и участках, в том числе для обеспечения более устойчивого режима течения через столичный регион. Это расширяет понимание роли перебросок: они становятся инструментом не только распределения ресурса, но и управления экологическими режимами в условиях урбанизации и изменения климата (см. подробнее «Проект переброски воды из Хуанхэ в Ваньцзячжай и его роль в восстановлении бассейна Юндинхэ»).

С точки зрения рисков и «узких мест» китайский опыт показывает, что ключевые проблемы часто лежат за пределами чисто инженерного проекта. Первое, что постоянно проявляется в исследованиях и практике, это зависимость эффективности переброски от способности принимающих регионов интегрировать магистральную воду в свои сети, обеспечить финансирование, тарифную дисциплину и режимы потребления. Даже при наличии магистрали фактические объёмы подачи и социально экономический эффект могут ограничиваться неподготовленностью распределительной инфраструктуры, конфликтами водопользования и несоответствием тарифов реальным затратам. Второй блок связан с качеством воды и санитарной защитой, особенно на маршрутах, использующих исторические водные коридоры и водоёмы, куда поступали загрязнения. Здесь требуется постоянный и дорогостоящий режим контроля, а не разовая «очистка при запуске». Третий блок рисков относится к донорским бассейнам: изъятие воды неизбежно создаёт напряжение ниже по течению, что требует компенсирующих решений, таких как подпитывающие проекты и жёсткие экологические ограничения. Четвёртый блок связан с социальными последствиями, прежде всего с переселением, которое становится структурной ценой таких мегапроектов. Пятый блок касается усложнения технологий: переход к сверхдлинным тоннельным системам повышает требования к геомониторингу, безопасности и управлению аварийными рисками.

В целом стратегия Китая в области переброски водных ресурсов представляет собой формирование единой национальной водной сети, в которой магистральные каналы и водоводы, как модернизированные на основе существующих коридоров, так и построенные заново, увязаны с региональными перебросками, компенсирующими и подпитывающими проектами, а также с новыми регулирующими узлами на крупных реках. На уровне инженерной логики прослеживается последовательное усложнение: от решений, основанных на равнинных водных путях и каскадах насосных станций, к проектам, где доминируют длинные тоннели и высокие требования к устойчивости и безопасности. На уровне управления проект демонстрирует, что межбассейновая переброска является постоянным про-

цессом, где устойчивость результата определяется измеримыми обязательствами по эксплуатации, прозрачными процедурами качества воды, сопоставимыми данными, финансовой устойчивостью и заранее согласованными протоколами на случай дефицита и чрезвычайных ситуаций.

Проект переброски стока рек с юга на север

Общие сведения

Китай остро испытывает дефицит водных ресурсов: при 20% населения мира на его долю приходится лишь 5,8% глобальных запасов пресной воды. Обеспеченность водой на душу населения здесь на 75% ниже среднемировой. При этом водные ресурсы распределены крайне неравномерно: свыше 80% сосредоточены на юге страны, в бассейне Янцзы и южнее, где регулярно происходят разрушительные паводки.

Север Китая, напротив, хронически страдает от нехватки воды. Наиболее критическая ситуация сложилась в регионе трех рек – Хуанхэ, Хуайхэ и Хайхэ, охватывающем Пекин-Тяньцзинь-Хэбэй и ряд густонаселенных и промышленных провинций. Здесь водообеспеченность на душу населения составляет лишь 1/8 от общенационального уровня и около 3% от среднемирового показателя. Несмотря на то, что самым засушливым регионом является Синьцзян, именно трехречье испытывает наибольшую нагрузку из-за высокой плотности населения и концентрации промышленности и сельского хозяйства.

Проект переброски водных ресурсов с юга на север Китая был впервые предложен в 1953 г. Линь Ишанем, тогдашним руководителем Комиссии по реке Янцзы. Инициатива возникла как ответ на необходимость одновременно решить проблему дефицита воды в Северном Китае и снизить риск наводнений в южных регионах страны. После выдвижения идеи проект стал объектом масштабных и длительных исследований, которые продолжались около 50 лет. Основную роль в их проведении играли Министерство водных ресурсов Китая и Комиссия по реке Янцзы.

Начало проекта: 2002 г.

Планируемое окончание проекта: 2050 г.

Бассейны рек: четыре основные реки Китая – Янцзы, Хуанхэ (Желтая), Хуайхэ и Хайхэ

Схема проекта: Восточный, Центральный и Западный маршруты



Стоимость проекта: 62 млрд. долл. США (все три маршрута)

Официальная первоначальная расчетная стоимость восточного и центрального маршрутов – около 15 млрд. долл. США

Таблица

Гидроэкономическая характеристика проекта переброски воды с юга на север Китая (SNWDP) и его трёх маршрутов

Проект / маршрут	Оценочный объём переброски (км ³ /год)	Протяжённость (км)	Оценочная стоимость (млрд долл. США)	Год ввода в эксплуатацию
Проект в целом	44,8	4350 ¹	62–120	2050
Восточный маршрут	14,8	1155	—	2013
Центральный маршрут	13,0	1267	37,44–81 ²	2014
Западный маршрут	17,0	300	39,0	2050

Примечания: ¹Включает основные и вспомогательные каналы. ² Включает Восточный и Центральный маршруты; нижний диапазон – официальные оценки (в литературных источниках приводятся различные оценки стоимости: 47 млрд долл. США, 79,4 млрд долл. США и 81 млрд долл. США).

Расчетный объем перебрасываемой воды в год: 44,8 км³ (проект предусматривал забор воды из нижнего, среднего и верхнего течения реки Янцзы и строительство сети из рек). По официальным сообщениям перебросил 76,7 млрд. кубометров за последнее десятилетие.

Центральный маршрут: канал, берущий начало от водохранилища Даньцзянкоу на реке Ханьшуй, входящей в систему реки Янцзы. Часто называемый «Великим акведуком», этот канал использует каскад плотин для формирования самотёчного режима, обеспечивая непрерывное водоснабжение Пекина. Расход в точке головного водозабора в канал составляет 350 м³/с. Есть также инженерные сведения о других сегментах центрального маршрута (акведуки, трубопроводы) с максимальными значениями порядка 420 м³/с.¹ Строительство предусматривало два тоннеля с внутренним диаметром 8,5 м, протяжённостью около 7 км, с расчётным расходом 500 м³/с. Реализация проекта центрального маршрута привела к вынужденному переселению свыше 300 тыс. человек.

Восточный маршрут: основан на существующей межбассейновой системе в провинции Цзянсу (Гранд канал) и предусматривает забор воды из реки Янцзы с использованием 13 каскадов насосных станций; в качестве основного канала планируется использовать судоходный канал Пекин–Ханчжоу с привлечением четырех естественных озёр и проектируемых водохранилищ для аккумуляции и регулирования стока, при этом на пересечении с Хуанхэ (Желтая река) предусматривалось сифонное сооружение. Самый часто упоминаемый инженерный показатель связан с насосной станцией на участке забора воды из Янцзы в районе Цзянду. Проектная пропускная способность насосной станции на восточном маршруте: около 400 м³/с.²

Западный маршрут: наиболее сложный с инженерной точки зрения (высокогорье, тоннели большой длины, геориски, капиталоемкость) и дорогостоящий. Должен отводить до 20 млрд. куб. метров воды из трех притоков верхней Янцзы и через систему туннелей доставлять воду в верховья Желтой реки. Находится в стадии подготовки.

Проект переброски воды с юга на север Китая связан с рядом инженерно-геологических и экологических рисков, включая нестабильность

¹ <https://henry.baw.de/server/api/core/bitstreams/69c38e48-0801-42e9-a8d7-ef09d9da0cfa/content>

² https://en.wikipedia.org/wiki/South%E2%80%93North_Water_Transfer_Project

склонов, сложенных из глин, склонных к разбуханию (160 км или 12% протяженности проекта), засоление почв и деформации поверхности вдоль Центрального маршрута, а также ухудшение экологического состояния нижнего течения реки Ханьцзян из-за сокращения стока и усиления эвтрофикации. Для Восточного маршрута ключевыми проблемами являются загрязнение каналов и водоёмов системы переброски, а также риск вторичного засоления принимающих территорий, что требует строгого контроля качества воды и инженерных защитных мер. Проект оказал серьёзное воздействие на водные экосистемы, прежде всего на рыбные популяции. Кроме того, переброска воды с юга на север сопровождалась возникновением непредвиденных рисков, включая перенос водных патогенов и заболеваний. Например, паразитарные заболевания, переносимые пресноводными улитками и ранее характерные для южных районов Китая, в настоящее время представляют угрозу для северных регионов. Таким образом, долгосрочная жизнеспособность остаётся предметом обсуждения в виду высокой стоимости эксплуатации такой грандиозной системы и серьезных эколого-социальных последствий.

Критика и альтернативы

Социальные и экологические последствия китайского водного проекта³

Несмотря на свои грандиозные масштабы и амбиции, проект переброски воды с юга на север привел к возникновению серьезных экологических и социальных проблем. Масштабная перестройка ландшафтов и экосистем повлияла не только на непосредственные районы вдоль каналов.

Водные ресурсы

Западный маршрут является самым спорным из трех, строительство которого еще не началось. Планируется направить воду из реки Йи в районе Тибетского нагорья в засушливые регионы Внутренней Монголии,

³ Источник: Kaif Shaikh. The new Great Wall: China's \$70 billion, 2,700-mile water transfer mega-project / <https://interestingengineering.com/culture/china-largest-infrastructure-project> Опубликовано 1.01.2025

Цинхая и Ганьсу. Однако этот маршрут продолжает сталкиваться с серьезными экологическими и политическими проблемами.

Тибетское нагорье – это важнейший источник воды для других крупных азиатских рек, таких как Меконг и Брахмапутра, которые обеспечивают водными ресурсами страны за пределами Китая. Отвод воды из этих рек вызывает опасения по поводу влияния на страны, расположенные ниже по течению, и усиливает напряженность в регионе.

Экологические последствия

Проект кардинально изменил природные экосистемы, особенно вдоль Восточного маршрута, который в значительной степени зависит от озер и рек-притоков. Эти изменения серьезно сказались на водной флоре и фауне, особенно на популяциях рыб. Перемещение воды с юга на север также привело к непредвиденным опасностям, таким как перенос заболеваний, передаваемых через воду.

Например, паразитарные заболевания, переносимые улитками, распространённые на юге Китая, теперь угрожают северным регионам, вызывая серьезные опасения в области здравоохранения.

Другой критической проблемой является вторжение морской воды, которое происходит, когда значительное количество воды отводится из одного региона, изменяя естественный баланс местных экосистем и делая оставшуюся воду непригодной для сельского хозяйства или потребления.

Социальное перемещение

Человеческие жертвы проекта были значительными. Сотни тысяч людей были вынуждены переселиться только по центральному маршруту, причем многие – во второй раз, поскольку они уже были перемещены во время строительства плотины «Три ущелья».

Эти переселения привели к тому, что многие общины оказались в трудном положении, не имея достаточных средств для существования и поддержки для восстановления своих жизней. Такие вынужденные миграции подчеркивают социальные последствия масштабных инфраструктурных проектов Китая, которые часто остаются за пределами официальных отчетов и не получают должного освещения в СМИ.

Проблемы устойчивости

Несмотря на стоимость в \$70 млрд и десятилетия работы, долгосрочная жизнеспособность проекта остается под пристальным вниманием. Некоторые китайские чиновники, в том числе бывший заместитель министра жилищного строительства и городского и сельского развития Ця Баосин Сингх, выражают опасения относительно устойчивости ремонта, технического обслуживания и управления системой.

Высокие эксплуатационные расходы, в сочетании со значительными экологическими и социальными последствиями, порождают вопросы о том, является ли этот проект реальным и эффективным решением проблемы дефицита воды в Китае.

Краткосрочное решение долгосрочной проблемы

Эксперты утверждают, что альтернативные меры могли бы смягчить необходимость в таких масштабных проектах. Городские системы водоснабжения Китая страдают от значительных потерь, включая утечку воды в трубах и устаревшую инфраструктуру. До недавнего времени приборы учета воды были редкостью, а цены на воду были настолько низкими, что экономия не имела приоритета.

Несмотря на некоторый прогресс, достигнутый в последние годы, реализация эффективной политики сохранения водных ресурсов остается сложной задачей, особенно в условиях отсутствия прозрачности в системах управления водными ресурсами Китая.

Критики считают, что проект решает лишь симптомы проблемы, а не ее коренные причины. Чрезмерное водопользование на севере страны, особенно в сельском хозяйстве, остается основной проблемой. Обеспечение дополнительными водными ресурсами в рамках проекта по переброске воды непреднамеренно укрепляет неустойчивую практику, откладывая принятие необходимых реформ.

Как результат, эксперты предупреждают, что проект переброски воды с юга на север рискует стать краткосрочным решением долгосрочной проблемы.

Экономические и сельскохозяйственные последствия

Профессор Стефан Пфистер из ETH Zurich критически оценивает роль проекта в поддержке неустойчивых сельскохозяйственных систем. Он сравнивает его с хирургической операцией, которая не изменяет основной нездоровый образ жизни.

Предоставляя дополнительные водные ресурсы, проект временно снижает чрезмерное водопользование в таких регионах, как бассейн реки Хуанхэ (Желтой реки), однако он не решает вопрос необходимости глубокой реформы сельского хозяйства. Такой подход может облегчить текущую нагрузку, но не стимулирует необходимое долгосрочное снижение уровня водопотребления.

Значительная часть перебрасываемой воды предназначена для сельскохозяйственных нужд, что обусловлено растущими потребностями населения в продовольствии. Тем не менее, Китай продолжает оставаться нетто-импортером продуктов питания, что свидетельствует о неэффективности и неустойчивости методов ведения сельского хозяйства в северных засушливых районах.

По мнению профессора Пфистера, более жизнеспособным решением может быть сокращение выращивания водоемких культур, таких как пшеница и кукуруза, в засушливых районах, а также повышение эффективности сельскохозяйственного производства в более подходящих регионах.

С развитием китайской экономики в направлении более экологичных и высокотехнологичных методов производства спрос на воду в промышленных процессах может снизиться. Этот сдвиг может частично помочь решить проблему дефицита воды, хотя пока неясно, смогут ли текущие проекты по водосбережению удовлетворить растущие потребности.

Карла Фриман, старший эксперт по Китаю из Института мира США, скептически оценивает эффективность существующих проектов по сохранению водных ресурсов в удовлетворении растущего спроса на воду. Возможно, для китайского правительства непреодолимой оказалась привлекательность масштабных решений, таких как проект «Юг-Север», который предлагает грандиозное решение, напоминающее исторические попытки изменить ландшафт. Однако, несмотря на монументальные масштабы и затраты, этот проект может не быть самым экономически целесообразным в долгосрочной перспективе.

Альтернативы крупномасштабной переброске воды

Несмотря на то, что на начальных этапах они будут более дорогостоящими, такие альтернативы, как рециркуляция дождевой воды и опреснение морской воды, могут стать более устойчивыми решениями. Эти методы, а также усовершенствованное управление водными ресурсами и их сохранение, могут оказаться более экономически эффективными и экологичными, чем проект переброски воды.

Переброска воды с юга на север, безусловно, является одним из крупнейших инженерных проектов в мире, однако препятствия, стоящие на его пути, столь же масштабны. Последствия этого проекта для устойчивости, экономической стабильности и здоровья окружающей среды напоминают о сложностях, с которыми сталкиваются крупномасштабные проекты по управлению природными ресурсами.

Переброска воды с юга на север Китая: обзор и значение за пределами страны

И Цзя, Линус Чжан, Цзяньчжи Нью, Ронни Берндтссон

1. Введение

Рост населения и глобальное изменение климата приводят к усилению дефицита воды и увеличению спроса на водные ресурсы со стороны сельского хозяйства, промышленности и городов [1, 2]. Усиление дефицита воды и неравномерное территориальное распределение воды создают потребность в масштабных проектах по переброске воды [3-6]. По оценкам, объёмы межбассейновых перебросок воды уже превышают 550 км³ в год, что соответствует примерно 15% мирового водозабора [3, 7, 8]. К 2050 году общий объём переброски воды может составить около половины мирового водозабора (в настоящее время около 4000 км³ в год) [3,9]. Это, как ожидается, окажет значительное влияние на глобальный водный цикл и связанные с ним экологические условия.

В последние годы наблюдается усиление глобального дефицита воды и засух, вызванных изменением климата и ростом антропогенной нагрузки. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) отмечает, что частота и интенсивность засух увеличиваются, особенно в засушливых и полузасушливых регионах, и к 2050 году более 5 млрд человек могут столкнуться с нехваткой воды [10]. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), климатические экстремумы всё чаще нарушают сельскохозяйственное производство и водообеспечение, угрожая продовольственной безопасности на разных континентах [11]. Современные исследования показывают, что межбассейновые переброски воды уже составляют около 15% мирового водозабора и могут достичь 50% к середине века, существенно изменяя глобальный водный цикл и экологические условия [1-3, 12]. Эти тенденции подчёркивают необходимость разработки эффективных и адаптивных стратегий управления водными ресурсами, а также актуальность крупных проектов, таких как Проект переброски воды с юга на север Китая (ППВЮС). Проект ППВЮС в Китае в настоящее время является крупнейшим проектом межбассейновой переброски воды в мире [13-19]. После завершения к 2050 году он будет обеспечивать ежегодную переброску

44,8 км³ воды из более влажных южных регионов Китая в густонаселённые засушливые северные территории. Идея проекта была впервые предложена Мао Цзэдуном в 1952 году для обеспечения водой быстро растущих городов и провинций, таких как Пекин, Тяньцзинь, Хэбэй, Хэнань и Шаньдун [20–22]. Реализация проекта началась в 2002 году с целью смягчения дефицита воды на севере Китая, где проживает около половины населения страны и сосредоточено 15% пахотных земель, но который располагает лишь около 7% водных ресурсов. Проект предусматривает переброску воды из реки Янцзы в бассейн Хуанхэ по трём маршрутам: восточному, центральному и западному. В результате будут соединены четыре крупнейшие речные системы Китая: Янцзы, Хуанхэ, Хуайхэ и Хайхэ. Официальная стоимость проекта составляет около 62 млрд долларов США, что примерно вдвое превышает стоимость плотины «Три ущелья». Центральный маршрут обеспечивает водой провинции Хэнань и Хэбэй, а также мегаполисы Пекин и Тяньцзинь, и был введён в эксплуатацию в декабре 2014 года. Восточный маршрут начал работу в ноябре 2013 года, обеспечивая водой провинции Цзянсу и Шаньдун. Западный маршрут, являющийся наиболее сложным и спорным, всё ещё находится на стадии планирования. К началу 2023 года в рамках проекта было переброшено более 60 км³ воды, что превышает средний годовой сток реки Хуанхэ (около 58 км³) [23].

Рассматривая ППВЮС в контексте глобальных изменений, данный обзор направлен на комплексную оценку его национального и международного значения. Анализ воздействия и устойчивости всего проекта является чрезвычайно сложной задачей, особенно с учётом трудностей в оценке реальных затрат. Кроме того, уже существует значительный массив научных публикаций, посвящённых гидрополитике, устойчивости, экономике и экологии проекта. Основная цель данного обзора – обратить внимание на глобальные аспекты ППВЮС. Авторы считают, что влияние проекта выходит далеко за пределы Китая. Его региональные и глобальные эффекты практически не изучены в научной литературе, за исключением некоторых работ, посвящённых, возможно, но маловероятному трансграничному проекту «Красное знамя». В работе показано, что ППВЮС оказывает экологическое, климатическое, геополитическое, экономическое и управленческое влияние на глобальном уровне.

Обзор включает анализ экономических и социальных аспектов проекта, а также экологических проблем, глобальных дискуссий и ограничений. Одним из прямых эффектов ППВЮС является его влияние на глобальную продовольственную безопасность. Однако существуют и другие важные косвенные эффекты, такие как трансфер технологий, формирование норм и «экспортируемые» модели управления. Опыт Китая в области инженерии, строительства тоннелей и насосных систем, финансирования проектов и институциональной организации становится частью глобально-

го инструментария (и экспортируемой модели) для других стран, реализующих крупные водохозяйственные проекты или гидрологические проекты в рамках инициативы «Один пояс, один путь». Значимость этих аспектов возрастает по мере усиления экономического влияния Китая. В соответствии с этим, в данной работе сначала представлен исторический и гидроэкономический обзор проекта, затем рассматриваются его аспекты устойчивости на национальном и международном уровнях. После этого проект анализируется с точки зрения гидрополитики и геополитики, а также существующих вокруг него обсуждений. Таким образом, данный обзор формирует основу для комплексного анализа устойчивости ППВЮС не только внутри Китая, но и в более широком международном контексте. В завершение приводятся обобщающие выводы. В обзоре используются данные научных статей, правительственных отчётов и новостных источников до 2025 года. Всего было проанализировано более 130 публикаций, включая работы на китайском языке.

2. Исторический и гидроэкономический обзор проекта ППВЮС

Хотя идея переброски воды с юга на север в современном виде была предложена Мао Цзэдуном, гидроканалы имеют в Китае долгую историю. Например, Великий канал (Да Юньхэ), ныне объект Всемирного наследия ЮНЕСКО, начал строиться ещё в IV веке до н.э. и был реконструирован в 607 году н.э. Он соединяет Ханчжоу с Пекином и является самым длинным искусственным водным путём в мире (около 1800 км) [30]. Однако его первоначальная функция заключалась не в переброске воды, а в транспортировке зерна с водообеспеченного юга на более засушливый север. Что касается проекта ППВЮС, то только в августе 2002 года Государственный совет Китая одобрил начало его строительства, чему, вероятно, способствовало участие специалистов гидротехников, впоследствии ставших политиками. Бывший премьер-министр Китая Ли Пэн имел образование инженера-гидротехника, а бывший председатель КНР Ху Цзиньтао окончил факультет водного хозяйства Университета Цинхуа [31].

Проект стал ключевым элементом национальной водной сети и выполняет стратегическую функцию обеспечения водной безопасности страны [32]. Он играет важную роль в оптимизации распределения водных ресурсов, обеспечении населения питьевой водой, восстановлении экосистем рек и озёр, а также в экономическом взаимодействии между севером и югом страны [33]. Как уже отмечалось, проект состоит из трёх основных маршрутов: восточного, центрального и западного (рис.1). Восточный маршрут начинается от крупного притока реки Янцзы и проходит через провинции Цзянсу, Шаньдун и Хэбэй до Тяньцзиня. Центральный марш-

пут начинается от водохранилища Даньцзянкоу в провинции Хубэй и проходит через Хэнань и Хэбэй до Пекина и Тяньцзиня. Западный маршрут планируется от трех притоков бассейна Янцзы, расположенных вблизи горы Баян-Хара, и соединяется с рекой Хуанхэ в провинциях Цинхай и Ганьсу, обеспечивая дополнительное водоснабжение провинций Шэньси, Шаньси, Внутренней Монголии и Нинся.

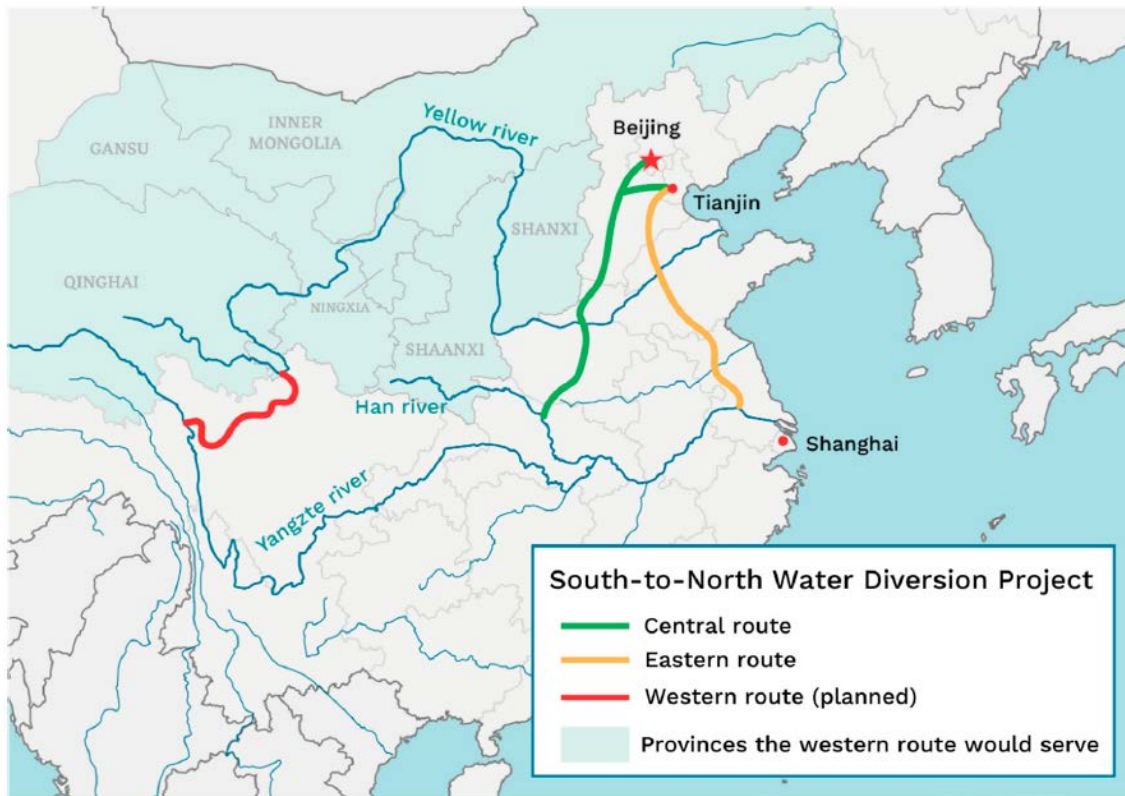


Рис. 1. Проект переброски воды с юга на север (ППВЮС) с его тремя маршрутами: центральный – зелёный; восточный – оранжевый; западный – красный [36].

Идея проекта тесно связана с традиционной ориентацией китайского государства на крупные гидротехнические решения. На протяжении всего процесса реализации проект сопровождался сильным политическим влиянием и централизованным управлением. При этом из-за ограниченной прозрачности на ранних этапах он долгое время оставался вне поля зрения западных исследователей.

Восточный и центральный маршруты были введены в эксплуатацию в 2013 и 2014 гг. соответственно (табл. 1). Однако работы по адаптации местной инфраструктуры к новым объемам пропускаемой воды продолжают. Западный маршрут остаётся наиболее сложным и дорогостоящим

и, вероятно, будет завершён ближе к 2050 г. После завершения проекта объём перебрасываемой воды по этому маршруту может составить около 17 км³ в год. Средняя высотная отметка западного маршрута варьирует от 3050 до 4000 м н.у.м. Расширением данного проекта является спорный проект «Красное знамя», который потенциально может обеспечивать переброску до 60 км³ воды в год из трёх трансграничных рек – Меконга, Салуина и Брахмапутры [37–39].

Водозабор восточного маршрута расположен примерно в 300 км от устья реки Янцзы, где находятся источники питьевого водоснабжения Шанхая [44]. В связи с этим восточный маршрут оказывает более сложное и менее предсказуемое воздействие на местные водные экосистемы по сравнению с центральным маршрутом [44]. Для центрального маршрута был создан строго охраняемый водопроводящий канал, соединяющий донорский и принимающий бассейны [44]. Строительство центрального маршрута ППВЮС официально началось 27 декабря 2003 года, а его ввод в эксплуатацию состоялся 12 декабря 2014 года. По состоянию на 12 декабря 2023 года центральный маршрут ППВЮС функционирует уже 9 лет [45]. Оценка затрат на реализацию ППВЮС представляет значительные трудности. Официальные данные отличаются от оценок, приводимых в научной литературе. Согласно официальной информации, общая стоимость проекта составляет около 62 млрд долл. США [40]. Однако для уже реализованных восточного и центрального маршрутов приводится оценка в 79,4 млрд долларов США [41,42]. Помимо прямых затрат на строительство, необходимо учитывать расходы на переселение до 375 тыс. человек, связанное с расширением водохранилища Даньцзянкоу и строительством каналов [41]. Эти затраты могут достигать 6 млрд долл. США. Кроме того, в Китае реализуются дополнительные водохозяйственные проекты на сумму 60,3 млрд долл. США [40], включая мероприятия по снижению загрязнения и другие проекты, связанные с ППВЮС. Полный проект западного маршрута пока официально не раскрыт из-за его технической сложности, однако в случае реализации он, вероятно, станет наиболее дорогостоящей частью ППВЮС (табл. 1).

Гидроэкономический обзор Проекта переброски стока с юга на север (ППВЮС) и его трех маршрутов

	Расчетный сток переброс- ки (км ³ /год)	Протяженность (км)	Расчетная сто- имость (млрд \$)	Ввод в экс- плуатацию (год)
Весь проект	44,8	4350 ¹	62–120	2050
Восточный маршрут	14,8	1155		2013
Центральный маршрут	13,0	1267	37.44–81 ²	2014
Западный марш- рут	17,0	300	39,0	2050

Примечание:

1. Включает основные и вспомогательные ветви [40].
2. Включает восточный и центральный маршруты; по официальным оценкам стоимость ниже (47 млрд долл. США по [28]; 79,4 млрд долл. США по [41,42]; 81 млрд долл. США по [43]).

3. Устойчивость ППВЮС

В научной литературе представлено множество обзоров и обобщающих работ по крупномасштабным межбассейновым переброскам воды. Как правило, переброска воды в более засушливые регионы приводит к неэффективному её использованию и дальнейшему росту спроса. С точки зрения устойчивого развития такие масштабные проекты могут иметь как положительные, так и отрицательные воздействия в зависимости от их масштаба и временного горизонта. В результате возникает большое количество многоаспектных факторов устойчивости (или неустойчивости), связанных с подобными мегапроектами, например [15, 46–50].

3.1. Внутренние эффекты и воздействие проекта ППВЮС

Оценить совокупные затраты проекта ППВЮС сложно, что делает его экономическую устойчивость неопределённой, особенно с учётом того, что проект ещё не завершён. В работе [26] обсуждаются две модельные оценки, основанные на обширных данных из [15]. Всемирный банк [51] признал проект экономически выгодным, тогда как Всемирный фонд дикой природы [52] пришёл к противоположному выводу. Это логично, по-

скольким крупным водным проектам зачастую способствуют росту сельскохозяйственного производства, но при этом могут оказывать негативное влияние на природные экосистемы и биоразнообразие. Правительство Китая инвестировало значительные средства в меры по смягчению последствий, включая строительство очистных сооружений, снижение переноса загрязнений и создание экологических зон (60,3 млрд долл. США в 2022 г. [53]). Оценить эффективность этих мер довольно сложно, однако Китай ранее демонстрировал решимость в решении экологических проблем, таких как эрозия почв, лесовосстановление и борьба с наводнениями, зачастую с опорой на экономические механизмы [54–56].

Экологическая устойчивость проекта была подробно изучена [26]. Для восточного маршрута в работе [57] показано влияние на озеро Дунпин, включая изменения почвенных, гидрологических и метеорологических условий, при этом негативные последствия оценены как менее серьёзные. Основными отрицательными эффектами центрального маршрута являются затопление территорий и масштабное переселение населения в связи со строительством плотины Данцзянкоу и сопутствующих каналов и водохранилищ на Северо-Китайской равнине [58]. Западный маршрут затрагивает небольшую численность населения в верховьях рек Янцзы и Хуанхэ, однако может оказывать неблагоприятное воздействие на окружающую среду верхнего и среднего течения рек Тунтянь, Даду и Ялунцзян.

Значительный отвод воды из реки Янцзы повлияет на её устье и дельту. Это воздействие включает экологические проблемы и повышение минерализации воды, что влияет на экосистему реки и прилегающие водноболотные угодья, увеличивает риск проникновения солёной воды и усиливает эрозию прибрежных территорий [22, 59]. Существенный объём воды отводится по центральному маршруту ППВЮС – около 35% стока Янцзы в данной точке. С положительной стороны, проект способствует снижению дефицита воды и замедлению снижения уровня подземных вод в северном Китае, особенно в районах Пекина и Тяньцзиня. Также он уменьшает риск наводнений в бассейне Янцзы за счёт перераспределения избытка воды. ППВЮС является важным элементом водохозяйственной реформы Китая, обеспечивая более справедливый доступ к воде и содействуя социально-экономическому развитию северных регионов [60]. Авторы работы [61] дают позитивную оценку экологической устойчивости, улучшившейся благодаря проекту. Например, прогнозировалось, что дефицит воды на севере Китая к 2030 году составил бы около 30 км³, что эквивалентно экономическим потерям в размере 20 млрд долл. США из-за недопроизводства зерна [61]. Ещё одной целью ППВЮС является предотвращение дальнейшего снижения уровня подземных вод на Северо-Китайской равнине, где сосредоточены наиболее продуктивные сельскохозяйственные районы страны [62–65]. Сельскохозяйственный фактор является одним из ключе-

вых стимулов проекта [66, 67]. Анализы показывают, что ППВЮС может увеличить стоимость сельскохозяйственной продукции более чем на 10% в среднем [68]. Более важно, что это существенно укрепляет продовольственную безопасность примерно 150 млн человек на севере Китая, выигрывающих от переброски воды [69].

Проект позволил согласовать и сбалансировать отношения между человеком и природой, экономическим развитием и экологией. Благодаря мерам по защите качества воды, экологической компенсации и восстановлению он не только обеспечивает потребности настоящего поколения, но и приносит пользу будущим поколениям, обеспечивая принцип «совместного развития» [70].

Вместе с тем проект имеет и социальные воздействия, включая переселение населения и утрату культурного наследия. Для его реализации были переселены целые общины, что привело к разрушению традиционных форм хозяйствования и культурных практик. Существенные негативные воздействия связаны с переселением 375 тыс. человек для расширения водохранилища Данцзянкоу и строительства каналов [41]. В общей сложности около 10 млн человек были перемещены в разные периоды из-за строительства водохранилищ [64]. Эти воздействия необходимо сопоставлять с улучшением водной и продовольственной безопасности для примерно 150 млн жителей северного Китая. Дополнительные риски связаны с переносом заболеваний, связанных с водой, и загрязнений с юга на север. В частности, возможна миграция улиток – переносчиков шистосомоза [71, 72]. Также на социальную устойчивость влияют тяжёлые металлы, микроорганизмы, вирусы, солёная вода и новые типы загрязнителей [73–75].

Подобные проблемы характерны для крупных межбассейновых проектов [6–8, 76], особенно при низкой эффективности водопользования в сельском хозяйстве [77–79]. Поэтому важно сопровождать переброску воды эффективным управлением спросом, сохранением качества воды и водосбережением в соответствии с принципами комплексного управления водными ресурсами (КУВР) и Целями устойчивого развития ООН (ЦУР) [26]. Это включает создание систем водооборота, внедрение водосберегающих технологий и сокращение площадей водоёмких культур [80, 81].

3.2. Глобальные аспекты ППВЮС

Проект переброски воды с юга на север (ППВЮС) является не только внутренним инфраструктурным преобразованием, но и имеет значительное глобальное значение. Его масштаб, амбиции и последствия выйдут за пределы Китая, влияя на продовольственную безопасность, устой-

чивость к климатическим изменениям, гидрополитику и глобальное управление.

Будущие потребности Китая в воде определяются климатическими изменениями и демографическими тенденциями. Ожидается, что к 2050 г. население страны сократится примерно на 100 миллионов, а к 2100 г. может опуститься ниже 800 миллионов [82]. Исследования влияния климата на урожайность дают противоречивые результаты: одни показывают положительное влияние [83], другие – отрицательное (без учёта эффекта CO₂) [84, 85]. Глобальные климатические модели дают неопределенные результаты по осадкам [86], однако значительных изменений не прогнозируется, хотя возможен рост на 5-7% к 2050 г. [87].

Несмотря на сокращение населения, обеспечение продовольственной и водной безопасности остаётся сложной задачей. Китай импортирует около четверти продовольствия, существенно влияя на мировые рынки [88,89], особенно во время одновременных засух. ППВЮС и политика самообеспечения продовольствием могут снизить риски глобальных кризисов.

Отсутствие значительных изменений в осадках, возможный рост урожайности, сокращение населения и улучшение управления водой создают предпосылки для снижения продовольственной нестабильности в Китае. За последние 50 лет страна превратилась из испытывающей дефицит продовольствия в крупного игрока на мировом рынке [90]. Китай также инвестирует в сельское хозяйство за рубежом – на мировом рынке ежегодно обращается около 300 млн тонн его зерновых, примерно половина его годовой потребности. Поэтому засухи внутри страны могут существенно влиять на мировые цены, а проект ППВЮС становится важным инструментом повышения самообеспеченности.

Как отмечают Лонг и соавторы [65], продолжающееся перераспределение водных ресурсов необходимо для устойчивого водопользования. Китай формирует национальную водохозяйственную сеть, которая позволит на уровне всей страны согласованно отслеживать и регулировать потоки воды и энергии [91]. Что касается долгосрочного качества воды, недавние исследования восточного маршрута показывают улучшение экологического состояния в периоды переброски: например, озеро Дунпин перешло от эвтрофного к мезотрофному состоянию.

Недавнее исследование центрального маршрута проекта ППВЮС показало, что ряд метеорологических показателей – включая содержание водяного пара в атмосфере, осадки и три типа влажности почвы – продемонстрировали статистически значимые улучшения с высокой степенью достоверности, что свидетельствует о положительном тренде восстановления региональной среды [92]. Другое недавнее исследование, рассматри-

вающее ППВЮС как частный случай межбассейновой переброски воды, применило комплексную методику оценки выгод для анализа эффектов в разных регионах. В расчёт были включены инвестиционные выгоды, выгоды от водных ресурсов, экологические эффекты, а также потери альтернативных возможностей развития для восточного и центрального маршрутов проекта [93]. Основное внимание уделялось экологическим и экономическим результатам. С точки зрения экономики было установлено, что чистая выгода от реализации ППВЮС составляет около 207 млрд долл. США. При этом за период эксплуатации (2014–2020 гг.) совокупные выгоды оценены в 18,4 млрд долл., где ключевую роль играют выгоды, связанные с водными ресурсами. Это означает, что за указанный период эксплуатационная отдача составила лишь около 9% от общей чистой выгоды. Экологические эффекты оценивались главным образом на основе изменений типов землепользования и коэффициента ценности экосистемных услуг, без подробного учёта таких факторов, как, например, экологический сток. В то же время в расчёт выгод, связанных с подземными водами, были включены предотвращение образования депрессионных воронок и проседания грунта, регулирующая и накопительная функции, а также энергосберегающий эффект. Тем не менее важно отметить, что в исследовании использован действительно комплексный подход: наряду с экологическими эффектами учитывались инвестиционные выгоды, преимущества в сфере водных ресурсов и потери альтернативных возможностей развития, что позволило более полно оценить совокупную и чистую эффективность проекта ППВЮС.

При этом проект имеет и более широкие глобальные последствия – экономические, социальные и геополитические. Как показали Zhao et al. [94], реализация центрального маршрута проекта ППВЮС привела к устойчивому росту как общего водоснабжения, так и потребления воды в сельском хозяйстве в регионе в период с 2010 по 2020 гг. Это существенно повысило производство зерна и тем самым даёт практические ориентиры для совершенствования глобального управления водными ресурсами и устойчивости сельского хозяйства. Такой рост аграрного сектора способствует экономическому и социальному развитию; однако он одновременно ведёт к постоянному увеличению спроса на воду в принимающих регионах и сопровождается такими последствиями, как социальные издержки (масштабное переселение населения и локальные экономические сбои) [14,26]. Подобные плюсы и минусы имеют глобальное значение для моделей анализа затрат и выгод при планировании крупных водохозяйственных проектов.

Хотя ППВЮС не затрагивает международные трансграничные реки, столь масштабные водные проекты вызывают международную обеспокоенность и создают геополитические и трансграничные «волновые эффек-

ты» для соседних стран, расположенных ниже по течению (в частности, Индии). Это может влиять на водную дипломатию в регионе [42, 95]. В сочетании с растущей экономической мощью Китая это имеет последствия для трансфера технологий, формирования норм и распространения «экспортируемых» моделей управления. Китайский опыт в инженерии, тоннелестроении и насосных технологиях, финансировании проектов и институциональных механизмах постепенно становится частью глобального инструментария (и моделью для заимствования) для других стран, реализующих крупные водохозяйственные проекты, например в рамках инициативы «Один пояс, один путь». В то же время ППВЮС поднимает вопросы о стандартах устойчивости, экологических гарантиях и участии заинтересованных сторон – аспектах, которые международные организации развития и правительства должны тщательно учитывать при выборе аналогичных подходов [31, 44].

Недавние исследования также количественно оценили влияние проекта ППВЮС на водохозяйственный баланс Китая и сельскохозяйственное производство. Zhao et al. [94], применив метод синтетического контроля, показали, что центральный маршрут обеспечил устойчивый рост как общего водоснабжения, так и потребления воды в сельском хозяйстве в провинции Хенань в период с 2010 по 2020 гг. Это существенно повысило производство зерна и стабилизировало урожайность, особенно после 2017 г [94]. Yang et al. [93] оценили изменения метеорологических условий в зоне центрального маршрута и показали, что после 2014 г. проект развернул ранее наблюдавшиеся негативные тенденции. Chang et al. [96], используя спутниковые данные, выявили рост запасов поверхностных вод и улучшение качества воды в районах, затронутых ППВЮС. Cheng et al. (2023) количественно оценили влияние проекта на эффективность водопользования, продемонстрировав её устойчивое повышение в соответствующих регионах [97]. Эти исследования применяют сравнительный подход к анализу воздействия на водный баланс и урожайность, в целом показывая положительные эффекты, однако уделяют ограниченное внимание эффективности орошения и водопользования в более широком смысле.

Национальные и региональные прогнозы показывают, что при широком внедрении передовых водосберегающих технологий ежегодная экономия воды только на Северной Китайской равнине к 2030 г. может достичь 8-10 км³ [77–79]. Это не только повысит устойчивость и надёжность ППВЮС, но и снизит нагрузку на донорские бассейны, а также улучшит общую эффективность распределения водных ресурсов. В настоящее время апробируются такие инструменты политики, как торговля правами на воду, многоуровневое тарифообразование на воду и стимулирование выращивания менее водоёмких культур, чтобы дополнительно повысить эффективность водопользования [80, 81].

Климатические модели также показывают, что ППВЮС привёл к увеличению осадков и снижению температур в принимающих воду регионах: среднегодовое количество осадков выросло на 2,8 мм, а весенние температуры снизились на 0,15°C [92,96]. Эти эффекты могут смягчать воздействие климатической изменчивости на сельское хозяйство. Подобные гидрологические вмешательства способны снижать риск неурожаев в условиях экстремальных погодных явлений, тем самым поддерживая как национальную, так и глобальную продовольственную безопасность [83].

3.3. Население, эффективность орошения и продовольственная самообеспеченность

Политика продовольственной самодостаточности Китая, поддерживаемая ППВЮС, оказывает как прямое, так и косвенное влияние на мировые рынки зерна. Улучшение водообеспечения и эффективности орошения является одним из наиболее эффективных способов повышения продовольственной безопасности и устойчивости к климату [98].

Эффективность орошения является ключевым фактором, определяющим влияние проекта ППВЮС. Исследования показывают, что проекты переброски воды, такие как ППВЮС, могут существенно повышать эффективность использования воды в сельском хозяйстве, особенно в засушливых и полузасушливых регионах [77–79,103]. Обеспечивая стабильное водоснабжение, ППВЮС создаёт условия для внедрения современных технологий орошения – таких как капельные и дождевальные системы, которые снижают потери воды и повышают урожайность [67]. Это уменьшает зависимость Китая от импорта и стабилизирует мировые цены [88]. Однако высокие тарифы на воду и повышение эффективности её использования во всех секторах остаются серьёзными вызовами с точки зрения долгосрочной устойчивости общества. Хотя проект ППВЮС в первую очередь решает проблему дефицита воды за счёт масштабных мер со стороны водообеспечения, всё большее значение для устойчивого управления водными ресурсами в Китае приобретает управление спросом на воду. Современные исследования и политика делают акцент на внедрении передовых технологий орошения, таких как капельное, дождевальное и точное орошение, которые способны существенно сократить потребление воды в сельском хозяйстве. По оценкам, их широкое распространение на севере Китая может обеспечить экономию воды на уровне 30–50% по сравнению с традиционными методами полива [67,77–79]. Например, Ma & Wang (2024) показали, что ППВЮС способствует повышению эффективности водопользования в бассейне Желтой реки, где современные практики орошения поддерживают более устойчивое сельскохозяйственное производство [67]. Это означает, что сочетание мер по управлению спросом на воду

с инфраструктурными решениями со стороны управления водообеспечением является ключевым условием для максимизации эффекта от ППВЮС. Для достижения долгосрочной водной безопасности и устойчивости в засушливых и полузасушливых регионах Китая необходимы дальнейшие инвестиции в водосберегающие технологии, обучение фермеров и институциональные реформы.

Для оценки долгосрочных воздействий ППВЮС на продовольственную безопасность Китая и глобальных рынков на рисунке ниже представлены прогнозные тенденции численности населения, эффективности использования оросительной воды и продовольственной самообеспеченности на период с 2020 по 2100 гг. Согласно демографическим моделям ООН, население Китая сократится примерно с 1,4 млрд человек в 2020 году до менее чем 900 млн к 2100 году [82]. Одновременно ожидается рост эффективности использования оросительной воды – с около 50% в 2020 году до 80% к 2050 году, за счёт внедрения передовых технологий, таких как капельные и дождевальные системы [67, 77–79]. Уровень продовольственной самообеспеченности, по прогнозам, увеличится с 70% до 85% к середине века, что позволит снизить зависимость от импорта и стабилизировать мировые рынки зерна в периоды одновременных засух [90].

Эти тенденции показывают, что совершенствование управления водными ресурсами в рамках ППВЮС в сочетании с мерами по управлению спросом существенно повысит устойчивость Китая к климатической изменчивости и глобальным шокам в сфере продовольственного снабжения. Интеграция инфраструктурных решений с повышением эффективности использования ресурсов является ключевым условием достижения устойчивых целей в области водной и продовольственной безопасности. Прогнозные траектории численности населения, эффективности орошения и продовольственной самообеспеченности за период 2020–2100 гг. представлены на рисунке 2. Прогнозы численности населения основаны на данных ООН [82]; оценки эффективности орошения – на работе Ma&Wang (2024) и связанных исследованиях [67,77–79]; прогнозы продовольственной самообеспеченности адаптированы по Zhan (2022) [90].

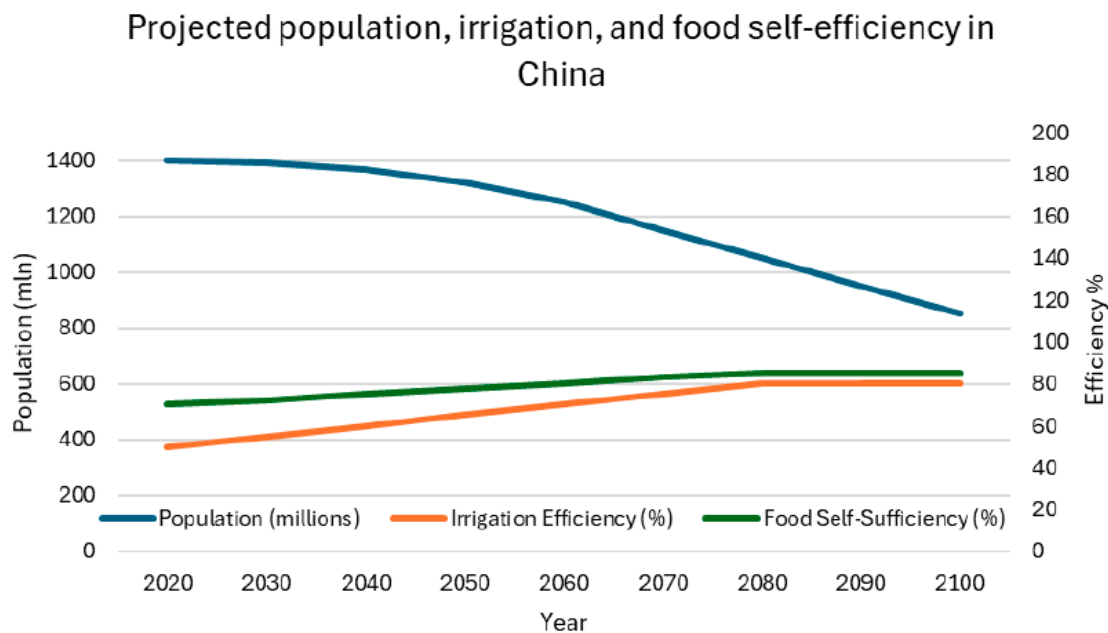


Рис. 2. Прогнозные тенденции численности населения Китая (млн чел., синий), эффективности использования оросительной воды (%; зелёный) и уровня продовольственной самообеспеченности (%; оранжевый) на период 2020–2100 гг. в Китае

4. Гидрополитические и геополитические аспекты и дискуссии вокруг ППВЮС

Хотя ППВЮС не затрагивает напрямую международные трансграничные реки, его масштаб и создаваемый прецедент вызывают обеспокоенность у соседних стран, особенно в связи с возможными будущими расширениями, такими как проект «Красное знамя» [41, 42]. Инициатива «Один пояс, один путь» (ОПОП) усиливает эти трансграничные эффекты, поскольку китайский опыт в гидротехнике и модели управления всё активнее экспортируются в другие страны [46, 103]. Связанные с ОПОП инфраструктурные проекты способствуют передаче технологий, развитию кадров и промышленной модернизации, но одновременно несут экологические и геополитические риски [46, 104–107]. При этом «зелёные» технологические эффекты от зарубежных инвестиций Китая в рамках ОПОП особенно заметны в странах со средним и низким уровнем дохода при наличии достаточно развитых институтов [46]. Кроме того, ППВЮС выступает своего рода испытательной площадкой для моделей управления водными ресурсами. Webber (2017), Moore (2014) и Lin (2017) предлагают различные интерпретации управленческих и экологических аспектов проекта [13,

34, 35, 41]. Dai et al. (2025) рассматривают развитие «умного» управления водой, институциональные инновации и технологическую интеграцию в Китае, включая пилотные инициативы ППВЮС [107]. Bilalova et al. (2024) в своем обзоре показывают, что инклюзивные и комплексные подходы к управлению водными ресурсами обеспечивают более устойчивые результаты [108]. Daniell (2012) приводит международные кейсы совместного технического проектирования и участия заинтересованных сторон [109]. Alvarado-Arias et al. (2025) демонстрируют, что участие граждан (в том числе через любительскую науку) улучшает управление речными бассейнами по сравнению с технократическими моделями [110], а Ali & Kamraju (2024) анализируют роль участия общин в устойчивом комплексном управлении водными ресурсами [111]. Результаты реализации ППВЮС подпитывают глобальные дискуссии о том, являются ли крупные межбассейновые переброски воды жизнеспособной долгосрочной стратегией адаптации к дефициту воды в условиях изменения климата, как соотносить социальные и экологические издержки с выгодами развития, и каким образом инфраструктура в верховьях может трансформировать региональную дипломатию [44, 112]. Китайские власти и лица, принимающие решения, традиционно уделяют большое внимание технократическим подходам и мегапроектам как инструментам решения стратегических гидрологических и экологических задач. Несмотря на ограниченную прозрачность процессов принятия решений, планирования и реализации, гидрополитические и геополитические аспекты этого проекта нельзя игнорировать.

Lin [41] приходит к выводу, что ППВЮС – это не просто техническое решение, а политический инструмент. В нём приоритет отдаётся капиталоемким инженерным решениям в ущерб реформам управления и мерам по управлению спросом на воду, что отражает государственно-центричную идеологию, восходящую к маоистскому представлению о возможности «покорения природы». Тот же автор отмечает, что проект можно рассматривать в контексте исторических и мировых примеров переброски воды, таких как Гранд-канал или Государственный водный проект Калифорнии, где подобные вмешательства считаются распространёнными и стратегически оправданными.

В свою очередь, Moore [35] рассматривает ППВЮС через призму двух теоретических подходов: экологической модернизации (реформирование окружающей среды через технологические инновации и институциональные изменения) и «авторитарного экологизма», при котором авторитарные режимы реализуют экологическую политику с помощью технократических и иерархических методов управления.

Потенциальным преимуществом можно считать то, что проект отражает способность государства интегрировать экологическую повестку в более широкие стратегические цели, такие как:

(a) экономическое развитие вододефицитных северных регионов; (b) укрепление политического контроля и легитимности власти; (c) обеспечение социальной стабильности за счёт переселения и компенсационных механизмов [34, 35, 113, 114]. В рамках крупного исследовательского проекта в Университете Мельбурна Webber и его коллеги [24] представили серию работ, в которых всесторонне рассмотрели междисциплинарные и технополитические аспекты ППВЮС. Особое внимание уделялось социально-политическим, гидрологическим и экономическим аспектам проекта. В части практических выводов авторы отмечают, что, наряду с такими факторами, как сложность управления, несогласованность интересов на местах, а также экологические и энергетические плюсы и минусы, проект демонстрирует пределы централизованной модели управления и даёт ценные уроки для реализации крупных межбассейновых перебросок воды в глобальном масштабе [25, 39, 115–123]. С другой стороны, Мооре указывает на проблему централизованной системы управления – отсутствие формализованных механизмов разрешения межрегиональных споров. По его мнению, хотя вертикальная система контроля снижает расхождения между центральной и местной властью, она не решает горизонтальные конфликты между провинциями, которые часто преследуют собственные интересы в ущерб соседним территориям [35]. Оба автора сходятся в том, что эффективное управление водными ресурсами требует не только инфраструктурных решений. Они подчёркивают необходимость междисциплинарной интеграции гидрологических и социальных наук для понимания системных и локальных взаимодействий, а также призывают к институциональным инновациям для урегулирования горизонтальных конфликтов и проблем коллективных действий. Этот подход соответствует принципам КУВР и ЦУР 6 (чистая вода и санитария).

ППВЮС, вероятно, следует рассматривать не только как водохозяйственный проект, но и как инструмент государственного строительства и стабилизации экономического роста. Он обеспечил ощутимые эффекты в сфере водной безопасности для северных мегаполисов и продемонстрировал высокую управленческую и организационную способность государства. Вместе с тем проект закрепляет ориентацию на решения, базирующиеся на управлении водообеспечением, и технократический подход, перераспределяет риски в сторону южных регионов, сужает пространство для участия общественности и может оказаться менее эффективным в условиях климатической нестабильности. Более устойчивый сценарий развития предполагал бы иную приоритетность: в первую очередь, повышение эффективности водопользования и институциональные реформы; затем, точечные переброски воды; и лишь в последнюю очередь, возможные проекты отвода воды с западных высокогорных территорий (если они вообще будут реализованы), причём только при наличии строгих экологических гарантий, прозрачной отчётности и реального участия затрагиваемых со-

обществ. В сравнительной перспективе ППВЮС относится к крупнейшим водохозяйственным мегапроектам мира и сопоставим по масштабу и амбициям с такими системами, как Государственный водный проект Калифорнии. Канал Индиры Ганди, проект Центральной Аризоны, Асуанская плотина, плотина «Три ущелья» и Великая эфиопская плотина возрождения. Ключевые параметры этих проектов представлены в таблице 2. Согласно Huang et al. (2024), ППВЮС обеспечивает увеличение производства зерна на 8,2% и рост сельскохозяйственной продуктивности на 4,7% по сравнению с другими проектами переброски воды [123]. Yang et al. (2024) представили межрегиональную оценку выгод проекта, оценив совокупный эффект в 207 млрд долл. США и подчеркнув его значимость для аналогичных межбассейновых проектов [93]. Feng et al. (2024) проанализировали экологические риски ППВЮС и других крупнейших водохозяйственных проектов мира [124], а Zhou et al. (2024) предложили стратегии совместной оптимизации водоснабжения с точки зрения справедливости и эффективности [125]. Эти сопоставления и извлечённые уроки формируют важную основу для понимания сложных вызовов, связанных с реализацией межбассейновых перебросок воды во всём мире.

В целом, ППВЮС можно дополнительно проанализировать в трех плоскостях: (1) политическая экология и экологическая справедливость; (2) государственная территориальная стратегия и «гидравлическая миссия»; (3) технополитика и авторитарный экологизм. С точки зрения политической экологии и экологической справедливости, ППВЮС перераспределяет гидрологические риски и выгоды между социальными группами и регионами: вода (вместе с экологическими издержками) перемещается из сравнительно более бедных сельских «донорских» районов в мощные городские и индустриальные центры, прежде всего регион Пекин-Тяньцзинь-Хэбэй (так называемый Цзин-Цзинь-Цзи), при ограниченных возможностях для общественного оспаривания таких решений. С позиции государственной территориальной стратегии и «гидравлической миссии» проект продолжает многовековую (как китайскую, так и глобальную) традицию государственного строительства через крупные гидротехнические сооружения. Переброска воды выступает материальным инструментом интеграции ключевых городских коридоров (Цзин-Цзинь-Цзи), способствуя стабилизации экономического развития на Северо-Китайской равнине и демонстрируя потенциал государства.

Таблица 2

Сравнение ключевых показателей крупнейших проектов по переброске воды/ирригационных проектов

Проект	Страна	Год завершения	Годовой объем переброски, км ³	Протяженность км	Предназначение	Влияние на эффективность орошения	Социальное воздействие (переселение)	Основные экологические проблемы	Источник
ППВЮС	Китай	2050 (план)	~45	~4350	Городское водоснабжение и сельское х-во	Значительно улучшена [67,77–79]	~375 тыс. прямое; 10 млн. исторически [12,62]	засоление, изм. экосистем, перенос заболеваний [6,22,57–59,71–79]	[3,5,6,12,22,38,57-60,5,67,71–79]
ГВП Калифорнии	США	1973	~4.4	~1100	Городское водоснабжение и сельское х-во	Умеренно улучшена [12]	Тысячи	Истощение запасов подземных вод, утрата среды обитания [12]	[3,5,6,12]
Проект центральной Аризоны (САР)	США	1993	~1.85	~541	Городское водоснабжение и сельское х-во	Умеренно улучшена [12]	Ограниченное	Минерализация, снижение УГВ [46]	[3,5,6,12]
Канал Индиры Ганди	Индия	2010	~5.5	~650	Сельское хозяйство	Умеренное [5,12]	Десятки тысяч	Заболачивание, засоление [5,46]	[3,5,6,12]
Асуанская плотина	Египет	1970	~55 (емкость вдхр)	-	Сельское х-во и энергетика	Умеренное [41]	>100 тыс.	Засоление, изм. экосистем [6,46]	[3,5,6,12]

Проект	Страна	Год завершения	Годовой объем переброски, км ³	Протяженность км	Предназначение	Влияние на эффективность орошения	Социальное воздействие (переселение)	Основные экологические проблемы	Источник
Плотина «Три ущелья»	Китай	2012	~39 (емкость вдхр)	-	Энергетики и контроль наводнений	Ограниченное	>1,3 млн	Отложение наносов, изм. экосистем [6,46]	[3,5,6,12]
Великая эфиопская плотина возрождения	Эфиопия/ Судан	2023	~74 (емкость вдхр)	~1800	Энергетика и орошение	Потенциал для значительного улучшения [31]	Ограниченное прямое, но воздействие на регион [31,32]	Изм-я стока нижн.течения, гидрополитика региона, изм. экосистем [30–32]	[30-32]

В рамках подхода технополитики и авторитарного экологизма государство опирается на техническую экспертизу, дискурс «водной безопасности» и систему аттестации кадров для легитимации исключительных мер, таких как строительство протяжённых каналов, создание строгих охранных зон и масштабное переселение населения. Участие общества при этом ограничено; легитимность в большей степени основывается на демонстрации результатов (снижение рисков засух, сопутствующее улучшение качества воздуха за счёт сокращения переработки угля, восстановление подземных вод), чем на инклюзивных процедурах принятия решений. С учётом масштаба и стратегической значимости ППВЮС целесообразно выделить и четвёртый аспект – надёжность и безопасность инфраструктуры. Проект реализуется с применением передовых инженерных стандартов в области сейсмостойкости, защиты от наводнений и эксплуатационной устойчивости в соответствии с национальными нормативами и современными техническими оценками [32, 33, 44]. Регулярные инспекции, системы мониторинга в реальном времени и протоколы реагирования на чрезвычайные ситуации направлены на обеспечение надёжности каналов и сопутствующей инфраструктуры [33].

В рамках оценки рисков были изучены потенциальные последствия технических сбоев и аварий, таких как прорывы каналов, выход из строя насосных станций или масштабные наводнения. Результаты исследований показывают: несмотря на то, что благодаря надёжности конструкции и качественному обслуживанию вероятность катастрофических сбоев невелика, их последствия могут быть крайне тяжёлыми – от перебоев в водоснабжении в масштабах целых регионов до колоссальных экономических убытков и экологического ущерба. В связи с этим неотъемлемой частью управления проектом стали разработка планов на случай чрезвычайных ситуаций и создание механизмов оперативного реагирования.

Вопросы, касающиеся преднамеренных атак или диверсий, освещены в открытой литературе крайне скудно, что, вероятно, продиктовано секретностью подобных оценок. Тем не менее, проект классифицируется как критически важный объект национальной инфраструктуры. Для минимизации рисков приняты строгие меры безопасности, включая видеонаблюдение, ограничение доступа и тесное взаимодействие с органами государственной безопасности. Возможные последствия целенаправленных атак учтены в национальных стратегиях водной безопасности, что подчеркивает необходимость постоянной бдительности и адаптивного управления рисками.

Система управления водными ресурсами с позиции водообеспечения стимулирует рост водоемких производств на севере, фактически «экспортируя» дефицит воды на юг [127]. Это стабилизирует инвестиционный климат и рынок недвижимости в засушливых северных мегаполисах, одна-

ко в маловодные годы может усилить нагрузку на южные речные бассейны, особенно на фоне растущей климатической нестабильности. Сильная зависимость от стока реки Хуанхэ может стать системным риском в случае многолетних засух, аномальной жары или активного освоения территорий в верховьях реки. Тем не менее, зависимость Северо-Китайской равнины можно снизить за счет размещения водоемких производств в более обеспеченных водой районах, расширения практики торговли правами на воду и изменения структуры посевных площадей [128, 129]. Последние исследования подтверждают благотворное влияние ППВЮС на экономику задействованных регионов. Например, данные по центральному маршруту проекта указывают на постоянный рост эффективности водопользования на всем его протяжении [115]; при этом экономический статус территорий-получателей воды вырос по сравнению с другими регионами [130]. Основным драйвером роста стало развитие сферы услуг, получившей импульс благодаря надежному обеспечению бытовых нужд населения. Кроме того, проект способствовал расширению крупного бизнеса в этих зонах [131]. С 2014 г. центральный маршрут принес ощутимую пользу провинциям Хэнань и Хэбэй, а также городам Тяньцзинь и Пекин, инициировав устойчивые изменения в городской среде, состоянии подземных вод, экологии, структуре промышленности и социальном развитии регионов-получателей [131].

5. Заключение

Проект переброски воды с юга на север (ППВЮС) является одним из самых амбициозных гидротехнических мегапроектов в мире, имеющим глубокие последствия как для Китая, так и для всего международного сообщества. Данный обзор, основанный на актуальных исследованиях и данных, подчеркивает, что ППВЮС – это не просто внутренняя водохозяйственная инициатива, а преобразующая сила глобального масштаба, затрагивающая экономические, экологические и геополитические аспекты.

Проект уже принес значительные результаты в смягчении дефицита воды на севере Китая, стабилизации уровня подземных вод, а также в поддержке продуктивности сельского хозяйства и развития городов. Ввод в эксплуатацию восточного и центрального маршрутов позволил: обеспечить водную безопасность для более чем 150 млн человек, снизить риски наводнений в бассейне реки Янцзы, стимулировать социально-экономический рост в регионах-получателях. Тем не менее, эти достижения сопряжены с серьезными вызовами, включая стремительный рост стоимости проекта, масштабное переселение населения и социальные потрясения, а также сохраняющиеся экологические риски (изменение экосистем,

засоление почв и перенос загрязняющих веществ). Ключевым условием долгосрочной устойчивости проекта остается необходимость в эффективных мерах по минимизации последствий и прозрачной системе оценки.

Влияние ППВЮС выходит далеко за пределы Китая. Укрепляя продовольственную самообеспеченность КНР, проект потенциально способствует стабилизации мировых рынков продовольствия, особенно в периоды одновременных засух в ключевых зернодобывающих регионах планеты. Кроме того, ППВЮС служит моделью крупномасштабного управления водными ресурсами и трансфера технологий, предлагая как позитивные, так и предостерегающие уроки для других стран, реализующих схожие инфраструктурные проекты в рамках инициативы «Один пояс, один путь». В то же время проект поднимает важные вопросы управления трансграничными водами, экологической справедливости и возможности экспорта китайского технократического подхода к управлению водой.

Дальнейшая траектория развития ППВЮС, и в особенности планируемый западный маршрут, станет решающей. Этот этап может затронуть «водонапорную башню Азии» (Тибетское нагорье), что повлечет за собой трансграничные последствия для соседних стран и гидрополитики региона. В связи с этим непрерывный мониторинг, международный диалог и адаптивное управление являются необходимыми условиями для того, чтобы максимизировать выгоды проекта при минимизации его негативного воздействия.

В заключение следует отметить, что проект ППВЮС воплощает в себе как возможности, так и дилеммы, характерные для мега-проектов по переброске воды в XXI веке. Его историческое наследие будет зависеть от способности политиков, инженеров и заинтересованных сторон найти баланс между экономическим развитием, экологической ответственностью, социальной справедливостью и международным сотрудничеством. Продолжающиеся исследования, прозрачный обмен данными и инклюзивное управление станут залогом того, что проект оправдает ожидания как Китая, так и мирового сообщества.

Опираясь на проведенный анализ, можно выделить следующие ключевые характеристики:

Национальная водная безопасность и социально-экономические выгоды: (1) ППВЮС значительно облегчил проблему нехватки воды на севере Китая, стабилизировал уровни подземных вод и поддержал развитие сельского хозяйства и городов, что принесло пользу более чем 150 млн человек. (2) Проект способствовал социально-экономическому росту в регионах-получателях и снизил риски наводнений в бассейне реки Янцзы.

Экономические и экологические компромиссы: Хотя проект обеспечил существенные экономические выгоды, его реальную стоимость по-

прежнему трудно оценить. Это связано со сложными схемами финансирования, затратами на переселение и мерами по минимизации последствий. Экологические вызовы включают трансформацию экосистем, засоление почв, перенос загрязняющих веществ и необходимость в постоянной экологическом восстановлении и компенсационных выплатах.

Социальное воздействие и вопросы справедливости: Проект привел к масштабному переселению и социальным потрясениям: непосредственно было перемещено до 375 тыс человек, что оказало значительное влияние на местные общины и культурное наследие. Социальная устойчивость требует постоянного контроля над рисками распространения заболеваний, передающихся через воду, и обеспечения справедливого распределения выгод от реализации проекта.

Глобальные и геополитические последствия: Повышая продовольственную самообеспеченность Китая, проект помогает стабилизировать мировые рынки продовольствия, особенно в периоды засух в других крупных аграрных регионах мира.

Утверждается, что проект служит эталоном масштабного управления водными ресурсами и инноваций в госуправлении, но в то же время он ставит острые вопросы об управлении трансграничными водами и экологической справедливости. Планируемый западный маршрут может затронуть ресурсы «водонапорной башни Азии», что несет потенциальные трансграничные риски для соседних стран. В этих условиях ключевое значение приобретают постоянный мониторинг, прозрачная оценка результатов, международный диалог и адаптивное управление, позволяющие максимизировать выгоды проекта и минимизировать его возможные негативные последствия.

ППВЮС наглядно демонстрирует как возможности, так и противоречия мегапроектов по переброске воды в XXI веке. Его долгосрочное значение будет зависеть от того, удастся ли сбалансировать экономическое развитие, экологическую ответственность, социальную справедливость и международное сотрудничество. Для обеспечения устойчивости проекта в долгосрочной перспективе, а также для выработки подходов к аналогичным инициативам по всему миру, ключевое значение имеют дальнейшие исследования, прозрачный обмен данными и развитие механизмов участия заинтересованных сторон в управлении.

Литература

1. Haddeland, I.; Heinke, J.; Biemans, H.; Eisner, S.; Flörke, M.; Hanasaki, N.; Konzmann, M.; Ludwig, F.; Masaki, Y.; Schewe, J.; et al. Global water resources affected by human interventions and climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 2014, 111, 3251–3256.
2. Brauman, K.A.; Richter, B.D.; Postel, S.; Malsy, M.; Flörke, M. Water depletion: An improved metric for incorporating seasonal and dry-year water scarcity into water risk assessments. *Elem. Sci. Anthr.* 2016, 4, 000083.
3. Shumilova, O.; Tockner, K.; Thieme, M.; Koska, A.; Zarfl, C. Global water transfer mega-projects: A potential solution for the water-food-energy nexus? *Front. Environ. Sci.* 2018, 6, 150.
4. Flyvbjerg, B. What you should know about megaprojects and why: An overview. *Proj. Manag. J.* 2014, 45, 6–19.
5. Sternberg, T. Water megaprojects in deserts and drylands. *Int. J. Water Resour. Dev.* 2016, 32, 301–320.
6. Zhuang, W. Eco-environmental impact of inter-basin water transfer projects: A review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2016, 23, 12867–12879.
7. Ghassemi, F.; White, I. *Inter-Basin Water Transfer: Case Studies from Australia, United States, Canada, China and India*; International Hydrology Series; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2007.
8. Gupta, J.; van der Zaag, P. Interbasin water transfers and integrated water resources management: Where engineering, science and politics interlock. *Phys. Chem. Earth* 2008, 33, 28–40.
9. FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Water Withdrawal by Sector 2010*, Rome. Available online: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/tables/WorldData-Withdrawal_eng.pdf (accessed on 2 October 2024).
10. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. In *Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC*; Cambridge University Press: Singapore, 2021; Available online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (accessed on 2 October 2024).
11. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). *The State of Food and Agriculture 2023: Water, Food and Agriculture Pathways to Sustainable Transformation*; FAO: Rome, Italy, 2023. Available online: <https://www.fao.org/publications/sofa/2023/en/> (accessed on 9 November 2025).
12. Faúndez, M.; Alcayaga, H.; Walters, J.; Pizarro, A.; Soto-Álvarez, M. Sustainability of water transfer projects: A systematic review. *Sci. Total Environ.* 2023, 860, 160500.
13. Webber, M.; Crow-Miller, B.; Rogers, S. The South–North Water Transfer Project: Re-making the geography of China. *Reg. Stud.* 2017, 51, 370–382.
14. Gao, Y.; Yu, M. Assessment of the economic impact of South-to-North Water Diversion Project on industrial sectors in Beijing. *Econ. Struct.* 2018, 7, 4.
15. Berkoff, J. China: The South–North Water Transfer Project—Is it justified? *Water Policy* 2003, 5, 1–28.
16. Feng, S.; Li, L.X.; Duan, Z.G.; Zhang, J.L. Assessing the impacts of South-to-North Water Transfer Project with decision support systems. *Decis. Support Syst.* 2007, 42, 1989–2003.
17. Li, S.T.; Xu, X.Y. *South-to-North Water Transfer Project and China Development*; Economic Science Press: Beijing, China, 2004. (In Chinese)
18. Liu, C.M. Environmental issues and the South–North Water Transfer Scheme. *China Quarterly.* 1998, 156, 899–910.

19. Ma, J.; Hoekstra, A.Y.; Wang, H.; Chapagain, A.K.; Wang, D. Virtual versus real water transfers within China. *Philos. Trans. R. Soc. B Sci.* 2006, 361, 835–842.
20. Shao, X.; Wang, Z. Interbasin transfer projects and their implications: A China case study. *Int. J. River Basin Manag.* 2003, 1, 5–14.
21. Yang, H.; Zehnder, A.J.B. The South–North Water Transfer Project in China. *Water Int.* 2005, 30, 339–349.
22. Zhang, Q. The South-to-North Water Transfer Project of China: Environmental implications and monitoring strategy. *J. Am. Water Resour. Assoc.* 2009, 45, 1238–1247.
23. Liqiang, H. Water Diversion Project Moves Enormous Sums. *China Daily*, 5 February 2023. Available online: <https://www.chinadaily.com.cn> (accessed on 28 April 2023).
24. Webber, M.; Webber, M.J. A Comprehensive Assessment of a Chinese Water Management Project. 2022. Available online: <https://www.scientia.global/dr-michael-j-webber-a-comprehensive-assessment-of-a-chinese-water-management-project/> (accessed on 2 October 2024).
25. Webber, M.; Han, X.; Rogers, S.; Wang, M.; Jiang, H.; Zhang, W.; Barnett, J.; Zhen, N. Inside-out: Chinese academic assessments of large-scale water infrastructure. *WIREs Water* 2021, 8, e1556.
26. Wilson, M.; Li, X.; Ma, Y.; Smith, A.; Wu, J. A review of the economic, social, and environmental impacts of China’s South–North Water Transfer Project: A sustainability perspective. *Sustainability* 2017, 9, 1489.
27. Chen, D.; Webber, M.; Finlayson, B.; Barnett, J.; Chen, Z.; Wang, M. The impact of water transfers from the lower Yangtze River on water security in Shanghai. *Appl. Geogr.* 2013, 45, 303–310.
28. Fang, X.; Roe, T.L.; Smith, R.B.W. Water shortages, intersectoral water allocation and economic growth: The case of China. *China Agric. Econ. Rev.* 2015, 7, 2–26.
29. Lin, C.; Suh, S.; Pfister, S. Does South-to-North water transfer reduce the environmental impact of water consumption in China? *J. Ind. Ecol.* 2012, 16, 647–654.
30. Britannica Grand Canal. Available online: <https://www.britannica.com/topic/Grand-Canal-China> (accessed on 29 April 2023).
31. Freeman, C. Quenching the Thirsty Dragon: The South-North Water Transfer Project—Old Plumbing for New China? Brief from the series under the China Environment Forum’s Cooperative Competitors: Building New Energy and Water Networks Initiative, Woodrow Wilson International Center for Scholars. 2011. Available online: <https://www.wilsoncenter.org/sites/default/files/media/documents/publication/Quenching%20the%20Dragon%25E2%2580%2599s%20Thirst.pdf> (accessed on 2 October 2024).
32. Zeng, Z.Y.; Jiang, L.; Xu, J.J.; Wang, D. An Indicator System for Evaluating Ecological Benefit of South-to-North Water Diversion Project to Water-receiving Areas. *Technol. Econ. Change* 2024, 8, 13–20. (In Chinese)
33. Wu, X.F.; Chen, Q.W.; Wang, G.; Tian, W. Several key issues in the high-quality development of the South-to-North Water Diversion Project: From scientific research to engineering practice. *ACTA Geogr. Sin.* 2023, 78, 1131–1743. (In Chinese)
34. Moore, S.M. Modernisation, authoritarianism, and the environment: The politics of China’s South–North Water Transfer Project. *Environ. Politics* 2014, 23, 947–964.
35. Moore, S.M. Hydropolitics and inter-jurisdictional relationships in China: The pursuit of localized preferences in a centralized system. *China Q.* 2014, 219, 760–780.
36. Baiyu, G. Vast River Diversion Plan Afoot in Western China. *China Dialogue* 2020. Available online: <https://chinadialogue.net/en/nature/11762-vast-river-diversion-plan-afoot-in-western-china-2> (accessed on 28 April 2023).

37. Donnellon-May, G.; Wang, M. Red Flag River and China's Downstream Neighbors. *The Diplomat*, 23 October 2021. Available online: <https://thediplomat.com/2021/10/red-flag-river-and-chinas-downstream-neighbors/> (accessed on 2 October 2024).
38. Zhang, H.; Donnellon-May, G. To Build or Not to Build: Western Route of China's South-North Water Diversion Project; *New Security Beat*, Woodrow Wilson International Center for Scholars: Washington, DC, USA, 2021. Available online: <https://www.newsecuritybeat.org/2021/08/build-build-western-route-chinas-south-north-water-diversion-project/> (accessed on 2 October 2024).
39. Webber, M. Manipulating Water in China. *Made China J.* 2023, 7, 116–123. Available online: <https://madeinchinajournal.com/author/michael-webber/> (accessed on 2 October 2024).
40. The State Council Information Office, The People's Republic of China. World Records Set by South-to-North Water Diversion Project. 2018. Available online: https://english.scio.gov.cn/chinaprojects/2018-05/08/content_51532477_0.htm (accessed on 2 October 2024).
41. Lin, G.C.S. Water, technology, society and the environment: Interpreting the technopolitics of China's South–North Water Transfer Project. *Reg. Stud.* 2017, 51, 383–388.
42. Chang, G. China's Water Crisis Made Worse by Policy Failures. *World Aff.* 2014, 8. Available online: <https://www.strategicstudyindia.com/2014/01/chinas-water-crisis-made-worse-policy-failures.html> (accessed on 9 November 2025).
43. Rogers, S.; Barnett, J.; Webber, M.; Finlayson, B.; Wang, M. Governmentality and the conduct of water: China's South-North Water Transfer Project. *Trans. Inst. Br. Geogr.* 2016, 41, 429–441.
44. Yan, H.; Lin, Y.; Chen, Q.; Zhang, J.; He, S.; Feng, T.; Wang, Z.; Chen, C.; Ding, J. A Review of the Eco-Environmental Impacts of the South-to-North Water Diversion: Implications for Interbasin Water Transfers. *Engineering* 2023, 30, 161–169.
45. Wu, Y.B.; Feng, J.J.; Chen, Z.; Zhao, J.; Cui, C. Spatio-temporal Evolution Characteristics of Carbon Balance in Water Source Areas and Water Receiving Areas during the Construction Period of the South-to-North Water Diversion Middle Route Project. *Technol. Econ. Change* 2024, 8, 1–10. (In Chinese)
46. Nong, X.; Shao, D.; Zhong, H.; Liang, J. Evaluation of water quality in the South-to-North Water Diversion Project of China using the water quality index (WQI) method. *Water Res.* 2020, 178, 115781.
47. Sun, K.; Wenbo, H.; Shen, Y.; Yan, T.; Liu, C.; Yang, Z.; Han, J.; Xie, W. Ecological security evaluation and early warning in the water source area of the Middle Route of South-to-North Water Diversion Project. *Sci. Total Environ.* 2023, 868, 161561.
48. Jiang, C.; Wang, J.; Li, C.; Wang, X.; Wang, D. Understanding the hydropower exploitation's hydrological impacts through a lens of change in flow-sediment relationship: A case study in the Han River Basin, China. *Ecol. Eng.* 2019, 129, 82–96.
49. Jun, X.; Chen, Y.D. Water problems and opportunities in the hydrological sciences in China. *Hydrol. Sci. J.* 2001, 46, 907–921.
50. Li, Q.; Shangguan, Z.; Wang, M.; Yan, D.; Zhai, R.; Wen, C. Risk Assessment of China's Water-Saving Contract Projects. *Water* 2020, 12, 2689.
51. World Bank China. Agenda for Water Sector Strategy for North China; World Bank Report No. 22040-CHA; World Bank: Washington, DC, USA, 2001.
52. World Wildlife Fund The Proposed South North Water Transfer Scheme in China Need, Justification and Cost; Draft Report; World Wildlife Fund: Beijing, China, 2001.

53. Global Times South-to-North Water Diversion Project Passes Verification Test. 2022. Available online: <https://www.globaltimes.cn/page/202208/1273977.shtml> (accessed on 2 October 2024).
54. Jiu, J.; Wu, H.; Li, S. The Implication of Land-Use/Land-Cover Change for the Declining Soil Erosion Risk in the Three Gorges Reservoir Region, China. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16, 1856.
55. Xue, B.; A, Y.; Wang, G.; Helman, D.; Sun, G.; Tao, S.; Liu, T.; Yan, D.; Zhao, T.; Zhang, H.; et al. Divergent hydrological responses to forest expansion in dry and wet basins of China: Implications for future afforestation planning. *Water Resour. Res.* 2022, 58, e2021WR031856.
56. Li, H.; Ding, L.; Ren, M.; Li, C.; Wang, H. Sponge City Construction in China: A Survey of the Challenges and Opportunities. *Water* 2017, 9, 594.
57. Bao, Y. Impact Assessment of Eastern Route of South-to-North Water Diversion Project Operation on Water Environmental of Dongping Lake. *E3S Web Conf.* 2021, 276, 01006.
58. Liu, J.; Wan, J. Bridging the Gap: Meeting the World's Water and Environmental Resources Challenges. In *Proceedings of the World Water and Environmental Resources Congress 2001*, Orlando, FL, USA, 20–24 May 2001; American Society of Civil Engineers: Reston, VA, USA.
59. Liu, S.; Zhong, G.; Kuang, C.; Sun, B.; Gou, H.; Huang, W. Effects of South-To-North Water Transfer Project on Salinity Intrusion in Yangtze Estuary. In *Proceedings of the Coastal Hazards, TEMSP 2, Engineering Mechanics Conference*, Los Angeles, CA, USA, 8–11 August 2010.
60. Kattel, G.R.; Shang, W.; Wang, Z.; Langford, J. China's South-to-North Water Diversion Project Empowers Sustainable Water Resources System in the North. *Sustainability* 2019, 11, 3735.
61. He, C.; He, X.; Fu, L. China's South-to-North Water Transfer Project: Is it needed? *Geogr. Compass* 2010, 4, 1312–1323.
62. Thomé, A.M.T.; Ceryno, P.S.; Scavarda, A.; Remmen, A. Sustainable infrastructure: A review and a research agenda. *J. Environ. Manag.* 2016, 184, 143–156.
63. Qiu, J. China faces up to groundwater crisis. *Nature* 2010, 466, 308.
64. Groffman, P.M.; Baron, J.S.; Blett, T.; Gold, A.J.; Goodman, I.; Gunderson, L.H.; Levinson, B.M.; Palmer, M.A.; Paerl, H.W.; Peterson, G.D.; et al. Ecological Thresholds: The Key to Successful Environmental Management or an Important Concept with No Practical Application? *Ecosystems* 2006, 9, 1–13.
65. Long, D.; Yang, W.; Scanlon, B.R.; Zhao, J.; Liu, D.; Burek, P.; Pan, Y.; You, L.; Wada, Y. South-to-North Water Diversion stabilizing Beijing's groundwater levels. *Nat. Commun.* 2020, 11, 3665.
66. Fu, H.; Yang, X. Effects of the South-North Water Diversion Project on the Water Dispatching Pattern and Ecological Environment in the Water Receiving Area: A Case Study of the Fuyang River Basin in Handan, China. *Water* 2019, 11, 845.
67. Ma, L.; Wang, Q. Do water transfer projects promote water use efficiency? case study of South-to-North Water Transfer Project in Yellow River Basin of China. *Water* 2024, 16, 1367.
68. Yang, R.; Xu, H. Water diversion and agricultural production: Evidence from China. *J. Integr. Agric.* 2023, 22, 1244–1257.
69. Xinhua News Agency China's Mega Water Diversion Project Benefits 150 mln People. 2022. Available online: <https://www.macaubusiness.com/chinas-mega-water-diversion-project-benefits-150-mln-people/> (accessed on 2 October 2024).
70. Wang, G.; Wu, Y.H. The Contemporary Values of the Spirit of the South-to-North Water Diversion Project. *Acad. Forum Nandu (J. Humanit. Soc. Sci.)* 2023, 43, 92–98. (In Chinese)

71. Wang, W.; Dai, J.R.; Liang, Y.S.; Huang, Y.X.; Coles, G.C. Impact of South-to-North Water Diversion Project on the transmission of *Schistosoma japonicum* in China. *Ann. Trop. Med. Parasitol.* 2009, 103, 17–29.
72. Liang, Y.S.; Wang, W.; Li, H.J.; Shen, X.H.; Xu, Y.L.; Dai, J.R. The South-to-North Water Diversion Project: Effect of the water diversion pattern on transmission of *Oncomelania hupensis*, the intermediate host of *Schistosoma japonicum* in China. *Parasites Vectors* 2012, 5, 52.
73. Li, S.; Guo, W.; Mitchell, B. Evaluation of water quality and management of Hongze Lake and Gaoyou Lake along the Grand Canal in Eastern China. *Environ. Monit. Assess.* 2011, 176, 373–384.
74. Tan, X.; Xia, X.L.; Li, S.Y.; Zhang, Q.F. Water quality characteristics and integrated assessment based on multistep correlation analysis in the Danjiangkou Reservoir, China. *J. Environ. Inf.* 2015, 25, 60–70.
75. Xin, X.K.; Li, K.F.; Finlayson, B.; Yin, W. Evaluation, prediction, and protection of water quality in Danjiangkou Reservoir, China. *Water Sci. Eng.* 2015, 8, 30–39.
76. Allison, M.A.; Meselhe, E.A. The use of large water and sediment diversions in the lower Mississippi River (Louisiana) for coastal restoration. *J. Hydrol.* 2010, 387, 346–360.
77. Deng, X.P.; Shan, L.; Zhang, H.; Turner, N.C. Improving agricultural water use efficiency in arid and semiarid areas of China. *Agric. Water Manag.* 2006, 80, 23–40.
78. Wang, F.; Yu, C.; Xiong, L.; Chang, Y. How can agricultural water use efficiency be promoted in China? A spatial-temporal analysis. *Resour. Conserv. Recycl.* 2019, 145, 411–418.
79. Fang, Q.X.; Ma, L.; Green, T.R.; Yu, Q.; Wang, T.D.; Ahuja, L.R. Water resources and water use efficiency in the North China Plain: Current status and agronomic management options. *Agric. Water Manag.* 2010, 97, 1102–1116.
80. Zhu, W.; Fu, K.; Li, H.; Fu, J.; Zhang, K. Adaptability of economy and water system in Middle Route of the South-to-North Water Transfers Project water source area: Taking Nanyang City as an example. *South–North Water Transf. Water Sci. Technol.* 2024, 22, 1063–1070. (In Chinese)
81. Xue, B.Q.; Fan, H.Y. Total Factor Water Green Efficiency and Water Saving and Emission Reduction Potential in the Water Service Area of the South-to-North Water Diversion Project's Central Route. *Area Res. Dev.* 2024, 43, 138–144. Available online: <https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/CiFQZXJpb2RpY2FsQ0hJU29scjITMjAyNTEwMjEwOTUwNDYSEGR5eWp5a2YyMDI0MDUwMjEaCG04b21rbGl2> (accessed on 9 November 2025). (In Chinese).
82. United Nations. DESA, Population Division. *World Population Prospects 2022*. Available online: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp2022_summary_of_results.pdf (accessed on 9 November 2025).
83. Ye, L.; Xiong, W.; Li, Z.; Yang, P.; Wu, W.; Yang, G.; Fu, Y.; Zou, J.; Chen, Z.; Van Ranst, E.; et al. Climate change impact on China food security in 2050. *Agron. Sustain. Dev.* 2013, 33, 363–374.
84. Parry, M.L.; Rosenzweig, C.; Iglesias, A.; Livermore, M.; Fischer, G. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Glob. Environ. Change* 2004, 14, 53–67.
85. Wu, W.; Tang, H.; Yang, P.; You, L.; Zhou, Q.; Chen, Z.; Shibasaki, R. Scenario-based assessment of future food security. *J. Geogr. Sci.* 2011, 21, 3–17.
86. Piao, S.L.; Ciais, P.; Huang, Y.; Shen, Z.H.; Peng, S.S.; Li, J.S.; Zhou, L.P.; Liu, H.Y.; Ma, Y.C.; Ding, Y.H.; et al. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature* 2010, 467, 43–51.

87. Wang, S.; Zhang, Z. Effects of climate change on water resources in China. *Clim. Res.* 2011, 47, 77–82.
88. Ghose, B. Food security and food self-sufficiency in China: From past to 2050. *Food Energy Secur.* 2014, 3, 86–95.
89. Ganeshpandian, P. Dams, hegemony and beyond: China's hydro-stability in the evolving world order. *Discov. Glob. Soc.* 2024, 2, 9.
90. Zhan, S. *China and Global Food Security (Elements in Global China)*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2022.
91. Zhang, W.; Jiang, H.; Rogers, S. The next phase of China's water infrastructure: A national water grid. *China Dialogue* 2022. Available online: <https://chinadialogue.net/en/cities/the-next-phase-of-chinas-water-infrastructure-a-national-water-grid/> (accessed on 9 November 2025).
92. Yang, T.; Su, M.; Guo, W.; Chen, Y.; Shang, J.; Hu, M. Analysis of the influence of the South-to-North Water Diversion Project, China on meteorological parameters: A case study of the middle route flowing area. *Theor. Appl. Climatol.* 2025, 156, 148.
93. Yang, M.; Qin, C.; Zhu, Y.; Zhao, Y.; He, G.; Wang, L. Assessment of Multi-Regional Comprehensive Benefits of the South-to-North Water Diversion Project in China. *Water* 2024, 16, 473.
94. Zhao, Y.; Zhang, Q.; Cheng, Z. Evaluating the impact of the South-to-North water diversion project on regional grain production. *Npj Sustain. Agric.* 2025, 3, 36.
95. Singh, S.C.; Das, K.N. Exclusive: China's New Mega Dam Triggers Fears of Water War in India. Available online: https://www.reuters.com/sustainability/land-use-biodiversity/chinas-new-mega-dam-triggers-fears-water-war-india-2025-08-25/?utm_source=chatgpt.com (accessed on 25 August 2025).
96. Chang, L.; Cheng, L.; Zhang, L.; Li, S.; Guo, Z.; Wang, X.; Wang, S.; Liu, D.; Liu, P.; Xiong, L.; et al. Faster and More Effective Recovery of Surface Water in the Water-Receiving Area of the Middle Route South-to-North Water Diversion Project. *Water Resour. Res.* 2025, 61, e2025WR040214.
97. Cheng, Z.; Zhao, Y.; Song, T.; Cheng, L.; Wang, W. White Elephant or Golden Goose? An Assessment of Middle Route of the South-to-North Water Diversion Project from the Perspective of Regional Water Use Efficiency. *Water Resour. Manag.* 2023, 37, 819–834.
98. Murphy, K.; Rudder, J.; Cappucci, M.; Cherian, M.; Deutschmann, J.; Elmera, C.; Fundukova, L.; Kaiser-Tedesco, A.; Ortiz-Riomalo, A.; Puri, J.; et al. Evidence Review for Food Security, Nutrition, and Climate-Resilience Interventions; Innovation Commission for Climate Change, Food Security, and Agriculture: Chicago, IL, USA, 2024. Available online: <https://innovationcommission.uchicago.edu/wp-content/uploads/2024/09/Final-Report.pdf> (accessed on 10 February 2025).
99. Akchaya, K.; Parasuraman, P.; Pandian, K.; Vijayakumar, S.; Thirukumaran, K.; Mustaffa, M.R.A.F.; Rajpoot, S.K.; Choudhary, A.K. Legume Intercropping for Resource Use Efficiency, Food Security, and Climate Resilience: A Systematic Review. *Front. Sustain. Food Syst.* 2025, 9, 1527256.
100. Kabato, W.; Getnet, G.T.; Sinore, T.; Nemeth, A.; Molnár, Z. Towards climate-smart agriculture: Strategies for sustainable agricultural production, food security, and greenhouse gas reduction. *Agronomy* 2025, 15, 565.
101. Yang, Y.; Jin, Z.; Mueller, N.D.; Driscoll, A.W.; Hernandez, R.R.; Grodsky, S.M.; Sloat, L.L.; Chester, M.V.; Zhu, Y.-G.; Lobell, D.B. Sustainable irrigation and climate feedbacks. *Nat. Food* 2023, 4, 123–134.
102. De Pinto, A.; Islam, M.M.; Katic, P. Resilience Integration in Food Security Research and Practice. In *Resilience and Food Security*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2023; pp. 123–

145. Available online: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-23535-1_7 (accessed on 5 October 2025).

103. Jasmin, S.; Hosen, I.; Biswas, A.K. China's Belt and Road Initiative and shifting global power dynamics. *Discov. Glob. Soc.* 2025, 3, 65.

104. Tudoroiu, T. *The Geopolitics of China's Belt and Road Initiative*; Routledge: London, UK, 2024. Available online: https://www.researchgate.net/publication/374939173_The_Geopolitics_of_China's_Belt_and_Road_Initiative (accessed on 11 December 2024).

105. Khan, M. *Economic and Geopolitical Consequences of China's Belt and Road Initiative*; Munich Personal RePEc Archive: Munich, Germany, 2023. Available online: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/117005/1/MPRA_paper_117005.pdf (accessed on 5 October 2024).

106. Cui, A.; Wang, C.; Huang, S.; Ji, R.; Jia, M.; Zhang, X.; Wang, W. Satellite-based assessment reveals hydrological and ecological transformations from China's South-to-North Water Diversion Project. *Geogr. Geo-Inf. Sci.* 2025, 37, 254–271.

107. Dai, Y.; Huang, Z.; Khan, N.; Labbo, M.S. Smart Water Management: Governance Innovation, Technological Integration, and Policy Pathways Toward Economic and Ecological Sustainability. *Water* 2025, 17, 1932.

108. Bilalova, S.; Newig, J.; Villamayor-Tomas, S. Toward Sustainable Water Governance? Taking Stock of Paradigms, Practices, and Sustainability Outcomes. *WIREs Water* 2024, 11, e1762.

109. Daniell, K.A. *Co-Engineering and Participatory Water Management: International Case Studies*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2012. Available online: https://assets.cambridge.org/97811070/12318/frontmatter/9781107012318_frontmatter.pdf (accessed on 5 October 2024).

110. Alvarado-Arias, N.; Soria-Delgado, J.; Staines, J.; Moya-Almeida, V. Participatory River Governance through Citizen Science. *Water* 2025, 17, 1358.

111. Ali, S.; Kamraju, V. Community Participation in Sustainable Integrated Water Resources Management. In *Water Resources Management*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2024; pp. 345–362. Available online: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-62079-9_18 (accessed on 20 December 2024).

112. Deng, H.; Wang, Q.; Zhao, Y.; Zhu, Y.; Jiang, S.; Zhai, J.; Gui, Y.; Chen, X.; Wang, L.; Liu, K. Impacts of continuous water diversions by the South-to-North water diversion project on increased precipitation and decreased temperature in water-receiving areas. *Geophys. Res. Lett.* 2025, 52, e2024GL113549.

113. Moore, S. China's domestic hydropolitics: An assessment and implications for international transboundary dynamics. *Int. J. Water Resour. Dev.* 2017, 34, 732–746.

114. Moore, S.M. Legitimacy, Development and Sustainability: Understanding Water Policy and Politics in Contemporary China. *China Q.* 2019, 237, 153–173.

115. Cheng, Z.; Zhao, Y.; Song, T.; Chen, D.; Luo, Z.; Webber, M.; Rogers, S.; Rutherford, I.; Wang, M.; Finlayson, B.; et al. Project and Region: The Challenges of Managing Water in Shandong after the South-North Water Transfer Project. *Water Altern.* 2020, 13, 49–69. Available online: <https://www.water-alternatives.org/index.php/alldoc/articles/vol13/v13issue1/563-a13-1-3> (accessed on 10 February 2025).

116. Rogers, S. *The Politics of China's South-North Water Transfer Project*. Available online: <https://www.internationalaffairs.org.au/australianoutlook/the-politics-of-chinas-south-north-water-transfer-project/> (accessed on 5 October 2024).

117. Rogers, S.; Wang, M. Producing a Chinese hydrosocial territory: A river of clean water flows north from Danjiangkou. *Environ. Plan. C Politics Space* 2020, 38, 1308–1327.

118. Rogers, S.; Chen, D.; Jiang, H.; Rutherford, I.; Wang, M.; Webber, M.; Crow-Miller, B.; Barnett, J.; Webber, M.; Finlayson, B.; et al. An integrated assessment of China's South—North Water Transfer Project. *Geogr. Res.* 2020, 58, 49–63.
119. Sheng, J.; Webber, M.; Han, X. Governmentality within China's South-North Water Transfer Project: Tournaments, markets and water pollution. *J. Environ. Policy Plan.* 2018, 20, 533–549.
120. Zhang, W. Watering the 'New Beijing': Chinese Ecotopia, Xiong'an and Its Water Security. Ph.D. Thesis, School of Geography, Earth and Atmospheric Sciences, Faculty of Science, The University of Melbourne, Melbourne, Australia, June 2022.
121. Wang, M.; Li, C. An institutional analysis of China's South-to-North water diversion. *Thesis Elev.* 2019, 150, 68–80.
122. Zhao, Y. Agribusiness and the Rise of Organic Farming Under Water Pollution Control in China. Ph.D. Thesis, School of Geography, Earth and Atmospheric Sciences, Faculty of Science, The University of Melbourne, Melbourne, Australia, July 2023.
123. Huang, G.; Liu, C.; Xi, T.; Xu, H.; You, W. The Agricultural and Economic Impacts of Massive Water Diversion. *J. Dev. Econ.* 2025, 176, 103517. Available online: <https://econ.pku.edu.cn/docs/2024-06/20240619161818988011.pdf> (accessed on 5 October 2024).
124. Feng, W.; Tao, Y.; Liu, M.; Deng, Y.; Yang, F.; Liao, H.; Li, T.; Song, F.; Ngien, S.K. Ecological Risk Assessment of Nutrients and Heavy Metals in SNWDP and Other Water Transfer Projects. *Environ. Sci. Eur.* 2024, 36, 140.
125. Zhou, B.-Y.; Fang, G.-H.; Li, X.; Zhou, J.; Zhong, H.-Y. Joint Optimal Operation of SNWDP: Strategies for Water Supply Equity and Efficiency. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2024, 28, 817–832.
126. Cheng, X.; Fang, L.; Mu, L.; Li, J.; Wang, H. Watershed Eco-Compensation Mechanism in China: Policies, Practices and Recommendations. *Water* 2022, 14, 777.
127. Liu, Y.; Zheng, H.; Zhao, J. Reframing water demand management: A new co-governance framework coupling supply-side and demand-side solutions toward sustainability. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2024, 28, 2223–2238.
128. Fang, L.; Fu, Y.; Chen, S.; Mao, H. Can water rights trading pilot policy ensure food security in China? Based on the difference-indifferences method. *Water Policy* 2021, 23, 1415–1434.
129. Liu, H.; He, B.; Chen, W. Does Water Rights Trading Improve Agricultural Water Use Efficiency? Evidence from a Quasi-Natural Experiment. *Water* 2025, 17, 2414.
130. Xu, H.; Yang, R. The economic impact of water diversion: Evidence from China. *Water Supply* 2024, 24, 313–328.
131. Wang, T.; Chi, J. Does the South-to-North Water Diversion Project promote the growth of enterprises above designated size in the water-receiving areas? —Evidence from 31 provincial-level administrative regions in China. *PLoS ONE* 2024, 19, e0297566.

Комплексная оценка межрегиональных выгод проекта переброски воды с юга на север в Китае

Минмин Ян, Чанхай Цинь, Юннань Чжу², Юн Чжао,
Гохуа Хэ и Личжэнь Ван⁴

Введение

Использование водных ресурсов является основным элементом социально-экономического развития. Только около 1% от общего объёма воды на Земле (13,86 млрд км³) непосредственно доступен для потребления человеком, при этом её распределение крайне неравномерно [1]. При этом, важным источником водоснабжения для многих регионов, особенно в юго-восточной Европе, служат подземные воды [2]. В настоящее время около 3,6 млрд человек в мире проживают в районах с дефицитом воды, что составляет почти половину населения Земли [3]. Кроме того, проблема дефицита и неравномерного распределения водных ресурсов продолжает обостряться под воздействием роста населения и возрастающих потребностей экономического развития [4]. Мегапроекты по переброске воды предлагают эффективное решение этой проблемы, позволяя перераспределять воду из регионов с избытком в регионы с её дефицитом с помощью инженерных технологий [5, 6]. На сегодняшний день более чем в 40 странах реализовано свыше 350 проектов по переброске воды, включая проект «Центральная долина» в США [7], «Проект соединения рек» в Индии [8] и проект переброски воды с юга на север в Китае [9], с суммарным годовым объёмом переброски, превышающим 500 млрд м³ [10]. Китай и Индия являются типичными развивающимися странами с крайне неравномерным распределением водных ресурсов [8, 11]. В этих странах реализуются многочисленные мегапроекты по переброске воды с целью смягчения их дефицита и дисбаланса, и ожидается, что реализация подобных проектов продолжится и в будущем [12].

Имеется множество исследований влияния и различных аспектов проектов переброски воды [8, 13]. Некоторые исследования показывают, что проекты переброски водных ресурсов оказывают значительное положительное влияние на развитие экономики регионов-получателей, способствуют повышению региональной сбалансированности и укрепляют сотрудничество между регионами-донорами и регионами-получателями во-

ды [10, 14]. Например, в рамках проекта по переброске воды с севера на юг Калифорнии годовой объём переброски воды составил 36,2 млрд м³, что обеспечило бытовые и производственные нужды Лос-Анджелеса и других регионов. Проект способствовал развитию промышленности и сельского хозяйства и сократил социально-экономический разрыв между восточной и западной частями страны [15]. Кроме того, проекты по переброске воды часто выполняют множественные функции, включая производство электроэнергии, судоходство, создание зон отдыха и борьбу с наводнениями, что также может приносить значительные выгоды [6, 16]. Так, например, проект в Лесото “Lesotho Highlands Water Project” обеспечивает около 30% совокупных доходов страны за счёт переброски водных ресурсов и производства электроэнергии [17]. Peng et al. [14] отмечают, что реализация таких проектов требует значительных инвестиций, которые стимулируют местное экономическое развитие, а Larsona et al. [18] показывают, что переброска воды значительно улучшила экологическую ситуацию в регионах-получателях и предотвратила просадку грунтов в Калифорнии. Однако в ряде исследований отмечается, что положительные эффекты проектов переброски воды могут быть результатом перераспределения выгод из регионов-доноров в регионы-получатели воды [19]. Строительство подобных проектов может иметь негативные социально-экономические [20] и экологические последствия [13] для регионов-доноров воды. Например, проект по переброске воды в Квебеке (Канада) оказал существенное социально-экологическое воздействие на коренное население в связи с переселением и антропогенным давлением на земли племён [21]. Кроме того, реализация проектов по переброске воды может привести к сокращению стока ниже по течению и изменению гидрологических условий, что оказывает негативное влияние на водные экосистемы [22]. Так, проект переброски воды в Калифорнии, включая канал Дельта-Мендота проекта Центральной долины, сократил приток пресной воды в залив Сан-Франциско на 40%, что вызвало формирование градиента засоленности протяжённостью около 80 км [23]. Для минимизации негативного воздействия подобных проектов Рамочная водная директива Европейского союза предусматривает обеспечение устойчивого использования водных ресурсов за счёт совершенствования практик водопользования и внедрения научно обоснованных методов управления [2, 24]. Таким образом, хотя проекты по переброске воды способствуют решению проблемы дисбаланса между спросом на воду и водообеспеченностью, их совокупные эффекты остаются предметом дискуссий и требуют осторожной оценки [8, 20].

Проект переброски воды с юга на север (ППВЮС) является крупнейшим проектом межбассейновой переброски воды в Китае, за счет которого вода из бассейна реки Янцзы перебрасывается в бассейны рек Хуанхэ и Хайхэ. Проект состоит из восточного, центрального и западного маршрутов [3]. Реализация первой фазы восточного и центрального маршрутов

началась соответственно в 2002 и 2003 гг., а переброска воды началась в 2013 и 2014 гг. Западный маршрут предназначен для транспортировки воды из верхних притоков реки Янцзы, но все еще находится на стадии планирования из-за сложных топографических и экологических условий [25]. Общая сумма инвестиций в проект ППВЮС превысила 240 млрд юаней, а переселение затронуло более 300 тыс. человек [26]. Воздействие проекта привлекло широкое внимание.

С момента начала эксплуатации в 2014 г., в регионах-получателях воды совокупный объём водоснабжения достиг 35 млрд м³, что принесло значительные выгоды в плане водообеспеченности [27] и существенно снизило проблему истощения запасов подземных вод [13]. За последние пять лет глубина залегания подземных вод в Пекине увеличилась на 3 м, при этом 40% этого роста связано с ППВЮС [28]. Кроме того, вдоль трасс переброски формируются зелёные экологические ландшафты благодаря природоохранным мероприятиям [11] а также обеспечивается пополнение экологического стока рек и озёр в регионах-донорах воды [29]. Город Дэнчжоу – первый город эко-пополнения на центральном маршруте – продемонстрировал быстрый рост стоимости экосистемных услуг: с 3,79 млрд до 4,6 млрд долл. США [30]. Что касается регионов-доноров воды, то, по данным исследования Jia и соавт., выполненного с использованием мультиспектральных данных Landsat и радиолокационных данных дистанционного зондирования ALOS, площадь лесов в районе источника водоснабжения демонстрировала тенденцию к увеличению в период с 2007 по 2017 гг. [29]. Кроме того, индекс NDVI показал заметный пространственный рост в верхнем течении и в районах, прилегающих к водохранилищу Даньцзянкоу [31]. Кроме того, Zhang and Nie выявили, что стоимость экосистемных услуг в уезде Сичуань и городе Даньцзянкоу в 2019 г. увеличилась на 10,26 млрд юаней по сравнению с 1989 г., при этом значительное влияние оказали лесные и водные экосистемы [32]. Однако Gu и соавт. отмечают, что улучшение экологической ситуации сопряжено с высокими расходами на охрану окружающей среды [33]. Для обеспечения качества и объёмов воды, поступающей из регионов-доноров, необходимы значительные инвестиции в охрану окружающей среды и предотвращение загрязнения. В то же время, эти регионы могут терять возможности для экономического развития, что приводит к потенциальным упущенным перспективам [34]. Так, в период с 2015 по 2020 гг. регион-донор в провинции Хэнань и г. Шиян понёс потери примерно на 12 млрд юаней в виде утраченных промышленных и сельскохозяйственных возможностей [35]. В среднем и нижнем течении реки Хань водозабор оказал заметное влияние на гидрологические условия: месячный сток снизился примерно на 4,05–4,27%, однако колебания стока уменьшились по сравнению с прошлым периодом [36]. Ху и соавт. выявили изменения в плотности флоры и фауны в водных экосистемах рек [37]. Кроме того, после переброски воды в среднем и нижнем течении

реки Хань усилилось загрязнение тяжёлыми металлами [4]. Ожидается, что частота возникновения цветения водорослей в этих районах может увеличиться примерно в два раза [38]. Загрязнение воды и почв также негативно отразилось на деятельности многих предприятий: в городе Сяньян локальные бюджетные потери, вызванные серьёзным водным и почвенным загрязнением, оцениваются примерно в 2,2 млрд юаней.

Анализ представленных исследований показывает, что влияние проектов переброски водных ресурсов представляет собой сложный процесс, а их эффекты проявляются в различных измерениях [14]. С пространственной точки зрения он охватывает регионы-доноры воды, регионы-получатели, а также среднее и нижнее течение рек. Во временном аспекте воздействие проекта включает как этап строительства, так и период эксплуатации. С точки зрения результатов рассматриваются как экономические, так и экологические эффекты, причём их характер предполагает наличие как положительных, так и отрицательных воздействий. В настоящее время исследования проектов межбассейновой переброски воды в основном сосредоточены на качественном анализе [6, 13, 20] и количественной оценке отдельных аспектов [14, 19]. Однако комплексных качественных исследований, учитывающих многомерное воздействие таких проектов, по-прежнему недостаточно. В связи с этим основными задачами настоящего исследования являются: во-первых, разработка системы комплексной оценки межрегиональных эффектов межбассейновой переброски воды (МБПВ); во-вторых, на примере первого этапа восточного и центрального маршрутов проекта переброски воды с юга на север в Китае (ППВЮС) проводится оценка совокупных эффектов для регионов-доноров, регионов-получателей, а также среднего и нижнего течения рек за период 2003–2020 гг.; в-третьих, анализируются перспективы дальнейшего развития проекта ППВЮС и возможные потери в случае его отсутствия.

2. Материалы и методы

2.1. Область исследования

Центральный маршрут ППВЮС отводит воду из водохранилища Даньцзянкоу в бассейн реки Ханьцзян, также известной как река Хань. Территория выше водохранилища Даньцзянкоу является регионом-донором, тогда как область ниже него относится к среднему и нижнему течению реки Хань (рис. 1). Общая протяжённость центрального маршрута составляет 1432 км, при этом планируется отводить из водохранилища Даньцзянкоу 9,5 млрд м³ воды в год. Вода распределяется по четырём провинциям и муниципалитетам, охватывая 22 муниципальных района. Во-

сточный маршрут предусматривает забор воды из основного русла реки Янцзы в городе Янчжоу провинции Цзянсу, после чего вода последовательно поднимается каскадом насосных станций. Маршрут разделяется на две линии водоподачи: одна направлена на север и обеспечивает аварийное водоснабжение провинции Шаньдун и города Тяньцзинь (официально введена в эксплуатацию 10 мая 2021 г.), другая направлена на восток и предназначена для водоснабжения Шаньдунского полуострова. В связи с серьёзным загрязнением воды в озёрах и реках по этому маршруту борьба с загрязнением является основной задачей первого этапа проекта восточного маршрута. Зона реализации плана по контролю загрязнения в рамках восточного маршрута охватывает все территории, влияющие на качество воды, поступающей по данному направлению. Согласно статистическим данным, представленным в отчёте о борьбе с загрязнением в рамках проекта ППВЮС, на провинции Цзянсу и Шаньдун пришлась наибольшая доля инвестиций в мероприятия по контролю загрязнения на первом этапе проекта – около 73% [16]. В связи с этим настоящее исследование сосредоточено на провинциях Шаньдун и Цзянсу и охватывает 15 городских административных единиц. В рамках проекта планируется перебросить 2,01 млрд м³ воды в провинцию Шаньдун и 2,25 млрд м³ в провинцию Цзянсу.

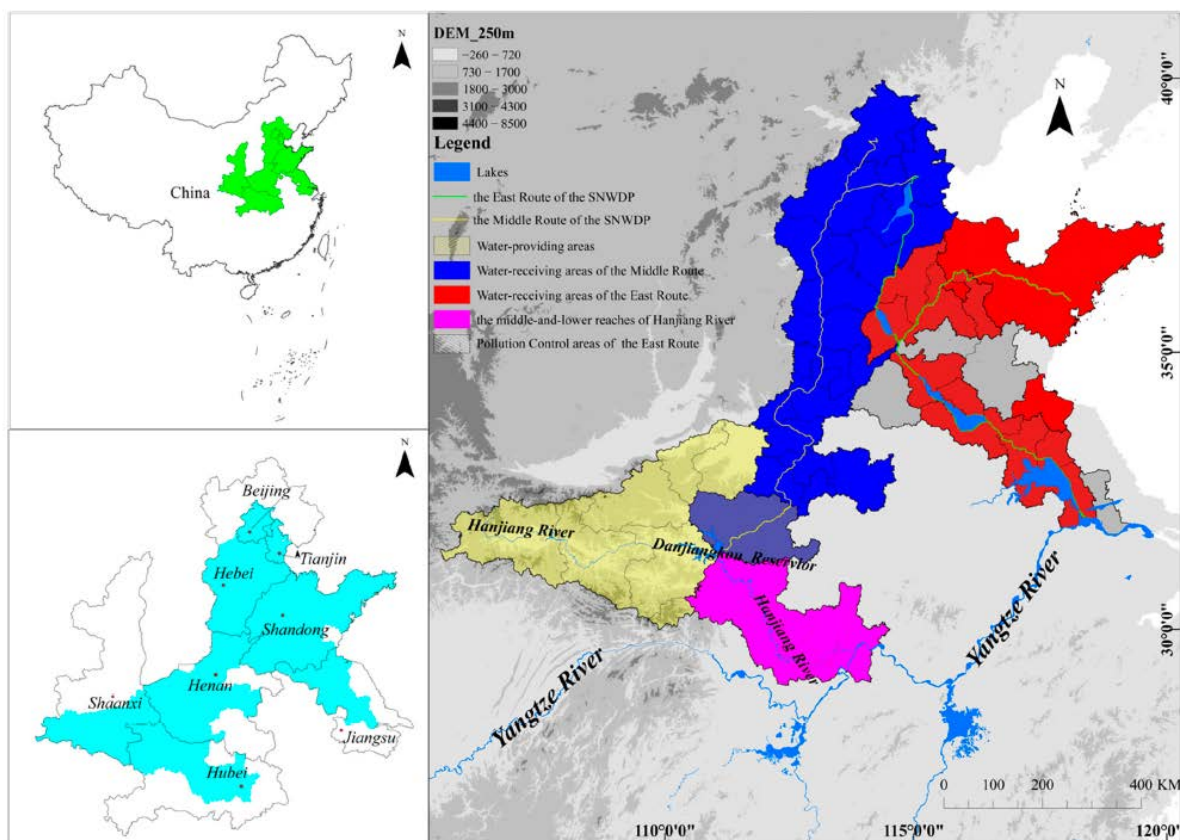


Рис. 1. Карта области переброски воды с юга на север

2.2. Схема исследования

В данном исследовании разработана система комплексной оценки межрегиональных эффектов межбассейновой переброски воды (МБПВ), учитывающая пространственно-временные эффекты и многомерные ценностные аспекты. Временные эффекты проявляются через результаты, возникающие на этапах строительства и эксплуатации проекта. Пространственные эффекты охватывают регионы-доноры водных ресурсов, регионы-получатели, а также среднее и нижнее течение рек. Многомерные ценностные эффекты отражаются в инвестиционных результатах, эффектах, связанных с использованием водных ресурсов, экологических эффектах, а также в возможных потерях возможностей развития отраслей экономики. Эти воздействия характеризуются как положительными, так и отрицательными последствиями. На этапе строительства проекта крупномасштабные инженерные работы – такие как подготовительные работы, охрана окружающей среды и объекты переброски воды – создают значительный спрос на сырьё, землю, рабочую силу, технологии и другие производственные факторы. Реализация соответствующих инвестиций напрямую стимулирует выпуск продукции в отраслях верхних звеньев производственной цепочки, активизирует потребительскую активность на местных и прилегающих рынках и тем самым формирует экономические эффекты. В то же время строительство отдельных объектов, таких как системы переброски воды, приводит к постоянному изъятию сельскохозяйственных земель, что обуславливает упущенные возможности развития сельского хозяйства. Строительство объектов для охраны окружающей среды может требовать корректировки промышленных систем на маршрутах, что ограничивает развитие отраслей с высокими выбросами или даже приводит к их закрытию, вызывая упущенные возможности для местной промышленности. Мероприятия по охране почв и водных ресурсов, а также лесопосадки в рамках экологических инициатив могут изменить виды землепользования в регионах-донорах, что, в свою очередь, влияет на экологические выгоды регионов.

Когда проект по переброске воды вступает в стадию эксплуатации, несмотря на то что большинство строительных работ уже завершено, реализация отдельных незавершённых объектов – таких как вспомогательная инфраструктура и сооружения по очистке сточных вод – продолжает стимулировать рыночную активность и формировать экономические эффекты. Кроме того, упущенные возможности, вызванные реализацией отдельных объектов, могут не быть компенсированы в краткосрочной перспективе и продолжают оказывать влияние. По мере перехода проекта к стадии эксплуатации всё больший объём воды поступает в регионы-получатели, что формирует дополнительные эффекты в сфере водных ресурсов. Часть этой

воды используется для производственных нужд и бытового потребления, вовлекаясь в экономическую деятельность и создавая экономические выгоды. Другая часть направляется на пополнение экологического стока русел рек, что способствует увеличению площади водной поверхности и запасов подземных вод. Одновременно вдоль трасс переброски воды происходят изменения в экологической среде: формируются новые водные объекты и создаются экологические зелёные пояса для защиты трасс переброски воды. Эти процессы способствуют улучшению экологического состояния регионов-получателей и формируют экологические эффекты. Вместе с тем из-за отвода воды из верховьев (регионов-доноров) объём водных ресурсов в среднем и нижнем течении бассейна уменьшается, что негативно влияет на способность водной среды к самоочищению и экологической устойчивости.

2.3. Методы

2.3.1. Оценка экономической выгоды

1. Экономические выгоды от инвестиций.

В данном исследовании для оценки выгод от инвестиций использовалась производственная функция Кобба–Дугласа (Cobb–Douglas, C–D), которая может быть представлена уравнениями (1) и (2) [40]. Основная идея заключается в том, что рост экономической продукции в регионе является результатом совокупного эффекта увеличения трудовых затрат, роста материальных капиталовложений и технического прогресса:

$$Y = AK^{\alpha}L^{\beta} \quad (1)$$

где: Y – общая стоимость производства, A – общий уровень технологий, K – стоимость инвестиций в основной капитал, L – трудовые затраты за определённый период в регионе, α и β – эластичность капитала и трудовых затрат соответственно.

Для упрощения вычислений уравнение (1) преобразуется в линейную форму с помощью логарифмического преобразования:

$$\ln Y = \ln A + \alpha \cdot \ln K + \beta \cdot \ln L \quad (2)$$

Взяв частную производную Y по K , получаем изменение стоимости производства в ответ на изменение капитальных инвестиций:

$$\Delta Y = \alpha \cdot Y \cdot \frac{\Delta K}{K} \quad (3)$$

где: ΔY – изменение стоимости производства (млрд долл. США), K – объём инвестиций в основной капитал (в данном исследовании – инвести-

ции в ППВЮС, млрд долл. США), Y – стоимость производства за текущий год (млрд долл. США).

2. Эффекты, связанные с водными ресурсами

Эффекты, связанные с водными ресурсами, в основном реализуются через водоснабжение и могут быть рассчитаны на основе доли вклада водных ресурсов в формирование добавленной стоимости с использованием подхода, предложенного Yang и соавт. [27]:

$$B_i = \frac{G_i}{W_i} \times W_{si} \times f_i \quad (4)$$

где: B_i – экономические выгоды, получаемые от использования водных ресурсов для вида потребления i , при этом $i=1,2,3$ соответствуют сельскохозяйственному, промышленному и бытовому использованию воды, G_i – добавленная стоимость для вида потребления i , W_i – суммарное потребление воды для вида использования i , W_{si} – объём переброски воды за счет ППВЮС, f_i – коэффициент эффекта, связанного с водными ресурсами для вида потребления i .

3. Потери возможностей развития

Упущенные возможности, как правило, представляют собой экономические потери, возникающие вследствие вынужденного отказа территорий от части прав на развитие по тем или иным причинам. В данном исследовании такие потери в основном проявляются в сельском хозяйстве и промышленности. Потери в сельском хозяйстве оценивались путём умножения площади постоянно используемых сельскохозяйственных земель на урожайность сельскохозяйственных культур с единицы площади и рыночную цену продукции. Потери возможностей промышленного развития, как правило, невозможно напрямую определить на основе рыночных цен. Поэтому для их оценки применяется метод косвенного рыночного ценообразования, основанный на сравнении затронутых и незатронутых территорий. Данный подход используется в соответствии с методикой, предложенной Wang и соавт. [34], и может быть представлен следующим образом:

$$I_{k,cost} = GDP_{k,cost} \times N_k \times \varphi_k \quad (5)$$

где: $I_{k,cost}$ – потери промышленного производства в регионе k в год после внедрения мер по охране окружающей среды, $GDP_{k,cost}$ – снижение добавленной стоимости на душу населения во вторичном секторе экономики

в данном охраняемом регионе в соответствующем году, N_k – общая численность населения в регионе за данный год, φ_k – коэффициент доходов, отражающий долю бюджетных поступлений в ВВП данного региона в соответствующем году дохода, представляющий отношение бюджетных поступлений к ВВП региона за данный год.

$$GDP_{k,cost} = GDP_{k-1} \times (1 + \gamma_k + \delta) - GDP_k \quad (6)$$

$$\delta = \left| (\alpha' - \beta') - (\alpha - \beta) \right|, \quad (7)$$

где: GDP_k – фактическая добавленная стоимость на душу населения во вторичном секторе экономики в год, следующий за реализацией мер по контролю загрязнения, GDP_{k-1} – фактическая добавленная стоимость на душу населения во вторичном секторе экономики за предыдущий год, γ_k – показатель прироста добавленной стоимости на душу населения во вторичном секторе экономики в год, следующий за реализацией мер по контролю загрязнения. δ – параметр упущенных возможностей, α' и β' – годовые темпы роста добавленной стоимости на душу населения во вторичном секторе экономики для исследуемого региона и контрольного региона соответственно при отсутствии ограничений на загрязнение, α и β – годовые темпы роста добавленной стоимости на душу населения во вторичном секторе экономики для исследуемого региона и контрольного региона соответственно после внедрения мер по контролю загрязнения.

2.3.2. Оценка экологических эффектов

Экологические эффекты проявляются в регионах-донорах водных ресурсов, регионах-получателях, а также в среднем и нижнем течении реки Хань. В регионах-донорах природоохранные мероприятия – такие как перевод сельскохозяйственных земель в лесные угодья, восстановление водно-болотных экосистем и закрытие промышленных предприятий – оказывают влияние на структуру землепользования. Тип землепользования является одним из наиболее наглядных показателей для оценки экологического состояния территории [26]. В данном исследовании используется таблица коэффициентов эквивалентной ценности экосистемных услуг, пересмотренная Хіе и соавт. [41], согласно которой стоимость условной единицы экосистемных услуг принимается равной одной седьмой средней рыночной стоимости урожая зерновых культур по стране. Значение условной единицы экосистемных услуг было скорректировано с учётом фактических условий регионов-получателей воды, после чего была проведена оценка экологических эффектов в регионах-донорах водных ресурсов. Расчёт может быть представлен в виде уравнений (8) и (9) в соответствии с методикой Хіе и соавт. [41].

$$E_j = \frac{1}{7} \sum_{i=1}^n \frac{m_{ij}}{M_j}, \quad (8)$$

где E_j – стоимость условной единицы экосистемных услуг с учетом коэффициента эквивалентности для региона j (долл. США/гм²), m_{ij} – стоимость валовой продукции зерновой культуры i в регионе j (долл. США), M_j – общая посевная площадь зерновых культур в регионе j , n – вид культуры.

$$ESV_j = \sum_{k=1}^n S_{k,j} \times E_j \times EF_{k,f}, \quad (9)$$

где: ESV_j – совокупная стоимость услуг водных экосистем в регионе j (долл. США), k – тип землепользования, $S_{k,j}$ – площадь землепользования k в регионе j (гм²), $EF_{k,f}$ – коэффициент эквивалентности функции экологических услуг f для типа землепользования k (приведён в таблице 1).

Таблица 1

Коэффициент эквивалентности функции экологической услуги

Тип экосистемы		Лесные угодья	Пастбища	Сельхоз. угодья	Водно-болотные угодья	Реки / Озера
Обеспечивающие услуги	Продукты питания	0.33	0.43	1	0.36	0.53
	Производство сырья	2.98	0.36	0.39	0.24	0.35
	Газорегулирование	4.32	1.5	0.72	2.41	0.51
Сглаживающие услуги	Регулирование климата	4.07	1.56	0.97	13.55	2.06
	Регулирование стока	4.09	1.52	0.77	13.44	18.77
	Утилизация отходов	1.72	1.32	1.39	14.4	14.85
Поддерживающие услуги	Охрана почв	4.02	2.24	1.47	1.99	0.41
	Сохранение биоразнообразия	4.51	1.87	1.02	3.69	3.43
Культурные услуги	Эстетический ландшафт	2.08	0.87	0.17	4.69	4.44
Итого		28.12	11.67	7.9	54.77	45.35

В регионах-получателях экологические выгоды проявляются прежде всего через увеличение площади поверхностных вод и лесных угодий вдоль сети переброски воды. Кроме того, в регионах-получателях форми-

руются положительные выгоды для поверхностных вод за счет пополнения экологического стока вдоль сети. Наконец, выгоды для подземных вод возникают вследствие снижения нагрузки на подземные воды за счет внешней переброски воды. Экологические преимущества, вызванные изменением землепользования, такие как расширение водных территорий вдоль сети и улучшение качества поверхностных вод в регионах-получателях, оцениваются с использованием коэффициентов стоимости экосистемных услуг.

Выгоды для подземных вод включают предотвращение снижения их уровня и просадки грунтов, регулирование и накопление подземных вод, а также энергосберегающие эффекты, возникающие за счёт повышения их уровня. Согласно Чжан и соавт. [42], чрезмерная эксплуатация подземных вод является основной причиной проблем с оседанием грунта. Продолжительная чрезмерная эксплуатация подземных вод привела к формированию воронкообразных углублений [43]. Таким образом, сокращение добычи подземных вод способствует предотвращению оседания грунта и контролю за развитием таких воронок. Выгоды для подземных вод от предотвращения формирования воронкообразных углублений и оседания грунта могут быть выражены следующим образом, согласно Zeng et al. [44]:

$$G_1 = W_1 \times (P_1 + P_2) \quad (10)$$

где: G_1 – экономические выгоды от предотвращения воронкообразного проседания грунта и снижения уровня подземных вод (долл. США), P_1 и P_2 – средние потери от проседания земли и от снижения уровня подземных вод на кубометр чрезмерного использования подземных вод соответственно, W_1 – снижение объема забора подземных вод в регионах-получателях проекта ППВЮС (m^3), который в основном включает: снижение забора подземных вод в городских районах, экологическое восполнение подземных вод за счёт инфильтрации воды при переброске воды. Коэффициент инфильтрации принят равным 0,57 по данным Bian и Wei et al. [45,46].

Кроме того, Jiao и соавт. [47] отметили, что подземные воды выполняют важные функции регулирования и накопления. Это проявляется в накоплении поверхностного стока в подземном водоносном горизонте в дождливый период или в межсезонье через естественную инфильтрацию с последующим использованием в засушливый период. Выгоды подземных вод, связанные с регулированием и накоплением, можно выразить следующим образом:

$$G_2 = W_2 \times P_3 \quad (11)$$

где: G_2 – экономическая выгода от регулирования и пополнения подземных вод (долл. США), W_2 – дополнительный объём запасов подземных

вод (м^3). В этом исследовании объём экологического пополнения подземных вод за счёт переброски воды использовался как величина вновь добавленных подземных вод, приносящих выгоды за счёт регулирования и хранения. P_3 – стоимость кубометра запаса воды, рассчитанная на основе региональной совокупной цены воды [48].

С постепенным повышением уровня подземных вод могут быть получены энергосберегающие выгоды при отборе воды, которые оцениваются через величину повышения уровня воды, объём отбора водных ресурсов и стоимость отбора воды за 1 м^3 , с ссылкой на Jiang et al. [49].

$$G_3 = \Delta H_1 \times P_4 \quad (12)$$

где: G_3 – выгода от энергосбережения за счёт повышения уровня подземных вод (долл. США), ΔH_1 – разница в уменьшении уровня (м), P_4 – цена электроэнергии за единицу (долл. США/м).

Что касается среднего и нижнего течения реки Хань, после ввода в эксплуатацию среднего маршрута ППВЮС сток бассейна уменьшился, а емкость водной среды также значительно снизилась. Шэнь [50] оценил, что до запуска ППВЮС экологическая емкость водной среды среднего и нижнего течения по показателям $\text{NH}_3\text{-N}$ и ТР составляла 33 089 т/год и 1065 т/год соответственно. После ввода проекта в эксплуатацию, в соответствии с плановым объемом переброски воды, экологическая емкость по $\text{NH}_3\text{-N}$ и ТР снизилась на 18,2 % и 32,3 % соответственно. Таким образом, потери экологическая емкости водной среды были оценены на основе фактического годового объема водозабора и рыночных цен на $\text{NH}_3\text{-N}$ и ТР.

3. Результаты

3.1. Сумма инвестиций и объем водозабора в рамках проекта ППВЮС

Как показано на рис. 3, общий объем инвестиций в ППВЮС в период с 2003 по 2020 гг. составил 64,15 млрд долл. США. На долю основных проектов, вспомогательных сооружений и проектов по утилизации сточных вод пришлось 55 %, 31 % и 13 % соответственно. Пиковый период инвестиций пришелся на 2010–2014 гг., когда было реализовано 61 % от общего объема вложений. В разных регионах проекты имели различное содержание. В регионах-донорах основные проекты включали строительство плотины Даньцзянкоу, переселение населения из зоны водохранилища и охрану культурного наследия, а общий объем инвестиций составил 7,73 млрд долл. США. Ключевые проекты в регионах-получателях включали строительство магистральной линии,

природоохранные мероприятия, изъятие земельных участков и переселение населения, с общим объемом инвестиций 23,4 млрд долл. США. В среднем и нижнем течении реки Хань, также известном как район проектов управления, основное внимание уделялось снижению или устранению негативных последствий отвода воды, при этом общий объем инвестиций составил 1,7 млрд долл. США. Проекты по очистке сточных вод были направлены на борьбу с загрязнением и включали инвестиции в размере 8,2 млрд долл. США, с средним годовым вложением около 0,45 млрд долл. США. Эти меры в основном сосредоточены в регионах-донорах, районах контроля загрязнения восточного маршрута, а также в среднем и нижнем течении реки Хань. Первые два направления преимущественно обеспечивают качество водоснабжения, тогда как проекты в среднем и нижнем течении реки направлены на предотвращение загрязнения, вызванного сбросом сточных вод при уменьшении объема воды в нижнем течении.

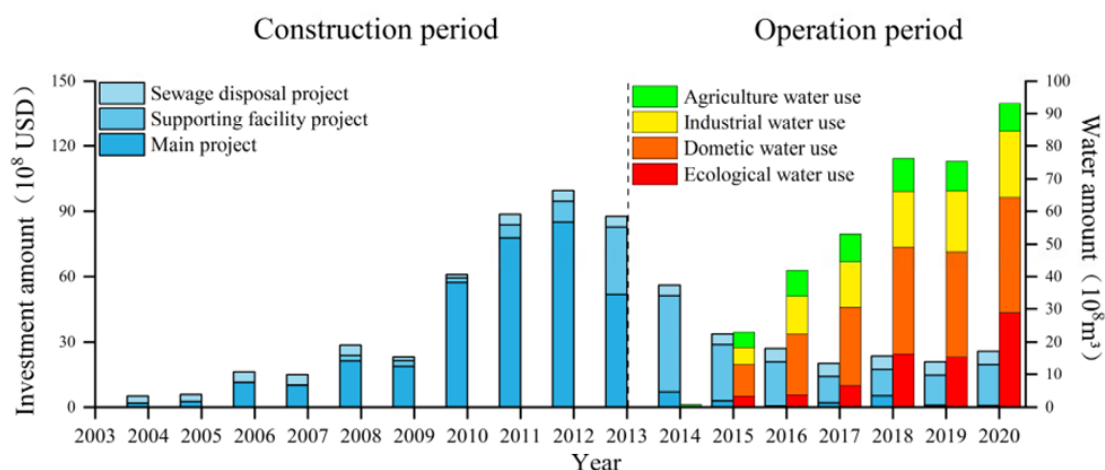


Рис. 3. Объем инвестиций и объем переброски воды в рамках проекта ППВЮС

Восточный и центральный маршруты ППВЮС начали поставку воды в 2014 и 2015 гг. соответственно. К 2020 г. общий объем отведённой воды достиг 36,4 млрд м³. Объем водозабора увеличился с 0,78 млрд м³ в 2014 г. до 9,3 млрд м³ в 2020 г. Среди регионов-получателей наибольший объем воды получила провинция Хэнань – 11,5 млрд м³, тогда как наименьший объем был направлен в провинцию Шаньдун – 3,05 млрд м³. Основное потребление приходилось на бытовые нужды (43 %), за которыми следовало промышленное водопользование (25 %). Наименьшую долю (11 %) занимало сельскохозяйственное водопользование, при этом только провинции Хэнань и Шаньдун использовали перебросенную воду для сельскохозяйственного производства. С 2017 г. наблюдалось значительное

увеличение объёма пополнения экологического стока: в 2020 г. оно составило 31 % от общего объёма водозабора или 9,3 млрд м³.

3.2. Комплексный анализ выгод от реализации ППВЮС в период с 2003 по 2020 гг.

Чистая выгода от реализации ППВЮС составила 207 млрд долл. США, включая экономическую и экологическую составляющие, которые составили соответственно 71,6 % и 28,4 %. Что касается экономической выгоды, то около 96 % приходится на регионы-получатели, прежде всего в виде инвестиций и выгод от использования водных ресурсов. Совокупная отдача от инвестиций составила 79,5 млрд долл. США, при этом инвестиционный мультипликатор равен 1,24. Это означает, что при инвестициях в размере 1 млрд долл. США в проект местный ВВП увеличивается на 1,24 млрд долл. США. Среди регионов наибольшая инвестиционная выгода была зафиксирована в провинции Хэбэй – 24 млрд долл. США, а инвестиционный мультипликатор составил 1,29. Данные результаты согласуются с исследованиями Танга и соавт. [59], которые показали, что мультипликатор инвестиций в водохозяйственную сферу по отношению к ВВП составляет примерно 1,3. Общая выгода от использования водных ресурсов составила 99,8 млрд долл. США. Наибольшую выгоду в этом отношении получил Пекин – 30,5 млрд долл. США, при этом экономическая отдача на кубометр воды составила 4,6 долл. США, что выше показателя 3,6 долл. США, приведённого Ян и соавт. [27]. Основной причиной этого является постепенное снижение потребления воды на единицу добавленной стоимости за счёт развития технологий и инструментов управления, что повышает экономическую ценность каждого кубометра воды.

Что касается экологических выгод, то около 66 % из них приходится на регионы-доноры. Для обеспечения требуемого качества воды для переброски правительство с 2006 г. инициировало проекты по предотвращению загрязнения воды, реструктуризации промышленности (включая закрытие ряда загрязняющих предприятий) и мероприятия по охране почв и водных ресурсов. В результате экологическая ценность источников воды сместилась преимущественно с сельскохозяйственных угодий на лесные и водноболотные территории. Эти результаты согласуются с исследованиями Zhang et al. [32] и Shen et al. [60]. В период с 2006 по 2020 гг. прирост экологической ценности составил 38,6 млрд долл. США, при этом основная часть сосредоточена в провинциях Хэнань и Шэньси.

Чистая выгода от реализации ППВЮС рассчитывается как разница между положительными и отрицательными выгодами, при этом отрицательные выгоды проявляются как в экономическом, так и в экологическом аспектах. В период с 2003 по 2020 гг. общая сумма отрицательных выгод

составила 31,8 млрд долл. США, при этом наибольшую долю (95 %) составили упущенные возможности промышленного развития, которые в основном сосредоточены в районах контроля загрязнения восточного маршрута (62 %). Альтернативные издержки промышленности в провинциях Цзянсу и Шаньдун составляют около 0,57 и 0,68 млрд долл. США в год соответственно. Для сравнения, Ли и соавт. [61] оценили альтернативные издержки промышленности в провинции Цзянсу на уровне 0,48 млрд долл. США в год, что значительно ниже результатов, полученных в настоящем исследовании. Основная причина различий заключается в учёте города Тайчжоу, на который приходится около 20 % потерь альтернативных издержек в провинции Цзянсу, в то время как Ли и соавт. [61] использовали метод рыночного моделирования для прогнозирования потерь от сокращения выбросов, что дало минимальную оценку альтернативных издержек.

Одной из ключевых задач ППВЮС является смягчение экологической деградации в регионах-получателях. К 2020 г. совокупные экологические выгоды в этих районах составили 20,75 млрд долл. США. Они были получены за счёт создания новых водоёмов и лесных насаждений, пополнения поверхностных водных ресурсов и восстановления подземных вод, доля которых составила соответственно 15 %, 33 % и 52 %.

Экологическая выгода для регионов-получателей центрального маршрута составила 14,3 млрд долл. США, при этом 71 % приходился на восстановление подземных вод. Северо-Китайская равнина, включая такие регионы-получатели как Пекин, Тяньцзинь и Хэбэй, является одним из регионов с наиболее серьёзной проблемой чрезмерной эксплуатации подземных вод. Благодаря сокращению отбора городских подземных вод на 2,06 млрд м³ и пополнению экологического стока русел рек в объёме 5,7 млрд м³ экологическая выгода для Северо-Китайской равнины увеличилась с 0,34 млрд долл. США в 2015 г. до 2,69 млрд долл. США в 2020 г. При этом фактическая выгода для подземных вод может быть выше. Согласно статистическим данным, после ввода в эксплуатацию ППВЮС общий объём отбора подземных вод на Северо-Китайской равнине сократился на 6,3 млрд м³. Однако в настоящем исследовании учитывалось только сокращение отбора подземных вод в городских районах, где водоснабжение преимущественно обеспечивается гидротехническими сооружениями, а основным источником водоснабжения остаются подземные воды.

3.3. Пространственное распределение выгод от реализации ППВЮС в 2020 году

В 2020 г. чистая выгода от реализации ППВЮС составила 39,3 млрд долл. США, что эквивалентно 20 % совокупной выгоды за весь рассматриваемый период. Положительные эффекты достигли 41,3 млрд долл. США, при этом наибольшую долю (56 %) составили выгоды от использования водных ресурсов. Провинция Хэнань получила наибольшую выгоду от использования водных ресурсов – 6,8 млрд долл. США, при этом экономическая отдача на единицу м³ воды составила 2,8 долл. США. Доля экологических выгод достигла 44 % и была сосредоточена преимущественно в регионах-получателях. Наибольший вклад внесли регионы-получатели в провинции Шэньси (46 %), где наиболее значительный прирост экологической ценности обеспечили лесные угодья, площадь которых увеличилась на 27 % по сравнению с 2005 г. В 2020 г. отрицательные выгоды от реализации ППВЮС составили 1,99 млрд долл. США, главным образом вследствие упущенных возможностей промышленного развития. При этом 54% общей суммы отрицательных эффектов пришлось на зону контроля загрязнения восточного маршрута. Провинции Цзянсу и Шаньдун имели отрицательные выгоды в размере 0,69 и 0,72 млрд долл. США соответственно.

Для анализа пространственного распределения совокупных выгод ППВЮС по регионам различные виды выгод были сопоставлены с площадью земель по типам землепользования. В частности, выгоды от использования воды в промышленности и городском бытовом секторе соотнесены с площадью застроенных территорий, а выгоды от использования воды в сельском хозяйстве – с площадью сельскохозяйственных угодий. Экологические выгоды, связанные с лесными угодьями, водными объектами и другими природными компонентами, были распределены по соответствующим типам землепользования. Выгоды, не оказывающие прямого влияния на конкретные категории землепользования, такие как инвестиционные эффекты и выгоды от восстановления подземных вод, распределялись по всей административной территории. Данный подход позволил определить пространственное распределение выгод на единицу площади в пределах территории реализации ППВЮС.

Как показано на рис. 5, средняя выгода от реализации ППВЮС на единицу площади в 2020 г. составила 0,07 долл. США. Наибольший показатель – 4,26 долл. США – был зафиксирован в г. Шиян провинции Хубэй, расположенном в регионе-доноре, и был обусловлен главным образом экологическими выгодами. Основная причина заключается в том, что город Шиян, являясь ключевым источником водоснабжения для ППВЮС, в последние годы уделяет особое внимание сохранению водно-болотных угодий. Площадь этих угодий увеличилась на 28 % по сравнению с 2005 г., при этом экологическая ценность на единицу площади достигла 14,3 долл.

США, что в 2,5 раза превышает соответствующий показатель регионов-доноров провинции Шэньси. Наименьшая выгода на единицу площади составила $-1,02$ долл. США и была зафиксирована в городе Сяньян провинции Хубэй, расположенном в среднем и нижнем течении реки Хань. Данный отрицательный эффект был обусловлен снижением экологической емкости водной среды. Поскольку сокращение объема воды является ключевым фактором, влияющим на состояние речного бассейна [53], после ввода в эксплуатацию ППВЮС город Сяньян столкнулся с наиболее значительным уменьшением водности. Согласно данным гидрологической станции Хуанцзяган (г. Сяньян), после ввода проекта в эксплуатацию объем стока сократился на 31,8 % по сравнению со средним показателем за период с 1963 по 2013 гг., предшествующий реализации проекта [44]. Это привело к существенному снижению экологической емкости водной среды города Сяньян.

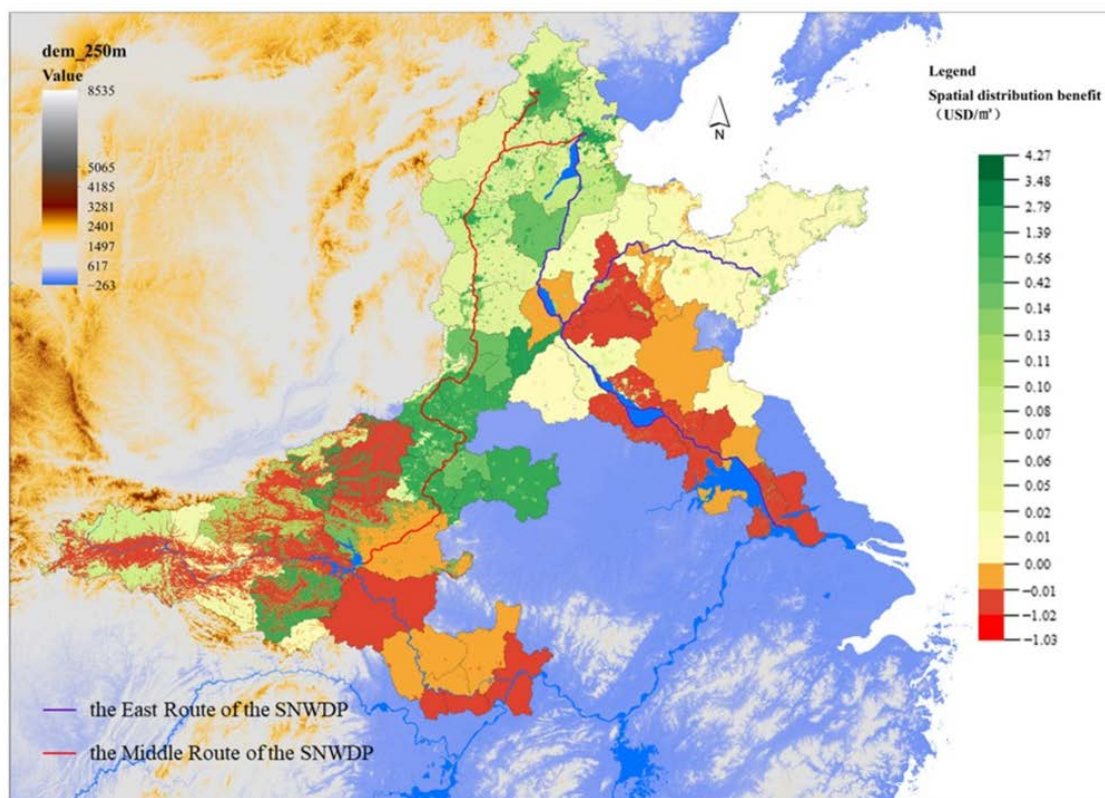


Рис. 5. Пространственное распределение комплексных выгод ППВЮС на единицу площади в 2020 г.

Что касается пространственного распределения выгод в различных регионах ППВЮС, выгода на единицу площади в регионах-донорах составила 0,07 долл. США. Интенсивность выгод возростала с запада на восток, что свидетельствует о том, что по мере приближения к водохранилищу Даньцзянкоу эффект природоохранных мероприятий становится более выраженным. Отрицательные выгоды в регионах-донорах связаны с утратой возможностей промышленного развития, причём их влияние также распространяется с запада на восток. Потери на единицу площади в виде упущенных возможностей промышленного развития составили 0,04 долл. США. В регионах-получателях, включая зоны контроля загрязнения, выгода на единицу площади составила 0,074 долл. США. В регионах-получателях центрального маршрута (за исключением г. Наньян) были зафиксированы преимущественно положительные выгоды, главным образом за счёт выгод от использования водных ресурсов. При этом выгода от водных ресурсов на единицу площади достигала 0,51 долл. США. Города провинции Хэнань в целом характеризуются более высокой выгодой на единицу площади – от 0,06 до 0,89 долл. США. Наибольший показатель на единицу площади был отмечен для сельскохозяйственного водопользования, тогда как выгоды, связанные с лесными угодьями, оказались минимальными. В большинстве городов провинции Хэбэй выгода на единицу площади была ниже и варьировала от 0,06 до 0,77 долл. США.

Что касается восточного маршрута ППВЮС, большинство территорий одновременно выполняют функции регионов-получателей и зон контроля загрязнения. В ряде районов провинции Шаньдун были зафиксированы положительные выгоды, тогда как в большинстве районов провинции Цзянсу наблюдались отрицательные выгоды. Это прежде всего связано с тем, что выгоды от использования водных ресурсов и пополнения экологического стока в провинции Цзянсу в настоящем исследовании не были полностью учтены. Таким образом, в провинции Цзянсу совокупный эффект в основном связан с утратой возможностей промышленного развития: убыток на единицу площади составил $-0,015$ долл. США. Напротив, в провинции Шаньдун общий положительный эффект преимущественно обусловлен выгодами от использования водных ресурсов, где выгода на единицу площади достигла 0,007 долл. США. Примечательно, что эксплуатация восточного маршрута проекта ППВЮС способствовала росту экологических выгод в регионах-получателях провинций Цзянсу и Шаньдун: экологическая выгода на единицу площади водных объектов составила 0,11 и 0,24 долл. США соответственно. Что касается среднего и нижнего течения реки Хань, во всех регионах была зафиксирована отрицательная совокупная выгода на уровне $-0,009$ долл. США на единицу площади. Наиболее значительные отрицательные значения наблюдались в районах ниже по течению от водохранилища Даньцзянкоу (г. Сяньян), а также в городах нижнего течения реки Хань – Цяньцзян, Сяньтао и Ухань.

4. Обсуждение

4.1. Анализ будущих тенденций комплексных выгод ППВЮС

Как показано на рис. 6, в период строительства проект ППВЮС продемонстрировал первоначальный рост чистой выгоды, за которым последовало её снижение. Данная динамика обусловлена тем, что на этапе строительства ключевую роль играет инвестиционная составляющая выгод: по мере сокращения объёмов капитальных вложений совокупный эффект проекта уменьшается. После ввода объекта в эксплуатацию совокупные выгоды вновь начали устойчиво расти, при этом среднегодовой темп прироста составил 56 %. С учётом текущей динамики ожидается, что в долгосрочной перспективе интегральные выгоды проекта продолжат увеличиваться.

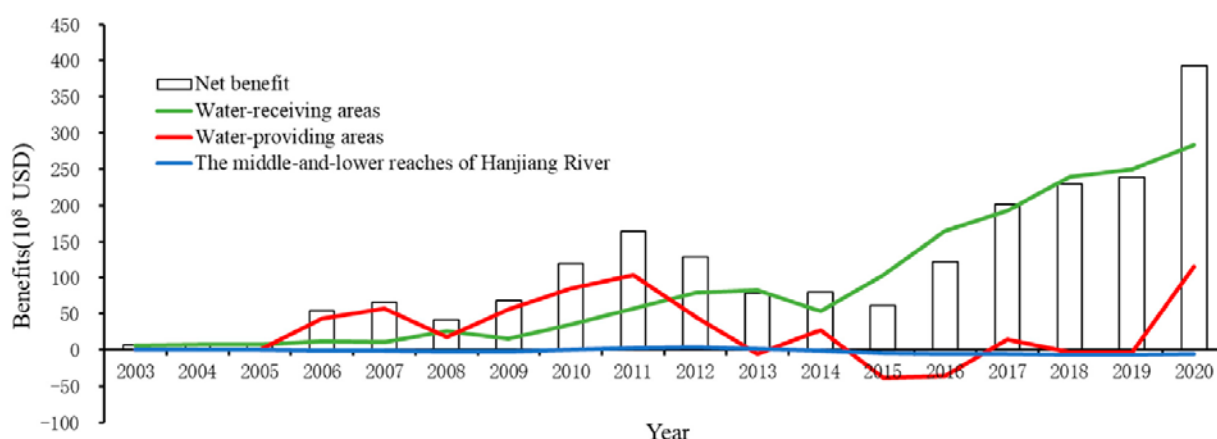


Рис. 6. Выгоды от реализации ППВЮС в различных регионах с 2003 по 2020 гг.

Что касается выгод в регионах-донорах, основным движущим фактором выступают экологические выгоды. Согласно данным дистанционного зондирования, площадь лесных угодий в регионах-донорах в период с 2005 по 2020 гг. неуклонно увеличивалась – с 5,98 тыс. км² до 7,12 тыс. км². Это в значительной степени способствовало быстрому росту экологической ценности водосборной территории в относительно короткий период времени. Однако в условиях существенных ограничений сельскохозяйственного и промышленного развития экологическая ценность, скорректированная с учётом экономической составляющей, может снижаться. По мере дальнейшей адаптации механизмов экосистемных услуг и экономической деятельности ожидается, что как экологическая ценность, так и

уровень экономического развития будут демонстрировать устойчивую тенденцию к росту. В 2020 г. стоимость одного гектара измененных сельскохозяйственных угодий в провинциях Хэнань и Шэньси, расположенных в регионах-донорах, увеличилась на 23 % и 24 % соответственно по сравнению с 2019 г. Это стало одним из ключевых факторов, обусловивших заметный рост экологической ценности регионов-доноров в 2020 г.

Что касается регионов-получателей, совокупная выгода демонстрировала выраженную тенденцию к росту со среднегодовым темпом 252 %. После перехода проекта к стадии эксплуатации основной вклад в формирование выгод обеспечивали водные ресурсы. Несмотря на увеличение объёма переброски воды с 0,78 млрд м³ в 2014 г. до 9,3 млрд м³ в 2020 г., фактические показатели всё ещё не достигли проектных значений. Таким образом, выгоды от использования водных ресурсов, вероятно, будут и далее возрастать. Вместе с тем между регионами наблюдаются существенные различия в отдаче от использования единицы воды. В Пекине зафиксированы наибольшие выгоды от бытового водопользования – 7,46 долл. США за 1 м³, что в 8,6 раза превышает минимальный показатель среди регионов. В провинции Шаньдун отмечены самые высокие выгоды от промышленного водопользования – 9,47 долл. США за 1 м³, что в 3,8 раза выше наименьшего значения. Ключевой причиной межрегиональных различий является неодинаковый уровень развития сферы услуг и структуры экономики. В перспективе, при более эффективном распределении водных ресурсов по мере увеличения объёмов водозабора, преимущества проекта ППВЮС могут стать ещё более выраженными. Следует также учитывать, что забор воды в долгосрочной перспективе способен оказывать существенное воздействие на местные экосистемы, особенно в части снижения нагрузки на подземные водоносные горизонты и уменьшения деградации связанных с ними экосистем. В соответствии с концепцией развития, предложенной Си Цзиньпином – «Чистые воды и зелёные горы являются не меньшим богатством, чем горы золота и серебра», – в Китае активно разрабатываются подходы к реализации и оценке ценности экосистемных услуг [62]. В этом контексте можно ожидать дальнейшего расширения экологических выгод проекта ППВЮС.

Что касается среднего и нижнего течения реки Хань, в целом наблюдается отрицательная динамика выгод, которая в первую очередь обусловлена потерей около 93 % возможностей для промышленного развития и 7% экологической емкости воды. Однако после 2015 г. потери возможностей для промышленного развития заметно сократились. Среднегодовые темпы роста упущенных возможностей снизились с 38 % в период 2006–2015 гг. до 2% в 2016–2019 гг., а абсолютные потери уменьшились с 1,74 млрд долл. США до 1,42 млрд долл. США к 2020 г. Это свидетельствует о том, что негативное воздействие структурных изменений в промышленности

постепенно ослабевает по мере модернизации отраслей. Учитывая текущую тенденцию снижения упущенных возможностей в промышленном развитии, можно ожидать дальнейшего уменьшения негативных последствий в будущем.

4.2. Анализ возможных последствий при отсутствии реализации проекта ППВЮС

В отсутствие проектов по межбассейновой переброске воды регионы, испытывающие дефицит воды и ухудшение экологической обстановки, обычно прибегают к различным мерам для решения этих проблем. В данном анализе основное внимание уделяется влиянию корректировки промышленной структуры, в частности ограничению развития отраслей с высоким уровнем водопотребления. С 2014 по 2020 гг. общий объем воды, использованной для бытовых и промышленных нужд, составил 28 млрд м³ (табл. 2). Если бы эта вода не использовалась для получения экономической выгоды, как планировалось, а привела к убыткам вследствие ограничения промышленного развития, совокупные потери могли бы составить 110 млрд долл. США. Кроме того, при отсутствии ППВЮС не были бы получены экологические выгоды, возникшие в ходе строительства проекта, а также выгоды для поверхностных и подземных вод, полученные в результате пополнения экологического стока в регионах-получателях, которые в сумме составляют 13,5 млрд долл. США. Помимо этого, в регионах-донорах, зонах контроля загрязнения и среднем и нижнем течении реки Хань не были бы получены ожидаемые положительные или отрицательные выгоды, общая стоимость которых оценивается в 26,8 млрд долл. США. Таким образом, исходя из приведенной оценки, в случае отсутствия реализации ППВЮС общий потенциальный ущерб, вызванный ограничениями промышленного развития в регионах-получателях из-за дефицита водных ресурсов, может достигнуть 154,3 млрд долл. США.

Таблица 2

Выгоды при отсутствии проекта ППВЮС

Объём переборки воды (10 ⁸ м ³) (без учета пополнения экологического стока)	Принимающие регионы на центральном маршруте				Принимающие регионы на восточном маршруте		Регионы-доноры (восточный и центральный маршруты)	Районы контроля загрязнения (восточный маршрут)	Среднее и нижнее течение р. Хань
	Пекин	Тяньцзинь	Хэбэй	Хэнань	Шаньдун	Цзянсу			
	44,2	56,0	59,9	101,1	18,9	-			
Потери вследствие ограничения промышленного развития (10 ⁸ долл. США)	186,6	23,6	312,8	179,3		-			
Экологические выгоды, обусловленные дополнительным (внешним) пополнением экологического стока (10 ⁸ долл. США)	Экологические выгоды поверхностных вод	12,6	2,9	9	3	4,2	-		
	Выгоды от увеличения запасов подземных вод	9,7	0,6	16,6	7,1	0,8	-		
	Выгоды вдоль линии транспортировки воды	0,3	0,3	9,9	3,2	31,4	170,3		
Фактические выгоды проекта ППВЮС (по оценкам исследования), (10 ⁸ долл. США)							511,8	-191,2	-52,2
Итого (10 ⁸ долл. США)	-1275 – 511,8 + 191,2 + 52,2 = -1543,4								

5. Заключение

В данном исследовании была разработана система комплексной оценки выгод, учитывающая временные, пространственные и многомерные воздействия. Временные воздействия проявились в выгодах на этапах строительства и эксплуатации, тогда как пространственные воздействия охватывают выгоды в регионах-донорах, регионах-получателях, а также в среднем и нижнем течении реки Хань. Для оценки были использованы различные методы, включая анализ инвестиционных выгод, выгод от водных ресурсов, экологических выгод и потерь от упущенных возможностей развития для восточного и центрального маршрутов проекта ППВЮС в период с 2003 по 2020 гг.

Интеграция этих методов в систему комплексной оценки позволила более точно и всесторонне оценивать преимущества проектов по переброске воды по сравнению с предыдущими исследованиями, что стало возможным благодаря широкому сбору данных. С 2003 по 2020 гг. чистая выгода от реализации ППВЮС составила 207 млрд долл. США, при этом положительная выгода достигла 239 млрд долл. США, а отрицательная – 30,9 млрд долл. США. С временной точки зрения, на этапе строительства (2003–2013 гг.) выгоды составили 74,3 млрд долл. США, преимущественно за счет инвестиционных выгод, доля которых составила 65 % от общей суммы. На этапе эксплуатации (2014–2020 гг.) выгоды достигли 184 млрд долл. США, причем основную долю составили выгоды от использования водных ресурсов – 56 %. С пространственной точки зрения, выгоды распределились следующим образом: регионы-доноры – 47,9 млрд долл. США, регионы-получатели— 162,6 млрд долл. США, среднее и нижнее течение реки Хань – –0,51 млрд долл. США. В 2020 г. средняя выгода на единицу площади для ППВЮС составила 0,07 долл. США. На основании этой оценки можно сделать вывод, что выгоды проекта перевешивают его недостатки. Тем не менее, мы рекомендуем соответствующим лицам внимательно отслеживать гидрологическую обстановку, экологическое состояние водной среды и тенденции развития биосообществ в среднем и нижнем течении реки Хань, чтобы своевременно предотвращать экологические риски для районов ниже по течению. Кроме того, важно активно изучать способы повышения ценности экологических услуг регионов-доноров для стимулирования местного экономического развития. Для оптимизации использования водных ресурсов в регионах-получателях необходимо популяризировать водосберегающие практики, воспитывать духе экономии воды и разрабатывать оптимальные пути для достижения долгосрочной устойчивости проекта переброски воды с юга на север.

Данное исследование в первую очередь было направлено на оценку экологических и экономических выгод в различных регионах на основе комплексной концепции межбассейновой переброски воды. Оно призвано помочь руководителям лучше понимать, прогнозировать и корректировать результаты проектов по переброске воды. Наша система оценки может быть применена к любому проекту межбассейновой переброски воды, включающему аналогичные элементы. Вместе с тем, требуется глубокое понимание социального и природного гидрологического воздействия ППВЮС и реалистичные методы его количественной оценки, что является основным ограничением данного исследования. Кроме того, крайне важно разрабатывать модели, позволяющие единообразно оценивать влияние проектов переброски воды в будущем.

Литература

1. Khilchevskiy, V.; Karamushka, V. GlobalWater Resources: Distribution and Demand. In Clean Water and Sanitation; Leal Filho, W., Azul, A.M., Brandli, L., Lange Salvia, A., Wall, T., Eds.; Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2021; pp. 1–11. ISBN 978-3-319-70061-8.
2. Skoulikaris, C.; Ganoulis, J.; Aureli, A. A Critical Review of the Transboundary Aquifers in South-Eastern Europe and New Insights from the EU's Water Framework Directive Implementation Process. *Water Int.* **2021**, *46*, 1060–1086.
3. New York State Department of Environmental Conservation. Guidelines for Conducting Bird and Bat Studies at Commercial Wind Energy Projects; Division of Fish Wildlife and Marine Resources: Albany, NY, USA, 2009.
4. Sheng, J.; Qiu, W. Inter-Basin Water Transfer Policies and Water-Use Technical Efficiency: China's South-North Water Transfer Project. *Socio-Econ. Plan. Sci.* **2023**, *85*, 101432.
5. Sun, S.; Zhou, X.; Liu, H.; Jiang, Y.; Zhou, H.; Zhang, C.; Fu, G. Unraveling the Effect of Inter-Basin Water Transfer on Reducing Water Scarcity and Its Inequality in China. *Water Res.* **2021**, *194*, 116931.
6. Rollason, E.; Sinha, P.; Bracken, L.J. Interbasin Water Transfer in a Changing World: A New Conceptual Model. *Prog. Phys. Geogr. Earth Environ.* **2022**, *46*, 371–397.
7. Siddik, M.A.B.; Dickson, K.E.; Rising, J.; Ruddell, B.L.; Marston, L.T. Interbasin Water Transfers in the United States and Canada. *Sci. Data* **2023**, *10*, 27.
8. Pasi, N.; Smardon, R. Inter-Linking of Rivers: A Solution for Water Crisis in India or a Decision in Doubt? *J. Sci. Policy Gov.* **2012**, *2*, 1.
9. Liu, J.; Zang, C.; Tian, S.; Liu, J.; Yang, H.; Jia, S.; You, L.; Liu, B.; Zhang, M. Water Conservancy Projects in China: Achievements, Challenges and Way Forward. *Glob. Environ. Change* **2013**, *23*, 633–643.
10. Su, Q.; Chen, X. Efficiency Analysis of Metacoupling of Water Transfer Based on the Parallel Data Envelopment Analysis Model: A Case of the South–North Water Transfer Project-Middle Route in China. *J. Clean. Prod.* **2021**, *313*, 127952.

11. Sun, S.-K.; Wu, P.-T.; Wang, Y.-B.; Zhao, X.-N. The Virtual Water Content of Major Grain Crops and Virtual Water Flows between Regions in China. *J. Sci. Food Agric.* **2013**, *93*, 1427–1437.
12. Yu, M.; Wang, C.; Liu, Y.; Olsson, G.; Wang, C. Sustainability of MegaWater Diversion Projects: Experience and Lessons from China. *Sci. Total Environ.* **2018**, 619–620, 721–731.
13. Yan, H.; Lin, Y.; Chen, Q.; Zhang, J.; He, S.; Feng, T.; Wang, Z.; Chen, C.; Ding, J. A Review of the Eco-Environmental Impacts of the South-to-North Water Diversion: Implications for Inter-basin Water Transfers. *Engineering* **2023**, in press.
14. Peng, Z.; Yin, J.; Zhang, L.; Zhao, J.; Liang, Y.; Wang, H. Assessment of the Socio-Economic Impact of aWater Diversion Project For a Water-Receiving Area. *Pol. J. Environ. Stud.* **2020**, *29*, 1771–1784.
15. Li, Y.; Chen, X.; Shen, Y. Research on the Social and Economic Benefits and Ecological Issues ofWater Diversion Projects in the United States. *J. Econ. Water Resour.* **2006**, *24*, 74–76.
16. Zhuang, W. Eco-Environmental Impact of Inter-Basin Water Transfer Projects: A Review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2016**, *23*, 12867–12879.
17. Matete, M.; Hassan, R. Integrated Ecological Economics Accounting Approach to Evaluation of Inter-Basin Water Transfers: An Application to the Lesotho Highlands Water Project. *Ecol. Econ.* **2006**, *60*, 246–259.
18. Larson, K.J.; Ba, sa'gao' glu, H.; Marino, M.A. Prediction of Optimal Safe Ground Water Yield and Land Subsidence in the Los Banos-Kettleman City Area, California, Using a Calibrated Numerical Simulation Model. *J. Hydrol.* **2001**, *242*, 79–102.
19. Liu, H.; Di, H.; Huang, Y.; Zheng, L.; Zhang, Y. A Comprehensive Study of the Impact of Large-Scale Landscape Pattern Changes on the Watershed Ecosystem. *Water* **2021**, *13*, 1361.
20. Wilson, M.; Li, X.-Y.; Ma, Y.-J.; Smith, A.; Wu, J. A Review of the Economic, Social, and Environmental Impacts of China's South–North Water Transfer Project: A Sustainability Perspective. *Sustainability* **2017**, *9*, 1489.
21. de Queiroz, A.R.S.; Motta-Veiga, M. Análise dos impactos sociais e à saúde de grandes empreendimentos hidrelétricos: Lic.es para uma gest.º energética sustentável. *Ciênc. Saúde Coletiva* **2012**, *17*, 1387–1398.
22. Faúndez, M.; Alcayaga, H.; Walters, J.; Pizarro, A.; Soto-Alvarez, M. Sustainability of Water Transfer Projects: A Systematic Review. *Sci. Total Environ.* **2023**, 860, 160500.
23. Davies, B.R.; Thoms, M.; Meador, M. An Assessment of the Ecological Impacts of Inter-Basin Water Transfers, and Their Threats to River Basin Integrity and Conservation. *Aquat. Conserv. Mar. Freshw. Ecosyst.* **1992**, *2*, 325–349.
24. Voulvoulis, N.; Arpon, K.D.; Giakoumis, T. The EU Water Framework Directive: From Great Expectations to Problems with Implementation. *Sci. Total Environ.* **2017**, 575, 358–366.
25. Su, Q.; Chang, H.-S.; Chen, X.; Xiao, J. Metacoupling of Water Transfer: The Interaction of Ecological Environment in the Middle Route of China's South-North Project. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *19*, 10555.
26. Wang, C.; Jiang, Q.; Shao, Y.; Sun, S.; Xiao, L.; Guo, J. Ecological Environment Assessment Based on Land Use Simulation: A Case Study in the Heihe River Basin. *Sci. Total Environ.* **2019**, 697, 133928.
27. Yang, L.; Zhu, Q.; Sun, J.; Du, Y.; Shen, B. Water Supply Benefit Evaluation of Middle Route Project of South-to-North Water Diversion in Beijing City. *Yangtze River* **2017**, *48*, 44–46+78.

28. Long, D.; Yang, W.; Scanlon, B.R.; Zhao, J.; Liu, D.; Burek, P.; Pan, Y.; You, L.; Wada, Y. South-to-North Water Diversion Stabilizing Beijing's Groundwater Levels. *Nat. Commun.* **2020**, *11*, 3665.
29. Jia, Y.; Zhu, C.; Ling, F.; Zhang, Y.; Wang, L.; Du, G. Forest Cover Monitoring and Its Changes in Hanjiang River Basin Based on Landsat Multispectral and PALSAR/PALSAR-2 Data. *Resour. Environ. Yangtze Basin* **2021**, *30*, 321–329.
30. Zhang, X.; Duan, B.; He, S.; Wu, X.; Zhao, D. Assessment of the Value of Ecosystem Services in Water Sources of the South-North Water Diversion Central Project: The Case of Dengzhou City, Henan Province. *Environ. Monit. Assess.* **2021**, *193*, 670.
31. Liu, H.; Zheng, L.; Yin, S. Multi-Perspective Analysis of Vegetation Cover Changes and Driving Factors of Long Time Series Based on Climate and Terrain Data in Hanjiang River Basin, China. *Arab. J. Geosci.* **2018**, *11*, 509.
32. Zhang, X.; Nie, Y. Evaluation of Ecosystem Service Value in Water Source Area of the MiddleRoute of South-to-North Water Transfer Projec. *J. North China Univ. Water Resour. Electr. Power Nat. Sci. Ed.* **2022**, *43*, 89–95+102.
33. Gu,W.; Shao, D.; Jiang, Y. Risk Evaluation ofWater Shortage in Source Area of Middle Route Project for South-to-NorthWater Transfer in China. *Water Resour. Manag.* **2012**, *26*, 3479–3493.
34. Wang, Y.; Zhu, K.; Xiong, X.; Yin, J.; Yan, H.; Zhang, Y.; Liu, H. Assessment of the Ecological Compensation Standards for Cross-BasinWater Diversion Projects from the Perspective of Main Headwater and Receiver Areas. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2022**, *20*, 717.
35. Yu, M.;Wood, P.; Van De Giesen, N.; Liu, X.; Li, Q.;Wang, G.; Zhang, J. Enhanced Potential Ecological Risk Induced by a Large Scale Water Diversion Project. *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.* **2020**, *34*, 2125–2138.
36. Nong, X.; Yi, X.; Chen, L.; Shao, D.; Zhang, C. Impact of Inter-BasinWater Diversion Project Operation onWater Quality Variations of Hanjiang River, China. *Front. Ecol. Evol.* **2023**, *11*, 1159187.
37. Xu, J.; Du, C.; Wang, X.; Tan, J.; Xia, C.; Hou, J.; Fan, Z.; Wu, H.; Wang, J.; He, X. Current Situation and Changing Trend of Aquatic Organisms Resources in Main Stream of Hanjiang River from 2017 to 2020. *J. Huazhong Agric. Univ.* **2021**, *40*, 127–137.
38. Xia, R.; Zou, L.; Zhang, Y.; Zhang, Y.; Chen, Y.; Liu, C.; Yang, Z.; Ma, S. Algal Bloom Prediction Influenced by the Water Transfer Project in the Middle-Lower Hanjiang River. *Ecol. Model.* **2022**, *463*, 109814.
39. Liang, X.; Yang, M. Research and Analysis of Eco-Environment in Middle and Lower Reaches of Hanjiang River. *West Froum* **2018**, *28*, 90–99.
40. Greer, M. Chapter 4—The Economics (and Econometrics) of Cost Modeling. In *Electricity Cost Modeling Calculations*, 2nd ed.; Greer, M., Ed.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, 2022; pp. 175–209. ISBN 978-0-12-821365-0.
41. Xie, G.; Zhen, L.; Lu, C.; Xiao, Y.; Chen, C. Expert Knowledge Based Valuation Method of Ecosystem Services in China. *J. Nat. Resour.* **2008**, *23*, 911–919.
42. Zhang, Z.; Hu, C.;Wu, Z.; Zhang, Z.; Yang, S.; Yang,W. Monitoring and Analysis of Ground Subsidence in Shanghai Based on PS-InSAR and SBAS-InSAR Technologies. *Sci. Rep.* **2023**, *13*, 8031.
43. Liu, R.; Zhao, Y.; Cao, G.; Wang, Q.; Ma, M.; Li, E.; Deng, H. Threat of Land Subsidence to the Groundwater Supply Capacity of a Multi-Layer Aquifer System. *J. Hydrol. Reg. Stud.* **2022**, *44*, 101240.

44. Zeng, Z.; Xu, J.; Wu, G.; Wang, Y.; Huo, J. Evaluation of Ecological Services of the First Phase of Middle Route of the South-to-North Water Transfer Project: A Case Study of Beijing City. *South-North Water Transf. Water Sci. Technol.* **2022**, *20*, 1168–1178.
45. Bian, Y. Study on the Influence of Ecological Water Supplement of Yongding River on Groundwater Dynamics in Beijing; China University of Geosciences (Beijing): Beijing, China, 2020.
46. Wei, H.; Yao, X.; Sun, Y.; Liu, P.; Wang, B.; Wang, W.; Zhang, Q. Analysis on Leakage Characteristics of Ecological Water Supplement in the North Part of the Plain Section of Yongding River. *Beijing Water* **2022**, *14*, 1262.
47. Jiao, Y.; Liu, J.; Li, C.; Qiu, Q.; Yu, X.; Wang, W.; Zhang, G. Regulation Storage Calculation and Capacity Evaluation of the Underground Reservoir in the Groundwater Overdraft Area of Northern China. *Environ. Earth Sci.* **2020**, *79*, 18.
48. Meng, Q.; Ouyang, Z.; Mang, D. Water Ecosystem Service Assessment and Valuation in Beijing; Science Press: Beijing, China, 2012.
49. Jiang, S.; Wang, J.; Zhao, Y.; Shang, Y.; Gao, X.; Li, H.; Wang, Q.; Zhu, Y. Sustainability of Water Resources for Agriculture Considering Grain Production, Trade and Consumption in China from 2004 to 2013. *J. Clean. Prod.* **2017**, *149*, 1210–1218.
50. Shen, S. Research on Impact of Cascade Reservoirs and Water Diversion on Water Environment in the Middle and Lower Reaches of the Hanjiang River; Wuhan University: Wuhan, China, 2020.
51. CSNWDP. Compilation Committee of China South-to-North Water Diversion Project Yearbook (CSNWDP); China Water & Power Press: Beijing, China, 2021.
52. HNSNWDP. Compilation Committee of Henan Province South to North Water Diversion Yearbook Compilation Committee (HNSNWDP); The Yellow River Water Conservancy Press: Zhengzhou, China, 2021.
53. CSNWDP-PC. Compilation Committee of China South-to-North Water Diversion Project Construction Yearbook (CSNWDP-PC); China Water & Power Press: Beijing, China, 2021.
54. CSNWDP-PC. Compilation Committee of China South-to-North Water Diversion Project (Pollution Control Volume) (CSNWDP-PC); China Water & Power Press: Beijing, China, 2018.
55. NBS. China Statistical Yearbook. National Bureau of Statistics of the People's Republic of China (NBS); China Statistics Press: Beijing, China, 2021.
56. CSNWDP-PC. Compilation Committee of China South-to-North Water Diversion Project (Land Acquisition and Resettlement Volume) (CSNWDP-PC); China Water & Power Press: Beijing, China, 2018.
57. NDRC. The National Cost-Benefit Survey for Agricultural Product. National Development and Reform Commission (NDRC); China Statistics Press: Beijing, China, 2021.
58. MARAPR. Ministry of Agriculture and Rural Affairs of the People's Republic of China (MAR-APR), China Agricultural Yearbook 2021; China Agricultural Press: Beijing, China, 2021.
59. Tang, W.; Xu, X.; Xu, G. On the Stimulating Effect of Large-Scale Water Conservancy Project Investment on China's Economy: Based on the Analysis of Water Conservancy Social Accounting Matrix. *Contemp. Finance Econ.* **2011**, *11*, 20–29.
60. Shen, H.; Tian, Q.; Wu, G. Study on Land/Cover Change in the Water Supply Area of the Middle-Route of the South-to-North Water Diversion (MR-SNWD) Project. *Res. Soil Water Conserv.* **2015**, *22*, 204–208+347.
61. Li, J.; Xue, Z.; Wang, D. Research on the Ecological Compensation of the Eastern Route of South-to-North Water Transfer Project Based on the Evolutionary Game Theory. *China Rural. Water Hydropower* **2022**, *12*, 31–38.

62. Xu, Y.; Zhao, W.; Zhang, Z. The Practice of Nature-Based Solutions in China: Ecosystem Product Value Realization. *Curr. Opin. Environ. Sci. Health* **2023**, *36*, 100514.

Строить или не строить: западный маршрут китайского проекта по переброске стока с юга на север⁴

Одной из самых больших проблем, стоящих перед будущим развитием Китая, является вода, которая должна поддерживать 1,4 миллиарда жителей страны и бурно развивающуюся промышленность. Несмотря на то, что Китай входит в пятерку стран с самыми большими запасами пресной воды в расчете на душу населения, он испытывает серьезный дефицит воды, который усугубляется крайне неравномерным территориальным распределением и количеством осадков: густонаселенный север страдает от острой нехватки воды, в то время как юг подвержен сильным наводнениям. Чтобы оптимизировать распределение водных ресурсов, Китай приступил к строительству мегапроекта – проекта по переброске воды с юга на север (ППВЮС).

Расширение крупнейшего проекта переброски стока в мире

Впервые проект был предложен в 1952 г. Мао Цзэдуном, который пришел к выводу, что "у юга много воды, у севера – гораздо меньше. Если возможно, север должен взять немного взаймы". И ППВЮС именно это и делает – он перебрасывает воду с юга на север по трем маршрутам: восточному, центральному и западному. Восточный маршрут перебрасывает воду через Цзянсу в Шаньдун и Тяньцзинь по Большому каналу Пекин-Ханчжоу, построенному почти 2500 лет назад. Центральный маршрут, отводящий воду из провинции Хубэй в Пекин и Тяньцзинь, работает с 2014 г.

Западный, самый спорный маршрут, еще не построен. В мае 2021 г. председатель КНР Си Цзиньпин объявил, что Китай продолжит реализацию крупнейшего в мире проекта по отводу воды. Планы строительства западного маршрута делятся на две категории: скромные планы правительства и амбициозные предложения ученых.

⁴ Источник: <https://www.newsecuritybeat.org/>

Различные планы по западному маршруту

Официальный план западного маршрута связывает реки Янцзы и Желтая через Цинхай-Тибетское плато для переброски ежегодно 17 млрд. м³ воды, примерно 7 млн. бассейнов олимпийского размера, в Ганьсу и соседние провинции. Эта переброска является масштабной, но значительно меньше, чем два альтернативных плана переброски воды с Цинхай-Тибетского плато.

Канал Шуотянь (Великий западный путь) был более ранним предложением эксперта по водным ресурсам Го Кая в 1990-х годах. Построив плотину в Тибете, можно было бы отвести 200 млрд. м³ воды из Сычуаня в Пекин и Тяньцзинь. Позже был сделан вывод, что канал Шуотянь не является ни технически осуществимым, ни необходимым.

Другое предложение 2017 г. по реке Красное знамы было представлено проф. Цинхуа Ван Хао. Он предлагает ежегодно отводить до 60 млрд м³ воды из трансграничных рек Цинхай-Тибетского нагорья, включая верховья Брахмапутры, Меконга и Салуина, на северо-запад Китая. Это позволило бы создать 200 млн. му (133 333 км²) пахотных земель в Синьцзяне и зеленый пояс площадью 150 000 км² на северо-западе. Однако его осуществимость была поставлена под сомнение учеными и географами.

В качестве возможной альтернативы западному маршруту ученые из университетов Цинхуа и Цинхай в 2015 г. предложили проект "Тяньхэ" – крупнейшую в мире систему модификации погоды и искусственного вызывания дождя. Проект "Тяньхэ" использует гляциогенный засев облаков для ежегодного создания 5-10 млрд м³ дождя над северным Китаем. Он был включен в 13-й пятилетний план Цинхая.

Движущая сила национальной продовольственной безопасности и экологические проблемы

Западный маршрут необходим для обеспечения водной и продовольственной безопасности страны при сбалансированном региональном экономическом развитии. Как заявил Си Цзиньпин в 2014 г., «спасательным кругом» производства продовольствия является система сохранения водных ресурсов страны. Помимо проблем с качеством, количеством и неравномерным распределением воды в стране, Китай сталкивается с проблемой нехватки пахотных земель: по оценкам, только 14% всех земель страны являются пахотными. Остальные земли сильно загрязнены, что усугубляет проблемы нехватки воды, безопасности продуктов питания и продовольственной безопасности. В связи с изменением рациона питания, включая

рост спроса на такие водоемкие продукты, как мясо, эти проблемы будут возрастать. Таким образом, по мнению китайских лидеров, западный маршрут может решить проблему нехватки воды в Северном Китае и защитить общую продовольственную безопасность Китая.

Социальные и экологические проблемы, поднятые экологами и учеными, привели к задержке строительства западного маршрута. Поскольку канал Шуотянь и река Красное знамя должны пересечь сейсмоопасные районы и горные хребты, есть опасения, что это может привести к сейсмическим и экологическим последствиям, например, оползням.

Конкурирующие местные интересы

В отличие от центрального правительства, власти провинций в меньшей степени озабочены вопросами справедливого доступа к ресурсам. С одной стороны, южные провинции, из которых будет осуществляться переброска воды, особенно провинции Сычуань и Хубэй, расположенные в верхнем течении реки Янцзы, решительно выступают против западного маршрута. Отвод воды из этих провинций не только угрожает их собственным запасам воды, вызывая опасения по поводу дефицита воды и засухи, но и дополнительно подорвет местную гидроэнергетическую отрасль. В провинции Сычуань, где расположен крупнейший в Китае гидроэнергетический сектор, власти публично поддержали местных ученых, которые решительно оспаривают целесообразность западного маршрута.

С другой стороны, западные провинции, такие как Ганьсу и Цинхай, поддерживают западный маршрут. Они считают, что он будет способствовать социально-экономическому развитию региона, обеспечивая водой местную промышленность, уголь и сельское хозяйство. Учитывая огромные потребности в воде, западные провинции предпочитают амбициозные неофициальные предложения. Например, правительство провинции Ганьсу оказало поддержку в проведении исследований различных вариантов отвода вод из Тибета (река Брахмапутра) в Ганьсу.

Трансграничное воздействие

Индия давно обеспокоена планами Китая по отводу воды из реки Брахмапутра, опасаясь, что это может вызвать дефицит воды. Однако это ошибочное мнение: официальный западный маршрут планирует отвод вод из рек Янцзы и Желтой, а не из трансграничных рек, таких как Брахмапутра.

ра. Кроме того, эти неофициальные предложения не рассматриваются всерьез центральным правительством.

Более того, нет единого мнения о фактическом воздействии этих планов на водообеспеченность нижнего течения. У некоторых индийских ученых водные амбиции Китая и предполагаемое использование воды в качестве средства воздействия вызывают тревогу. Всего лишь семь процентов стока Брахмапутры поступает из Китая, поэтому даже если радикальный канал Шуотянь и река Красное знамя будут построены, фактическое воздействие на сток в нижнем течении будет ограниченным.

Тем не менее, стратегическое воздействие этих проектов не следует упускать из виду. Есть мнения, что потенциальная возможность манипулировать стоком воды может дать Китаю стратегические рычаги влияния на Индию.

Альтернативный маршрут подачи воды

Вместо того, чтобы полагаться на эти мегапроекты для решения национальных водных проблем, Китаю следует снизить растущий спрос на воду, повысить эффективность водопользования и бороться с загрязнением воды. Учитывая, что большая часть водопотребления в стране приходится на сельское хозяйство, Китаю следует сбалансировать водную и продовольственную безопасность, а также рассмотреть возможность проведения региональных и структурных реформ в сельском хозяйстве.

Между проектом и регионом: проблемы управления водой в провинции Шаньдун после ввода проекта переброски воды с юга на север⁵

Чэнь Д., Ло Ч., Уэббер М., Роджерс С., Разерфорд И., Ван М.,
Финлейсон Б., Цзян М., Ши Ч. и Чжан В.

В статье рассматривается, как крупный централизованный инфраструктурный проект переброски воды с юга на север (ППВЮС) взаимодействует с региональной системой водопользования на примере провинции Шаньдун. Основной вопрос авторов заключается не в том, «работает ли» сам проект, а в том, как регион интегрирует этот проект в уже существующую систему управления водными ресурсами и какие противоречия при этом возникают. Ключевой тезис статьи состоит в том, что логика мегапроекта и логика региона принципиально различаются, и это создаёт структурные проблемы управления.

Обзор

Провинция Шаньдун является одним из ключевых регионов-получателей воды по восточному маршруту проекта переброски воды с юга на север. Согласно проектным расчётам, на Шаньдун приходится около одной трети общего объёма переброски воды по восточному маршруту.

На этапе планирования проект воспринимался как жизненно необходимый для региона, испытывающего хронический дефицит водных ресурсов. Прогнозы, сделанные в конце XX – начале XXI века, указывали на быстро растущий спрос на воду со стороны промышленности, сельского хозяйства и городского населения. Дополнительным фактором риска считалась нестабильность водоподачи из Желтой реки (Хуанхэ), которая тра-

⁵ Источник: Chen, D.; Luo, Z.; Webber, M.; Rogers, S.; Rutherford, I.; Wang, M.; Finlayson, B.; Jiang, M.; Shi, C. and Zhang, W. 2020. Project and region: The challenges of managing water in Shandong after the South-North Water Transfer Project. *Water Alternatives* 13(1): 49-69

диционно являлась главным источником воды для провинции. В этих условиях участие в проекте переброски воды с юга на север представлялось логичным и стратегически оправданным шагом.

Восточный маршрут имеет проектную пропускную способность 14,8 млрд м³ воды в год; этот объём должен поступать из реки Янцзы в северные регионы Китая через систему насосных станций, рек, озёр, водохранилищ и каналов. Как показано на рисунке 1, в эту систему входит Гранд-канал, история которого насчитывает более 2500 лет. Восточный маршрут использует уже существующую в провинции Цзянсу систему переброски воды с юга на север, расширяя её масштаб и продлевая дальше на север. После подъёма воды из Янцзы насосами и её подачи в озеро Дунпин в провинции Шаньдун поток разделяется на два направления: северное проходит под рекой Хуанхэ через тоннель и в перспективе будет направлено в Тяньцзинь; восточное соединяется с системой переброски воды из Хуанхэ в Циндао и направляется на Шаньдунский полуостров. Строительство восточного маршрута было запланировано в три этапа: первый этап начал функционировать в ноябре 2013 года, обеспечивая подачу воды в провинции Цзянсу, Аньхой и Шаньдун; второй и третий этапы будут снабжать города провинции Хэбэй и город центрального подчинения Тяньцзинь.

Провинция Шаньдун является конечным пунктом подачи воды на первом этапе восточного маршрута. Она расположена на восточном побережье Китая и в нижнем течении Хуанхэ (см. рисунок 1(А)) и занимает площадь около 157 900 км². Территория провинции охватывает части трёх крупных речных бассейнов – Хуанхэ, Хуай и Хай – а также Шаньдунский полуостров, представленный множеством небольших речных систем. В административном отношении в провинции насчитывается 17 городов уровня префектуры, из которых 13 являются районами приёма воды восточного маршрута. С населением около 100 млн человек Шаньдун является второй по численности населения провинцией Китая, а по объёму валового регионального продукта занимает третье место в стране.

Провинция Шаньдун расположена в зоне умеренно-теплого пояса с полувлажным муссонным климатом. Вследствие этого Шаньдун часто подвергается двойному удару стихийных бедствий – наводнениям и засухам. Общий годовой объём местных водных ресурсов на душу населения в Шаньдуне составляет всего 315 м³, что меньше одной шестой от среднекитайского показателя. Из-за неравномерного распределения водных ресурсов как территориальном, так и во времени, в период с 2001 по 2016 гг. Шаньдун ежегодно отводил из реки Хуанхэ в среднем 5,8 млрд м³ воды.

Восточный маршрут ППВЮС, возможно, и строился для достижения общенациональных целей – таких как стимулирование роста Северного

Китая и поддержание внутреннего потребления, однако для его реализации требовалась поддержка властей провинций, как политическая, так и финансовая (провинции были обязаны оплатить часть капитальных затрат на проект).



Рис. 1. Карта Восточного маршрута ППВЮС

К концу 1990-х и началу 2000-х годов общий объем водоснабжения в Шаньдуне либо оставался стабильным, либо сокращался. Проблема правительства провинции заключалась в том, что после 1972 г. объемы водозабора в верхнем течении Хуанхэ (Желтой реки) стали настолько велики, что периодически воды реки не достигали моря. В бассейне Хуанхэ проживает

12% населения Китая и сосредоточено 15% пахотных земель страны, большая часть которых расположена на плоской и плодородной Северо-Китайской равнине; однако на долю бассейна приходится лишь 2,2% общего стока Китая (Barnett et al., 2006). К 1997 году было зафиксировано 226 дней «нулевого стока», когда воды реки не доходили до моря; точка пересыхания находилась более чем в 600 км от устья, у города Кайфэн в провинции Хэнань (Webber et al., 2008). Поскольку Хуанхэ обеспечивала столь значительную долю водоснабжения Шаньдуня, случаи низкого стока представляли серьезную угрозу для ресурсов провинции. В период с 1972 по 1999 гг. пересыхание Хуанхэ начиналось все раньше и длилось все дольше, создавая критические проблемы для водоснабжения и экосистем Шаньдуня.

По этой причине к концу 1990-х и началу 2000-х годов правительство Шаньдуня настойчиво стремилось к началу строительства восточного маршрута ППВЮС.

Однако к моменту фактического ввода проекта в эксплуатацию ситуация в регионе существенно изменилась и прогнозы спроса на воду оказались значительно завышенными. В 2010 и 2016 гг. фактический спрос на воду в точности соответствовал предложению. На протяжении этого периода реальный спрос рос гораздо медленнее, чем планировалось, и в результате потребность в воде оказалась намного ниже прогнозов проектировщиков. В частности, к тому моменту, когда вода из ППВЮС достигла Шаньдуня, объем спроса составлял лишь около двух третей от уровня, предсказанного на 2010 год.

Во-первых, было достигнуто значительное улучшение управления водными ресурсами, включая более эффективное распределение воды из Хуанхэ. Во-вторых, и это особенно важно, существенно сократился рост водопотребления. Региональные власти внедрили комплекс мер по управлению спросом: были модернизированы системы орошения, снижены потери воды, а структура экономики начала постепенно смещаться в сторону менее водоёмких отраслей. В результате общее потребление воды в провинции стабилизировалось и даже снизилось, несмотря на продолжающийся экономический рост.

Эти изменения привели к тому, что к моменту начала поставок воды по каналу проект столкнулся с неожиданной проблемой – отсутствием реального спроса на дополнительный ресурс. Хотя инфраструктура была построена и вода стала доступной, её использование оказалось ограниченным. Многие города использовали лишь малую часть выделенных им квот, а некоторые вообще не подключились к системе. Таким образом, возникла парадоксальная ситуация: дорогостоящий инфраструктурный проект функционирует, но не выполняет в полной мере свою изначальную задачу.

Разумеется, для таких стремительно развивающихся регионов, как Шаньдун, погрешности в прогнозировании спроса и предложения на водные ресурсы явление ожидаемое. Однако примечательно, что в отчетных документах начала 2000-х годов спрос на воду в провинции Шаньдун, и особенно на воду из проекта переброски рек с юга на север, систематически завышался. Как показывает мировая практика, подобные регулярные завышения показателей служат оправданием для реализации гигантских инфраструктурных проектов, позволяя искусственно раздувать прогнозы по созданию рабочих мест и ожидаемой прибыли.

Фактическое использование воды из ППВЮС в Шаньдуне (2013–2018 гг.) было ниже ожидаемого. Это отчасти объясняется увеличением объема и надежности поставок из реки Хуанхэ (с 5,21 млрд м³ в 2001 году до 6,54 млрд м³ в 2016 году), а также снижением потребления воды в сельском хозяйстве (с 18,29 млрд м³ в 2001 году до 14,15 млрд м³ в 2016 году) и промышленности (с 4,19 млрд м³ в 2001 году до 3,06 млрд м³ в 2016 году). Однако это также связано с трудностями, с которыми сталкивается правительство Шаньдуня при использовании воды из ППВЮС.

Для правительства провинции, учитывая доступность подземных вод и перебросок из близлежащей реки Хуанхэ, главная задача состоит в том, чтобы интегрировать ППВЮС в общепроvincиальные планы водоснабжения и стимулировать города Шаньдуня включать воду из ППВЮС в свои муниципальные графики потребления. В этом отношении правительство провинции Шаньдун выступает связующим звеном между ППВЮС и конечными потребителями, принимающими фактическое решение об использовании этой воды, то есть компаниями по водоснабжению, которые обычно принадлежат городским властям. На данный момент возникли три основные проблемы: строительство вспомогательных объектов для подачи воды из главного канала Восточного маршрута в конкретные города, соответствие установленной проектом цене на воду и получение платежей за воду ППВЮС от городских администраций.

Вспомогательные объекты

Без завершения местных вспомогательных объектов восточная ветка проекта переброски воды с юга на север в провинции Шаньдун не могла обеспечивать подачу запланированных объемов воды, несмотря на завершение строительства магистральных каналов в 2013 г. Эти объекты – шлюзы, водохранилища и второстепенные каналы – финансировались в основном за счет провинции и местных властей. Их строительство требовало огромных вложений, масштабного изъятия земель и велось в крайне сжатые сроки.

Согласно плану 2011 года, стоимость вспомогательных проектов составила 22,489 млрд юаней – почти столько же, сколько стоил сам магистральный проект в Шаньдуне. Провинция покрывала лишь 20–30% расходов, тогда как остальная нагрузка ложилась на города и уезды, вынужденные привлекать банковские и корпоративные займы. Это усиливало долговое давление на местные бюджеты.

Серьезной проблемой стало и изъятие земель. Вспомогательная инфраструктура потребовала отчуждения территории, превышающей площадь земель под основной канал почти в 1,6 раза, что сопровождалось переселением жителей и переносом инфраструктуры. Дополнительные сложности создали и сжатые сроки: завершить работы планировалось к 2015 г., однако фактически основная часть объектов была достроена только в 2016–2017 гг.

В ответ власти Шаньдуна придали проекту статус одного из ключевых политических приоритетов. Ответственность за строительство была включена в систему оценки деятельности чиновников, что ускорило реализацию проектов, но одновременно усилило риски роста задолженности, снижения качества строительства и повышения тарифов на воду для конечных потребителей.

Плата за воду, забираемую из ППВЮС

Стоимость воды из ППВЮС стала одной из главных проблем его реализации в провинции Шаньдун. Цена воды из реки Янцзы (в среднем 1,54 юаня/м³) значительно превышает стоимость воды из Хуанхэ и местных источников (0,12–0,14 юаня/м³), причем в эту сумму не включены расходы на доставку воды в города. Это существенно снижало заинтересованность муниципалитетов в использовании ресурсов проекта.

Местные власти опасались, что повышение тарифов вызовет недовольство населения и бизнеса, ухудшит инвестиционный климат и негативно скажется на промышленности. Поэтому многие города предпочли бы более дешевые альтернативы – увеличение забора воды из Хуанхэ, использование подземных вод и местных источников. В результате муниципалитеты неохотно инвестируют во вспомогательную инфраструктуру для подключения к системе ППВЮС.

Таким образом, высокая стоимость воды стала ключевым фактором, определяющим готовность городов закупать выделенные объемы воды. Под политическим давлением часть муниципалитетов согласилась принимать установленные квоты независимо от цены, однако некоторые продолжают сопротивляться и используют лишь часть выделенных ресурсов.

Для решения проблемы власти Шаньдуна обсуждали реформу тарифной политики, включая принцип «единая цена для одного места», при котором для потребителей устанавливается единый тариф независимо от источника воды. Однако эта мера пока реализуется только в пилотном режиме, что отражает сложность вопроса ценообразования в рамках проекта ППВЮС.

Сбор платежей с городов

Взимание платы за воду проекта ППВЮС стало серьезной проблемой для провинции Шаньдун. Для регионов восточной ветки действует двухставочный тариф: фиксированная ежегодная плата за доступ к системе и дополнительная оплата за фактический объем водопотребления. Для Шаньдуна совокупная стоимость составляет 1,54 юаня за 1 м³, а ежегодный фиксированный платеж достигает около 1 млрд юаней. При этом провинция обязана выплачивать этот взнос независимо от фактического объема полученной воды.

В 2014–2016 гг. лишь немногие города были подключены к системе через вспомогательную инфраструктуру, поэтому сбор платежей проходил крайне трудно. Многие муниципалитеты уклонялись от оплаты, и в 2016 г. правительству Шаньдуна пришлось покрыть около 3 млрд юаней из бюджета провинции вместо городов-получателей. Власти усилили давление на местные администрации: выпускались специальные распоряжения о сборе и затем уже о принудительном взыскании платы, а фиксированные взносы были включены в местные бюджеты. С 2017 г. средства начали автоматически удерживаться из межбюджетных трансферов городов.

Тем не менее проблема остается нерешенной. Для многих муниципалитетов, особенно бедных уездов, фиксированные платежи становятся тяжелым финансовым бременем. Расходы на оплату воды сокращают возможности финансирования других социальных услуг и инфраструктуры, а необходимость брать кредиты увеличивает долговую нагрузку местных властей. Это создает серьезные социальные, экономические и политические риски, которые необходимо учитывать при формировании тарифной политики проекта ППВЮС.

Фактическое использование воды проекта ППВЮС

После запуска восточной ветки проекта ППВЮС в Шаньдуне в 2013 г. проект так и не достиг плановых объемов поставок воды. Основ-

ными причинами стали незавершенность местной инфраструктуры, высокая стоимость воды, слабая координация между участниками и неопределенность в управлении. В 2013–2017 гг. в провинцию поступило лишь около 37% от запланированного объема воды, а до конечных потребителей дошло только около 5% выделенной квоты. Многие города использовали минимальные объемы воды из ППВЮС или вовсе отказались от ее приема.

Изначально проект предназначался для промышленного и бытового водоснабжения городов Шаньдуна, однако к 2016 г. он не обеспечил заметного роста общей водообеспеченности провинции. Тем не менее власти продолжают оценивать проект положительно, выделяя два основных достижения: восстановление месторождений подземных вод и экологические попуски.

Первое достижение связано с сокращением чрезмерной эксплуатации подземных вод. В Шаньдуне наблюдаются серьезные проблемы истощения водоносных горизонтов, образования депрессионных воронок и проникновения морской воды. Власти утверждают, что использование воды ППВЮС помогло повысить уровень грунтовых вод и сократить их откачку, а также способствовало восстановлению источников в городе Цзинань.

Вторым достижением называют экологические попуски – подачу воды в озера и реки для улучшения качества воды и восстановления экосистем. В частности, вода ППВЮС использовалась для подпитки озер Наньси и Дунпин.

Однако авторы отмечают, что многие заявленные преимущества пока носят скорее прогнозный характер. Кроме того, нет убедительных доказательств того, что проект действительно сократил зависимость региона от воды реки Хуанхэ. При этом восстановление экологии и подземных вод изначально не являлось главной целью проекта, который прежде всего создавался для промышленного и городского водоснабжения.

Заключение

С момента запуска восточной ветки проекта ППВЮС в Шаньдуне в 2013 г. проект столкнулся с рядом проблем: невыполнением плановых квот, сложностями при строительстве вспомогательной инфраструктуры, высокой стоимостью воды и значительным финансовым бременем для городов. Для преодоления этих трудностей власти использовали административные и политические меры, однако они во многом игнорировали реальный уровень спроса на воду.

Проблемы усугублялись долгосрочными изменениями в водопользовании провинции. Прогнозы потребности в воде оказались завышенными, тогда как после 2000 г. Шаньдун получил стабильный доступ к более дешевой воде из Хуанхэ. Хотя промышленное и бытовое потребление росло, сокращение использования воды в сельском хозяйстве компенсировало этот рост, поэтому общий спрос практически не увеличился. Одновременно снизилась зависимость от подземных вод и возросло использование оборотной и опресненной воды.

Эта ситуация выявила ограниченность централизованного технократического подхода к управлению водными ресурсами. Жесткие долгосрочные планы и фиксированные квоты вступили в противоречие с изменяющимся спросом и местными экономическими условиями. Центральное правительство стремилось обеспечить стабильное потребление воды и возврат вложенных средств, тогда как провинция и города были менее заинтересованы в дорогой воде ППВЮС, имея доступ к более дешевым альтернативам. В результате центр оказывал финансовое давление на провинцию, а провинция – на города, вынуждая их принимать и оплачивать воду независимо от реальной потребности.

Проект также продемонстрировал слабую координацию в системе управления водными ресурсами Китая. Уже в период реализации ППВЮС меры по повышению эффективности водопользования, контролю забора воды из Хуанхэ и сокращению потребления в сельском хозяйстве снизили необходимость в переброске столь крупных объемов воды. Это показывает, что даже в вододефицитных регионах повышение эффективности использования ресурсов может существенно уменьшить потребность в масштабных инфраструктурных проектах.

История SNWTP в Шаньдуне демонстрирует столкновение жестко спланированной инфраструктуры с изменчивостью реального спроса и местной политико-экономической ситуацией. Проект, задуманный как техническое решение проблемы дефицита воды, на практике оказался тесно связан с политическими, финансовыми и межуровневыми управленческими противоречиями.

Вспомогательные проекты переброски вод

Проект переброски воды из реки Янцзы в реку Хань⁶

Проект переброски воды из реки Янцзы в реку Хань (известный как «Иньцзян Бухань» или «Туннель Цзиньпин») является одним из ключевых элементов развития центрального маршрута китайского проекта переброски воды с юга на север (ППВЮС). Его основная цель заключается в компенсации сокращения стока реки Хань, вызванного увеличением объемов воды, направляемых на север через водохранилище Данцзянкоу. Проект также должен обеспечить водоснабжение районов провинции Хубэй по маршруту переброски и создать условия для дальнейшего расширения системы межбассейнового перераспределения водных ресурсов. Согласно заявлению Министерства водного хозяйства КНР, инвестиции в этот проект оцениваются в 59,8 млрд юаней (примерно 8,93 млрд долл. США)⁷. Проект начат в 2022 г. и рассчитан на 10 лет.

Согласно утвержденной схеме, вода будет забираться из водохранилища «Три ущелья» на реке Янцзы и по подземному тоннелю протяженностью почти 195 км направляться в район, расположенный ниже водохранилища Данцзянкоу на реке Хань. Среднегодовой объем переброски составит около 3,9 млрд м³, из которых основная часть предназначена для компенсации уменьшенного сброса воды из Данцзянкоу и поддержания стока среднего и нижнего течения реки Хань. Проект включает водозаборные сооружения, систему тоннелей, регулирующие узлы и мероприятия по инженерному регулированию русла реки Хань.

Проект тесно связан с функционированием центрального маршрута ППВЮС и фактически направлен на обеспечение его устойчивости в долгосрочной перспективе. Благодаря дополнительному пополнению реки Хань становится возможным увеличение объемов воды, перебрасываемых на север Китая, включая Пекин и северные провинции. В то же время про-

⁶ Источник: Обзор окружающей среды [2022] № 69, «Об утверждении отчета об оценке воздействия на окружающую среду проекта отвода воды из реки Янцзы для пополнения запасов воды в реке Хань», https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk11/202206/t20220613_985368.html

⁷ <https://russian.people.com.cn/n3/2022/0611/c31518-10108429.html>

ект должен частично компенсировать воздействие других водохозяйственных проектов в бассейне Ханьцзяна, включая переброску воды в бассейн реки Вэйхэ.

Вместе с тем оценка воздействия на окружающую среду выявила значительные экологические риски. Одной из главных проблем является изменение гидрологического режима среднего и нижнего течения реки Хань. Сокращение естественного стока и дальнейшее регулирование стока могут ухудшить гидродинамические условия реки, особенно в засушливые периоды, и усилить процессы эвтрофикации и цветения водорослей. Дополнительную угрозу создает более высокая концентрация фосфора в воде из водохранилища «Три ущелья», что может способствовать ухудшению качества воды в реке Хань.

Серьезное внимание уделяется и воздействию на водные экосистемы. В бассейне реки Хань обитают многочисленные виды рыб, включая редкие и охраняемые виды, уже испытывающие давление из-за гидротехнического строительства и сокращения естественных мест нереста. Проект не устраняет проблему утраты естественных экогидрологических процессов, необходимых для воспроизводства рыб. Строительные работы и регулирование русла также могут негативно сказаться на донных организмах, водной растительности и миграции рыбы.

Дополнительные риски связаны с прохождением тоннелей через карстовые районы и подземные водоносные горизонты, что создает угрозу утечек, внезапного притока воды и воздействия на источники питьевого водоснабжения. Кроме того, строительство затрагивает экологически чувствительные территории, включая природные заповедники, лесопарки и экологические охранные зоны.

В ответ на выявленные риски Министерство экологии и окружающей среды Китая утвердило широкий комплекс природоохранных требований. Они включают обязательное обеспечение экологического стока, разработку механизмов совместного регулирования каскада водохранилищ, постоянный мониторинг качества воды, создание систем раннего предупреждения цветения водорослей и соблюдение экологических попусков. Предусмотрены меры по защите рыбных ресурсов, включая и компенсационное зарыбление, а также ограничения на строительство в экологически чувствительных районах.

Таким образом, проект переброски воды из Янцзы в Хань представляет собой не только крупный инфраструктурный элемент системы ППВЮС, но и сложный пример на стыке водохозяйственной политики, межбассейнового перераспределения ресурсов и экологического управления. Он отражает стремление Китая поддерживать устойчивость северных регионов за счет масштабных гидротехнических решений, одновременно

демонстрируя растущую необходимость учета долгосрочных экологических воздействий подобных проектов.

Проект переброски стока в провинции Сычуань⁸

Проект переброски воды из реки Даду в реку Миньцзян (Иньда–Цзиньминь) – крупнейший гидротехнический проект в истории провинции Сычуань по объёму инвестиций и протяжённости водоводов. Официальный старт строительства состоялся 7 ноября 2023 года, а общий срок реализации проекта рассчитан на 96 месяцев (8 лет). Проект является частью национальной системы межбассейнового перераспределения водных ресурсов и включён в государственный план строительства магистральной водной сети Китая. Он также рассматривается как ключевой элемент провинциальной схемы водоснабжения «шесть горизонтальных и шесть вертикальных магистралей», формирующей единую водную инфраструктуру региона.

Суть проекта заключается в переброске воды из реки Даду на Чэндусскую равнину через систему трубопроводов и тоннелей общей протяжённостью 261 км. Вода будет поступать в ирригационную систему Дуцзяньянь и далее интегрироваться в существующую сеть водоснабжения бассейна реки Миньцзян. Среднегодовой объём перебрасываемой воды составит около 1,523 млрд м³.

Главная стратегическая цель проекта – диверсификация источников водоснабжения Чэндусской равнины. До настоящего времени регион, включая мегаполис Чэнду, критически зависел от реки Миньцзян и ирригационной системы Дуцзяньянь. Более 85% водоснабжения Чэнду обеспечивалось фактически одним источником, что создавало серьёзные риски для водной безопасности. Особенно остро эта уязвимость проявилась в 2013 году, когда после сильных осадков и оползней мутность воды в Миньцзяне резко возросла, из-за чего два крупнейших водоочистных со-

⁸ Источники: <https://suining.scol.com.cn/sdxwtt/202511/83161919.html>,
https://k.sina.cn/article_7517400647_1c0126e4705907rc9y.html?from=news,
<http://sc.people.com.cn/n2/2025/1110/c345167-41406202.html> ,
<https://gd.huaxia.com/c/2025/11/07/2087782.shtml>

оружения Чэнду были вынуждены временно остановить работу, поставив под угрозу водоснабжение миллионов жителей.

Проект Иньда–Цзиньминь должен сформировать систему «двух источников и двух каналов» – с использованием рек Миньцзян и Даду как взаимодополняющих источников. После завершения проекта вода из реки Даду будет использоваться преимущественно для бытового и промышленного водоснабжения городов и сельских районов, тогда как ресурсы системы Дуцзяньнянь смогут в большей степени направляться на орошение сельскохозяйственных угодий. Ожидается, что это повысит устойчивость всей системы водопользования Чэндусской равнины, значительно увеличит надёжность водоснабжения и одновременно позволит укрепить аграрный потенциал региона.

Согласно проектным расчётам, после ввода объекта в эксплуатацию количество населения, получающего выгоду от проекта, достигнет 34,13 млн человек. Площадь новых орошаемых земель увеличится на 1,79 млн му, а общая площадь улучшенного и расширенного орошения возрастёт на 5,91 млн му. В китайских официальных документах проект напрямую связывается с обеспечением продовольственной безопасности, поддержанием экономического роста и улучшением условий жизни населения.

Проект имеет выраженное аграрное значение. Он позволит увеличить и модернизировать орошение примерно 7,7 млн му сельхозугодий (около 480 тыс. га), а также повысить зерновое производство примерно на 4,2 млрд цзиней в год. Особенно важен проект для засушливых районов восточной и центральной части Сычуани, где хронический дефицит воды ограничивал развитие сельского хозяйства. Например, уезд Лэчжи, расположенный в засушливой зоне между бассейнами рек Туоцзян и Фуцзян, долгое время испытывал острый дефицит воды. Для таких территорий проект рассматривается как средство стабилизации сельскохозяйственного производства и предотвращения деградации сельских районов.

Значительную роль проект играет и в территориальной интеграции провинции. Он способствует переходу отдельных городов от локальных систем водоснабжения к единой межрегиональной сети распределения воды. Показателен пример города Суйнин, который не будет напрямую получать воду из реки Даду, но станет «косвенным бенефициаром» проекта. За счёт перераспределения ресурсов внутри системы Дуцзяньнянь объём воды, выделяемой Суйнину, увеличится почти на 0,9 млрд м³. Это позволит смягчить хронический дефицит воды в засушливые периоды и укрепить водную безопасность для населения, промышленности и сельского хозяйства.

Проект также рассматривается властями как важный инструмент экономического стимулирования. Крупные гидротехнические проекты в Китае традиционно выполняют не только инфраструктурную, но и инвестиционно-промышленную функцию. Строительство Иньда–Цзиньминь создаёт спрос на строительные материалы, транспортные услуги, оборудование и рабочую силу. По данным властей Сычуани, гидротехнические проекты провинции уже обеспечили более 100 тысяч рабочих мест и стали значимым фактором роста регионального ВВП. В более широком контексте проект отражает курс Китая на использование масштабной инфраструктуры как инструмента пространственного развития и экономической интеграции внутренних регионов.

Одновременно проект отличается чрезвычайной инженерной сложностью. Более половины трассы (около 151 км) проходят через тоннели. Наиболее сложным участком считается тоннель под горой Эрланг длиной около 22 км, где глубина залегания достигает более 2 км, а трасса пересекает несколько активных геологических разломов. Строительство сопряжено с рядом геологических рисков. Для решения этих проблем применяются современные методы геологической разведки, включая дистанционное зондирование, аэросъёмку беспилотниками, геофизические исследования и технологию сверхглубокого горизонтального бурения с непрерывным отбором керна. Китайские инженеры рассматривают проект как демонстрацию возможностей национального гидротехнического и тоннельно-строительного комплекса.

В экологическом отношении проект официально позиционируется как относительно «щадящий»: значительная часть трассы проходит под землёй, что должно минимизировать воздействие на природные территории и экосистемы. Однако, как и большинство масштабных межбассейновых перебросок воды, он потенциально связан с рисками изменения гидрологического режима, перераспределения водных ресурсов между территориями и усиления зависимости регионов от централизованной инфраструктуры.

Таким образом, проект Иньда–Цзиньминь представляет собой не просто водохозяйственное сооружение, а масштабный инструмент региональной трансформации. Он одновременно решает задачи водной безопасности, модернизации сельского хозяйства, пространственной интеграции, экономического стимулирования и укрепления инфраструктурной устойчивости Чэндусской равнины. Вместе с тем проект демонстрирует характерный для современной китайской политики подход, при котором крупная инфраструктура становится ключевым механизмом управления развитием территорий и перераспределения ресурсов между регионами.

Проект переброски воды в Центральный Юньнань⁹

Проект переброски воды в Центральный Юньнань является одним из крупнейших гидротехнических и инфраструктурных проектов современного Китая и ключевым элементом формирования национальной водной сети. Его основная цель – перераспределение водных ресурсов из бассейна реки Цзиньша (верхнее течение Янцзы) в районы центральной части провинции Юньнань. Проект направлен на решение проблемы острой нехватки воды в центральных районах провинции, где проживает более 1/3 населения и производится почти половина ВРП, но на душу населения приходится менее 1/3 водных ресурсов по стране. Этот проект по переброске воды включён в число 172 приоритетных водохозяйственных проектов Госсовета КНР.

Сроки реализации и этапы строительства

Проект реализуется поэтапно.

Первая очередь проекта стартовала в октябре 2018 года. Она включает создание водозаборных сооружений и магистрального водовода. Общий объем инвестиций первой очереди составляет 82,576 млрд юаней.

Вторая очередь включает распределительные и вспомогательные линии водоснабжения. Строительство вспомогательных объектов второй очереди началось в сентябре 2022 года, а ключевые магистральные объекты второй очереди официально запущены 20 января 2026 года в городе Аньнин (Куньмин). Инвестиции в ключевые объекты второй очереди составляют около 9,994 млрд юаней.

Общий объем инвестиций во весь проект уже превышает 115 млрд юаней, что делает его крупнейшим инфраструктурным проектом в сфере водных ресурсов в истории провинции Юньнань.

⁹ Источники: <https://en.ccpa.com.cn/site/content/23774.html>,
<https://www.seetaoe.com/details/257248.html>,
http://n.crhic.cn/m/news_view.aspx?Fid=t2:4:2&Id=539&typefid=4&TypeId=4

Основные технические параметры

Главной задачей проекта является подача воды из реки Цзиньша в центральные районы Юньнани для: городского и промышленного водоснабжения; сельскохозяйственного орошения; экологического пополнения водоемов и озер.

Среднегодовой объем перебрасываемой воды составит 3,403 млрд кубометров. Проект охватит территорию площадью около 36,9 тыс. км² и обеспечит водой свыше 11,1 млн человек.

Первая очередь включает: насосную станцию мощностью 480 МВт; систему магистральных каналов и тоннелей протяженностью 664 км; 58 тоннелей общей длиной 612 км.

Вторая очередь предусматривает: строительство 9 магистральных линий общей длиной 94,53 км; сооружение 4 насосных станций суммарной мощностью 65,5 МВт; создание 4 регулирующих водохранилищ общим объемом почти 52 млн кубометров; развитие распределительной сети протяженностью более 1769 км. Ключевым объектом второй очереди является тоннель Сюэфэншань длиной 13,48 км, который рассматривается как «горловой участок» всей системы водоснабжения.

Социально-экономическое значение проекта

Проект имеет стратегическое значение для развития Центрально-Юньнаньской городской агломерации, где сосредоточена значительная часть промышленности и населения провинции. Центральный Юньнань испытывает хронический дефицит воды: на душу населения здесь приходится менее половины рекомендованного международного уровня водобеспеченности.

После завершения проекта: будет обеспечено стабильное водоснабжение крупных городов, включая Куньмин; повысится надежность промышленного водоснабжения; улучшится ирригация сельскохозяйственных земель; возрастет устойчивость региона к засухам.

Проект также предусматривает экологическое пополнение таких озер, как Дяньчи, Цилу и Илун, что должно способствовать восстановлению деградированных водных экосистем центральной части Юньнани.

Технические и природные сложности

Проект реализуется в исключительно сложных геологических условиях. Маршрут проходит через горные районы Юньнани и пересекает крупные тектонические разломы и речные бассейны. Значительная часть трассы расположена под землей.

Экологическое значение

Китайские власти рассматривают проект не только как инфраструктурный, но и как экологический. Переброска воды должна снизить нагрузку на локальные водные ресурсы Центрального Юньнани и обеспечить дополнительное экологическое водоснабжение озер и рек региона. Вместе с тем столь масштабное межбассейновое перераспределение воды потенциально связано с рисками изменения гидрологических режимов и воздействия на экосистемы бассейна реки Цзиньша. Поэтому проект сопровождается системой экологического мониторинга и оценки воздействия на окружающую среду.

Текущее состояние проекта

По состоянию на конец 2025 года:

- готовность магистрального водовода первой очереди достигла 94,6%;
- большая часть тоннелей уже пройдена;
- водозаборные сооружения находятся на стадии монтажа оборудования;
- строительство второй очереди вступило в активную фазу.

Проект переброски воды из Хуанхэ в Ваньцзячжай и его роль в восстановлении бассейна Юндинхэ¹⁰

Проект переброски воды из реки Хуанхэ в районе Ваньцзячжай (Wanjiashai Yellow River Diversion Project) является одним из крупнейших водохозяйственных проектов северного Китая. Он реализуется в провинции Шаньси и предназначен для обеспечения водоснабжения засушливых районов, поддержки промышленного и городского развития, а также восстановления экологии деградировавших речных систем северного Китая.

Ключевым узлом проекта является гидроузел Ваньцзячжай, расположенный на северном участке основного русла реки Хуанхэ между узлом Токэто и ущельем Лункоу. Проект был введен в эксплуатацию в 2003 г. и изначально проектировался с расчётной годовой подачей воды около 1,4 млрд м³. По данным агентства Синьхуа, к концу 2023 г. через систему было переброшено свыше 6,032 млрд м³ воды в районы провинции Шаньси, испытывающие дефицит водных ресурсов.

Предпосылки

Север Китая исторически характеризуется крайне ограниченными водными ресурсами, высокой концентрацией промышленных предприятий и быстрым ростом городов. Особенно остро проблема проявилась в провинции Шаньси, где сочетались:

- хронический дефицит поверхностных вод;
- высокая зависимость от подземных вод;
- деградация речных экосистем;
- рост промышленного и энергетического водопотребления.

¹⁰ Источники:

http://english.www.gov.cn/news/202403/04/content_WS65e5c531c6d0868f4e8e49b3.html,
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/863761468743985261/txt/multi-page.txt>,
https://xxgk.yq.gov.cn/jjhxxhwyh/fdzdgknr/gyqy/202502/t20250219_2022861.shtml,
<https://www.news.cn/local/20250209/aca388da4b9a4d5aa8bc9122c6e3bb2c/c.html>,
<https://www.xzrbw.com/info/1286/402268.htm>,
<https://russian.news.cn/20240304/134748d421ee46f9ab9795043bfaa4bc/c.html>

В этих условиях в конце XX века китайское правительство приступило к формированию системы межбассейновой переброски стока Хуанхэ. Проект Ваньцзячжай стал одним из первых крупных региональных проектов такого типа, предшествовавших или дополнявших общенациональную систему «Юг–Север».

Согласно материалам Всемирного банка, проект создавался как многофункциональная система, сочетающая:

- водоснабжение городов;
- промышленное водоснабжение;
- орошение сельхозугодий;
- экологическое восстановление рек;
- снижение чрезмерной нагрузки на подземные воды.

Технический замысел проекта

Инженерная схема проекта отличается высокой сложностью. В районе гидроузла Ваньцзячжай вода из Хуанхэ поднимается на высоту около 356 метров с помощью трёх насосных станций. Далее вода транспортируется через систему тоннелей, трубопроводов и магистральных каналов через горные районы провинции Шаньси.

Важнейшим элементом является Северная магистраль проекта, включающая тоннель №1, через который вода поступает в систему рек Цили и Санган, а затем — в водохранилище Цетянь. После дополнительной очистки вода используется для подпитки реки Юндин.

Таким образом проект представляет собой не просто водопроводную систему, а многоуровневую межбассейновую сеть с функциями перераспределения водных ресурсов и экологического регулирования.

Значение для водоснабжения провинции Шаньси

Одним из главных результатов проекта стало радикальное улучшение водоснабжения столицы провинции — города Тайюань. По данным из китайских источников, объём подачи воды в Тайюань увеличился примерно со 100 тыс. м³ в сутки в начале эксплуатации до пиковых значений около 590 тыс. м³ в сутки.

Это позволило:

- сократить нагрузку на подземные воды;
- стабилизировать промышленное водоснабжение;
- обеспечить рост городской агломерации;
- повысить устойчивость экономики региона к засухам.

Особенно важным направлением стала поддержка бассейна реки Фэньхэ, где в условиях засухи 2024 года проект обеспечил аварийный экологический сток реки.

Экологическое восстановление стока реки Юндин

Одной из наиболее значимых функций проекта стало восстановление стока бассейна реки Юндинхэ.

Река Юндин протяжённостью около 759 км исторически являлась важнейшим экологическим коридором региона Пекин–Тяньцзинь–Хэбэй, однако продолжительный низкий сток, рост водопотребления и загрязнение привели к деградации речной системы и периодическому пересыханию русла.

С 2017 г. провинция Шаньси начала реализацию программы восстановления стока бассейна Юндин за счёт вод Хуанхэ. Вода перебрасывается через систему Ваньцзячжай — Санган — Цетянь — Юндин.

По официальным данным: в 2017–2023 гг. в бассейн Юндин было переброшено более 1,3 млрд м³ воды; в 2024 году дополнительно подано 193 млн м³; в 2025 году планируется переброска ещё около 125 млн м³ воды. Подача осуществляется с расходом порядка 15–18 м³/с.

В результате:

- восстановлен круглогодичный сток на ряде участков реки;
- улучшилось качество воды;
- повысилась устойчивость экосистем;
- усилилась экологическая безопасность столичного региона.

Китайские источники подчёркивают, что в 2024 году река Юндин впервые за длительный период обеспечила непрерывный круглогодичный сток по всем ключевым участкам бассейна.

Управленческие и экологические особенности проекта

Проект Ваньцзячжай демонстрирует несколько характерных особенностей современной китайской водной политики.

1. Многофункциональность: Система одновременно выполняет функции хозяйственного водоснабжения, экологического регулирования, поддержки сельского хозяйства, борьбы с деградацией рек и снижения нагрузки на подземные воды.

2. Межбассейновая интеграция: Проект объединяет бассейны Хуанхэ, Санган, Юндин и Фэньхэ.

3. Экологическая направленность: В последние годы экологическое направление становится одной из главных функций проекта. Объёмы воды, направляемой на экологические цели, уже сопоставимы или превышают отдельные категории хозяйственного водоснабжения.

4. Высокая энергоёмкость: Подъём воды на сотни метров требует значительных затрат электроэнергии и постоянной работы насосных станций, что делает проект капиталоемким и энергоёмким.

Основные проблемы и ограничения

Несмотря на успехи, проект сталкивается с рядом ограничений:

- высокая стоимость эксплуатации насосных систем;
- зависимость от водности Хуанхэ;
- необходимость поддержания качества воды;
- сложность координации между регионами;
- экологические риски для участков-доноров бассейна Хуанхэ.

Тем не менее, проект переброски воды из Хуанхэ в Ваньцзячжай является одним из наиболее показательных примеров современной межбассейновой переброски воды в Китае. За два десятилетия эксплуатации он превратился из регионального инфраструктурного проекта в ключевой элемент экологической и водохозяйственной политики северного Китая.

Одновременно опыт Ваньцзячжай показывает, что современные проекты переброски воды в Китае всё больше рассматриваются не только как инженерные системы водоснабжения, но и как инструменты экологическо-

го управления и адаптации к дефициту воды в условиях климатических изменений и урбанизации.

Составители: Зиганшина Д., Усманова О., Юлдашева Г., Валиева М.

Верстка и дизайн: Беглов И., Дегтярева А.

Подготовлено к печати
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан, 100 187,
г. Ташкент, м-в Карасу-4, д. 11А

sic.icwc-aral.uz