

Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной водохозяйственной
комиссии Центральной Азии

Экономические аспекты ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ:

**виртуальная вода, цены на поставку
оросительной воды**

Ташкент 2023

Научно-информационный центр МКВК представляет вашему вниманию переводы научных статей, посвященных экономическим аспектам водопользования.

Содержание

Использование виртуальной воды в качестве расчетной единицы промышленных товаров с помощью технологии блокчейн	4
Анализ реформ цен на оросительную воду в засушливых районах северо-запада Китая	36

Использование виртуальной воды в качестве расчетной единицы промышленных товаров с помощью технологии блокчейн¹

Джаясри С.В. Ангара, Рави С. Сарипале

Аннотация. Отслеживание воды, используемой в производстве товаров, вызывает большой интерес в научном сообществе. Виртуальная вода передается в несколько этапов из одного места в другое через поставщиков, производителей, дистрибьюторов, розничных торговцев и потребителей. Однако в системе торговли виртуальной водой в контексте производства товаров отсутствуют надлежащие стандарты учета, протоколы и процессы. Поэтому необходима технологическая платформа для управления сложной международной торговлей виртуальной водой. Такая платформа должна поддерживать прозрачность и формировать сознательное отношение к воде и повышенное внимание к водным проблемам среди компаний и потребителей. Концепция использования виртуальной воды в качестве расчетной единицы в совокупности с технологической платформой блокчейн позволяет управлять этими процессами. Блокчейн позволяет создавать безопасные, верифицируемые, расширяемые и отслеживаемые системы. Блокчейн позволяет легко вести процессы аудита и управления контрактами. Использование виртуальной воды в качестве расчетной единицы важно для поддержания устойчивости. Цель данной работы – установить ключевые связи между виртуальной водой и использованием блокчейна. Проведен систематический обзор литературы по 16 библиотекам журналов (153 журнальных статей) издательства «IWA» для установления связей с виртуальной водой и базами данных пяти журналов (IEEE Xplore, Scencedirect, ACM Digital Library, Springer Link и Wiley Online Library, 5026 статей) для установления связей между блокчейном и управлением водными ресурсами. В данном исследовании предлагается ввести использование виртуальной воды в качестве расчетной единицы и международную систему торговли виртуальной водой с использованием блокчейна. Предлагаемая платформа легко объединяет качество, стоимость и устойчивость промышленных товаров и их компонентов.

¹ Источник: Jayasri S. V. Angara, Ravi S. Saripalle. Towards a virtual water currency for industrial products using blockchain technology. Water Policy Vol 24 No 6, 923 doi: 10.2166/wp.2022.285

Введение

Виртуальная вода в составе продукции (товара или услуги) определяется как объем пресной воды, используемой в процессе производства этой продукции (Hoekstra & Chapagain, 2007; Hoekstra et al., 2011). Согласно Velázquez et al. (2011), «виртуальная вода определяется как объем воды, используемый в производстве и преобразовании сырья в продукты питания, а водный след — это объем виртуальной воды плюс вода, используемая для доставки товара потребителю». Это означает, что виртуальная вода – это вода, используемая для производства, упаковки и поставки товара потребителю. Водный след – это общее водопотребление, измеренное на уровне потребителя или территории. Данная статья ограничивается только виртуальной водой, поскольку рассматривается вода, необходимая для производства и сборки товара.

Концепция виртуальной воды помогает нам понять, осознать и запланировать затраты воды, необходимые для производства товаров и услуг. Она позволяет нам предотвратить перемещение воды из мест, испытывающих дефицит воды, в места, богатые водой. Эта стратегия помогает снизить уровень дефицита воды в отдельной стране за счет эффективного и сознательного использования водных ресурсов. В связи с этим большое значение приобретает торговля виртуальной водой. Однако пока не существует серьезных инструментов и технологий для эффективной и прозрачной торговли виртуальной водой. В последнее время все большую популярность приобретает технология блокчейн для проверки и отслеживания многоэтапных транзакций. Блокчейн – это технология распределенных реестров (реестров данных), используемая совместно несколькими организациями, работающими в распределенной сети. Это не просто технология. Это инструмент для инноваций и катализатор работы партнеров в цепочке поставок. Блокчейн позволяет сторонам надежно обмениваться информацией с надлежащим контролем того, кто может просматривать данные и в каком объеме. Это снижает риск потери данных и практически не допускает неприятые данные. Решения по отслеживанию цепочки поставок увеличивают ее скорость. Как ожидается, это будет наиболее подходящим решением в контексте торговли виртуальной водой.

Целью данной статьи является изучение и выявление ключевых связей между виртуальной водой и использованием технологии блокчейн в сфере виртуальной воды. Для этого был проведен систематический обзор литературы по 16 репозиториям журналов «IWA Publishing» (Международной Ассоциации по водным ресурсам), включая 153 журнальные статьи по виртуальной воде, и пяти базам данных журналов (IEEE Xplore, Scencedirect, ACM Digital Library, Springer and Wiley Online Library), охва-

тывающих 5026 статей о взаимосвязях блокчейна и управления водными ресурсами. В разделе «Обзор литературы» описаны подход и результаты. В разделе «Результаты исследования» представлен проект создания «International Virtual Trading System» (международной системы торговли виртуальной водой) с использованием технологии блокчейн, за которым следует раздел о рисках надежности результатов исследования. В заключение подводится итог работы.

Обзор литературы

Цель данного исследования – понять основные движущие силы технических, культурных и управленческих факторов, влияющих на торговлю виртуальной водой на глобальном уровне. Поднимается следующий вопрос: «Каковы движущие факторы торговли виртуальной водой в глобальной среде?» Проведен систематический обзор литературы, чтобы понять глубину исследований, проведенных в этой области знаний. В качестве основного репозитория для исследования выбрано издательство «IWA». Издательство «IWA» является одним из самых богатых цифровых репозиториях знаний в области управления водными ресурсами и смежных областях с налаженными связями с водохозяйственными объединениями по всему миру. В репозитории представлены ведущие журналы по водной тематике. Далее по различным базам данных журналов проведен обзор применения технологии блокчейн в сфере водных ресурсов.

Процесс исследования

Для определения основных факторов, определяющих управление виртуальной водой на глобальном уровне, проведен контент-анализ в форме наблюдения и анализа существующих наборов данных. Контент-анализ позволяет систематизировать исследования в этом направлении (Downe-Wamboldt, 1992). В данном конкретном исследовании основное внимание уделено текстам из журнальных статей, книг и веб-ресурсов. По сути, это исследование «немых» данных из текстов (Hodder, 1994).

Разработан кодировочный лист с различными категориями, классифицированными в шахматном порядке. Он используется для анализа, толкования и выявления ключевых факторов, определяющих использование виртуальной воды в качестве расчетной единицы при торговле товарами в условиях международного рынка и внедрения технологии блокчейна. Кодировочный лист «Virtual Water Codebook» разделен на девять категорий, а

именно: описание статьи (год, название журнала или конференции, заголовок, номер тома, doi), ключевые слова автора, аннотация, соответствие темам виртуальной воды, по местоположению, технологическим решениям, торговым или коммерческим решениям сельскохозяйственной/несельскохозяйственной продукции и основным темам.

Процесс сбора данных

Поиск выполнялся по ключевым терминам в 16 репозиториях журналов издательства «IWA» (Табл. 1). Использовался поисковый запрос – «виртуальная вода». Поиск выполнен в июле 2022 г. Журнальные статьи (исключая изображения) и типы статей (научная статья, обзорная статья, выбор редакции) не ограничивались каким-либо периодом времени. Общее количество совпадений составило 153, как показано в таблице 1.

Также сделана попытка изучить возможности применения блокчейна в водном хозяйстве и смежных областях. Использовался поисковый запрос «блокчейн и управление водными ресурсами». Процесс поиска был завершён в тот же упомянутый выше период, в июле 2021 г. Результаты представлены в таблице 2.

Были рассмотрены следующие базы данных журналов. При этом для различных баз данных использовались разные фильтры.

- Параметры фильтра для «IEEE Xplore»: Поисковый запрос – («Полный текст и метаданные»: блокчейн) и («Полный текст и метаданные»: управление водными ресурсами). Диапазон времени: 1884-2022 гг. Включены только конференции, научные журналы и ознакомительные статьи. Книги и популярные журналы исключены из поиска.
- Параметры фильтра для «Scencedirect»: поисковый запрос – блокчейн для управления водными ресурсами. Типы статей: обзорные статьи, научные статьи, тезисы конференций и тематические отчеты.
- ACM Digital Library: Параметры фильтра: поисковый запрос – [Все: блокчейн] И [Все: управление водными ресурсами]. Тип содержимого: научные статьи.
- Springer Link: Параметры фильтра: поисковый запрос – «блокчейн и вода». Тип содержимого: статьи, документы и материалы конференций.
- Wiley Online Library: поисковый запрос – Блокчейн в управлении водными ресурсами. Тип содержимого: научные журналы.

Таблица 1. Результаты поиска по базам данных (виртуальная вода)

№	Название журнала	Кол-во совпадений
1	AQUA	31
2	Blue-Green Systems	3
3	H ₂ Open Journal	5
4	Hydrology Research	5
5	Ingenieria del agua	1
6	Journal of Hydroinformatics	6
7	Journal of Water & Climate Change	9
8	Journal of Water & Health	0
9	Journal of Water, Sanitation & Hygiene for Development	0
10	Water Policy	57
ii	Water Practice & Technology	0
12	Water Quality Research Journal	0
13	Water Research	0
14	Water Reuse	0
15	Water Science & Technology	12
16	Water Supply	24
Всего		153

Таблица 2. Результаты поиска по базам данных (блокчейн и управление водными ресурсами)

№	Название базы данных	Кол-во совпадений
1	IEEE Xplore	1295
2	Sciencedirect	823
3	ACM Digital Library	1732
4	Springler Link	915
5	Wiley Online Library	261
Всего		5026



Рис. 1 Количество статей по годам

Часть 1: Демографические показатели статей (виртуальная вода в публикациях «IWA»)

По различным репозиториям журналов, опубликованных в издании «IWA», было найдено в общей сложности 153 статьи по виртуальной воде. Распределение статей по годам представлено на рис. 1. Из 153 статей 10 дублируются. Найдено более 76% статей, опубликованных в период с 2015 по 2021 гг.

Как видно из рис. 2, только 68 из 153 статей имели прямое отношение к тематике виртуальной воды и водного следа.

Как видно из рис. 3, на Китай приходится большая доля статей, связанных с виртуальной водой – 28%. 30% статей не имеют привязки к конкретному местоположению. Затем следуют Африка (11%), Европа (9%), Индия (6%) и Ближний Восток (6%).

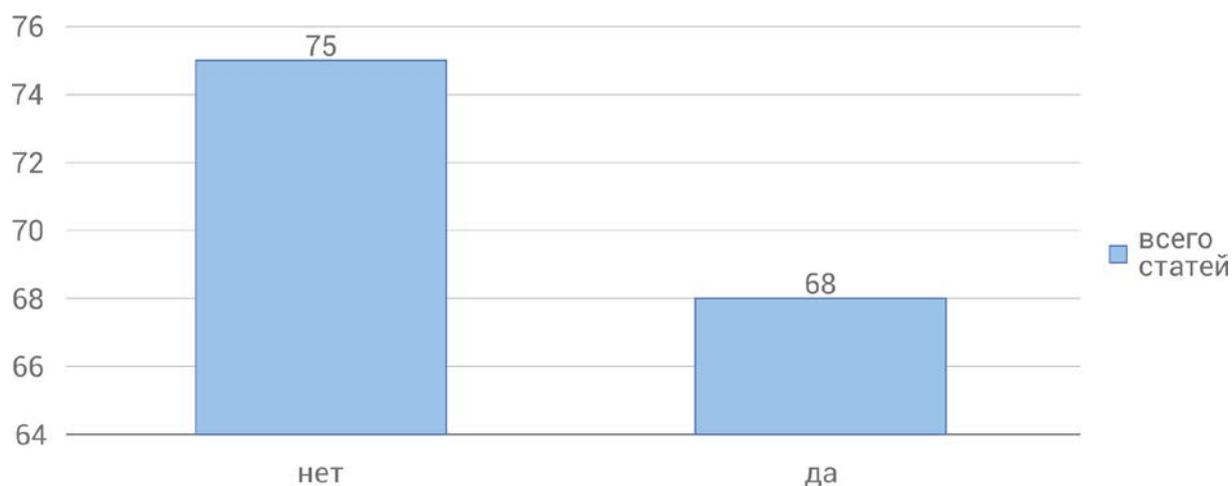


Рис. 2 Прямое отношение к тематике виртуальной воды

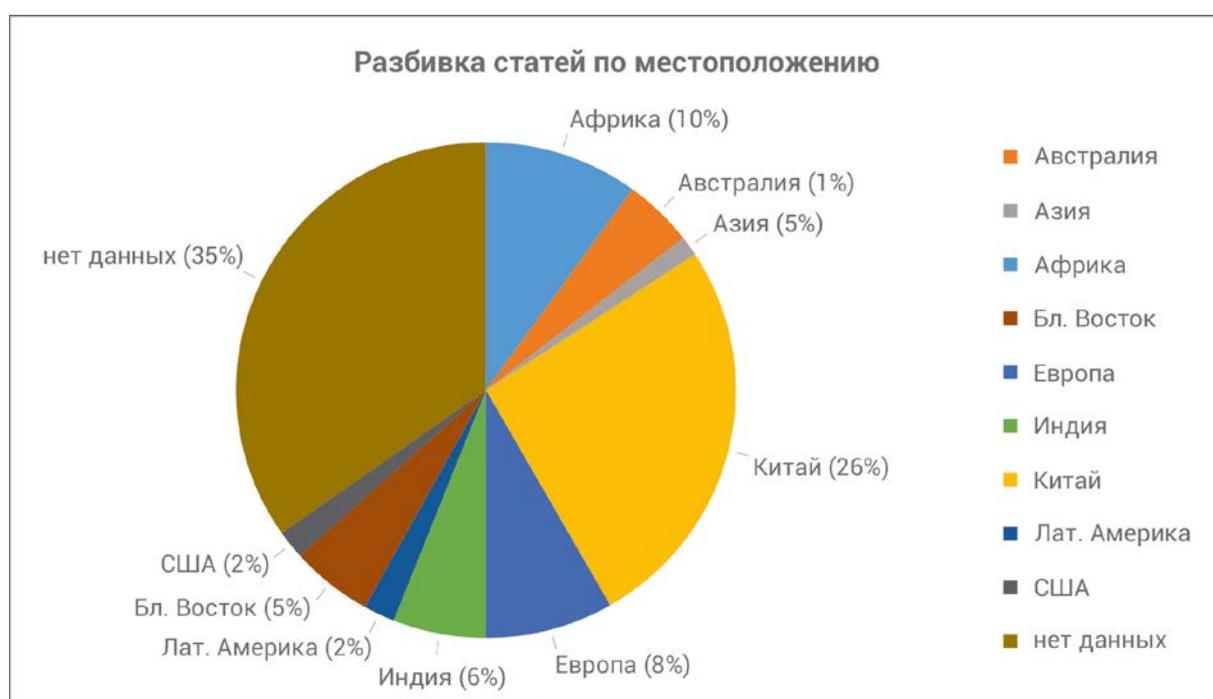


Рис. 3 Разбивка статей по местоположению

Как видно из рисунка 4, около 20% статей содержат высокотехнологичные решения. Среди них только 9% статей имеют отношение к виртуальной воде или водному следу.

Как видно из рисунка 5, около 39% статей связаны с торговлей водой или виртуальной торговлей водой.

Как видно из рисунка 6, около 43% статей связаны с виртуальной водой в контексте сельскохозяйственного производства. В нескольких статьях обсуждается тема промышленной торговли в контексте виртуальной воды.

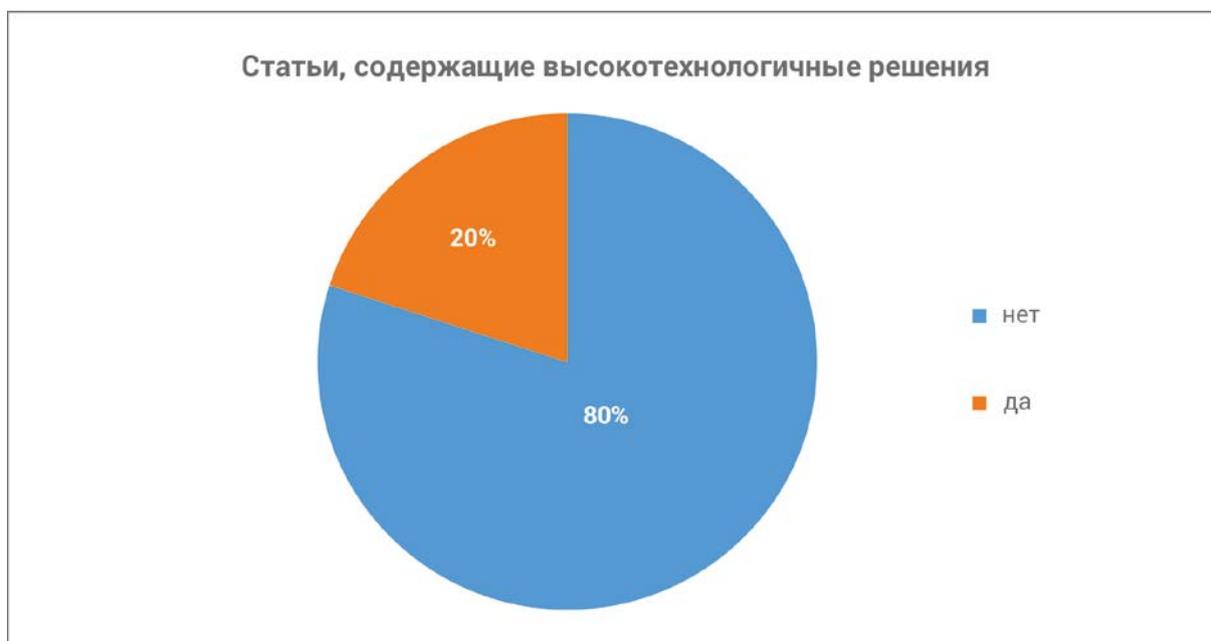


Рис. 4 Статьи, содержащие высокотехнологичные решения/внедрения

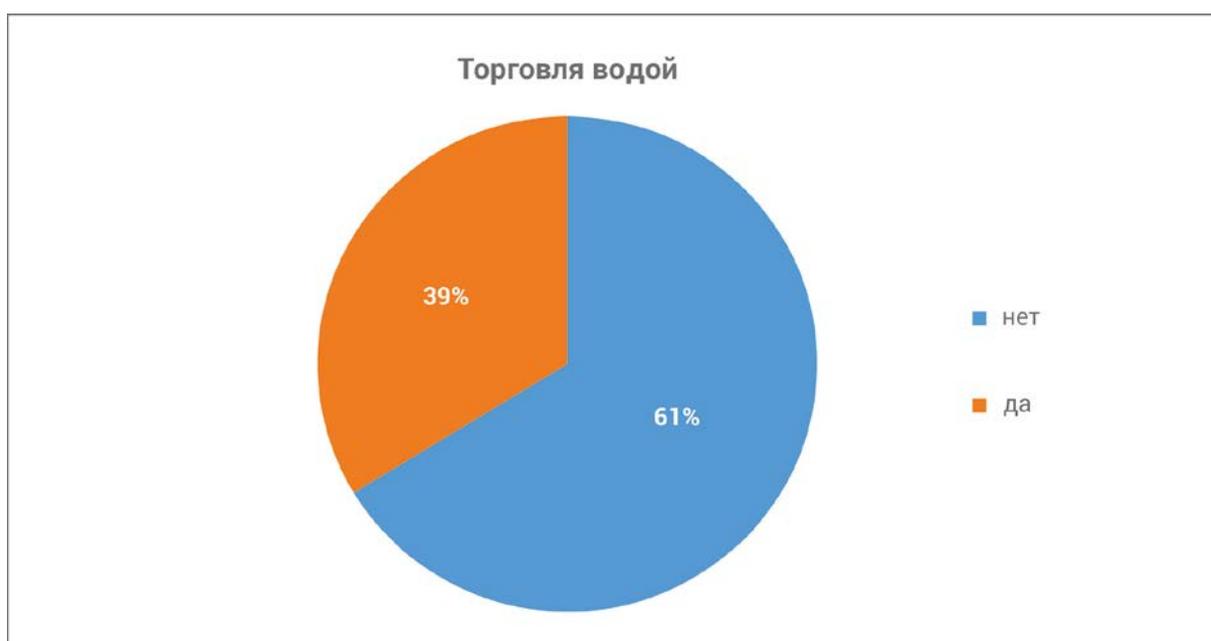


Рис. 5 Статьи про торговлю водой / торговлю виртуальной водой

Часть 2: Демографические показатели статей (блокчейн в управлении водными ресурсами в базах данных журналов)

Отмечено, что в «IEEE Xplore» статьи, связанные с темой «Блокчейн и управление водными ресурсами», стали публиковаться после 2015 г. Наибольшая доля приходится на 2020 г. – 39% статей, затем 29% в 2019 г. и 17% в 2021 г. Это свидетельствует о появлении технологии блокчейн в водной сфере (рис. 7)

Аналогично, как показано на рис. 8, в «ScienceDirect» стали публиковаться статьи, связанные с блокчейном и управлением водными ресурсами, после 2016 г. Были учтены только обзорные статьи, научные статьи, тезисы конференций и тематические отчеты. Наибольшая доля статей приходится на 2021 г. – 44%, а наименьшая – на 2022 г. (одна статья) и 2016 г. (две статьи). Годовая статистика статей в «ScienceDirect» схожа с «IEEE Xplore».

Как показано на рис. 9, в «ACM Digital Library» статьи, связанные с блокчейном и управлением водными ресурсами, стали публиковаться после 2013 г, достигнув своего пика в 2019 г.

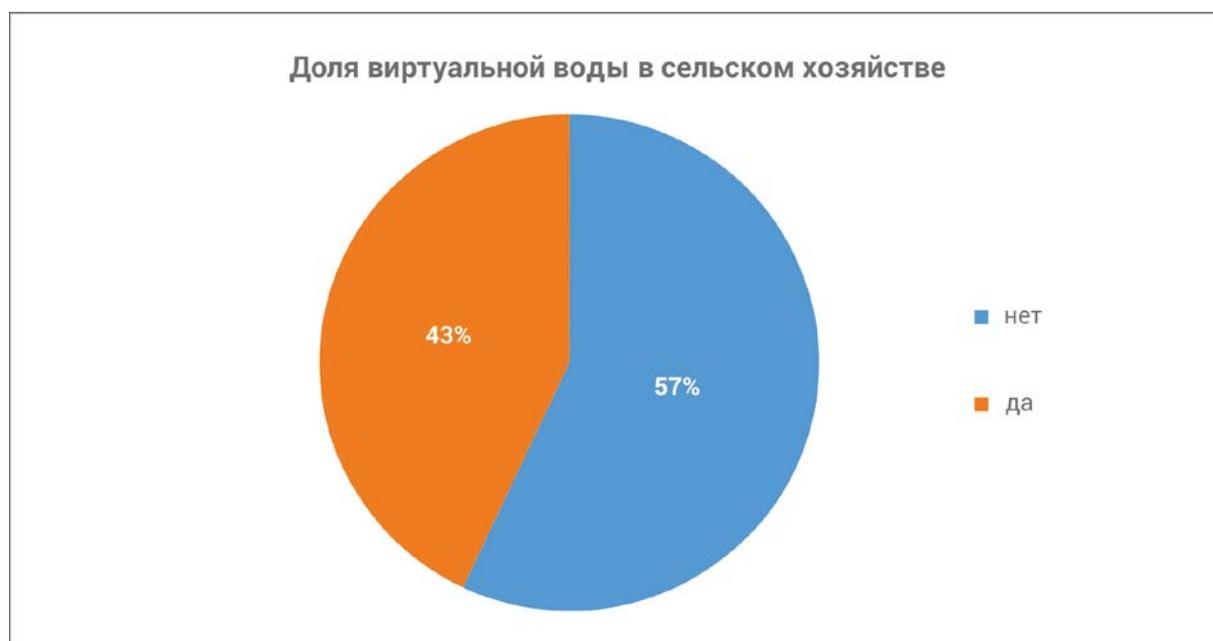


Рис. 6 Статьи по виртуальной воде в контексте сельского хозяйства

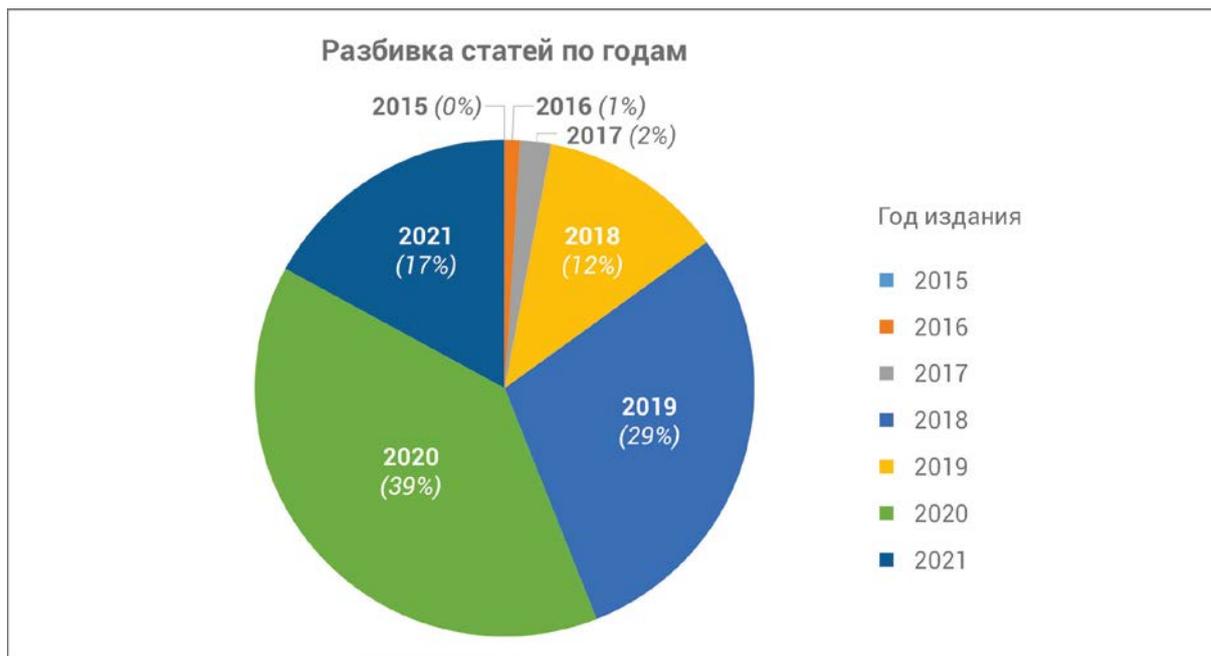


Рис. 7 Блокчейн и управление водными ресурсами в «IEEE Xplore»

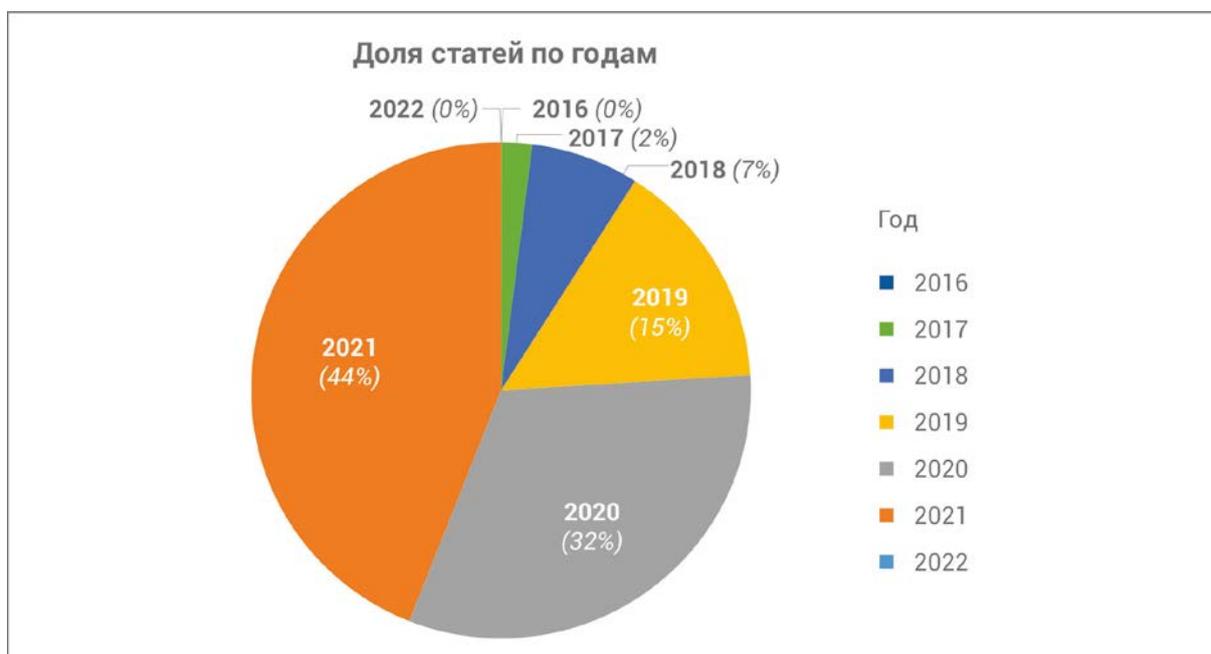


Рис. 8 Блокчейн и управление водными ресурсами в «ScienceDirect»

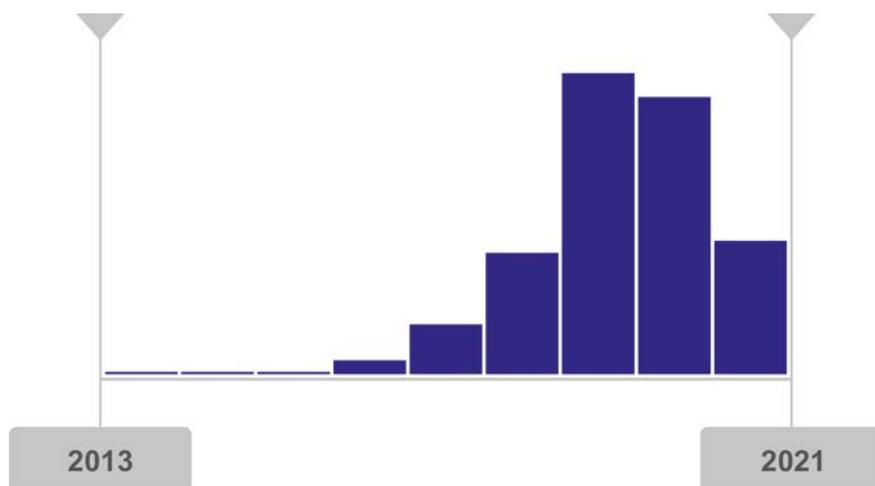


Рис. 9 Блокчейн и управление водными ресурсами в ACM Digital Library

Отмечено, что в «Springer Link» статьи, связанные с блокчейном и управлением водными ресурсами, публикуются после 2016 г., достигнув пика в 2021 г. (53%), как показано на рис. 10. Аналогично, «Wiley Online Library» выдает 261 статью за период с 2016 по 2021 гг. Наибольшее количество статей (60) находится в разделе «Бизнес и менеджмент»

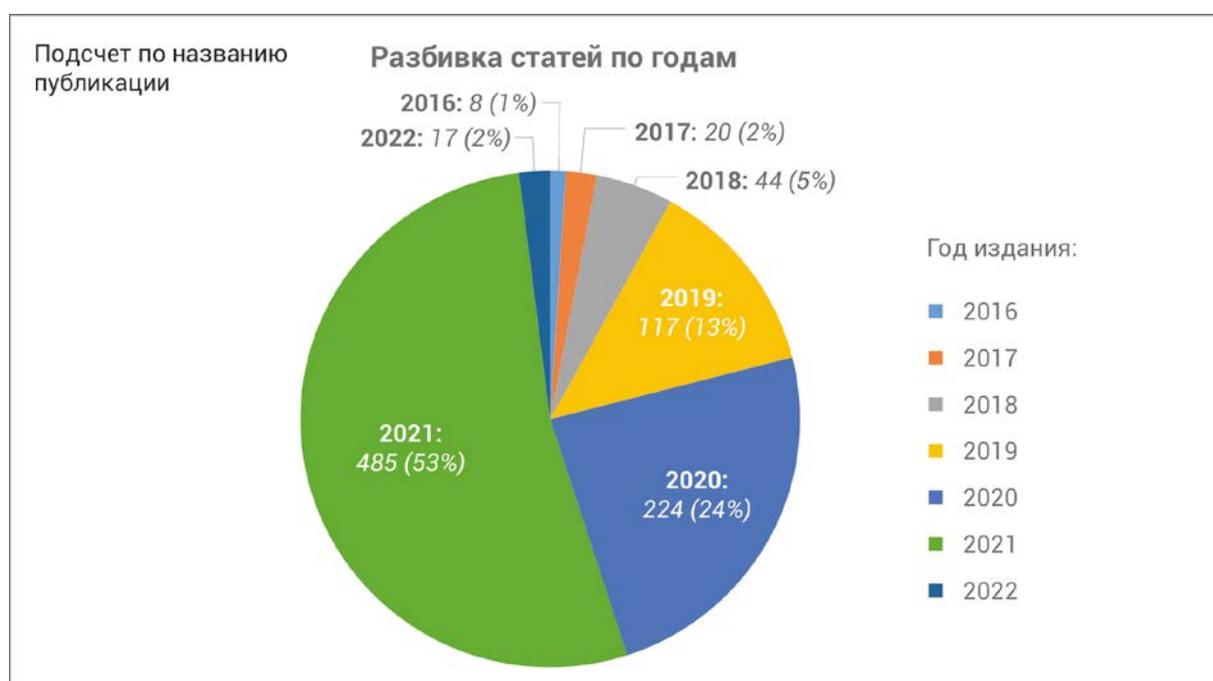


Рис. 10 Блокчейн и управление водными ресурсами в Springler Lin

Результаты исследования

Часть 1: Важность торговли виртуальной водой

Международный институт исследований по проблемам продовольственной политики опубликовал в 1999 г. статью по «воздействию перераспределения водных ресурсов из сельского хозяйства на продовольственную безопасность и развитие сельских регионов». В статье говорится, что мировая торговля продовольствием (включая торговлю зерновыми), как ожидается, увеличится с 186 млн. т в 1993 г. до 349 млн. т в 2020 г. (Rosegrant & Ringler, 1999). По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН, фактический объем производства зерновых в мире составляет 2710 млн. т, а объем торговли – 440,1 млн. т, что ближе к прогнозу 20-летней давности (World Cereal Inventories, 2021). Эти данные свидетельствуют о двух важных аспектах этой торговли: прогнозирование стоимости и объема «включенной в товар» воды. Эта торговля также показывает перетоки воды из стран с дефицитом воды в страны с богатыми водными ресурсами. Виртуальная вода – это вода, потребленная в процессе производства товаров и услуг. Потоки/торговля виртуальной водой помогают понять, как водные ресурсы одной страны потребляются в другой стране.

Ближний Восток испытывает острый дефицит воды. В одном исследовании рекомендуется международное сотрудничество для управления имеющимися водными ресурсами в регионе и обращения вспять их истощения. Для смягчения последствий истощения водных ресурсов и укрепления водной безопасности рекомендуется торговля виртуальной водой. Культуры с высоким содержанием виртуальной воды могут импортироваться для осуществления стратегических сельскохозяйственных инвестиций в условиях быстрой глобализации экономики (Bozorg-Haddad et al, 2020). Zhang et al. (2018) рассмотрели модель ценообразования для торговли правами на воду между сельскохозяйственными и промышленными потребителями в Китае, поскольку в стране отсутствует формальный механизм передачи кредитов от ирригаторов промышленности.

В данном исследовании предложена интегрированная модель ценообразования для ирригаторов, позволяющая продавать права на воду промышленным потребителям за счет экономии воды с помощью методов водосбережения. В работе Huang et al. (2017) проанализировано распределение экспорта/импорта виртуальной воды по всем регионам Китая. По оценкам авторов, в Китае общий объем виртуальной воды, связанной с

экспортом, составил 106,3 млрд. м³. Однако он неравномерно распределен по регионам Китая. Отмечается, что в восточном регионе при экспорте виртуальной воды использовались методы рационального водопользования. Wu et al. (2018) подчеркивают важность использования виртуальной воды в качестве инструмента региональными экономическими системами. Авторы предложили торговлю виртуальной водой за счет импорта из регионов с избытком воды, что поможет преодолеть дефицит воды в других регионах. Виртуальная вода способствует повышению эффективности водопользования и направляет потоки воды в сферу услуг и промышленности. Wu et al. (2021) провели анализ водного следа на юго-западе Китая и обнаружили наименьший водный след для производства риса (район Юньнань) и наибольший – на северо-востоке. Северо-восток оказался в зоне высокого риска. Авторы приводят аргументы в пользу разработки более эффективной политики в области использования подземных вод и международной торговли для обеспечения устойчивого снабжения продовольствием и водой, торговлей, чтобы обеспечить устойчивое снабжение продовольствием и водопользование на региональном и национальном уровнях. Wang et al. (2019) рассматривают импорт виртуальной воды как один из будущих эффективных методов для осуществления импорта низкоэффективных сельскохозяйственных культур и развития высокоэффективного сельского хозяйства, а также для повышения водопроницаемости.

Kumar & Jain (2011) проводят количественную оценку экспорта и импорта виртуальной воды по штатам Индии в/из центрального пула. В этой работе сделано предположение, что экспорт виртуальной воды не должен определяться исключительно водообеспеченностью, а должен учитывать различные факторы, такие как продуктивность, наличие земли, реформы, инфраструктура, культура предпринимательства и наличие системы кредитования.

Janjua & Hassan (2020) представляют методику «взвешенного банкротства» для более эффективного управления и устойчивого распределения водных ресурсов. Zeng et al. (2015) разработали двухэтапную модель интервально-стохастической торговли водой (TIWT) для распределения ограниченных водных ресурсов между конкурирующими пользователями на основе рыночного подхода. Данный подход позволяет повысить экономическую эффективность и обеспечить решение проблемы дефицита воды.

Manshadi *et al.* (2015) заявляют, что переброска виртуальной воды должна отвечать как экономическим, так и экологическим целям и потребностям. Авторы разработали модель, отвечающую критериям экономики, справедливости и охраны окружающей среды, чтобы обеспечить устойчивое развитие. Для оптимального перераспределения чистой прибыли они предложили подход на основе теории кооперативных игр. Аналогично

Sepulveda (2015) рассмотрел зависимости между балансом экспортной/импортной продукции и анализом гидрологического следа. Автор провел сравнение между глобальными и локальными моделями потребления с использованием метода «водного следа» и подчеркнул важность экологической экономики.

Wu *et al.* (2018) концептуально обосновывают важность стратегии виртуальной воды для обеспечения региональной водной безопасности и повышения уровня жизни. По их мнению, индустриализация становится конкурентом для сельского хозяйства. Виртуальная вода позволяет повысить эффективность использования водных ресурсов. Авторы выступили за создание «системы комплексного управления виртуальной водой» – полезной системы для торговли виртуальной водой между регионами. Авторы обнаружили, что засушливые регионы получают значительные преимущества от импорта виртуальной воды.

Reutter *et al.* (2018) проводят оценку потоков виртуальной воды через цепочки поставок всей австралийской экономики. Авторы предложили методику оценки водного следа производственных ресурсов/продукции и рассчитали водный след для каждой конкретной отрасли, распределенной с точки зрения общего объема продаж каждому покупателю.

Youkhana & Laube (2009) отмечают важность импорта продовольствия из стран, богатых водой, как устойчивого решения для регионов с дефицитом воды. Авторы утверждают, что для более эффективной торговли виртуальной водой необходимы сильная политическая воля, образовательные и финансовые реформы. Selim & Abdalbaki (2019) проанализировали структуру экспорта виртуальной воды в странах бассейна Нила. Кения преуспела в экономии значительного объема виртуальной воды, в то время как ряд других стран понесли потери. Авторы использовали анализ социальных сетей для получения этой статистики. Lopez-Gunn *et al.* (2012) утверждают, что вода и продукты питания не могут быть изолированы от социально-экономических и политических аспектов. Водная безопасность, продовольственная безопасность, безопасность человека и окружающей среды не могут рассматриваться независимо друг от друга. Они полностью взаимосвязаны, и их необходимо рассматривать и с этической точки зрения. Авторы утверждают, что понимание торговли виртуальной водой заложит основу для будущей водной и продовольственной безопасности.

Parveen & Faisal (2004) рассматривают значение торговли виртуальной водой в контексте продовольственной безопасности. Авторы утверждают, что продовольственная безопасность определяется как «продовольственная самодостаточность» вместо «продовольственной самообеспеченности». В работе Deng *et al.* (2018) анализируется рост водного следа продовольствия с 1997 по 2011 гг. в Китае. Авторы высказываются за со-

здание «зеленого канала» для развития внутренней торговли продовольствием и торговли виртуальной водой.

Большую роль в торговле виртуальной водой играют экономические и климатические условия. Hassan & Thiam (2015) для оценки потоков виртуальной воды использовали экономическую схему. Для достижения продовольственной безопасности авторы рекомендуют повысить эффективность водопользования и конкурентоспособность богарного земледелия. Berrittella *et al.* (2008) предлагают изучить влияние налогов на воду в контексте международной торговли. Налоги на воду позволяют повысить эффективность, изменить структуру производства, потребления и международной торговли. Emmanuel & Clayton (2017) предлагают включить торговлю виртуальной водой в водохозяйственную политику. Авторы утверждают, что страна необязательно должна быть богата водой, если будет осуществляться торговля виртуальной водой.

В работе Chen *et al.* (2019) виртуальная вода рассматривается с точки зрения водно-энергетической взаимосвязи. Авторы рассматривают виртуальную воду как скрытые потоки воды для производства и передачи электроэнергии из других мест. Они отмечают, что восточный регион Китая характеризуется не только высокими экономическими издержками, но и высоким уровнем виртуальной воды, энергопотребления и выбросов углерода, что воздействует на экологические и социальные издержки.

Acheampong *et al.* (2016) предлагают интегрированное управление водными ресурсами (ИУВР) со стратегией «разделения». Они рассматривают торговлю виртуальной водой в контексте такой стратегии с целью преобразования процессов управления водными ресурсами для достижения экономической эффективности, социальной справедливости и экологической устойчивости.

Mamo (2015) представляет базовую модель поддержки принятия решений для определения приоритетности мер по снижению воздействия на окружающую среду на базе обоснованных и коллективных критериев. Wicaksono *et al.* (2017) утверждают, что необходимо разработать такую систему поддержки принятия решений, которая будет моделировать и количественно оценивать взаимосвязи между водой, энергией и продовольствием. С помощью этой системы можно создать, оценить и оптимизировать модель устойчивого развития. Doeffinger *et al.* (2020) представляют свой вариант разработки диагностическую систему показателей для понимания состояния водной безопасности по аналогии с процессом медицинской диагностики. Далее в табл. 3 приведены широкие темы исследований, предложенные различными авторами.

Часть 2: Результаты по блокчейну и управлению водными ресурсами

Далее был проведен обзор литературы по использованию блокчейн в сфере управления водными ресурсами. В табл. 4 приведена основная тематика обзора.

Блокчейн поддерживает совместный процесс с достоверными данными по разным странам. Это очень важно в цепочке поставок, где решающее значение имеют определение местоположения, подтверждение происхождения и отправки, а также точность. В последнее время развивается практика использования технологии блокчейн в управлении водными ресурсами. Однако серьезных свидетельств об управлении виртуальной водой с использованием блокчейна нет. Архитектура блокчейна очень важна для создания международной системы торговли виртуальной водой с обменом кредитами на виртуальную воду. (Ravi & Jayasri, 2015).

Предлагаемая международная система торговли виртуальной водой с использованием технологии блокчейн

Как было отмечено ранее, виртуальная вода – это вода, используемая в процессе производства товара. Торговля виртуальной водой становится важнейшим компонентом управления водой на глобальном и региональном уровнях, особенно в регионах, где вода становится дефицитной (Renault, 2002). Целью системы управления виртуальной водой является измерение объема и потоков. В мире ежедневно заключаются многочисленные товарные сделки. Каждый товар состоит из множества компонентов, производится в разных географических точках, собирается и продается. Каждый продукт состоит из множества компонентов, производится в разных географических точках, собирается и продается. Таким образом, цепочка поставок «невной воды» является важнейшим элементом как для оценки устойчивости, так и по этическим соображениям. Надбавка к стоимости товара должна определяться исходя из общего объема «невной воды», по которой заключаются сделки между регионами.

Те, кто собирают готовый продукт, должны также учитывать вопрос перемещения виртуальной воды и недоверия до окончательной подготовки компонентов к сборке. Такая практика существенно способствует устойчивости. Потребители тоже должны пытаться приобретать товары с небольшим содержанием виртуальной воды.

Таблица 3. Области исследований с позиции виртуальной воды

№	Основное направление	Автор(ы)
1	Процесс управления водными ресурсами; оценка воды для принятия решений.	Hellegers & van Halsema (2019)
2	Неравенство в водопользовании может быть смягчено за счет переброски виртуальной воды и повышения эффективности водопользования.	He et al. (2020)
3	Торговля виртуальной водой (VWT) является потенциальным решением для стран, испытывающих дефицит воды.	Rogers et al. (2004); Oki & Kanae (2004); Johannessen (2004)
4	Переменные, связанные с импортом виртуальной воды: средний доход, население, сельское хозяйство как добавленная стоимость, орошаемая площадь, экспорт товаров и услуг.	Ramirez-Vallejo & Rogers (2004)
5	Создание международного совета по торговле виртуальной водой.	Rahman et al. (2002)
6	«Food Miles» (расстояние от мест производства продуктов питания до мест их потребления) и виртуальная вода для городского управления	Liebman et al. (2011)
7	Изменение рациона питания влияет на водный след в конкретном регионе; расчет «водного следа» в виноградарстве и расчет сточных вод.	Vanham & Bidoglio (2014); Saraiva et al. (2019)
8	Необходимость создания системы кредитования на виртуальную воду и торговли.	Ravi Shankar & Jayasri (2015)
9	Оценка торговли виртуальной водой между двумя регионами; анализ потребления виртуальной воды для устойчивого развития городов; «водный след» (WF) с точки зрения производства и потребления, а также импорта водоемкой сельскохозяйственной продукции.	De Miguel et al. (2010); Vanham (2011); Kang et al. (2017)
10	Пересмотр существующей политики ценообразования с использованием стратегии виртуальной воды.	Hristov et al. (2015)
11	Разработана межрегиональная вычислительная модель общего равновесия (CGE)	Zhao et al. (2021)

№	Основное направление	Автор(ы)
12	с использованием притоков и оттока виртуальной воды. Авторы проанализировали изменения ВВП и уровень занятости в контексте расхода виртуальной воды Метод анализа движения материалов, используемый для оценки пространственно-временных вариаций эффективности метаболизма водных ресурсов (WME). Применяется для повышения эффективности метаболизма как физической, так и виртуальной воды.	Meng <i>et al.</i> (2020)
13	Как виртуальная вода поможет в управлении водным стрессом; интенсивность водного следа (Iwf) и внешней зависимости от водных ресурсов (WD) в контексте торговли виртуальной водой.	Huang <i>et al.</i> (2019); Sun <i>et al.</i> (2016)
14	Схема торговли правами на воду; модель ценообразования для передачи прав на воду от сельского хозяйства к промышленности в вододефицитных районах для успешного развития будущих рынков воды.	Zhang <i>et al.</i> (2019)

Таблица 4. Области исследований в сфере блокчейна с точки зрения управления водными ресурсами

№	Основное направление	Автор(ы)
1	Новые варианты ценообразования на воду и политические меры с использованием блокчейна, искусственного интеллекта, смарт-концепций (система смарт-учета, управление спросом) в интересах энергетики и водного хозяйства.	<i>Grigoras et al. (2018)</i>
2	Система учета воды для эффективного управления и координации использования воды в общинах. Технологии блокчейн используются для укрепления доверия между членами общины и для коммерческого использования ресурсов.	<i>Bordel et al. (2019)</i>
3	Интегрированная платформа для управления и мониторинга городских сетей в режиме реального времени с безопасным управлением данными на основе технологии блокчейн для более эффективного управления водными ресурсами.	<i>Pahontu et al. (2020)</i>
4	Разработка умной единой водопроводной сети и умных счетчиков воды для получения данных о водопотреблении в режиме реального времени. Разработана схема защиты конфиденциальности данных пользователей с использованием блокчейна и машинного обучения (k-means) путем группировки водопользователей в кластеры, причем каждый кластер имеет частный блокчейн для записи данных его участников.	<i>Lalle et al. (2020)</i>
5	IoT используется для измерения качества воды в промышленных резервуарах, и при любом нарушении налагается соответствующий штраф. Блокчейн используется для поддержания прозрачности, целостности и надежности записей о нарушениях.	<i>Alharbi et al.</i>
6	Системы распределения воды (WDSs) с безопасной схемой, позволяющей сохранить идентификацию пользователей и данные с помощью блокчейна. Предотвращение дублирования гидравлических данных и данных водопотребления, а также непрерывная защита передачи данных и предотвращение потери данных в результате их фальсификации.	<i>Mahmoud et al.</i>
7	Хранением данных и каналом связи занимается центральный орган; взаимодействие и принятие решений регулируется исключительно конечными узлами, использующими блокчейн.	<i>Predescu et al.</i>

№	Основное направление	Автор(ы)
8	Роль технологий с открытым исходным кодом в обеспечении новых возможностей для совместного управления водными ресурсами. В данной работе делается акцент на социально и политически обоснованном взгляде на «цифровую воду», что необходимо для устойчивого развития.	Hoolohan <i>et al.</i>
9	Блокчейн полезен в цепочке поставок любого товара, от стадии сырья до стадии производства конечного продукта. Он обеспечивает возможность отслеживания, прозрачность и безопасность по всей цепочке поставок.	Akram <i>et al.</i> (2020)
10	Основная цель блокчейна – отследить каждую транзакцию в цепочке поставок, каждый может контролировать каждую транзакцию.	Sander <i>etal.</i> (2018)
11	IoT (интернет вещей) в сочетании с блокчейном может помочь в мониторинге в режиме реального времени.	Kumari <i>et al.</i>
12	Блокчейн позволяет достичь таких целей в цепочке поставок как низкая цена, снижение рисков, качество и т.д.	Kshetri (2018)
13	Предлагаемая архитектура публично-частных реестров учитывает требования торговых партнеров к конфиденциальности, а также обеспечивает прозрачность при принятии важных решений.	Wu <i>et al.</i> (2017)

Блокчейн придает значимость каждому участнику цепочки поставок (производителям, посредникам, перевозчикам, переработчикам, оптовикам, розничным торговцам и потребителям). Он предоставляет различные стимулы (большую ликвидность, улучшенный доступ к страхованию, финансированию и другим возможностям) каждому типу участников. Блокчейн (реестр распределенных данных) поддерживает запись и хранение каждой транзакции (криптографически подписанной блочной структуры) в сети (тиражируется по участникам сети). Каждый блок имеет хэш-функцию, которая преобразует все содержимое в определенный набор символов/чисел. Пользователи могут доверять данным, проверяя их математически. Каждый участник может выступать в роли узла и участвовать в формировании консенсуса. Консенсус достигается с помощью сложных алгоритмов. В каждом блоке хранится наиболее важная информация и мельчайшие подробности, такие как детали реальной транзакции (Christine et al., 2018).

Общие правила

- Каждый производитель компонентов продукта регистрируется в блокчейне (например, данные о местонахождении, статус производства компонентов продукта и т.д.).
- Каждый компонент продукта несет в себе идентификатор продукта и виртуальную воду (примерный объем воды на единицу продукта, который будет использован в процессе его производства).
- Тот, кто собирает продукт (производитель) обычно выбирает компоненты по качеству, цене и т.д. Однако перед окончательным выбором компонентов для сборки производитель имеет возможность проверить дополнительный параметр, называемый «виртуальная вода».
- Блокчейн хранит все транзакции в сети, что снижает необходимость в проверке третьей стороной.
- Каждый владелец компонента может просматривать данные других владельцев компонентов, что потенциально позволяет сократить сложное и дорогостоящее согласование всех данных.
- Это обеспечивает прозрачность и доверие на добровольной основе. Данный процесс снижает риск появления контрафактной продукции. При этом все стороны соглашаются с интерактивным контрактом, который является важнейшей характеристикой блокчейна. Он заставля-

ет всех участников соглашаться с правилами и процессами, которые могут облегчить, проверить и выполнить условия соглашения.

- Строго конфиденциальная информация может храниться в отдельных частных реестрах наряду с публичными реестрами. Обмен информацией из частных реестров осуществляется только между надежными партнерами. Партнерские отношения определяются меморандумом о взаимопонимании (MoV). Данная опция является необязательной и не показана в блок-схеме на рис. 11.

На схеме показано высокоуровневое представление блокчейн-сделок. Каждый продукт состоит из множества компонентов. Каждый компонент производится в определенных географических условиях или в определенной местности. Далее каждый компонент состоит из нескольких других компонентов. Эта цепочка может идти вплоть до точки использования сырья. Для простоты на рисунке изображен только один слой изготовления продукта. Прослеживаемость цепочки поставок вниз не показана, опять же в целях упрощения. Для производства каждого компонента требуется некоторое количество «виртуальной» воды. В рамках предложения производители компонентов должны объявить о распределении «виртуальной» воды, необходимой для производства их изделия. Подобное присвоение может быть произведено путем деления общего объема воды, потребленной в отдельный год на общее количество произведенных компонентов. Если все конкуренты будут декларировать свои данные о водопользовании, то можно построить доверие, и они будут как защищенными от неправильного обращения (защита от «дурака»), так и защищенными от несанкционированного доступа или обхода системы безопасности. Следовательно, существует возможность декларирования исходных значений. После раскрытия данных через блокчейн они становятся постоянной опцией. Владельцы компонентов должны тщательно декларировать данные, иначе, даже если они захотят исправить их в будущем, это будет затруднительно, так как они станут защищенными от взлома. Таким образом, повышается ответственность за свои действия.

Типичный блок содержит идентификационный номер компании, географическое положение, виртуальную воду, используемую для производства компонента, и ссылку на блоки, содержащие другие компоненты (продукт — это комбинация различных компонентов), если таковые имеются, как показано на рис. 12.

Каким образом можно создать систему отслеживания торговли виртуальной водой? Образец

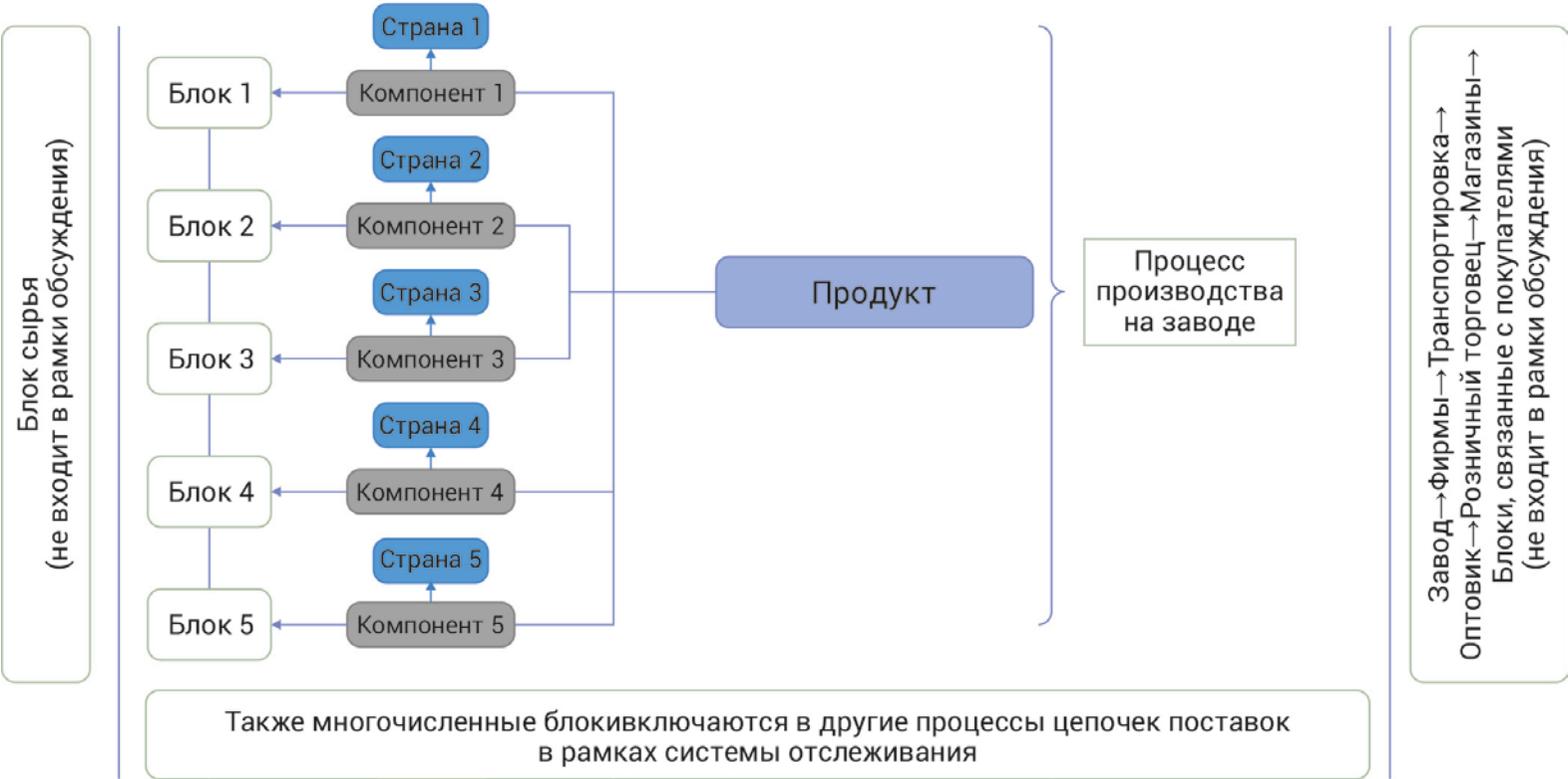


Рис 11 Блок- схема блокчейна торговли виртуальной водой

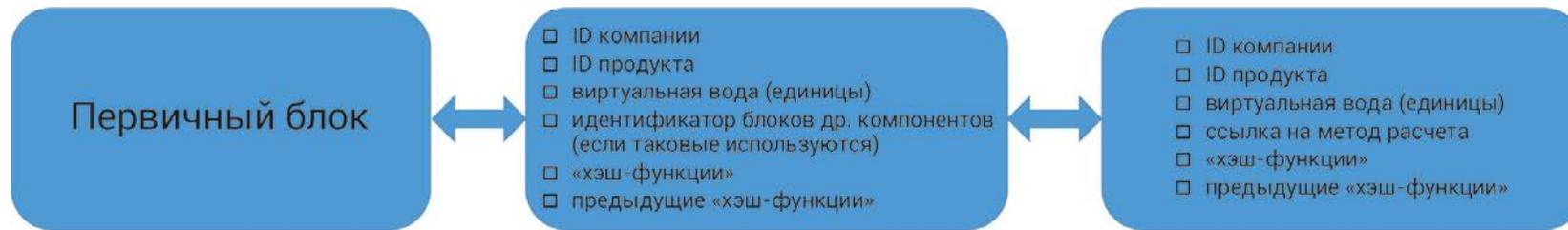


Рис 12 Структура данных блокчейна виртуальной воды

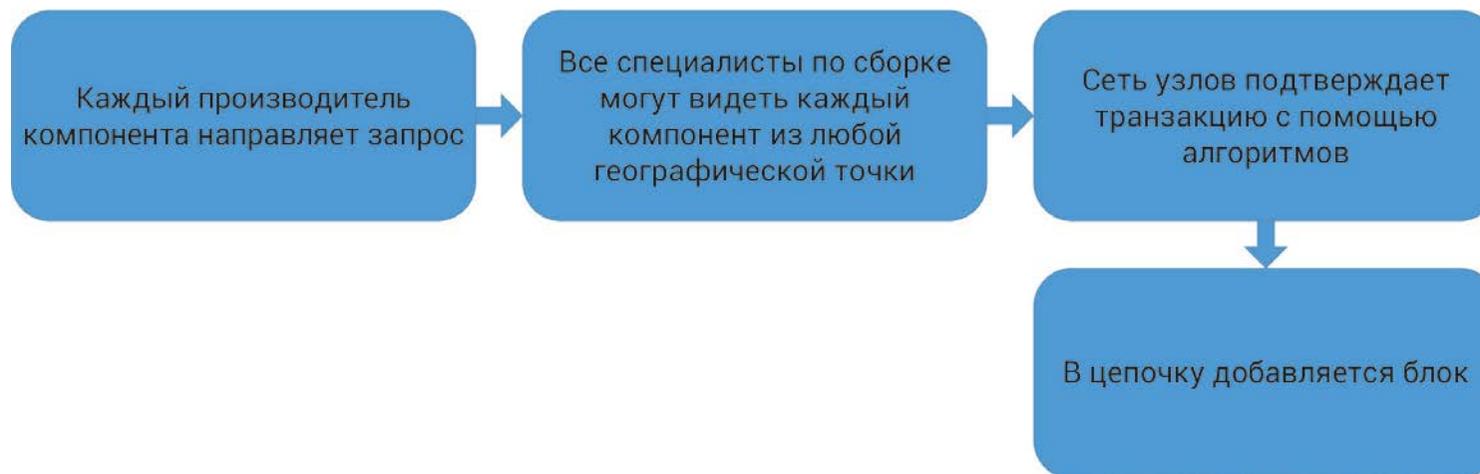


Рис. 13 Процесс транзакции в блокчейне виртуальной воды

Основные моменты процесса:

- Предлагается публичный блокчейн. Все транзакции в блокчейне криптографически проверяются (с помощью механизма распределенного консенсуса) и «пломбируются» тремя записями (продавец, покупатель и блокчейн) (Nick, 2021)
- Транзакции (сделки) в группе собираются в блок, который проверяется третьей стороной, именуемой «майнером».
- В цепочку вводится новая транзакция. Эта транзакция передается в сеть компьютеров, расположенных по всему миру. Компьютеры выполняют определенные сложные алгоритмы и одобряют транзакции в виде блока(ов).
- Первый блок называется Первичным. Каждый новый блок связан с ключом предыдущего блока. Первичная транзакция — это начало выполнения заказа. Она инициируется заказчиком, которому назначается узел администратора, и транслируется всем конкурентам (владельцам аналогичных компонентов) и сборщикам изделий (которые заказывают эти компоненты для сборки изделия).
- Каждый блок содержит хэш-функцию. После создания блока любое изменение данных делает блок и соответствующую цепочку недействительными. Таким образом, они защищены от несанкционированного доступа.
- Хеширование и «доказательство выполнения работы» вместе делают блокчейн безопасным. Несанкционированное вмешательство может произойти молниеносно. Чтобы избежать этого, блокчейн вводит концепцию, называемую «доказательство выполнения работы» (Proof-of-Work). Под механизмом консенсуса понимается «доказательство выполнения работы» (PoW) или майнинг, или «доказательство владения» (PoS). Это специальный механизм (вычислительная задача), замедляющий скорость создания нового блока. Таким образом, хакеры не могут взломать всю цепочку.
- Кроме того, блокчейн использует распределенную одноранговую (пиринговую) сеть (копия всего блокчейна тиражируется), что обеспечивает дополнительную безопасность процесса. Каждый компьютер в сети называется узлом. Каждый узел добавляет новый блок после тщательной проверки. Этот процесс называется консенсусом. Все узлы соглашаются с добавлением нового дополнительного блока, как показано на рис. 13. Если добавляется какой-либо фальсифицированный блок, узлы отвергают его.

Этот процесс подчеркивает важность импорта или производства любого продукта на основе виртуальной воды и ее ценность с точки зрения времени и пространства. Он помогает в определении водохозяйственной политики на уровне государства и организации.

Риски достоверности

Данное исследование имеет некоторые ограничения. В данном исследовании рассматриваются мнения других исследователей, которые могут быть ошибочными. Результаты упомянутых здесь публикаций могут быть смещены в сторону положительных результатов. Используемая поисковая строка («Виртуальная вода» и «Блокчейн и управление водными ресурсами») может иметь множество синонимов, но эта угроза была устранена, каждый результат проверен вручную, а также проведен ручной поиск на основе этой поисковой строки.

Заключение

Дизайн, производство и торговля товарами с учетом их водопотребления сберегает окружающую среду. Эффективность водопотребления также существенно влияет на эксплуатационные расходы и становится императивом бизнеса. Маркировка продукции с позиции водопотребления повышает информированность общественности. Цифровая отслеживаемость продукции помогает в этом процессе и делает его прозрачным, безопасным и насыщенным. Пока еще не существовало серьезных связей между международными потоками виртуальной воды и процессами производства продукции.

Это новая концепция в управлении водными ресурсами. Наиболее перспективной в этом контексте представляется технология блокчейн. Она затрагивает такие аспекты, как отслеживаемость, информационная прозрачность и отзыв продукции в процессе производства. Интеграция блокчейна и управления виртуальной водой позволяет избежать подделку компонентов продукта. Этот процесс способствует добровольному выбору водосберегающих продуктов или компонентов и поощряет использовать виртуальную воду в виде расчетной единицы наряду с денежными единицами.

Литература

- Acheampong, E. N., Swilling, M. & Urama, K. (2016). Developing a framework for supporting the implementation of integrated water resource management (IWRM) with a decoupling strategy. *Water Policy* 18(6), 1317-1333. <https://doi.org/10.2166/wp.2016.155>.
- Akram, S. V., Malik, P. K., Singh, R., Anita, G. & Tanwar, S. (2020). Adoption of blockchain technology in various realms: opportunities and challenges. *Security and Privacy*. 3, e109. <https://doi.org/10.1002/spy2.109>.
- Alharbi, N., Althagafi, A., Alshomrani, O., Almotiry, A. & Alhazmi, S. (2021). A Blockchain Based Secure IoT Solution for Water Quality Management. In 2021 International Congress of Advanced Technology and Engineering (ICOTEN), pp. 1-8, doi:10.1109/ICOTEN52080.2021.9493474.
- Berrittella, M., Rehdanz, K., Roson, R. & Tol, R. S. J. (2008). The economic impact of water taxes: a computable general equilibrium analysis with an international data set. *Water Policy* 10(3), 259-271. <https://doi.org/10.2166/wp.2008.003>.
- Bordel, B., Martin, D., Alcarria, R. & Robles, T. (2019). A Blockchain-based Water Control System for the Automatic Management of Irrigation Communities. In 2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE), pp. 1-2. doi:10.1109/ICCE.2019.8661940.
- Bozorg-Haddad, O., Zolghadr-Asli, B., Sarzaeim, P., Aboutalebi, M., Chu, X. & Loaiciga, H. A. (2020). Evaluation of water shortage crisis in the Middle East and possible remedies. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua* 69(1), 85-98. <https://doi.org/10.2166/aqua.2019.049>.
- Chen, D., Zhang, D., Luo, Z., Webber, M. & Rogers, S. (2019). Water-energy nexus of the eastern route of China's south-to-north water transfer project. *Water Policy* 21(5), 945-963. <https://doi.org/10.2166/wp.2019.188>.
- Christine, L., Tal, V. & Robyn, S. (2018). *Tracing the Supply Chain: How Blockchain can Enable Traceability in the Food Industry*. Accenture Publication, Gordon and Betty Moore Foundation.
- De Miguel, A., Garcia, E. & De Buestamante, I. (2010). Estimation of the virtual water trade between two Spanish regions: Castilla-la Mancha and Murcia. *Water Supply* 10(5), 831-840. <https://doi.org/10.2166/ws.2010.477>.
- Deng, G., Xu, Y. & Yu, Z. (2018). Accounting and change trend analysis of food production water footprint in China. *Water Policy* 20(4), 758-776. <https://doi.org/10.2166/wp.2018.173>.
- Doeffinger, T., Borgomeo, E., Young, W. J., Sadoff, C. & Hall, J. W. (2020). A diagnostic dashboard to evaluate country water security. *Water Policy* 22(5), 825-849. <https://doi.org/10.2166/wp.2020.235>.
- Downe-Wamboldt, B. (1992). Content analysis: Method, applications and issues. *Care for Women International* 13, 313-321. <https://doi.org/10.2166/wp.2020.235>.
- Emmanuel, K. & Clayton, A. (2017). A strategic framework for sustainable water resource management in small island nations: the case of Barbados. *Water Policy* 19(4), 601-619. <https://doi.org/10.2166/wp.2017.137>.

Grigoras, G., Bizon, N., Enescu, F. M., Guede, J. M. L., Salado, G. F., Brennan, R., O'Driscoll, C., Dinka, M. O. & Alam, M. G. (2018). ICT based Smart Management Solution to Realize Water and Energy Savings through Energy Efficiency Measures in Water Distribution Systems. In 10th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), 2018, pp. 1-4. doi:10.1109/ECAI.2018.8679012.

Hassan, R. & Thiam, D. R. (2015). Implications of water policy reforms for virtual water trade between South Africa and its trade partners: economy-wide approach. *Water Policy* 17(4), 649-663. <https://doi.org/10.2166/wp.2014.242>.

He, Y., Lin, Z. & Chen, X. (2020). Regional difference of water use in a significantly unbalanced developing region. *Water Policy* 22(6), 1182-1199. <https://doi.org/10.2166/wp.2020.061>.

Hellegers, P. & van Halsema, G. (2019). Weighing economic values against societal needs: questioning the roles of valuing water in practice. *Water Policy* 21(3), 514-525. <https://doi.org/10.2166/wp.2019.048>.

Hodder, I. (1994). The interpretation of documents and material culture. In: Denzin, N. K. & Lincoln, Y. S. (eds.). *Handbook of Qualitative Research*. Sage, Thousand Oaks, CA, pp. 673-715.

Hoekstra, A. Y. & Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management* 21(1), 35-48. doi:10.1007/s11269-006-9039-x.

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaga, M. & Mekonnen, M. M. (2011). *The WF Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Earthscan, Abingdon, UK.

Hoolohan, C., Amankwaa, G., Browne, A. L., Clear, A., Holstead, K. L., Machen, R., Michalec, O. & Ward, S. (2021). Resocializing digital water transformations: outlining social science perspectives on the digital water journey. *WIREs Water* 8, e1512. <https://doi.org/10.1002/wat2.1512>.

Hristov, J., Martinovska-Stojcheska, A. & Surry, Y. (2015). Virtual water and input-output framework: an alternative method for assessing trade and water consumption in FYR Macedonia. *Water Supply* 15(2), 317-326. <https://doi.org/10.2166/ws.2014.118>.

Huang, Y., Lei, Y. & Wu, S. (2017). Virtual water embodied in the export from various provinces of China using multi-regional input-output analysis. *Water Policy* 19(2), 197-215. <https://doi.org/10.2166/wp.2016.002>.

Huang, H., Wang, J., Han, Y., Wang, L. & Li, X. (2019). Assessing impacts of water regulations on alleviating regional water stress with a system dynamics model. *Water Supply* 19(2), 635-643. <https://doi.org/10.2166/ws.2018.112>.

Janjua, S. & Hassan, I. (2020). Transboundary water allocation in critical scarcity conditions: a stochastic bankruptcy approach. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua* 69(3), 224-237. <https://doi.org/10.2166/aqua.2020.014>.

Johannessen, A. (2004). Summary and conclusions from the SIWI Seminar for Young Water Professionals Drainage basin security-implications of virtual water trade and agricultural subsidies at regional, national and local levels. *Water Science and Technology* 49(7), 215-218. PMID: 15195442.

Kang, J., Lin, J., Cui, S. & Li, X. (2017). Water footprint of xiamen city from production and consumption perspectives (2001–2012). *Water Supply* 17(2), 472-479. <https://doi.org/10.2166/ws.2016.152>.

Kshetri, N. (2018). 1 blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management* 39, 80-89.

Kumar, V. & Jain, S. K. (2011). Export and import of virtual water from different states of India through food grain trade. *Hydrology Research* 42(2-3), 229-238. <https://doi.org/10.2166/nh.2011.089>.

Kumari, A., Tanwar, S., Tyagi, S., Kumar, N., Maasberg, M. & Raymond Choo, K. - K. (2018). Multimedia big data computing and internet of things applications: a taxonomy and process model. *Journal of Network and Computer Applications* 124, 169-195. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2018.09.014>.

Lalle, Y., Fourati, L. C., Fourati, M. & Barraca, J. P. (2020). A Privacy-protection Scheme for Smart Water Grid Based on Blockchain and Machine Learning. In 2020 12th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP), pp. 1-6, doi:10.1109/CSNDSP49049.2020.9249549.

Liebman, M. B., Jonasson, O. J. & Wiese, R. N. (2011). The urban stormwater farm. *Water Science and Technology* 64(1), 239-246. doi: 10.2166/wst.2011.182. PMID: 22053481.

Lopez-Gunn, E., De Stefano, L. & Ramon Llamas, M. (2012). The role of ethics in water and food security: balancing utilitarian and intangible values. *Water Policy* 14(S1), 89-105. <https://doi.org/10.2166/wp.2012.008>.

Mahmoud, H. H. M., Wu, W. & Wang, Y. (2019). Secure Data Aggregation Mechanism for Water Distribution System using Blockchain. In 2019 25th International Conference on Automation and Computing (ICAC), pp. 1-6. doi:10.23919/ IConAC.2019.8895146.

Mamo, T. G. (2015). Risk-based approach to manage aging urban water main infrastructure. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua* 64(3), 260-269. <https://doi.org/10.2166/aqua.2014.052>.

Manshadi, H. D., Niksokhan, M. H. & Ardestani, M. (2015). A quantity-quality model for inter-basin water transfer system using game theoretic and virtual water approaches. *Water Resources Management* 29(13), 4573-4588. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1076-x>.

Meng, L., Yang, D., Ding, Z., Wang, Y. & Ma, W. (2020). Spatiotemporal variations of water resources metabolism efficiency in the Beijing-Tianjin-Hebei region. *China. Water Supply* 20(4), 1178-1188. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.028>.

Nick, D. (2021). Blockchain for beginners: what is blockchain technology? A Step-by-Step Guide. <https://blockgeeks.com/guides/what-is-blockchain-technology/>. accessed on 10-11-2021.

Oki, T. & Kanae, S. (2004). Virtual water trade and world water resources. *Water Science and Technology* 49(7), 203-209. <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0456>.

Pahontu, B., Arsene, D., Predescu, A. & Mocanu, M. (2020). Application and challenges of Blockchain technology for real-time operation in a water distribution system. In 2020 24th International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), pp. 739-744, doi:10.1109/ICSTCC50638.2020.9259732.

Parveen, S. & Faisal, I. M. (2004). Trading virtual water between Bangladesh and India: a politico-economic dilemma. *Water Policy* 6(6), 549-558.

Predescu, A., Mocanu, M., Lupu, C. & Bercovici, A. (2019). A real-time architecture for collaborative IoT applications in urban water management. In 2019 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), pp. 839-844. doi:10.1109/ICSTCC.2019.8885509.

Rahman, A.-u., Kadi, M. A. & Rockstrom, J. (2002). Workshop 7 (synthesis): trade-offs in water for food and environmental security – urban/agricultural trade-off. *Water Science and Technology* 45(8), 191-193. <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0178>.

Ramirez-Vallejo, J. & Rogers, P. (2004). Virtual water flows and trade liberalization. *Water Science and Technology* 49(7), 25-32. PMID: 15195413.

Ravi Shankar, S. & Jayasri, A. S. V. (2015). The need for virtual water credits and trading system. *Water Supply* 15(5), 933-939. <https://doi.org/10.2166/ws.2015.047>.

Renault, D. (2002). Value of Virtual Water in Food: Principles and Virtues. In Workshop on Virtual Water Trade, 12-13 December 2002, Delft, Netherlands.

Reutter, B., Lant, P. A. & Lane, J. L. (2018). Direct and indirect water use within the Australian economy. *Water Policy* 20(6), 1227-1239. <https://doi.org/10.2166/wp.2018.055>.

Rogers, P., Nakayama, M., Lundqvist, J. & Furuyashiki, K. (2004). Workshop 7 (synthesis): role and governance implications of virtual water trade. *Water Science and Technology* 49(7), 199-201. <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0455>.

Rosegrant, M. & Ringler, C. (1999). Impact on Food Security and Rural Development of Reallocating Water From Agriculture. IFPRI, Washington DC.

Sander, F., Semeijn, J. & Mahr, D. (2018). The acceptance of blockchain technology in meat traceability and transparency. *British Food Journal* 120(9), 2066-2079.

Saraiva, A., Rodrigues, G., Mamede, H., Silvestre, J., Dias, I., Feliciano, M., Oliveira e Silva, P. & Oliveira, M. (2019). The impact of the winery's wastewater treatment system on the winery water footprint. *Water Science and Technology* 80(10), 1823-1831. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.432>.

Selim, K. S. & Abdalbaki, S. M. (2019). On the relationship between virtual water network and crops intra-trade among Nile basin countries. *Water Policy* 21(3), 481-495. <https://doi.org/10.2166/wp.2019.074>.

Sepulveda, J. (2015). Corporate social responsibility of regional institutions: save water and money with an ecological

economics perspective in a climate change context. *Journal of Water and Climate Change* 6(1), 104-110. <https://doi.org/10.2166/wcc.2013.044>.

Sun, Y., Shen, L. & Lu, C. (2016). Study on the water footprint and external water dependency of Beijing. *Water Supply* 16(4), 1077-1085. <https://doi.org/10.2166/ws.2016.022>.

Vanham, D. (2011). How much water do we really use? A case study of the city state of Singapore. *Water Supply* 11(2), 219-228. <https://doi.org/10.2166/ws.2011.043>.

Vanham, D. & Bidoglio, G. (2014). The water footprint of Milan. *Water Sci Technol.* 69(4), 789-795. doi:10.2166/wst.2013.759. PMID: 24569278.

Velazquez, E., Madrid, C. & Beltran, M. J. (2011). Rethinking the concepts of virtual water and water footprint in relation to the production-consumption binomial and the water-energy nexus. *Journal of Water Resource Management* 25, 743-761.

Wang, H., Liu, H., Wang, C., Bai, Y. & Fan, L. (2019). A study of industrial relative water use efficiency of Beijing: an application of data envelopment analysis. *Water Policy* 21(2), 326-343. <https://doi.org/10.2166/wp.2019.019>.

Wicaksono, A., Jeong, G. & Kang, D. (2017). Water, energy, and food nexus: review of global implementation and simulation model development. *Water Policy* 19(3), 440-462. <https://doi.org/10.2166/wp.2017.214>.

World cereal inventories in (2021/22) expected to rise for the first time since 2017/18. <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csd/en/>. Accessed on 02/08/2021.

Wu, H., Li, Z., King, B., Ben Miled, Z., Wassick, J. & Tazelaar, J. (2017). A distributed ledger for supply chain physical distribution visibility. *Information* 8(4), 137.

Wu, F., Zhang, Q. & Gao, X. (2018). Does water-saving technology reduce water use in economic systems? A rebound effect in Zhangye city in the Heihe River Basin, China. *Water Policy* 20(2), 355-368. <https://doi.org/10.2166/wp.2017.003>.

Wu, L., Wang, M. & Avishek, K. (2021). Trans-regional rice supply paradigm reveals unsustainable water use in China. *Water Policy* 23(3), 783-800. <https://doi.org/10.2166/wp.2021.168>.

Youkhana, E. & Laube, W. (2009). Virtual water trade: a realistic policy option for the countries of the Volta Basin in West Africa? *Water Policy* 11(5), 569-581. <https://doi.org/10.2166/wp.2009.087>.

Zeng, X. T., Li, Y. P., Huang, G. H. & Liu, J. (2015). A two-stage interval-stochastic water trading model for allocating water resources of Kaidu-Kongque River in northwestern China. *Journal of Hydroinformatics* 17(4), 551-569. <https://doi.org/10.2166/hydro.2015.090>.

Zhang, W., Mao, H., Yin, H. & Guo, X. (2018). A pricing model for water rights trading between agricultural and industrial water users in China. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua* 67(4), 347-356. <https://doi.org/10.2166/aqua.2018.142>.

Zhang, W., Tan, L., Yin, H. & Guo, X. (2019). Study on the price of water rights trading between agriculture and industry based on emergy theory. *Water Supply* 19(7), 2044-2053. <https://doi.org/10.2166/ws.2019.083>.

Zhao, J., Liu, J., Ni, H., Zhao, Y., Han, Y. & Diao, Z. (2021). Virtual water and its effect in Huaihe River basin: an analysis using a dynamic multi-region computable general equilibrium model. *Water Supply* 21(3), 1090-1101. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.373>.

Анализ реформ цен на оросительную воду в засушливых районах северо-запада Китая²

Йонюй Цюй, Цзянь Кан, Сичэнь Линь, Хунчжэнь Ни,
Юньчжун Цзян, Гэньфа Чэнь

Аннотация

Северо-запад Китая часто подвергается сильным засухам и испытывает дефицит воды. Чтобы лучше сбалансировать требования и обеспеченность водой, а также обеспечить достаточные средства для ирригационных систем, в данном исследовании на основе вычислительной модели общего равновесия построена модель ценовой политики на оросительную воду, которая определяется экономической стоимостью культур и особенностями водопользования в регионах. В качестве примера для тестирования модели использовался город Увэй в провинции Ганьсу. Были разработаны три варианта повышения цен на оросительную воду и три варианта поддерживающего субсидирования. Проведено количественное исследование влияния этих мер на экономику сельского хозяйства, водопользование и эффективность использования воды из различных источников. Результаты показали, что реформа цен на воду способствует водосбережению и повышению эффективности водопользования. Субсидии могут снизить негативное влияние политики ценообразования на экономику сельского хозяйства. Товарные культуры (например, овощи) более чувствительны к ценам на воду по сравнению с продовольственными культурами (например, пшеница). В заключение представлен оптимальный сценарий реформы цен на воду, который, как ожидается, будет наиболее эффективным для местного развития.

1. Введение

Потери воды представляют значительную проблему для Китая, частично вследствие относительно низкой стоимости оросительной воды и незначительной разницы в ценах на воду из разных источников (Wang,

² Источник: Yongyu Qu, Jian Kang, Xichen Lin, Hongzhen Ni, Yunzhong Jiang, Genfa Chen. Analysis of agriculture water pricing reform in a water-deficit area of Northwest China. Water Policy Vol 24 No 10, 1570 doi: 10.2166/wp.2022.288

2007). Это также ведет к большим затруднениям в обеспечении эффективной работы водохозяйственной систем (Liao, 2004).

Одним из действенных способов решения проблемы является регулирование цен на воду с помощью рыночных механизмов. Хотя во всем мире широко распространена приватизация услуг по водоснабжению (Chaisse, 2017), этот вопрос все еще широко обсуждается в Китае, где вопрос необходимости повышения цен на воду рассматривается в Бюро ценообразования отдельно от вопросов инвестиционных вложений и требований их возврата. В итоге, не в полной мере реализован потенциал ценообразования для улучшения вододеления и водосбережения (Qian, 2018). Кроме того, в связи с расширением ирригационных систем, власти должны разработать такую водохозяйственную политику, которая бы была увязана с инвестиционными соглашениями и международными принципами по услугам водоснабжения во избежание дополнительных расходов (Chaisse & Marine, 2015).

Для решения всех этих вопросов Китай с 2016 г. работает над реформированием цен на оросительную воду путем внесения корректив и субсидий (General Office of the State Council of the People's Republic of China, 2016).

В 2018 г. Национальная комиссия по развитию и реформам совместно с рядом департаментов выпустила циркуляр «Дальнейшая реализация всесторонней реформы цен на оросительную воду», который требовал учета в планах и концепциях реформирования ряда факторов, таких как использование местных источников воды, структуры посевов, уровень экономического развития и т.д.

В 2020 г. Комиссия издала обновленную «Записку по дальнейшей реализации всесторонней реформы цен на оросительную воду», в которой подчеркивалась необходимость изучения всестороннего воздействия реформы цен на воду на сельскохозяйственное производство и оценки степени корректировки цен, исходя из ее приемлемости с позиции фермерских затрат.

Однако из-за отсутствия научной модели корректировки цен на воду и недостаточного объема финансовых субсидий реформа цен на оросительную воду в Китае проходит медленно и неэффективно.

Существуют также проблемы с оценкой экономического воздействия подобной реформы и ее результатов для водосбережения. Выбор объектов субсидирования также является противоречивым. Поэтому эффективная корректировка цен на воду имеет принципиальное значение для обеспечения устойчивой работы систем водоснабжения. Это подчеркивает необходимость создания соответствующей модели корректировки цен на воду для

анализа комплексного воздействия корректировки цен и выработки соответствующей политики поддержки. Ключевыми вопросами здесь являются водопотребление сельского хозяйства, эффективность использования воды, региональная экономика, например, добавленная стоимость сельскохозяйственной продукции, и региональное благосостояние, например, индекс потребительских цен (ИПЦ) в засушливых районах.

Прошлые исследования по данной тематике были сосредоточены на подходах на основе качественного анализа (Willis et al., 2013; Zuo et al., 2014). Однако в последнее время в литературе все больше появляются количественные исследования. В предыдущих эмпирических исследованиях в основном обсуждался вопрос о том, является ли цена на воду существенным фактором водосбережения в районах с дефицитом воды, и анализировалось влияние цен на воду, субсидий и технологий водопользования. Например, в работе Schoengold et al. (2006) с помощью эмпирического метода оценивалась ценовая эластичность оросительной воды в засушливых районах западной части США. Dagnino & Frank (2012) объединили микроэкономическую теорию водопотребления культур и данные наблюдений по водопотреблению культур в систему, подходящую для эмпирического анализа. Zhou et al. (2015) с помощью эмпирического метода исследовали, будет ли цена эффективно сдерживать рост спроса на оросительную воду в бассейне реки Хэйхэ.

Однако в указанных исследованиях отсутствует описание связей между сельским хозяйством и другими отраслями, что приводит к завышенным оценкам эффекта цены на воду. Кроме того, эта эмпирическая модель не позволяет устанавливать стратегии по годам или прогнозировать будущие изменения политики и экономических условий.

По сравнению с эмпирической моделью, (1) вычислительная модель общего равновесия (CGE) устанавливает комплексную количественную зависимость между различными элементами, что позволяет анализировать влияние «возмущений» в конкретном секторе экономики на всю экономическую систему, как благоприятное, так и неблагоприятное; (2) с помощью модели CGE можно задавать с высокой степенью гибкости и точно регулировать количество субсидий и лет; (3) модель CGE может всесторонне анализировать региональное макровоздействие политики ценообразования на воду и субсидий на такие показатели, как валовой внутренний продукт (ВВП), инвестиции и ИПЦ.

Берк и др. (1991) впервые применили модель CGE для решения проблем с оросительной водой в долине Сан-Хоакин; с тех пор модель CGE постоянно дорабатывалась и совершенствовалась. Например, Гомес и др. (2004 г.) применили модель CGE для анализа влияния торговли правами на воду на социальную экономику Балеарских островов. В ходе исследования

был создан «рынок воды», который повысил эффективность распределения водных ресурсов, что значительно отразилось на прибыли от сельскохозяйственного производства.

В работе Calzadilla et al. (2011) для анализа макроэкономических результатов повышения эффективности орошения использовался водный компонент модели Проекта анализа глобальной торговли (Global Trade Analysis Project-Water, GTAP-W). Исследование показало, что водохозяйственная политика, направленная на повышение эффективности орошения, приводит к экономии воды на глобальном и региональном уровне, однако она выгодна не для всех регионов.

Decaluwe et al. (1999) использовали модель CGE для определения воздействия различных водохозяйственных стратегий в различных секторах, включая сельское хозяйство в рамках исследования вопросов распределения воды, роста населения и урбанизации в Марокко.

Cardenete & Hewings (2011) применяли статическую модель CGE для исследования влияния роста цен на воду на охрану водных ресурсов, эффективность водопользования и перераспределение воды в сельском хозяйстве Андалусии (Испания);

Fang et al. (2016) разработали экологический модуль CGE для моделирования экономического и экологического воздействия введения платы за сброс сточных вод на региональном уровне. Результаты моделирования показали, что увеличение размера этих платежей негативно сказывается на ВВП, но обеспечивает эффективный контроль сточных вод.

Эти исследования в целом продемонстрировали целесообразность применения модели CGE для изучения проблем ценообразования на воду.

С учетом всего этого необходимо рассмотреть следующие вопросы: (1) районирование видов сельскохозяйственных культур по их экономическим характеристикам; (2) районирование различных источников воды и дифференцированное ценообразование на них; (3) влияние субсидирования на цены на оросительную воду. Для решения этих задач и оценки политики реформирования ценообразования на оросительную воду в Китае мы расширили модель общего равновесия Государственного информационного центра SICGE (State Information Center General Equilibrium) – рекурсивную динамическую модель CGE китайской экономики, введя в нее сельскохозяйственный модуль, включающий экономические характеристики различных сельскохозяйственных культур. Для определения влияния реформы ценообразования на воду на различные источники воды в модели водные ресурсы разделяются на поверхностные, подземные и альтернативные, и подбираются различные значения эластичности. Для увеличения гибкости политики реформирования цен на воду также введена политика

субсидирования, с учетом допустимости цен на оросительную воду для местных фермеров.

В данной статье рассматривается совокупное воздействие политики ценообразования и субсидирования на воду, эффективность потребления воды различными культурами и региональная экономика при проведении реформы ценообразования на оросительную воду на северо-западе Китая, испытывающем дефицит воды.

Цель данного исследования – предложить оптимальный сценарий реформы ценообразования на воду, который будет наиболее эффективен для местного развития. Данное исследование также дает надежный инструмент анализа политики для изучения воздействия реформ цен на оросительную воду в Китае, который позволит сформулировать надлежащую политику реформы цен на воду. Базовые сценарии исследования охватывают 19 лет (2012-2030 гг.). Политика повышения цен на воду началась в 2017 г. Акцент в моделировании сделан на ожидаемых отклонениях в использовании оросительной воды, эффективности водопользования и экономике сельского хозяйства в период с 2021 по 2030 гг.

2. Материалы и методы

2.1. Область исследования

В данном исследовании выполнен анализ динамики изменения водных ресурсов в городском округе Увэй (провинция Ганьсу, Китай), общая площадь которого составляет 32 тыс. км². Климат здесь засушливый, годовое количество осадков составляет 156-256 мм, а годовая испаряемость превышает 2000 мм.

Сельское хозяйство приносит значительный доход Увэю. Округ характеризуется высоким соотношением доходов от сельского хозяйства (включая сельское и лесное хозяйство, животноводство и рыболовство) к общему ВВП. Значительная доля общего водопотребления приходится на сельскохозяйственные нужды (рис. 2). Дефицит водных ресурсов является сдерживающим фактором экономического развития данного региона. Вот почему данный район является репрезентативным для анализа влияния реформ ценообразования на оросительную воду. В Увэе выращиваются как продовольственные культуры, такие как пшеница, кукуруза и картофель, так и товарные, включая волокнистые культуры, овощи и лекарственные травы. По сравнению с продовольственными культурами, при выращивании большинства товарных культур используется водосберегающий полив.

Это означает, что и стоимость посадки, и стоимость продукции на единицу площади у товарных культур выше, чем у продовольственных. Водопотребление на единицу площади у товарных культур выше, чем у продовольственных, что связано с продолжительным периодом полива и высоким водопотреблением (табл. 1).

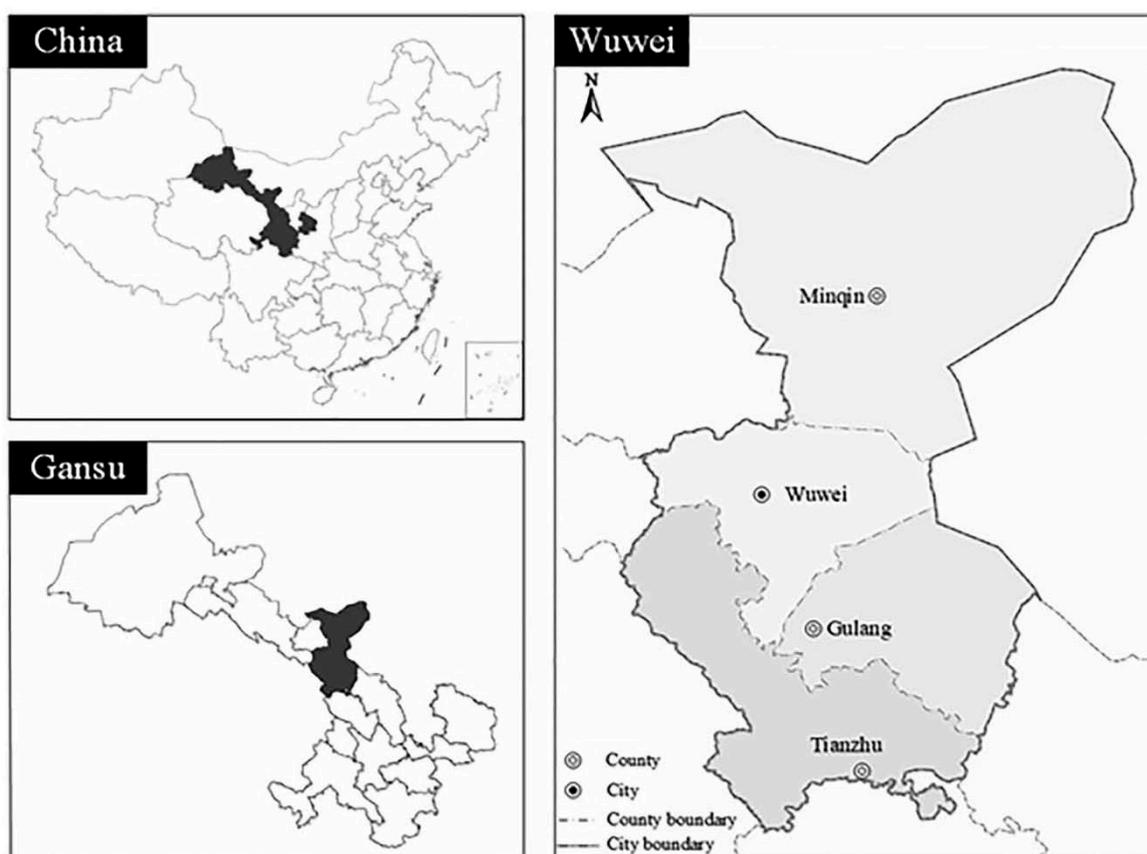


Рис. 1 Географическое расположение Увэя

Территория Увэя расположена в бассейнах рек Шиян и Желтая, средний суммарный многолетний сток которых составляет 1,22 млрд. м³ (ряд 1956-2000 гг.). Ирригационные районы Увэя находятся в ведении правительства, в основном для обеспечения капиталовложений и строительства. Эксплуатация и техническое обслуживание (ЭиТО) объектов ирригационных районов находятся в ведении водохозяйственной отрасли. Текущие цены на оросительную воду в Увэе едва покрывают затраты на ЭиТО. Новые ирригационные массивы увеличивают расходы, связанные с водоподачей, поэтому цены на оросительную воду должны быть еще больше увеличены.

По данным полевых исследований, ежегодные эксплуатационные расходы на новые проекты водосбережения составляют около 40,58 млн. юаней, что эквивалентно 19,14% от текущих затрат на подачу оросительной воды (2,12 млрд. юаней). Годовая водообеспеченность Увэя составляет 1,59 млрд. м³; источниками воды служат поверхностные воды (включая переброску воды извне), подземные воды, а также повторное водопользование (например, сточные воды и дождевая вода).

В табл. 2 представлены данные о потреблении воды различными секторами экономики за период с 2013 по 2017 гг. В настоящее время повторное водопользование Увэя составляет 0,68% от общего объема подаваемой воды, которое в настоящее время недоступно для сельского хозяйства. Ирригационные районы получают воды от разных источников воды. Как правило, цена на поверхностные воды определяется по объему и площади, а на подземные воды – на основе счетов за электроэнергию. В 2019 г. конечная цена на воду для каждого ирригационного района составляла от 0,04 до 0,25 юаня/м³.

2.2. Модельная структура

Модель CGE анализирует зависимости и влияние различных экономических агентов, оценивает корреляционный эффект от изменения политики и позволяет гибко менять моделируемую политику в зависимости от задач исследования. Поэтому она может легко применяться для оценки эффективности ценовой политики в отношении воды. Модель включает в себя множество уравнений, определяющих сбалансированное взаимодействие спроса и предложения в экономической системе. В основе уравнений лежат условия оптимальности: прибыли от импорта, доходов потребителей, затрат на экспорт и прибыли производителей. Решая эти уравнения, модель генерирует относительные объемы продукции и цены для общего равновесия всей экономики.

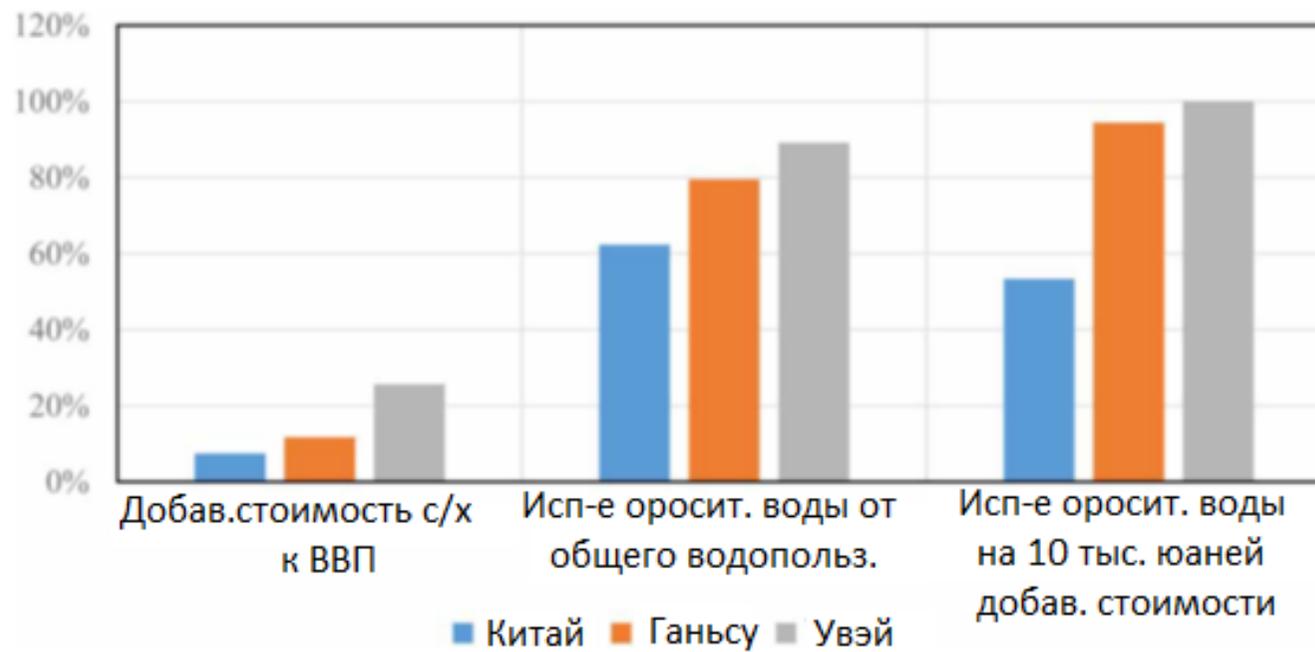


Рис.2 Экономика сельского хозяйства и водопользование в г. Увэй, 2017 г.

Примечание: Использование оросительной воды на 10 тыс. юаней добавленной стоимости установлено в значении 1 в Увэе, Китай; значения по Ганьсу и Увэй показаны для демонстрации относительных величин

Таблица 1. Производство продовольственных и товарных культур в Увэе

Виды культур	Параметры	Ед. изм.	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Продовольственные культуры	Площадь посадки	км ²	1880	1851	1804
	Среднее водопотребление на ед. площади	м ³ /ГМ ²	34,5	32,2	32,6
	Продукция на ед. площади	юань/ГМ ²	22335	21690	20820
Товарные культуры	Площадь посадки	км ²	639	684	721
	Среднее водопотребление на ед. площади	м ³ /ГМ ²	97	106,4	99,2
	Продукция на ед. площади	юань/ГМ ²	124784,9	129959,9	141044,9

Таблица 2. Водопотребление по секторам и источникам в г. Увэй (10^8 м^3)

Годы	Сельское хозяйство		Промышленность			Сектор услуг	
	Поверх. воды	Подземные воды	Поверх. воды	Подземные воды	Повторное водопольз.	Поверх. воды	Подземные воды
2013	10,36	3,71	0,07	0,90	0,03	0,02	0,16
2014	10,34	3,92	0,02	0,90	0,08	0,02	0,15
2015	10,70	3,63	0,01	0,95	0,08	0,02	0,15
2016	10,36	3,56	0,05	1,00	0,10	0,02	0,15
2017	8,94	3,88	0,11	0,61	0,10	0,02	0,17

Модель включает шесть экономических агентов: производителей, инвесторов, домохозяйств, государство, внешний мир и агентов учета материальных средств/бухгалтера (Horridge, 2006). Каждый производитель минимизирует издержки при заданных факторах производства и реализует функцию пропорциональной отдачи от роста масштабов производства (CRS). Потребительский спрос моделируется с помощью репрезентативного домохозяйства, максимально увеличивающего полезность. Потребители получают доходы от продаж и используют доходы для потребления товаров и услуг. В условиях бюджетных ограничений потребители максимизируют свою выгоду или полезность, выбирая наилучшую комбинацию товаров и услуг. Государственные доходы формируются за счет налогов и сборов, а государственные расходы включают субсидии, трансферты и другие общественные блага. В модели сделано допущение, что совокупный спрос государства соответствует совокупному потреблению домохозяйств. В модели применяется подход, основанный на гибких связях.

Для описания оптимального распределения отечественных товаров, внутренних рынков и экспорта принимается уравнение постоянной эластичности преобразований (CET) для достижения оптимальной прибыли. Кроме того, неполная взаимозамещаемость между импортными и отечественными товарами моделируется с помощью уравнения постоянной эластичности замещения (CES) (Dixon & Jorgenson, 2012). Для производства в секторах необходимы промежуточные звенья и три основных фактора: труд, капитал и земля. Капитал и труд являются полностью мобильными внутренними факторами, в то время как фактор земли определяется конкретным сектором. На рис. 3 показаны взаимодействия между агентами и общий баланс товаров и факторов.

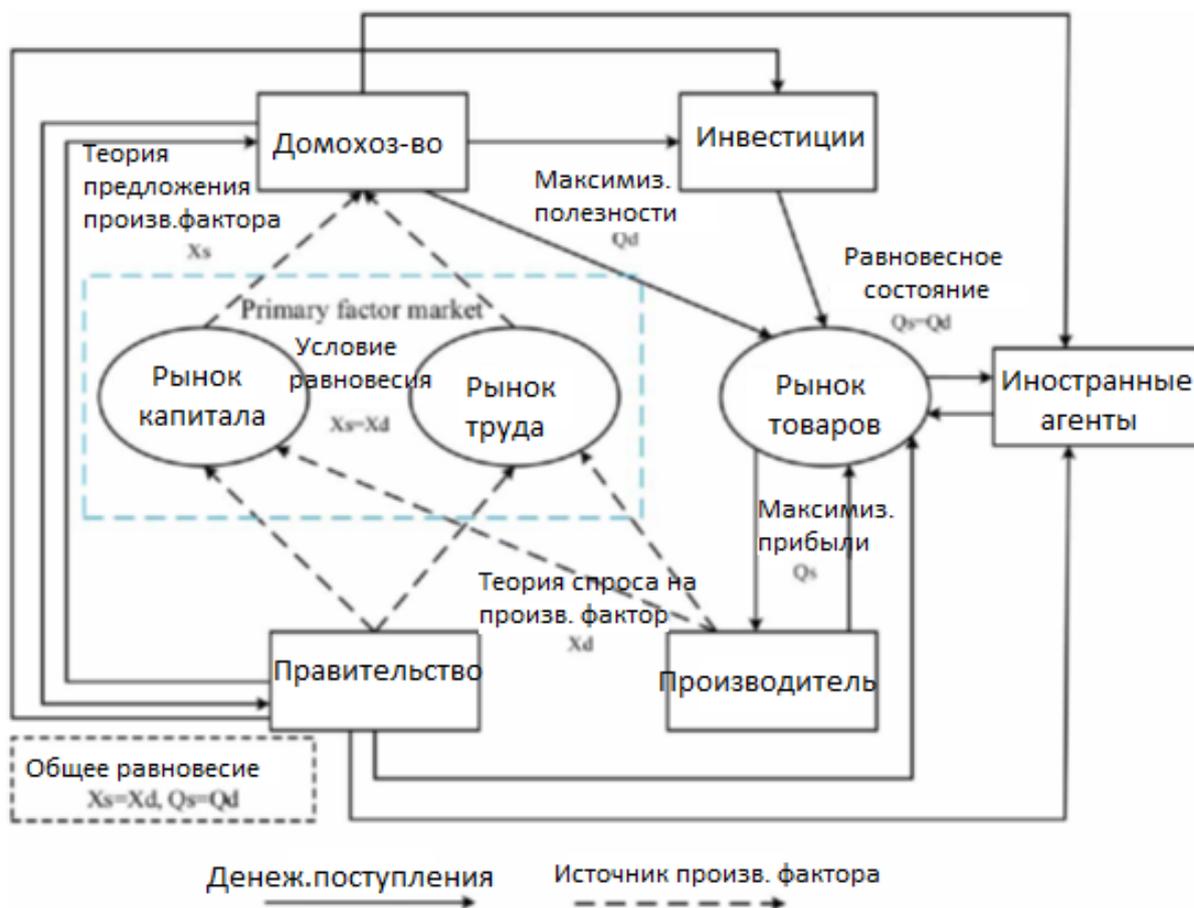


Рис. 3. Модель характерных взаимодействий агентов и общий баланс товаров

2.3. Улучшение модели SICGE

В данном исследовании используется центральный модуль модели SICGE по формированию цен на оросительную воду (AWPSICGE), совместно созданный Государственным информационным центром (SIC) и Институтом исследований водных ресурсов и гидроэнергетики Китая (IWHR). Динамический механизм модели базируется на модели австралийской экономики MONASH. В ней рассматриваются зависимости запасов и прироста между основным капиталом и инвестициями, а также между внешним долгом и дефицитом торгового баланса (Siddig & Grethe, 2014). Текущая модель SICGE включает только один сельскохозяйственный сектор и водохозяйственный сектор, что недостаточно для анализа политики формирования цен на воду в сельском хозяйстве Китая. Для анализа отклика различных сельскохозяйственных культур на политику ценооб-

разования в данном исследовании сельское хозяйство разделено на три подсектора, каждый из которых производит определенный набор товаров. Водное хозяйство также подразделяется на три подсектора и устанавливается альтернативная зависимость между различными источниками воды.

2.3.1. Модуль сельскохозяйственного производства

Как отмечалось выше, учитывая существенные различия между продовольственными и товарными культурами по методам выращивания, добавленной стоимости и водопотреблению на единицу площади, в данном исследовании сельское хозяйство разбивается на следующие три сектора: сектор продовольственных культур, сектор товарных культур и другие сектора сельского хозяйства. Это позволило проанализировать влияние повышения цен на воду и политики субсидирования. Данные были получены из статистического ежегодника города Увэй и коммюнике «Водные ресурсы». Нижняя часть модели на рис. 4 показывает, что отечественные и импортные товары удовлетворяют функции замещения CES.

$$X_{ij}^{(1)} = CES \left\{ \frac{X_{(is)j}^{(1)}}{A_{(is)j}^{(1)}}; \rho_{ij}^{(1)}, b_{(is)j}^{(1)} \right\} (i, j = 1, \dots, n) \quad (1)$$

Уравнение (1) показывает, что промежуточный производственный ресурс $X_{ij}^{(1)}$ является CES-функцией отечественных и импортных товаров. $X_{(is)j}^{(1)}$ – это расход производственного ресурса i из источника s ($s=1$ для отечественных товаров, $s=2$ для импортных товаров) в секторе j . Параметры $A_{(is)j}^{(1)}$ and $b_{(is)j}^{(1)}$ – это соответственно параметры технического прогресса и акционерного капитала. Параметр ρ – это постоянный коэффициент эластичности замещения.

Используемая в формуле CES-функция выглядит следующим образом:

$$CES_s \{f_s; \rho, b_s\} = \left(\sum_s f_s^{-\rho} b_s \right) \quad (2)$$

В центре модели три вида сельскохозяйственной продукции, добавленная стоимость, вода и прочие промежуточные производственные ресурсы увязаны с итоговым продуктом с помощью Леонтьевской функции. Леонтьевская функция имеет тот же вид, что и CES-функция, но ее эластичность замещения равна 0. На рис. 4 показана логическая схема модели.

2.3.2. Модуль замещения источников воды

Для отражения эффекта замещения различных источников воды применялась структура многоуровневого гнезда. Иерархия и соответствующая эластичность замещения устанавливались на основе анализа слабых сторон и возможностей функции замещения. Для анализа экономического воздействия реформ цен на воду в данном исследовании водохозяйственный сектор был разделен на сектор поверхностных вод, сектор подземных вод и сектор повторного водопользования. Между этими видами водных ресурсов были установлены различные зависимости замещения. На рис. 5 представлена логическая схема модуля. Усовершенствованная модель рассчитывает изменения в структуре источников воды, вызванные изменением цен на различные источники воды. После усовершенствования модели итоговый продукт каждого сектора по-прежнему включался в Леонтьевскую функцию производства. Эта функция предполагает отсутствие зависимости замещения между общим объемом водопотребления (тремя видами водных ресурсов) и другими промежуточными производственными ресурсами.

$$X_{Sur_Grou,j}^{(1)} = CES \left\{ \frac{X_{Surf,j}^{(1)}}{A_{Surf,j}^{(1)}}, \frac{X_{Grou,j}^{(1)}}{A_{Grou,j}^{(1)}}, \rho_j^{Surf_Grou}, b_{Surf,j}^{(1)}, b_{Grou,j}^{(1)} \right\}$$

$$(j = 1, \dots, n)$$
(3)

Переменные $X_{Surf,j}^{(1)}$ и $X_{Grou,j}^{(1)}$ – это объем соответственно поверхностных и подземных вод, используемых сектором j в производственном процессе. Параметры $A_{Surf,j}^{(1)}$, $A_{Grou,j}^{(1)}$, $b_{Surf,j}^{(1)}$ и $b_{Grou,j}^{(1)}$ – это соответственно параметры технического прогресса и акционерного капитала сектора j . Параметр $\rho_j^{Surf_Grou}$ – это постоянный коэффициент эластичности замещения с эластичностью замещения равной примерно 0,8 согласно Zhao et al. (2016).



Рис. 4. Структура отраслевого продукта в модуле сельского хозяйства

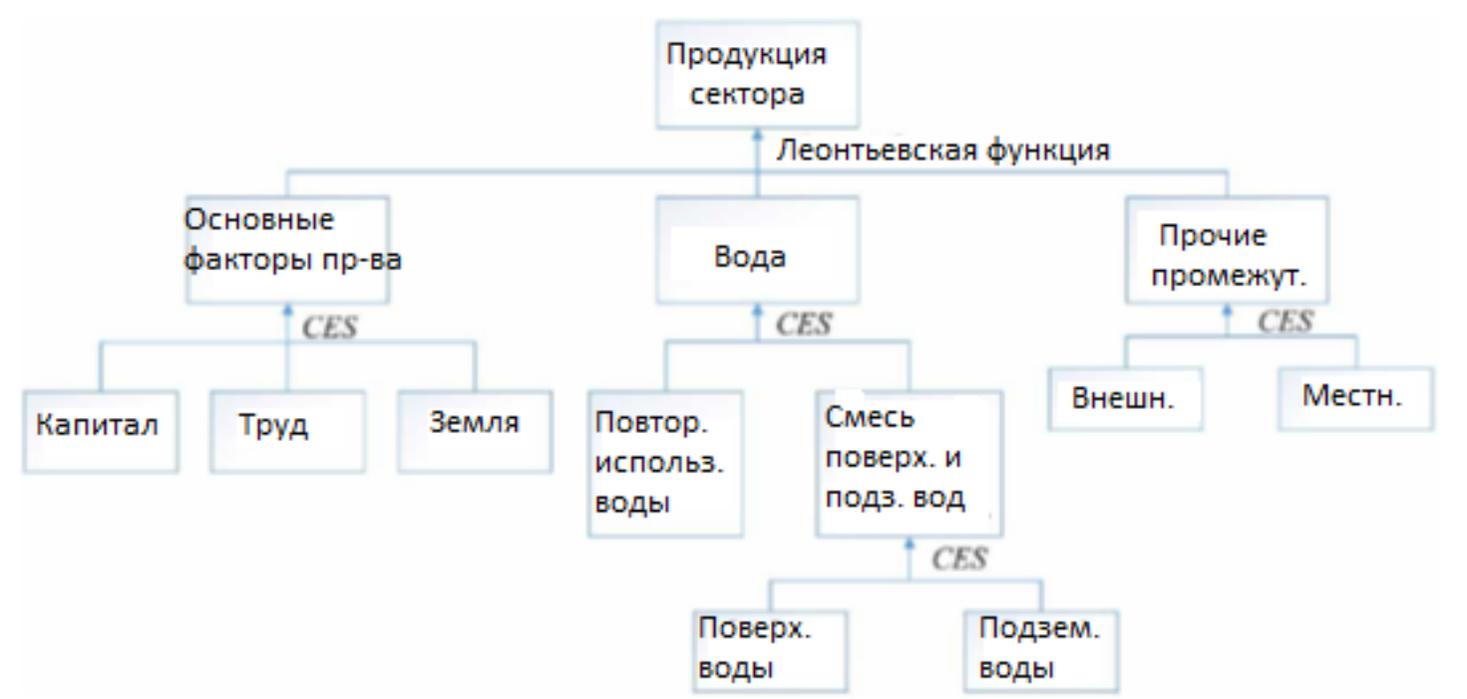


Рис. 5. Модуль замещения источников воды

Введено допущение, что комплекс поверхностных, подземных вод и повторного водопользования удовлетворяет CES-функции:

$$X_{Surf_Grou_Uncv,j}^{(1)} = CES \left\{ \frac{X_{Surf_Grou,j}^{(1)}}{A_{Surf_Grou,j}^{(1)}}, \frac{X_{Uncv,j}^{(1)}}{A_{Uncv,j}^{(1)}}; \rho_j^{Surf_Grou_Uncv}, b_{Surf_Grou,j}^{(1)}, b_{Uncv,j}^{(1)} \right\}$$

$(j = 1, \dots, n)$

(4)

где: $X_{Surf_Grou_Uncv,j}^{(1)}$ – количество совокупных источников воды, используемых сектором j в процессе производства; параметры $X_{Uncv,j}^{(1)}$ и $A_{Uncv,j}^{(1)}$ – соответственно объем повторно используемой воды и технические новшества, применяемые в секторе j . Другие переменные и параметры те же, что и в уравнении (4). Эластичность замещения $\rho^{Surf_Grou_Uncv}_j$ равна примерно 0.2 (Zhao et al., 2016).

2.4. Параметры модели

В исследовательской версии модели использовались параметры китайской версии модели ORANI-G, которая является типовой моделью CGE для одной страны, включая CES-функцию эластичности замещения, эластичность CET и эластичность спроса по величине расхода (Horridge, 2006). Модель ORANI-G представляет собой 122-секторную модель на базе модели экономики Китая SICGE. Из-за отсутствия данных, параметрам производственной функции других секторов было присвоено значение 2, исходя из китайской версии модели ORANI-G. В данном исследовании эластичность спроса на труд для всех секторов была установлена на уровне 0,243 в соответствии с Zhao et al. (2019). В этой модели использовались данные модели общего равновесия Китайской Народной Республики (PRCGEM), при этом эластичность по потребительским ценам задавалась на уровне 4 (Zhao et al., 2016). Значение эластичности CES в данном исследовании было принято по модели SICGE Китайского национального информационного центра (Li & Zhang, 2012).

Параметр Фриша определяется как отношение общего дохода к сумме общего дохода минус базовый спрос в модели функции спроса линейной системы расходов (LES). Данные прошлых исследований показывают, что при увеличении дохода жителей абсолютное значение параметра Фриша стремится к уменьшению. Например, при увеличении дохода на

душу населения со 100 до 3 тыс. долл. (в ценах 1970 года) параметр Фриша увеличивается с -7,5 до -2,0 (Dervis et al., 1982). Исходя из значений параметров китайской версии модели ORANI-G – Model-4, доход на душу населения после вычета налогов в городе Увэй в 2017 г. составил 18 667 юаней, что ниже среднего по Китаю. В связи с этим значение параметра Фриша было установлено на уровне -3.

2.5. Базовый сценарий

Используя данные Статистического ежегодника города Увэй за 2012 г., таблицу прихода-расхода Ганьсу за 2012 г. и гидрологический ежегодник Ганьсу, с помощью метода бипропорционального масштабирования была рассчитана таблица прихода-расхода Увэя за 2012 г. (Schneider & Zenios, 1990). При этом общий объем производства и добавленная стоимость в различных отраслях остались неизменными. Для точного отображения основных экономических характеристик Увэя в данном исследовании был проведен анализ основных и ключевых воздействий политики на основе данных национальной статистики. На основе кодов классификации отраслей национальной экономики, 42 сектора в приходно-расходной таблице были объединены в 10 секторов. Затем водное хозяйство было разбито на три подсектора (поверхностные, подземные воды и повторное водопользование), также как и сельское хозяйство – на три подсектора (продовольственные культуры, товарные культуры и прочее сельское хозяйство). В результате получена таблица прихода-расхода по 15 секторам экономики города Увэй.

Для надежности модели проведено ретроспективное и прогнозное моделирование. Сначала мы провели ретроспективное моделирование по базовому сценарию, чтобы смоделировать экономические изменения в городе Увэй с 2012 по 2016 гг. Результаты моделирования были сопоставлены с фактом. Затем, исходя из плана социально-экономического развития города Увэй и при условии неизменности системы цен на водоснабжение, был сделан прогноз будущих изменений в экономическом развитии (табл. 3). Темпы прироста добавленной стоимости в секторе устанавливались на базе годового прироста по региону и 13-го пятилетнего плана города Увэй.

Таблица 3. Рост добавленной стоимости макроэкономики в базовом сценарии г. Увэя

Категория	2017-2020 гг.	2021-2030 (результаты моделирования)
ВВП	6%	5%
Сельское хозяйство	4%	3%
Промышленность	5%	3,5%
Сфера услуг	8%	6%

Согласно Национальному плану действий по водосбережению в городе Увэй, к 2030 г. ожидается снижение общего объема использования поверхностных и подземных вод соответственно на 10 и 20% по сравнению с 2017 г. Результаты прогноза по базовому сценарию представлены в табл. 4.

Таблица 4. Отклонение в водопользовании в базовом сценарии, г. Увэй, результаты моделирования

Годы	2021	2025	2030
Поверхностные воды	-2,3%	-6,3%	-10,0%
Подземные воды	-5,3%	-13,4%	-20,4%

2.6. Политические сценарии

В изучаемых политических сценариях основное внимание уделено отклонениям внутрисистемных переменных (неизвестные переменные в уравнении, полученные в результате решения модели) от их базовых уровней, вызванным внешними шоками (известные переменные в уравнении, заданные пользователями). С экономической точки зрения, для поддержания нормальной работы служб водоснабжения цены на воду для сельского хозяйства должны быть на уровне или выше эксплуатационных затрат (Bontems & Nauges, 2019). Поэтому для целей моделирования мы предположили, что будущий уровень цен на воду для сельского хозяйства должен быть увеличен на 19,14%. По результатам полевых исследований и консультаций с представителями секторов и экспертами, смоделированный

годовой коэффициент корректировки не должен превышать 10%, что и было сделано.

С учетом этого были разработаны три сценария реформирования цен на воду. По сценарию 1 (S01) цена на воду корректируется так, чтобы покрывать эксплуатационные затраты 2021 г., затем она корректируется до уровня, гарантирующего небольшую прибыль, и потом корректируется до уровня цены, включающей себестоимость и удовлетворительную прибыль (для проектов водосбережения с государственными инвестициями эта цена включает эксплуатационные затраты, экологические затраты, налог на водные ресурсы и налог на прибыль). В сценарии 2 (S02) цена на воду в 2030 году корректируется до уровня эксплуатационных затрат 2025 г., а затем корректируется до уровня, гарантирующего небольшую прибыль. В сценарии 3 (S03) цена на воду корректируется до уровня эксплуатационных затрат 2030 г. Корректировка цен на воду для трех сценариев приведена в табл. 5.

В рамках реформирования цен на воду, в Китае существует практика, когда плата за оросительную воду взимается секторами водоснабжения и перечисляется на специальный счет для расходов на водосбережение. В Китае большинство ирригационных систем инвестируются и строятся государством, поэтому возникают споры о распределении увеличенной платы за воду в новых системах. Правительство озабочено тем, что фермеры не могут позволить себе платить за воду, вызванную ростом цен (Национальная комиссия по развитию и реформам, 2019). В связи с этим правительство косвенно субсидирует фермеров, предоставляя субсидии в дополнение доходов от сельского хозяйства, либо напрямую субсидируя сектора водоснабжения на эксплуатацию и обслуживание систем.

Для целей моделирования необходимо было определить, насколько допустимы для фермеров цены на оросительную воду, выбрать оптимальную политику субсидирования и оптимизировать распределение собранной платы за воду. Для этого мы рассчитали уровень принятия местными фермерами цен на оросительную воду, вычислив долю расходов на воду в себестоимости сельскохозяйственной продукции (Chen, 2007), и определили, требуется ли субсидирование требований на воду. Исследования, проведенные в Китае, показали, что расходы на оросительную воду должны составлять 5-15% от отношения стоимости продукции к площади (Development Research Center of the Ministry of Water Resources of P.R.C., 2003).

**Таблица 5. Схема расчета корректировки цен
на оросительную воду (увеличение на %)**

Формирование цен на оросительную воду с учетом затрат ЭиТО по целевым годам

Годы	2021 г.			2025 г.			2030 г.		
	SW	GW	RW	SW	GW	RW	SW	GW	RW
2017-2020	5	9	0	1,5	4	0	1,5	2	2
2021-2025	4	6	0	1,5	4	0	1	2	2
2026-2030	3,5	5	0	1,3	2,5	0	1	2	2
Всего	57,5	91	0	20	48,5	0	16	28	2

Примечание: SW – поверхностные воды, GW – подземные воды, RW – повторное водопользование

**Таблица 6. Расчет уровня допустимости цен
на оросительную воду для фермеров г. Увэй (в сопоставимых ценах)**

Наименование	Стоимость с/х продукции, 10⁹ юань	5% от стоимости с/х продукции, 10⁹ юань	15% от стоимости с/х продукции, 10⁹ юань	Оросительная вода, 10⁹ м³	Допустимая цена на воду 5%, юань/м³	Допустимая цена на воду 15%, юань/м³
Прод. культуры	3,75	0,19	0,56	0,63	0,30	0,89
Товарные культуры	10,17	0,51	1,53	0,65	0,78	2,34

В табл. 6 показан уровень допустимости цен на оросительную воду с учетом объема сельскохозяйственной продукции и использования оросительной воды в сельском хозяйстве города Увэй в 2017 г. Исходя из этого, цена на поверхностные воды в Увэе была установлена на уровне 0,2 юаня/м³, а цена на подземные воды – 0,05 юаня/м³ по ценам 2017 г. По сценарию 1 затраты окупаются в 2021 г., после чего образуется прибыль. Следовательно, цена в 2030 г. по сценарию может вырасти примерно до 0,35 юаня/м³ для поверхностных вод и до 0,12 юаня/м³ для подземных вод. Средняя цена на воду с учетом максимальной корректировки цены (Сценарий 1) в данном исследовании ниже минимального значения, которое могут позволить себе местные фермеры. Это указывает на целесообразность субсидирования платы за воду для секторов водоснабжения по сценариям 4–6.

С учетом корректировки цен на воду мы представили три дополнительных политических сценария, включающих субсидии: сценарий 4 (S04), сценарий 5 (S05) и сценарий 6 (S06), в которых года 2021, 2025 и 2030 гг. соответственно приняты в качестве целевых лет для установления цены на оросительную воду, которая покрывает эксплуатационные затраты. Новая политика субсидирования также предполагает, что правительство субсидирует дополнительные расходы на воду в водном хозяйстве (40,58 млн. юаней), взимаемые в рамках политики цен на воду, за счет снижения налогов на производство с 2021 г. Это еще больше снижает производственные затраты сектора.

3. Результаты

3.1. Влияние на потребление поверхностных и подземных вод

Повышение цен на оросительную воду, как правило, приводит к увеличению затрат на водопользование в сельском хозяйстве. По результатам моделирования, по мере развития данного процесса спрос на оросительную воду начал снижаться. По сравнению с базовым сценарием ожидается снижение водопотребления при выращивании продовольственных и товарных культур (рис. 6(а) и 6(б)). В трех сценариях прогнозируются разные темпы снижения водопотребления в зависимости от роста цен: снижение водопотребления было наибольшим по сценарию S01, затем следовал сценарий S02, а потом S03. По сценарию S01 ожидается, что к 2030 г. использование поверхностных вод под продовольственные и товарные культуры снизится на 1,47% (продовольственные) и 1,51% (товарные), т.е. соответственно 5,97 млн. м³ и 6,23 млн. м³ экономии воды. Ожидается, что к 2030 г. по сравнению с базовым сценарием использование подземных вод

для выращивания продовольственных и товарных культур сократится на 2,85% (продовольственные) и 2,89% (товарные), что составляет соответственно 4,33 млн. м³ и 4,45 млн. м³ экономии воды.

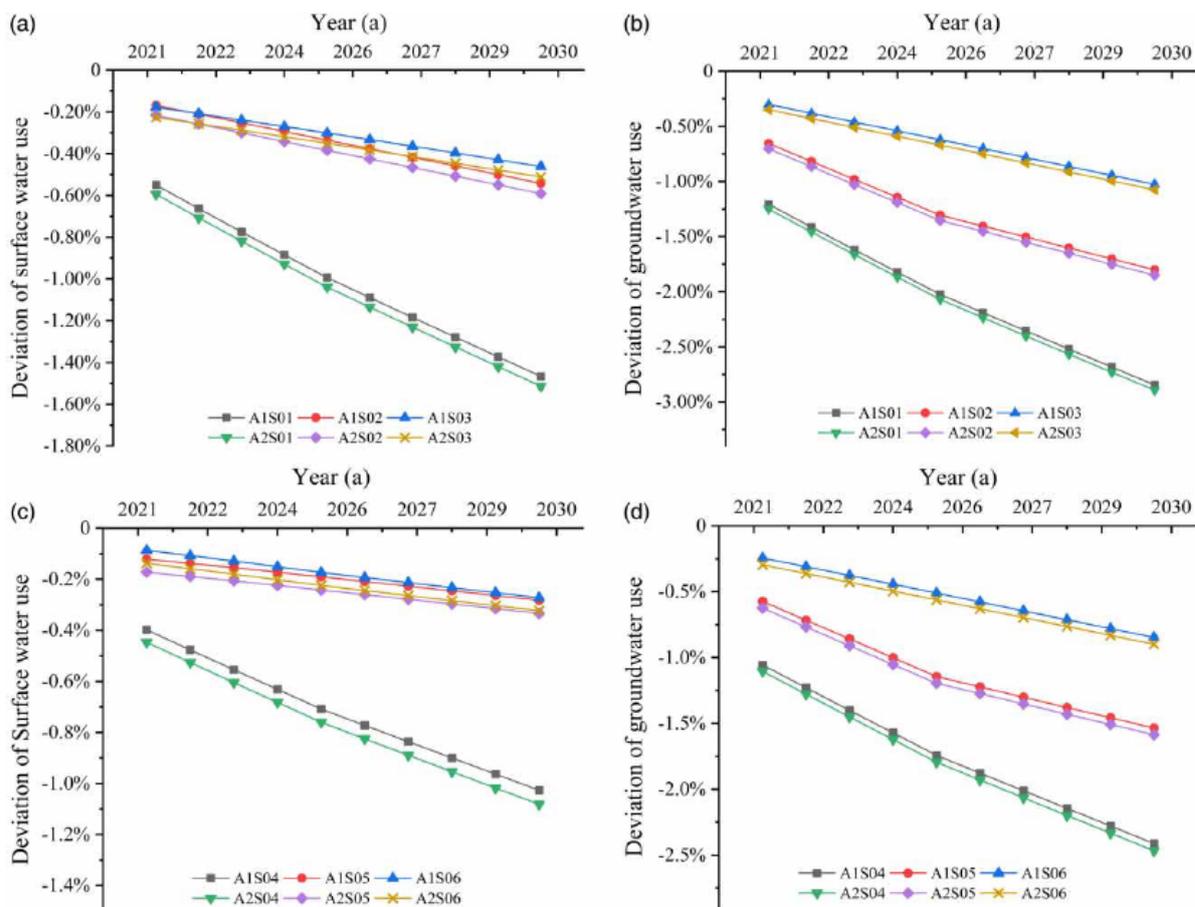


Рис. 6. Ожидаемое отклонение водопотребления продовольственными и товарными культурами по сценариям S01, S02 и S03 по сравнению с базовым сценарием.

- (a) Использование поверхностных вод при политике повышения цен на воду,
- (b) использование подземных вод при политике повышения цен на воду,
- (c) использование поверхностных вод при политике поддерживающего субсидирования,
- (d) использование подземных вод при политике поддерживающего субсидирования.

Примечание: A1S01 обозначает годовое изменение водопотребления продовольственных культур по сравнению с базовым сценарием S01; A2S01 – годовое изменение водопотребления товарных культур по сравнению с базовым сценарием S01. Другие аналогично.

На рис. 6(с) и 6(d) показано ожидаемое влияние субсидий на использование поверхностных вод в орошении, в частности видно, что субсидии стимулируют водопользование в сельском хозяйстве. Хотя ожидается, что прогнозируемое водопользование в целом снизится при политике субсидирования, это снижение будет не таким значительным, как при реформировании цен на воду. По сравнению с базовым сценарием ожидается снижение использования поверхностных и подземных вод, как для продовольственных, так и для товарных культур. Это объясняется тем, что повышение цен на оросительную воду непосредственно влияет на водопользование в сельском хозяйстве. Напротив, субсидии для секторов водоснабжения оказывают косвенное воздействие, приводя к снижению затрат на водопользование. Поэтому ожидается, что использование воды в сельском хозяйстве продолжит снижаться. На примере S04 при возмещении эксплуатационных затрат в 2020 г. и начале субсидирования сектора водоснабжения в 2021 г. ожидается, что к 2030 г. использование поверхностных вод для выращивания продовольственных и товарных культур снизится на 1,03% (продовольственные) и 1,08% (товарные) или соответственно 4,18 млн. м³ и 4,43 млн. м³. Ожидается, что использование подземных вод для выращивания продовольственных и товарных культур к 2030 г. снизится на 2,41% (продовольственные) и 2,47% (хозяйственные) или соответственно 3,67 млн. м³ и 3,79 млн. м³ по сравнению с базовым сценарием.

3.2. Воздействие на эффективность водопользования

В предыдущем разделе было показано, что корректировка цен на воду влияет на эффективность водопользования. При увеличении стоимости сельскохозяйственного производства ожидается повышение добавленной стоимости в сельском хозяйстве и снижение водопотребления. Если водопотребление в сельском хозяйстве снижается больше, чем добавленная стоимость, то эффективность водопользования возрастает (рис. 7(a)).

Например, по S01 в 2021 г. ожидается снижение водопотребления на 0,73% на 10 тыс. юаней добавленной стоимости от продовольственных и на 0,78% для товарных культур. При дальнейшем воздействии корректировки цен на воду ожидается также повышение эффективности водопользования: к 2030 г. ожидается снижение водопотребления на 1,83% на 10 тыс. юаней добавленной стоимости от продовольственных культур и на 1,88% для товарных культур. После получения субсидий ожидается снижение эффективности водопользования (рис. 7(b)). На примере сценария S04 ожидается, что к 2030 г. водопотребление снизится на 1,41% на 10 тыс. юаней добавленной стоимости от продовольственных культур, а для то-

варных культур – на 1,46%. По трем сценариям субсидирования было обнаружено повышение эффективности водопользования по сравнению с базовым сценарием, что показывает положительный эффект от политики субсидирования.

3.3. Воздействие на экономику сельского хозяйства

На рис. 8(а) показано воздействие сценариев политики формирования цен на воду на экономику сельского хозяйства. Ожидается, что повышение цен на воду приведет к росту производственных затрат и увеличению стоимости жизни как для производителей, так и для потребителей. Таким образом, при прочих равных условиях в исследовании прогнозируется снижение добавленной стоимости сельского хозяйства в результате сокращения потребления домохозяйствами. Коротко говоря, добавленная стоимость сельского хозяйства (Y) определялась как функция технического прогресса A , капитала K и труда L : $Y = 1/A F(K, L)$. Ожидается, что в 2030 г. добавленная стоимость сельского хозяйства по S01 будет на 0,10% ниже, чем в базовом сценарии. Это отражает совокупный эффект от корректировки использования первичных факторов производства и труда (изменение на -0,67% по L и -0,03% по K). По сравнению с базовым сценарием максимальное снижение добавленной стоимости в сельском хозяйстве ожидается по S01.

Как ожидается, добавленная стоимость продовольственных и товарных культур соответственно снизится на 0,24 и 0,12 к 2030 г. (табл. 7).

С позиции потребления, повышение цен на воду приводит к росту цен на товары, связанные тем или иным образом с водой: ожидается, что индекс потребительских цен (ИПЦ) в 2030 г. будет на 0,12% выше, чем в базовом сценарии. Это объясняется ростом цен на продукцию, зависящую от водных ресурсов, поскольку средняя цена на продовольственные культуры, как ожидается, увеличится на 1,19%. В результате ожидается, что к 2030 году реальное потребление домохозяйств снизится на 2,19%, а инвестиции – на 0,64% по сравнению с базовым сценарием.

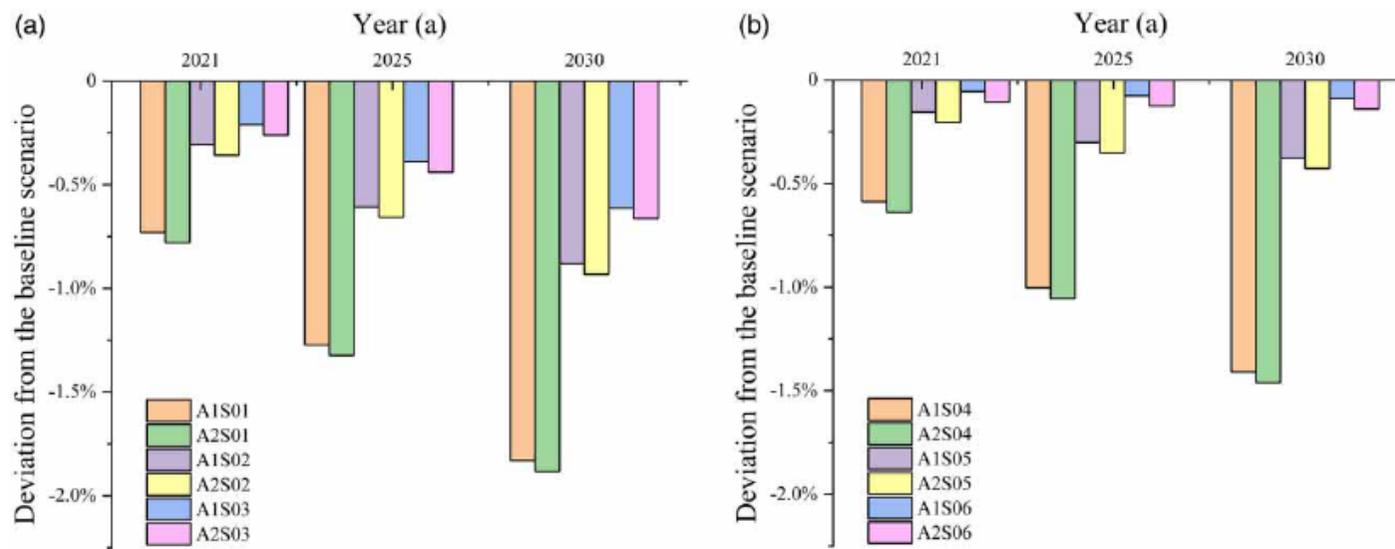


Рис. 7. Отклонение водопользования на 10 тыс. юаней добавленной стоимости сельского хозяйства от базового сценария: (а) политика повышения цен на воду, (б) поддерживающая политика субсидирования.

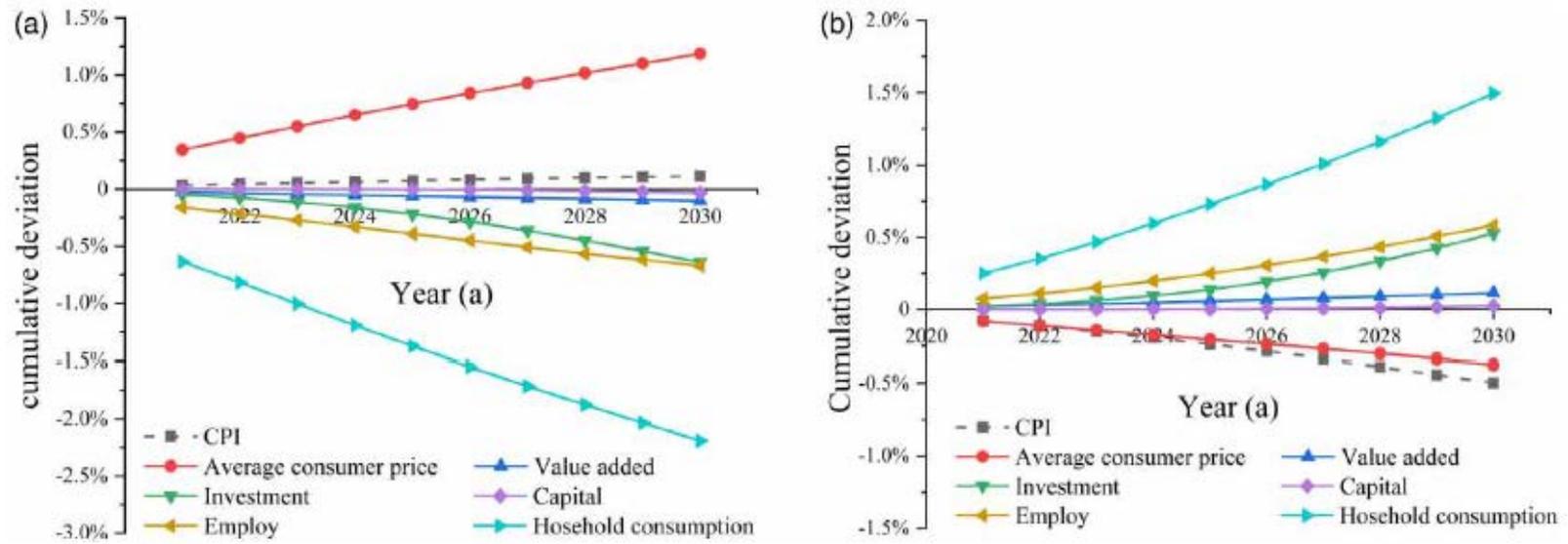


Рис. 8. Макроэкономическое воздействие (% , совокупное отклонение производства продовольственных культур от базового сценария): (а) политика повышения цен на воду, (б) поддерживающая политика субсидирования.

Таблица 7. Совокупное отклонение добавленной стоимости сельского хозяйства по сценариям S01-S03 от базового сценария (%).

Сценарии	2021 г.	2025 г.	2030 г.
A1S01	-0,07	-0,15	-0,24
A1S02	-0,02	-0,05	-0,09
A1S03	-0,02	-0,04	-0,06
A2S01	-0,03	-0,07	-0,12
A2S02	-0,01	-0,03	-0,04
A2S03	-0,01	-0,02	-0,03

Таблица 8. Совокупное отклонение добавленной стоимости сельского хозяйства по сценариям S04-S06 от базового сценария (%).

Сценарии	2021 г.	2025 г.	2030 г.
A1S04-A1S01	0,03	0,09	0,17
A1S05-A1S02	0,03	0,07	0,15
A1S06-A1S03	0,03	0,08	0,15
A2S04-A2S01	0,02	0,05	0,09
A2S05-A2S02	0,01	0,04	0,08
A2S06-A2S03	0,01	0,04	0,08

На рис. 8(б) показано экономическое воздействие на сельское хозяйство политики субсидирования по сравнению с политикой формирования цен на воду. Ожидается, что снижение производственных затрат приведет к снижению цен на товары, связанные с водой (по сравнению со сценариями реформы цен на воду). На рис. 8(б) показано, что повышение цен на воду и субсидирование водных секторов может косвенно повлиять на сельскохозяйственный сектор и все другие сектора. Ожидается, что в конечном итоге это приведет к снижению ИПЦ, производственных затрат и стоимости жизни производителей и потребителей. Добавленная стоимость сельского хозяйства к 2030 г. в S04, по прогнозам, будет на 0,11% выше, чем в S01. В табл. 8 показано, что сопутствующая добавленная стоимость продовольственных культур увеличится на 0,17%, а добавленная стоимость товарных культур – на 0,09% (при изменении на 0,57% для *L* и 0,02% для *K*).

Если перейти к анализу спроса, то к 2030 г. по S04 ожидается снижение ИПЦ на 0,5% по сравнению с S01; это отражает снижение средней потребительской цены на сельскохозяйственную продукцию на 0,38%. В результате в 2030 г. по S04 ожидается увеличение реального потребления сельскохозяйственной продукции домохозяйствами на 1,48%, а инвестиций в сельское хозяйство – на 0,53% по сравнению с S01.

4. Обсуждение

Исследование показало, что реформирование цен на воду может способствовать сбережению поверхностных и подземных вод в сельском хозяйстве. Однако воздействие подобной реформы на водосбережение довольно ограничено, что схоже с результатами исследования Чжао. Чжао и др. (2015), используя статическую модель CGE 2002 г., установили, что при повышении цены на оросительную воду на 15% использование оросительной воды в провинциях Цинхай, Ганьсу, Нинся, Внутренняя Монголия, Шэньси, Шаньси, Хэнань и Шаньдун снизилось соответственно на 4,02; 1,00; 8,54; 0,05; 0,72; 1,02; 0,13 и 0,16%. Это произошло в основном по двум причинам. Во-первых, низкие цены на оросительную воду приводят к тому, что доля затрат на воду в сельском хозяйстве в общих затратах сельскохозяйственного производства становится небольшой. Кроме того, фермеры недостаточно осведомлены о товарной цене воды. Во-вторых, фермеры в менее развитых районах имеют ограниченные возможности и средства для сбережения оросительной воды. Кроме того, с учетом результата моделирования, субсидии снижают стоимость оросительной воды и уменьшают эффект экономии воды за счет повышения цены на воду. Од-

нако предполагается, что эти субсидии компенсируют потери в развитии сельского хозяйства. Предотвращение потерь сельскохозяйственного труда и капитала, а также недопущение роста цен может положительно сказаться на стабильности сельского хозяйства и производства продуктов питания. Таким образом, цена на воду для сельского хозяйства должна, по крайней мере, быть на уровне эксплуатационных затрат, после чего можно начинать субсидирование секторов водоснабжения. Кроме того, государство должно максимально усилить координацию и управление секторами водоснабжения для дальнейшего продвижения водосбережения в сельском хозяйстве.

Водопотребление более нестабильно у товарных культур, чем у продовольственных, что связано как с большим водопотреблением на единицу площади, так и с более высокими затратами воды на единицу произведенной продукции товарных культур. При одинаковом повышении цен на воду для продовольственных и товарных культур эта плата за воду сильнее сказывается на товарных культурах, чем на продовольственных. Поэтому производители товарных культур более склонны к сокращению водопотребления. Таким образом, товарные культуры более чувствительны к ценам на воду, чем продовольственные. Однако с точки зрения экономики сельского хозяйства (добавленной стоимости) товарные культуры лучше переносят повышение цен на воду по сравнению с продовольственными культурами. Это может быть связано с тем, что стоимость продукции на единицу площади и сопутствующая прибыль выше для товарных культур, чем для продовольственных. Поэтому необходима политика дифференцированных цен на воду, в зависимости от типа возделываемых культур. Например, в текущей модели цена на воду для возделывания продовольственных культур постепенно доводится до уровня, необходимого только для покрытия эксплуатационных расходов, в то время как цена на воду для возделывания товарных культур приводит к прибыли.

Политика реформирования цен на воду в сельском хозяйстве имеет меньшее негативное воздействие на экономику региона. По результатам ожидается, что добавленная стоимость сельского хозяйства снизится на 0,10%, а ИПЦ увеличится на 0,12%. Такой прогнозируемый диапазон изменений согласуется с данными работы Цуй и соавторов (Cui et al., 2019). В исследовании Цуй установлено, что при увеличении цены на воду в целом по отрасли на 10% ожидается снижение ВВП региона Пекин-Тяньцзинь-Хэбэй на 0,039% и увеличение ИПЦ на 0,001%. В отличие от вышеприведенных исследований, в данной работе определяется влияние реформы цен на оросительную воду в Китае на региональную экономику и рассматривается политика субсидирования использования оросительной воды для различных культур. Кроме того, в модели CGE оценивается воз-

возможность использования различных источников воды для сельскохозяйственных целей. Кроме того, политика формирования цен на воду разрабатывается более тщательно, поскольку мы учитываем финансовые возможности фермеров по покрытию расходов на оросительную воду вместе с эксплуатационными расходами по ирригационным системам. Есть две основные причины, по которым результаты, полученные в данном исследовании, отличаются от результатов исследования Цуй: 1. Увэй менее развит, чем регион Пекин-Тяньцзинь-Хэбэй, и отношение добавленной стоимости сельского хозяйства к ВВП в нем высокое. Поэтому результаты повышения цен на оросительную воду для экономики этого региона более серьезны по сравнению с развитыми регионами. 2. Модуль замещения источников воды, представленный в данной работе, позволяет различным источникам воды дополнять друг друга, тем самым снижая влияние на экономику колебаний цен на оросительную воду.

Комплексный анализ шести сценариев показал, что сценарии S01 и S04 дают значительно лучшие результаты в отношении экономии воды и эффективности водопользования. Оба сценария окажут незначительное влияние на экономику сельского хозяйства и будут находиться в пределах возможностей фермеров. По сравнению со сценарием S01, который покрывает эксплуатационные расходы в 2020 г., сценарий S04 также включает субсидии для секторов водоснабжения. Это должно уменьшить негативное влияние реформ ценообразования на воду на сельскохозяйственную экономику и поможет поставщикам воды покрыть свои эксплуатационные и ремонтные расходы. Таким образом, в качестве наилучшего сценария реформирования цен на воду был выбран сценарий S04, предусматривающий возмещение затрат на подачу воды и субсидирование секторов водоснабжения в 2021 г.

5. Заключение

В данном исследовании использовалась усовершенствованная модель CGE для моделирования политики формирования цен на оросительную воду с учетом особенностей сельскохозяйственного производства и водопользования на северо-западе Китая. Рассмотрены три сценария формирования цен на воду и три сценария вспомогательных субсидий для оценки влияния реформы ценообразования на экономию воды в сельском хозяйстве и экономику сельского хозяйства на северо-западе Китая через ощутимые количественные изменения. Сценарии обеспечивают теоретическую основу для эффективного использования оросительной воды и адаптивного управления водными ресурсами.

- Реформа цен на оросительную воду должна позволить эффективно снизить водопотребление в сельском хозяйстве. (Как ожидается, к 2030 г. потребление поверхностных и подземных вод должно сократиться соответственно на 6,23 млн. м³ и 3,79 млн. м³). Реформы должны повысить эффективность использования оросительной воды. Эти подходы также продемонстрировали меньшее негативное воздействие на экономику сельского хозяйства по сравнению с другими сценариями, основанными на субсидировании (добавленная стоимость в сельском хозяйстве должна снизиться на 0,10%, а ИПЦ увеличиться на 0,12%).
- В плане водопотребления товарные культуры оказались более чувствительными к корректировке цен на воду по сравнению с продовольственными культурами. Однако если рассматривать экономику сельского хозяйства, например, добавленную стоимость, то оказалось, что товарные культуры в целом могут лучше адаптироваться к ценам на воду, чем продовольственные культуры. Поэтому следует проводить политику дифференцированных цен на воду, предусматривающую более высокие цены на воду для товарных культур, чем для продовольственных культур.
- Предполагается, что ценовая политика, сопровождаемая субсидированием, позволит эффективно экономить воду, повысить эффективность водопользования, смягчить воздействие повышения цен на воду на экономику и обеспечить устойчивое функционирование организаций, обеспечивающих подачу воду. Поэтому сценарий, связанный с возмещением операционных затрат в 2020 г. и субсидированием платы за воду, взимаемой с секторов водоснабжения (S04), был признан наилучшим сценарием реформы цен на воду.

Полученные результаты показывают, что лица, принимающие решения, должны в полной мере использовать инструменты ценообразования для достижения экономии воды при обеспечении ее доступности для фермеров. Субсидирование секторов водоснабжения может дать двойную выгоду – экономию воды и ослабление негативного воздействия. Как и все исследования, данное исследование имеет ряд ограничений. Например, в исследовании не учитывался технический прогресс в области водосбережения в сельском хозяйстве, обусловленный субсидированием секторов водоснабжения, а также качество воды в различных источниках водоснабжения. Тем не менее, данное исследование позволило выявить положительные стороны эффективной политики формирования цен на воду на северо-западе Китае. Кроме того, показанная в данной работе модель может использоваться не только в аридных регионах. Она также может быть ис-

пользована для оценки комбинированного воздействия политики формирования цен на воду и торговли правами на воду, а также в водообеспеченных регионах путем гибкой настройки базовых и политических переменных модели.

Литература

Berck, P., Robinson, S. & Goldman, G. (1991). *The use of Computable General Equilibrium Models to Assess Water Policies*. Kluwer Academic Publishing, Springer, Dordrecht, Holland, MA. doi:10.1007/978-1-4615-4028-1_25.

Bontems, P. & Nauges, C. (2019). Production choices with water markets and risk aversion: the role of initial allocations and forward trading. *European Review of Agricultural Economics* 46(4), 579–608. <https://doi.org/10.1093/erae/jby033>.

Calzadilla, A., Rehdanz, K. & Tol, R. S. (2011). Water scarcity and the impact of improved irrigation management: a CGE analysis. *Kiel Working Paper* 42, 305–323.

Cardenete, M. A. & Hewings, G. J. (2011). Water price and water sectoral reallocation in Andalusia. A computable general equilibrium approach. *Environmental Economics* 2(1), 17–27. doi:10.22004/ag.econ.188124.

Chaisse, J. (2017). *The Regulation of Global Water Services Market*. Cambridge University Press, London, p. 502.

Chaisse, J. & Marine, P. (2015). Globalization of water privatization: ramifications of investor-state disputes in the blue gold economy. *Boston College International and Comparative Law Review* 38, 1.

Chen, D. (2007). *Irrigation Water Price and Farmer's Bearing Capacity of Seasonal Shortage of Water in South Irrigation District*. Ph.D., Hohai University. Available at: <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbname=CDFD9908&filename=2007168211.nh>

Cui, Q., He, L., Peng, Q. & Chen, H. (2019). Analysis of different water pricing policies in Beijing-Tianjin-Hebei region based on

CGE model. *Economy and Management* (5), 3. Available at: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=JJGL201905003&DbName=CJFQ2019>

Dagnino, M. & Frank, A. W. (2012). Economics of agricultural water conservation: empirical analysis and policy implications. *International Journal of Water Resources Development*. 28(4), 577–600. <https://doi.org/10.1080/07900627.2012.665801>.

Decaluwe, B., Patry, A. & Savard, L. (1999) When water is no longer heaven sent: comparative pricing analysis in a AGE model. In Working Paper 9908, CRÉFA 99-05, Département d'économique, Université Laval.

Dervis, K., De Melo, J. & Robinson, S. (1982). *General Equilibrium Models for Development Policy*. Cambridge university press, Cambridge, UK. ISBN: 0521270308.

Development Research Center of the Ministry of Water Resources of P. R. China (2003). Introduction of hydro-project water price analysis study of South-North water transfer project. *China Water Resources* (02), 63–69. doi:CNKI:SUN:SLZG.0.2003-02-015.

Dixon, P. B. & Jorgenson, D. (2012). *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*. North-Holland, North Holland, West Frisian, Netherlands. ISBN: 978-0-444-53634-1.

Fang, G., Wang, T., Si, X., Wen, X. & Liu, Y. (2016). Discharge fee policy analysis: a computable general equilibrium (CGE) model of water resources and water environments. *Water* 8(9), 413. doi:10.3390/w8090413.

General Office of the State Council of the People's Republic of China (2016). *Opinions on Promoting the Comprehensive Reform of Agricultural Water Price*. Beijing. Available at: http://www.gov.cn/zhengce/content/2016-01/29/content_5037340.htm.

Gomez, C. M., Tirado, D. & Rey-Maqueira, J. (2004). Water exchanges versus water works: insights from a computable general equilibrium model for the Balearic Islands. *Water Resources Research* 40(10), 1–11. doi:10.1029/2004WR003235.

Horridge, M. (2006). *ORANI-G: A Generic Single-Country Computable General Equilibrium Model*. Edition Prepared for Practical GE Modelling Courses Held in Hunan, São Paulo and Melbourne. Centre of Policy Studies and Impact Project, Monash University, Australia.

Li, J. & Zhang, Y. (2012). A quantitative analysis on economic impact of potential green barrier of international trade for China: case study of carbon tariff with SIC-GE model. *Journal of International Trade*. 5, 105–118. doi:10.13510/j.cnki.jit.2012.05.001.

Liao, Y. (2004). Problems and Way out for agricultural water price reform. *China Rural Water and Hydropower* 03, 74–76.

National Development and Reform Commission (2018). *Notice on Strengthening the Comprehensive Reform of Agricultural Water Price*. Beijing. Available at: http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2018-12/31/content_5433416.htm

National Development and Reform Commission (2019). *Notice on Accelerating the Comprehensive Reform of Agricultural Water Price*. Beijing. Available at: http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2019-09/29/content_5434648.htm

National Development and Reform Commission (2020). *Notice on Continuing to Promote the Comprehensive Reform of Agricultural Water Prices*. Beijing. Available at: https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/zcfb/tz/202008/t20200806_1235650.html?code=&state=123

Qian, X. (2018). The challenges of water governance (and privatization) in China; normative traps, gaps, and prospects. *Georgia Journal of International & Comparative Law* 47, 47.

Schneider, M. H. & Zenios, S. A. (1990). A comparative study of algorithms for matrix balancing. *Operations research* 38(3), 439–455. <https://doi.org/10.1287/opre.38.3.439>

Schoengold, K., Sunding, D. L. & Moreno, G. (2006). Price elasticity reconsidered: panel estimation of an agricultural water demand function. *Water Resources Research* 42(9). <https://doi.org/10.1029/2005WR004096>

Siddig, K. & Grethe, H. (2014). International price transmission in CGE models: how to reconcile econometric evidence and endogenous model response? In: *Proceedings 'Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues eV'*, Vol. 38, pp. 12–22. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2013.11.038>.

Wang, X. (2007). Countermeasures of the Reform of Agriculture Water Price in Downstream of Yellow River. M.S., University of Technology. Available at: <https://kns.cnki.net/KCMS/detail/detail.aspx?dbname=CMFD2007&filename=2007059348.nh>

Willis, E., Pearce, M., Mamerow, L., Jorgensen, B. & Martin, J. (2013). Perceptions of water pricing during a drought: a case study from south Australia. *Water* 5(1), 197–223. <https://doi.org/10.3390/w5010197>.

Zhao, Y., Dou, S. & Lai, R. (2015). Research on agriculture water pricing in the Yellow River basin. *Journal of Natural Resources* 30(03), 433–445. Available at: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=ZRZX201503007&DbName=CJFQ2015>

Zhao, J., Ni, H., Peng, X., Li, J., Chen, G. & Liu, J. (2016). Impact of water price reform on water conservation and economic growth in China. *Economic Analysis and Policy* 51, 90–103. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2016.06.003>.

Zhao, J., Bi, Y., Han, Y., Yu, J. & Zuo, P. (2019). The socio-economic effect of south-to-North water transfer project on Henan section: a dynamic computable general equilibrium model. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)* 49(6), 856–866. doi:10.16152/j.cnki.xdxzbzr.2019-06-003.

Zhou, Q., Feng, W. & Qian, Z. (2015). ‘Is irrigation water price an effective leverage for water management? An empirical study in the middle reaches of the Heihe River basin. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 89, 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.09.002>.

Zuo, A., Brooks, R., Wheeler, S. A., Harris, E. & Bjornlund, H. (2014). Understanding irrigator bidding behavior in Australian water markets in response to uncertainty. *Water* 6(11), 3457–3477. <https://doi.org/10.3390/w6113457>.

Перевод с английского: Усманова О., Юлдашева Г.

Верстка: Беглов И.

Подготовлено к печати
в Научно-информационном центре МКВК

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

sic.icwc-aral.uz