



ОПТИМИЗАЦИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД, ПРОДОВОЛЬСТВИЯ И ЭНЕРГИИ И ЕЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ РЕФОРМЫ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ НА ВОДУ В КИТАЕ: ОПЫТ СЕВЕРНОГО КИТАЯ

Сиалинь Ван

Институт международных рек и экобезопасности, Университет Юньнань, Китай

Школа передовых сельскохозяйственных наук, Пекинский университет, Китай

Приглашенный научный сотрудник, Институт ЦАРЭС

13 сентября 2024 г.



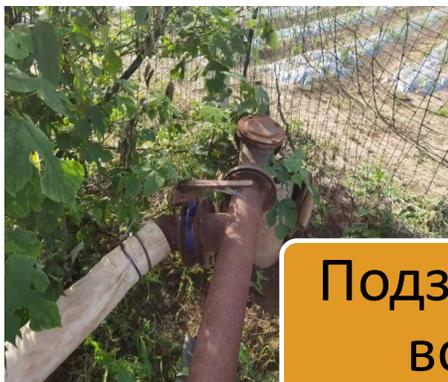
Мотивация

- Северо-Китайская равнина (СКР) - это "продовольственная корзина" Китая.



Продовольствие

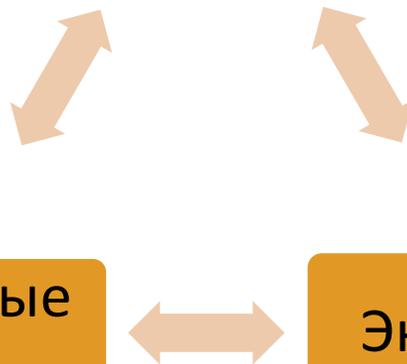
- **Сельское хозяйство** потребляет более 70% отбора подземных вод; 70% орошаемых земель в значительной степени зависят от подземных вод (Wang et al., 2017).



Подземные воды



Энергетика



- **Уровень грунтовых вод** в сельскохозяйственных районах снижался со скоростью более 1 м/год к концу 1990-х годов (Yang et al., 2021).

- **Использование энергии** для откачки подземных вод увеличилось на 22% за последние два десятилетия (Qiu et al., 2018).

Разработка водной политики

Время	Политика	Содержание
2002	Новый закон о воде	Идеи для ценообразования на воду
2014	Управление ценами на водоснабжение	Определение ценообразования на услуги сельскохозяйственного водоснабжения с учетом полной себестоимости
2015	Уведомление о продвижении реформы цен на воду для экономии воды и защиты водных ресурсов	
2016	Мнения о реформе интегрированного ценообразования на воду для сельхоз. нужд	Методы учета, например, электричества для воды
2019	Плата за пользование водными ресурсами	Положение о налоге на водные ресурсы для промышленных предприятий и частных лиц, использующих поверхностные и подземные воды
2020	Уведомление о постоянном содействии комплексной реформе цен на поливную воду	Обмен опытом проведения реформ

Дилемма в реформе цен на поливную воду

- Реформа цен на воду для сельхоз нужд является неудовлетворительной (Yang et al., 2022), например, из-за сложных обязанностей по сбору платы между соответствующими департаментами (Tian et al., 2021), нерегулярного финансового управления (Chen et al., 2021). Общие низкие цены на воду не отражают дефицит и истинную экономическую ценность воды (Huang et al., 2010; Dou, 2016).
- Ставка налога на водные ресурсы нуждается в научных расчетах с точки зрения максимизации социального благосостояния (Yang et al., 2022).
- Потенциальное влияние реформ цен на воду на продовольственную безопасность, использование энергии и изменения в экономии воды еще не изучено.

Управление подземными водами на Северо-Китайской равнине

- С 2014 года в районах Северо-Китайской равнины в экспериментальном порядке проводится политика сезонного парования. Эта политика предполагает ведение сельского хозяйства по принципу "один сезон под паром, один сезон под дождем".
- Фермеры получают компенсацию в размере 500 юаней/му за сокращение посевных площадей озимой пшеницы и корректировку схем сельхоз посадок с целью сокращения добычи подземных вод (Deng et al. 2021),
- Единая норма компенсации за парование, применяемая в рамках политики сезонного парования, не отражает должным образом механизмы стимулирования в зависимости от региона, а также увеличивает нагрузку на государственные финансы (Yu et al. 2018; Liu et al. 2019).

Научный вклад

➤ Исследование I: Модель компенсации сезонного пара

Было предложено внедрить **регионально дифференцированную компенсацию за парование**, как часть управления подземными водами в Китае.

➤ Исследование II: Оптимальная модель ценообразования на воду

Разработан **рыночный инструмент ценообразования на воду**, который учитывает как чистую стоимость воды, так и затраты на водоснабжение, чтобы сбалансировать синергию между секторами воды, продовольствия и энергетики.

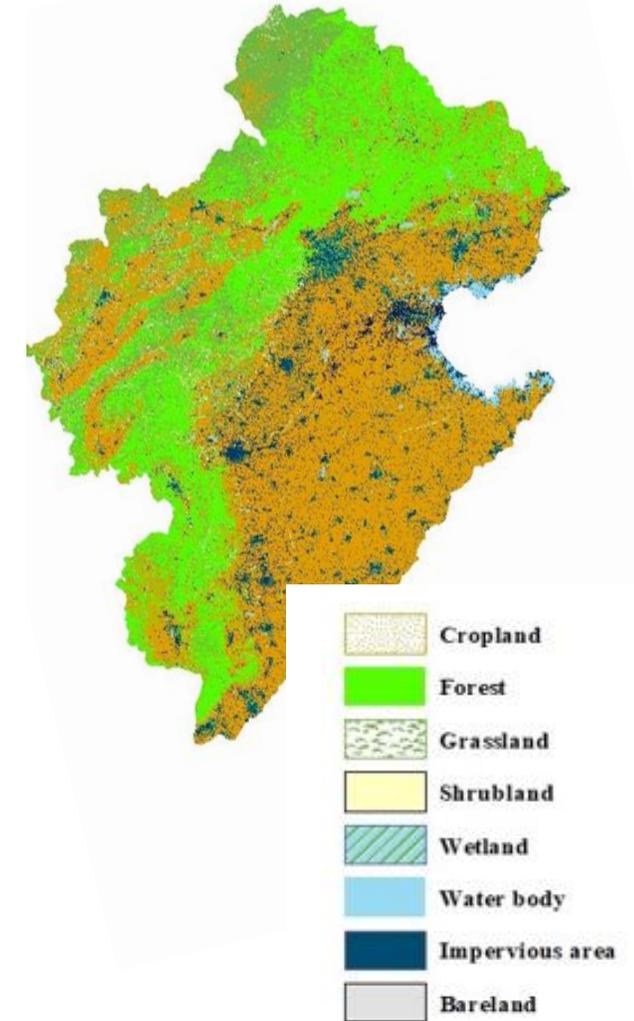
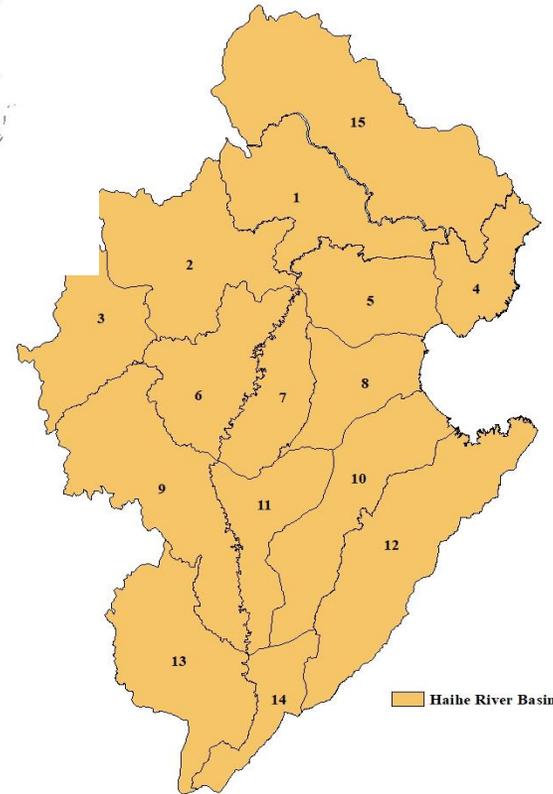
Данные

➤ Экологические данные:

- ❑ Бассейны притока – единицы расчета.
- ❑ Глобальный почвенно-растительный покров (2019).
- ❑ Гидрологические данные с 2011 по 2015 гг.

➤ Статистические данные:

- ❑ Национальное бюро статистики Китая
- ❑ Бюллетень водных ресурсов бассейна реки Хайхэ
- ❑ Местные статистические ежегодники



Данные

➤ Социально-экономические данные:

- ❑ Опрос домашних хозяйств бассейна реки Хайхэ в 2019 г.
- ❑ Данные опроса включают информацию об использовании воды для орошения сельхоз культур, производственных затратах фермеров (включая семена, пестициды, удобрения и рабочую силу), ценах на сельхозпродукцию, ценах на поливную воду, степени чрезмерного забора подземных вод и доле орошаемых площадей, использующих различные источники воды.
- ❑ 15 бассейнов притоков, 588 домашних хозяйств.
- ❑ 84% используют только подземные воды, 15% - только поверхностные воды.



Исследование 1: Оптимизация компенсации за пар

Базовая модель

- Чистый доход от сельхоз. производства
- Забор подземных вод
- Потребность в поливной воде
- Площадь возделываемых земель
- Площадь орошаемых земель



Цель:

**Максимальная
чистая
прибыль
сельхоз.
производства**

Модель компенсации за парование

- **Пространственная дифференцированная экологическая компенсация**
- Сильные ограничения на экономию подземных вод
- Другие ограничения на использование земли и подземных вод

Исследование II: Оптимизация ценообразования на воду

Базовая модель

- Чистый доход от сельхоз. производства
- Забор подземных вод
- Потребность в поливной воде
- Площадь возделываемых земель
- Площадь орошаемых земель



Комплексные цели:

- **Максимальная чистая прибыль сельхоз. производства**
- **Максимальная выгода от экономии воды**
- **Максимальные доходы от использования электроэнергии**

Оптимальная модель ценообразования на воду

- **Скрытая цена на воду**
- **Цена на электроэнергию**
- Сильные ограничения на продовольственную безопасность
- Контроль уровня грунтовых вод
- Цель энергосбережения: сокращение потребления энергии на единицу ВВП на 13,5% к 2025 году.

Результаты: (1) Базовая модель

- Общая посевная площадь четырех основных культур в бассейне реки Хайхэ составляла 12,98 млн га.
- Средняя доля летней кукурузы, озимой пшеницы, товарных культур и овощей составляла 46%, 24%, 5% и 10% соответственно.
- Общая необработанная площадь составляла 134 007 га, что на 0,5% выше фактической площади.

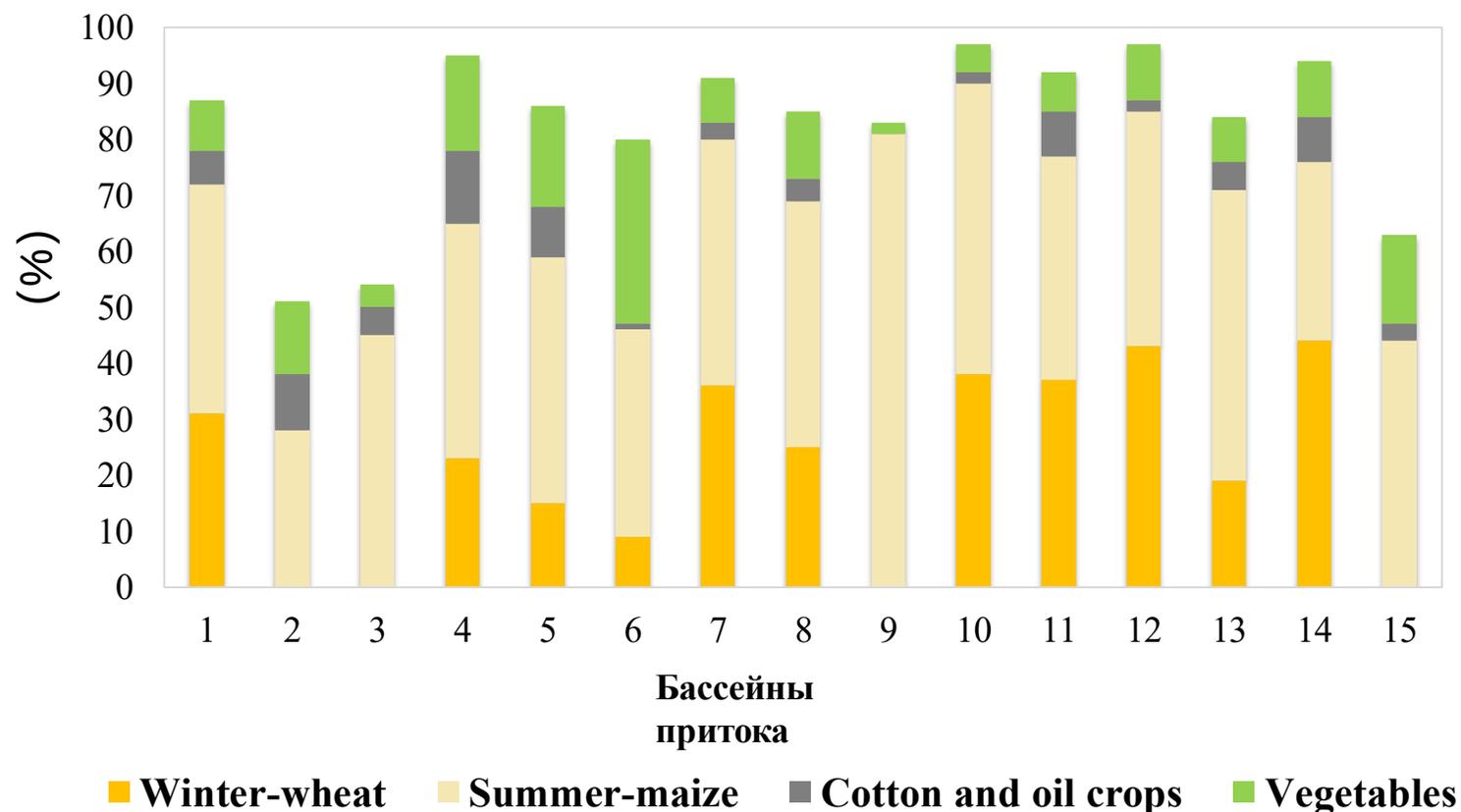


Рисунок 1. Текущая структура посевов



Исследование I: Оптимизация компенсации за пар

ТАБЛИЦА 2. Сравнение модели пространственной оптимизации с базовой моделью

Ид. № бассейна притока	Изменения в результатах оптимизации по сравнению с базовым уровнем (%)					
	Посевная площадь пшеницы	Посевная площадь кукурузы	Посевная площадь хлопчатника и масличных культур	Посевная площадь овощей	Внесение поливной воды	Площадь сезонного пара
1	-33,37	-44,94	446,38	-79,25	-11,60	369,38
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	-24,13	-14,10	7,48	15,75	-0,90	10,70
5	-17,30	-3,20	41,35	-13,32	-4,33	142,81
6	-8,12	-15,35	152,62	6,64	-6,00	318,97
7	-11,73	-22,65	457,26	-62,86	-4,63	266,54
8	-21,06	-13,11	48,48	33,81	-3,86	355,18
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	-25,00	-34,08	557,99	82,44	-5,77	735,97
11	-25,00	-23,96	45,87	78,23	-6,85	718,47
12	-25,00	-25,00	837,60	-76,30	-12,72	853,22
13	-36,12	19,23	-80,00	-80,00	-16,74	515,19
14	-10,74	-10,74	23,60	29,97	-3,10	311,65
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Оптимизация взаимосвязи между подземными водами, продовольствием и энергией и ее последствия

ТАБЛИЦА 3 Региональная дифференцированная схема экологической компенсации за пар

Ид № бассейна притока	Оптимальный норматив компенсации (юань/му)	Оптимальная модель				Базовая модель		
		Оптимальная площадь пара (млн му)	Новая экономия воды (м3/му)	Оптимальная компенсация (100 млн. юаней)	Преыдушая компенсация (100 млн. юаней)	Текущая площадь пара (млн му)	Оптимальная компенсация (100 млн. юаней)	Преыдушая компенсация (100 млн. юаней)
1	276	58,85	93,52	2,41	2,94	11,54	0,47	0,58
4	510	6,70	86,19	0,34	0,34	0,00	0,31	0,30
5	406	43,44	129,58	1,76	2,17	0,00	0,73	0,89
6	689	32,90	101,46	2,82	1,65	6,05	0,67	0,39
7	532	56,51	94,40	3,01	2,83	17,89	0,82	0,77
8	618	66,57	58,72	4,11	3,33	7,85	0,90	0,73
10	589	271,14	53,83	15,97	13,56	15,42	1,91	1,62
11	673	163,07	65,45	10,97	8,15	14,63	1,34	1,00
12	291	428,96	111,63	19,63	21,45	0,00	2,06	2,25
13	218	103,20	178,24	5,19	5,16	32,43	0,84	0,84
14	291	51,42	66,65	1,50	2,57	19,92	0,36	0,62
Всего		1 282,03	101,34	56,29	64,14	200,00	8,91	10,00

Выводы для политики I

- Норматив экологической компенсации за сезонный пар демонстрирует пространственную неоднородность.
- В регионах с высоким чрезмерным забором подземных вод повышение нормы компенсации за пар в качестве стимулирующего механизма может побудить фермеров сократить посевы озимой пшеницы и расширить посевы товарных культур и овощей, обеспечив фермерам доход от производства. В районах с умеренным чрезмерным забором грунтовых вод норма компенсации за пар может быть умеренно снижена, чтобы облегчить задачу по сокращению добычи грунтовых вод, что позволит выращивать зерновые культуры.
- Данное исследование рекомендует политикам учитывать пространственную неоднородность при разработке схем экологической компенсации за сезонное парование, чтобы повысить эффективность и устойчивость политики сезонного парования.



Исследование II: Оптимальная модель ценообразования на воду

Результаты: (1) Ценовая эластичность спроса на воду

ТАБЛИЦА 1. Оценки ценовой эластичности спроса на поливную воду

Спрос на поливную воду (логарифмическое значение) (мз/га)						
	Кукуруза			Пшеница		
	Полная выборка	Поверхностные воды	Грунтовые воды	Полная выборка	Поверхностные воды	Грунтовые воды
Цены на воду (логарифмическое значение) (юань/мз)	-0,3479***	-0,5362***	-0,1240	-0,1822***	-0,3092***	-0,0811***
	(10,05)	(12,97)	(1,39)	(8,31)	(8,78)	(1,93)

- Летняя кукуруза более чувствительна к ценам на воду, чем озимая пшеница.
- Гидрологические данные подтверждают, что в 2015 году летняя кукуруза получила дополнительно 1100 мз осадков на га в течение вегетационного периода по сравнению с озимой пшеницей; следовательно, кукуруза меньше зависит от поливной воды.

Результаты: (2) Оптимальные цены на воду

- MVP составляет от 2,25 до 2,35 юань/м³, что связано с сокращением водопотребления.
- При повышении цен на воду экономится больше воды, чем при текущем заборе.

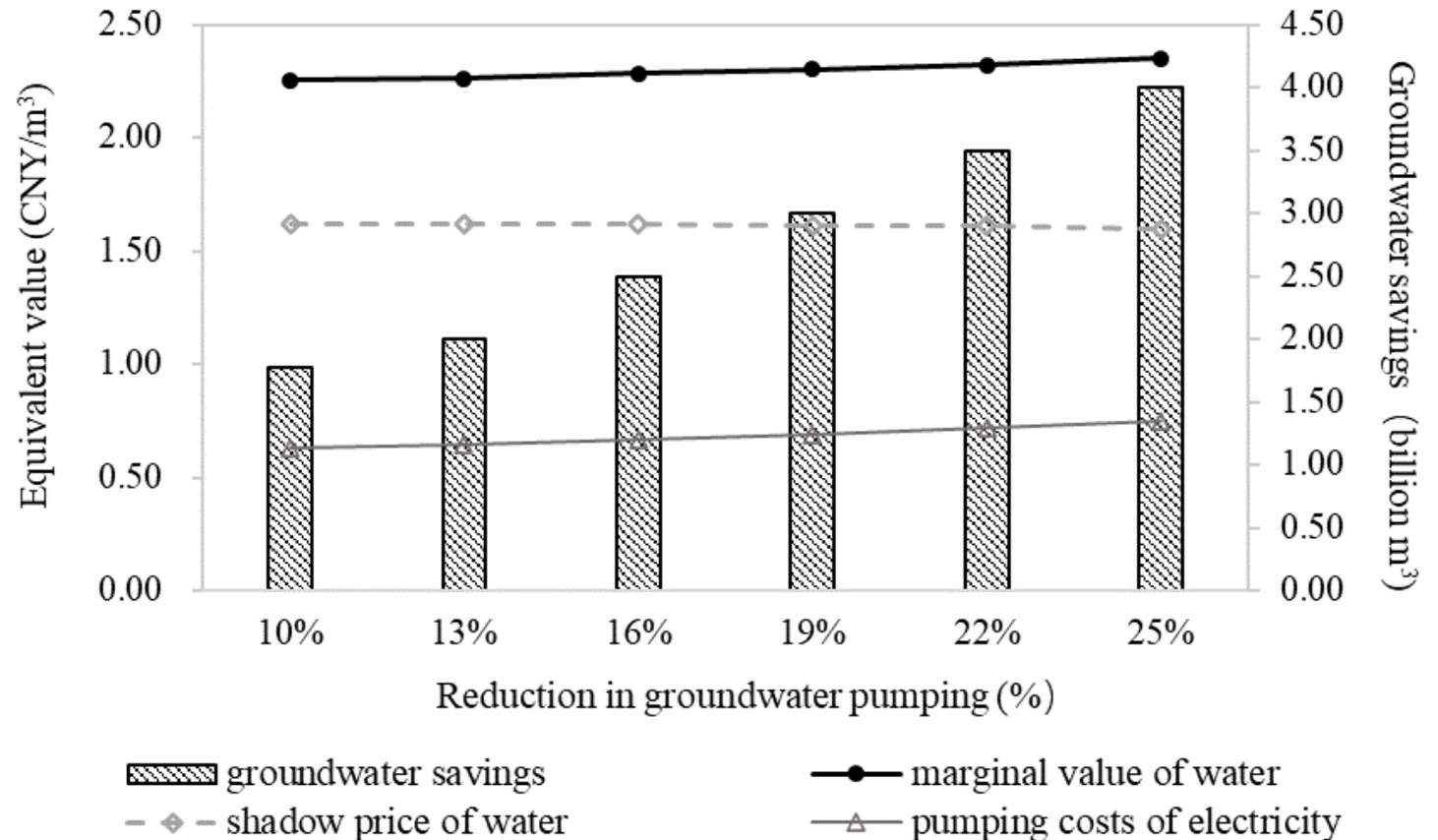


Рисунок 3. Оптимальный по Парето фронт между ценами на воду и сокращением откачки грунтовых вод в HRB.

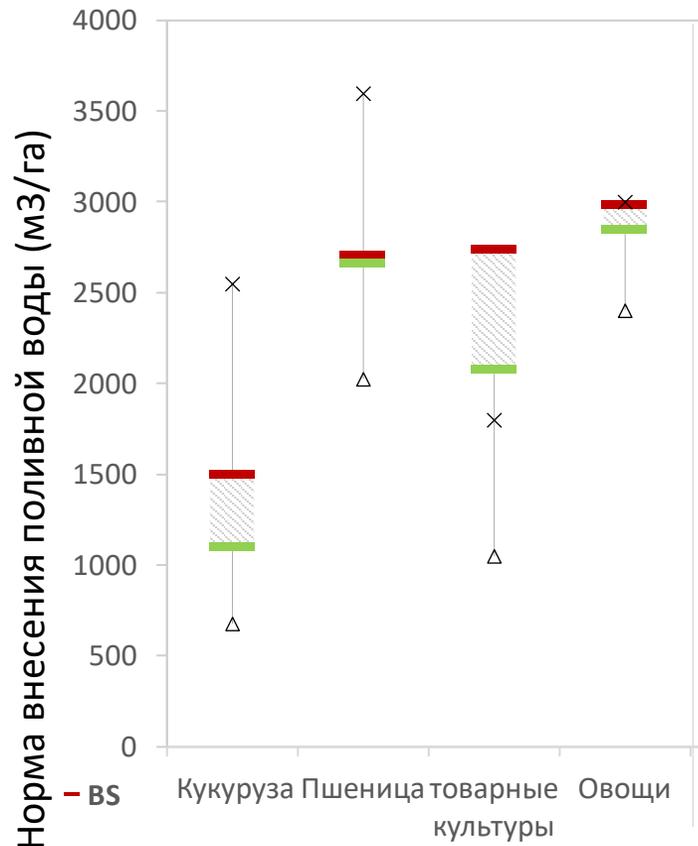
Результаты: (3) Цена на электроэнергию

ТАБЛИЦА 4. Числовые значения переменных, относящихся к энергетическому сектору, полученные в результате моделирования.

Переменные	Базовый уровень	Оптимальный
Цена на электроэнергию (юань/кВт-ч)	0,5	1,23
Общий объем забора подземных вод (млрд. м3)	16	13,5
Общее потребление электроэнергии (млрд кВт-ч)	8,7	7,3
Общий доход от потребления энергии (млрд. юаней)	4,4	8,9

- Потребление электроэнергии для OS при оптимальной цене на электроэнергию сократится на 16%, а общий доход от использования электроэнергии увеличится.

Результаты: (4) Оптимизированная норма внесения воды для орошения



- × Максимальная квота оросительной воды по статистике бассейна
- Δ Минимальная квота оросительной воды по статистике бассейна

- Четыре культуры снижают норму внесения воды на 27% для кукурузы, 2% для пшеницы, 24% для товарных культур и 5% для овощей.
- Товарные культуры демонстрируют большой потенциал для экономии воды, поскольку они требуют меньше воды, чем пшеница и овощи
- Овощи сталкиваются с проблемами в сокращении использования поливной воды при высокой потребности в воде для роста.

Рисунок 4. Эталонные и смоделированные нормы внесения воды

Результаты: (5) Компромиссы в рамках взаимосвязи

- Чистые выгоды от производства продовольствия при оптимальном ценообразовании на воду сократятся на 20-27%, поскольку водопотребление снизится на 11-25% по сравнению с текущими объемами водозабора.
- Кукуруза и овощи потеряют 60% и 20% текущих чистых выгод, соответственно.
- Пшеница потеряет 7% текущей чистой прибыли в связи с соображениями продовольственной безопасности.
- Чистые выгоды от товарных культур увеличатся в среднем на 33%, поскольку будет поощряться выращивание товарных культур.

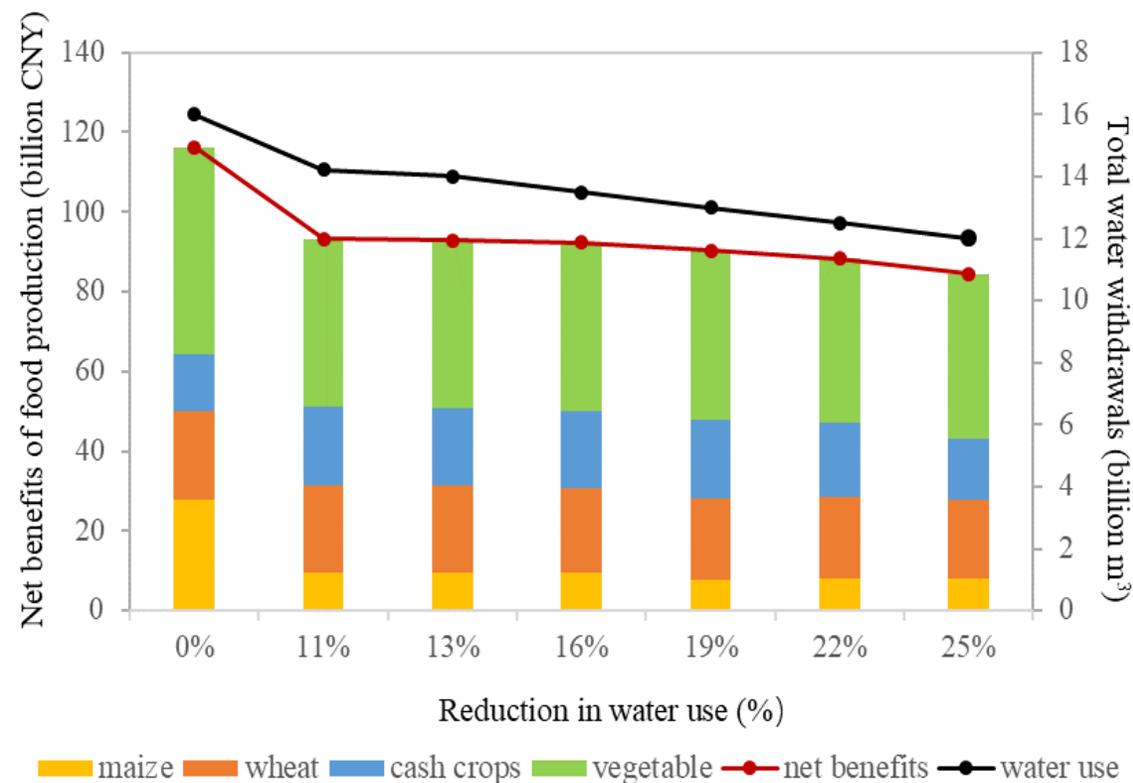


Рисунок 5. Компромиссы в рамках взаимосвязи ВПЭ.

Выводы для политики II

- **Налог на водные ресурсы** в сельхоз. секторе может быть установлен с учетом теневых цен на воду, чтобы отразить издержки, связанные с дефицитом, что может ограничить ирригационное поведение на уровне домашних хозяйств, тем самым экономя грунтовые воды.
- **Увеличение стоимости откачки воды** может снизить забор грунтовых вод и потребление энергии, увеличивая доходы энергетического сектора.
- **Установление оптимальных цен на воду** повлияет на производство продовольствия и приведет к потере некоторых преимуществ:
 - ✓ Сократится площадь орошаемых овощей.
 - ✓ Будет поощряться выращивание товарных культур и кукурузы на богарных землях.
 - ✓ Производство пшеницы может быть обеспечено.
- **Субсидии должны быть рассмотрены в реформе ценообразования на воду** и особенно использованы для компенсации фермерам за изменение структуры посевов на менее водоемкие культуры.