ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК: 338.1
JEL: O31, O33

Моделирование сопряжения экономико-гидрологических решений проблем водных ресурсов между Россией и странами Центральной Азии в условиях глобальных климатических изменений

К.Х. Зоидов, к.ф.-м.н., доцент
https://orcid.org/0000-0002-8474-0895; SPIN-код (РИНЦ): 2293-9802
Scopus author ID: 57190430349
e-mail: *kobiljonz@mail.ru*

Л.О. Круглова
SPIN-код (РИНЦ): 7608-4000
e-mail: *445254@mail.ru*

Для цитирования
Зоидов К.Х., Круглова Л.О. Моделирование сопряжения экономико-гидрологических решений проблем водных ресурсов между Россией и странами Центральной Азии в условиях глобальных климатических изменений // Проблемы рыночной экономики. - 2026. - № 3. - С. 332-353.
DOI: 10.33051/2500-2325-2026-3-332-353

Аннотация
В статье рассматриваются возможности сопряжения экономических и гидрологических решений при регулировании водопользования между Россией и странами Центральной Азии. Исследование охватывает бассейны Амударьи, Сырдарьи и Иртыша, различающиеся условиями формирования стока, структурой водопотребления и характером межгосударственного взаимодействия. ***Цель работы.*** Разработать подход к моделированию водохозяйственных решений, учитывающий природную водность, режим работы водохранилищ, отраслевую структуру водозабора, энергетические потребности, экологические ограничения и стоимость инфраструктурных проектов. ***Методология.*** В исследовании использованы методы историко-экономического анализа, экономико-математического моделирования, теории производственно-технологической сбалансированности экономики, системной парадигмы, эволюционно-институциональной теории, экспертных и аналитических оценок, а также методы сравнительного и динамического анализа, расчёта водохозяйственного баланса, трендового и сценарного прогнозирования, экономической оценки водосбережения и инвестиционных решений. Информационную основу составили данные за 2020–2026 гг. и прогнозы до 2030 г., опубликованные Всемирным банком, Евразийским банком развития, НИЦ МКВК Центральной Азии и Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссией. ***Результаты.*** Установлено, что водные риски определяются не только объёмом речного стока, но и сезонностью его поступления, возможностями регулирования, техническим состоянием каналов и зависимостью национальных экономик от орошаемого земледелия и гидроэнергетики. Выявлено расхождение между установленными лимитами водозабора и фактической доступностью воды, а также сохранение экологического дефицита при неполном использовании разрешённых объёмов. Сценарные расчёты показали, что модернизация оросительной инфраструктуры способна сократить ожидаемый дефицит, однако валовая экономия воды должна корректироваться с учётом возвратного стока, стоимости реконструкции и эксплуатационных

ограничений. Обосновано, что непосредственная гидрологическая связь России наиболее выражена во взаимодействии с Казахстаном по бассейну Иртыша, тогда как сотрудничество с другими государствами Центральной Азии развивается преимущественно через энергетику, финансирование, инженерные услуги и водосберегающие технологии. ***Выводы.*** Предложен подход к построению динамической экономико-гидрологической модели, объединяющей приток, запасы водохранилищ, регулируемые попуски, водозабор, экологические подачи и инвестиционные затраты. Практическое применение модели связано с выбором проектов, обеспечивающих приемлемое распределение водных, энергетических и экономических выгод между государствами при различных сценариях водности.

Ключевые слова*: экономико-математическое моделирование, водные ресурсы, Россия, Центральная Азия, экономико-гидрологическое моделирование, трансграничные реки, Амударья, Сырдарья, Иртыш, водохранилищ, гидроэнергетика, инвестиционные решения, сценарное прогнозирование, межгосударственное сотрудничество.*

Статья подготовлена в рамках государственного задания и выполнения фундаментальных научных исследований ЦЭМИ РАН (тема № FMGF-2024-0019 «Моделирование сценариев сбалансированного пространственно-хозяйственного, научно-технического, транспортно-транзитного и инновационно-индустриального развития экономики России и стран Глобального Юга»).

Modeling the interconnection of economic and hydrological solutions to water resource problems between Russia and the countries of Central Asia in the context of global climate change

Kobiljon Kh. Zoidov, Cand. of Sci. (Phys.&Math.), Associate Professor
https://orcid.org/0000-0002-8474-0895; SPIN-code (RSCI): 2293-9802
Scopus author ID: 57190430349
e-mail: *kobiljonz@mail.ru*

Larisa O. Kruglova
SPIN-code (RSCI): 7608-4000
e-mail: *445254@mail.ru*

For citation
Zoidov K.Kh., Kruglova L.O. Modeling the interconnection of economic and hydrological solutions to water resource problems between Russia and the countries of Central Asia in the context of global climate change // Market economy problems. - 2026. - No. 3. - Pp. 332-353 (In Russian).
DOI: 10.33051/2500-2325-2026-3-332-353

Abstract
The article discusses the possibilities of combining economic and hydrological solutions in regulating water use between Russia and the countries of Central Asia. The study covers the basins of the Amu Darya, Syr Darya and Irtysh, which differ in the conditions of runoff formation, the structure of water consumption and the nature of interstate interaction. ***The purpose of the work.*** To develop an approach to modeling water management solutions that takes into account natural water availability, the mode of operation of reservoirs, the sectoral structure of water intake, energy needs, environmental constraints and the cost of infrastructure projects. ***Methodology.*** The study employs methods of historical and economic analysis, economic and mathematical modeling, the theory of production and technological balance in the economy, the systemic paradigm, evolutionary-institutional theory, expert and analytical assessments, as well as methods of comparative and dynamic

analysis, calculation of the water management balance, trend and scenario forecasting, economic assessment of water conservation, and investment decisions. The information base consisted of data from 2020–2026 and forecasts up to 2030, published by the World Bank, the Eurasian Development Bank, the Research Center for Integrated Water Management of Central Asia, and the Interstate Coordinating Water Management Commission. ***Results.*** It has been established that water risks are determined not only by the volume of river flow but also by the seasonality of its input, the possibilities for regulation, the technical condition of the channels, and the dependence of national economies on irrigated agriculture and hydropower. A discrepancy has been identified between the established water intake limits and the actual water availability, as well as the persistence of ecological deficit due to the incomplete use of the permitted volumes. Scenario calculations have shown that modernization of the irrigation infrastructure can reduce the expected deficit; however, the gross water savings must be adjusted to take into account return flow, the cost of reconstruction, and operational constraints. It has been substantiated that Russia's direct hydrological connection is most pronounced in its interaction with Kazakhstan in the Irtysh basin, while cooperation with other Central Asian states is developing primarily through energy, finance, engineering services, and water-saving technologies. ***Conclusions.*** An approach to constructing a dynamic economic-hydrological model is proposed, combining inflow, reservoir reserves, regulated releases, water withdrawal, environmental flows, and investment costs. The practical application of the model is related to the selection of projects that ensure an acceptable distribution of water, energy, and economic benefits among states under various water availability scenarios.

Keywords: *Economic and mathematical modeling, water resources, Russia, Central Asia, economic and hydrological modeling, transboundary rivers, Amu Darya, Syr Darya, Irtysh, reservoirs, hydropower, investment decisions, scenario forecasting, interstate cooperation.*

The article was prepared within the framework of the state assignment and the implementation of fundamental scientific research at the Central Research Institute of the Russian Academy of Sciences (topic No. FMGF-2024-0019 "Modeling scenarios for balanced spatial, economic, scientific, technical, transport, transit, and innovative industrial development of the economy of Russia and the countries of the Global South").

Введение

В последние десятилетия водохозяйственные системы России и государств Центральной Азии испытывают возрастающее воздействие климатических, демографических и экономических факторов [7-10]. Изменение водности рек, сокращение ледникового питания, увеличение потребностей сельского хозяйства и энергетики, износ гидротехнической и ирригационной инфраструктуры усиливают противоречие между доступным объёмом водных ресурсов и масштабами их использования [6]. Особое значение эта проблема приобретает для трансграничных бассейнов, поскольку решения, принимаемые в верхнем течении рек, отражаются на водоснабжении, энергетике, сельскохозяйственном производстве и экологическом состоянии территорий, расположенных ниже по течению. Непосредственное гидрологическое взаимодействие России со странами Центральной Азии в наибольшей степени проявляется в отношениях с Казахстаном по бассейнам Иртыша, Жайыка, Тобола и Ишима, тогда как сотрудничество с другими государствами региона преимущественно развивается через водно-энергетические, инвестиционные и технологические механизмы [4].

Постановка проблемы исследования

Существующая практика управления водными ресурсами сочетает межправительственные соглашения, бассейновые лимиты, режимы работы водохранилищ и национальные программы модернизации инфраструктуры [12]. Вместе с тем гидрологические и экономические решения

нередко разрабатываются раздельно: прогнозы стока не всегда увязываются с инвестиционными затратами, стоимостью водоснабжения, потерями сельского хозяйства, выработкой электроэнергии и экологическими ограничениями. Такое положение затрудняет сопоставление альтернативных вариантов распределения воды и не позволяет в полной мере оценить последствия принимаемых решений для каждой из сторон. Сопряжённое экономико-гидрологическое моделирование даёт возможность объединить показатели речного стока, запасов и попусков водохранилищ, водозабора, экологической водоподачи, инвестиционных потребностей и отраслевой зависимости экономики. Применение данного подхода позволяет перейти от изолированной оценки отдельных проектов к формированию согласованных сценариев, учитывающих интересы России и стран Центральной Азии, вероятность маловодных периодов, потребности населения и отраслей экономики, а также необходимость сохранения водных экосистем [1].

Методически Россию следует связывать с Казахстаном через бассейны Иртыша, Урала/Жайыка, Тобола и Ишима. Кыргызстан, Таджикистан, Туркменистан и Узбекистан входят в модель через Амударью, Сырдарью, гидроэнергетику, сельское хозяйство, инвестиции и торгово-экономические связи.

Для оценки обеспеченности региона водными ресурсами необходимо сопоставить не только совокупный сток Амударьи и Сырдарьи, но и его распределение между бассейнами. Отдельного внимания заслуживает приток к крупнейшим водохранилищам, поскольку от него зависят возможности регулирования водоподачи в интересах сельского хозяйства, энергетики и экосистем. Динамика соответствующих показателей представлена в таблице 1.

Таблица 1

Формирование стока Амударьи и Сырдарьи в 2020–2025 гг.

Год	Общий сток двух бассейнов, км³	Амударья: опубликованный бассейновый сток, км³	Естественный сток Амударьи у условного Керки, км³	Сырдарья: бассейновый сток, км³	Приток в Токтогул, Андижан и Чарвак, км³	Общая водность, % нормы
2020	96,44	64,20	49,91	32,24	19,38	82
2021	98,49	66,40	52,10	32,09	19,12	84
2022	108,43	68,70	54,40	39,73	23,06	92
2023	106,06	70,78	56,50	35,28	20,76	90
2024	108,24	66,25	56,40	41,99	24,22	91
2025	108,31	75,06	64,42	33,25	19,72	93

Источники: Водохозяйственная обстановка в бассейне Аральского моря в 2020-2025 г. [Электронный ресурс] // Вода в Центральной Азии и мире: ежегодник / НИЦ МКВК Центральной Азии. – URL: https://www.cawater-info.net/yearbook/2020/02_yearbook2020_en.htm (дата обращения: 08.08.2026).

Динамика рассматриваемого периода не подтверждает наличия прямой зависимости между увеличением речного стока и снижением остроты водохозяйственных проблем. После маловодных 2020–2021 гг. совокупная обеспеченность региона действительно улучшилась, однако устойчивого роста не сформировалось. Относительно стабильный общий объём воды в последние годы складывался из разнонаправленного движения двух рек. Поэтому совокупный сток скорее отражает общий гидрологический фон, чем реальную обеспеченность конкретных территорий и отраслей.

Особенно показателен 2025 г. Высокая общая водность была обеспечена преимущественно Амударьёй, тогда как Сырдарья после благоприятного предыдущего года заметно утратила свои позиции. Одновременно сократился приток к водохранилищам, регулирующим водоснабжение и энергетический режим государств верхнего и среднего течения. Возникает ситуация, при которой регион в целом выглядит достаточно обеспеченным водой, но отдельные ирригационные и энергетические системы уже сталкиваются с более жёсткими ограничениями. Именно такая внутренняя несогласованность чаще всего становится причиной споров о распределении ресурсов.

Методы и результаты исследований

Следовательно, при построении экономико-гидрологической модели Амударью и Сырдарью нельзя объединять в один условный источник воды. Для Амударьи определяющим становится объём стока, доходящего до нижнего течения, а для Сырдарьи является возможностью накопления и сезонного перераспределения воды каскадом водохранилищ. Экономические решения по расширению орошения, выработке электроэнергии и финансированию гидротехнических объектов должны проверяться отдельно для каждого бассейна. Иначе благоприятное значение совокупного показателя может создать ложное представление о наличии свободных водных ресурсов. Раздельное рассмотрение гидрологических и экономических показателей не позволяет определить приемлемый режим использования трансграничных водных ресурсов. Фактическая обеспеченность водой зависит не только от объёма притока и накопленных запасов, но и от отраслевого спроса, экологических требований, режима работы водохранилищ и возможностей инфраструктуры. По этой причине моделирование взаимодействия России и стран Центральной Азии должно строиться на сопряжении водного баланса с экономической оценкой принимаемых решений. Структура такого подхода представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Контур сопряжённой экономико-гидрологической модели

Предложенный контур превращает расчёт водного баланса из статической оценки в инструмент последовательного управления. Решение считается обоснованным только тогда, когда оно одновременно учитывает изменение запасов воды, удовлетворение хозяйственного спроса, соблюдение экологических ограничений и возникающие межгосударственные издержки.

Обратная связь при этом обеспечивает корректировку режимов по мере поступления новых гидрологических данных. Для России и стран Центральной Азии такой подход создаёт основу для согласования попусков, инвестиционных проектов и мер водосбережения с учётом их влияния на весь трансграничный бассейн, а не только на отдельную территорию или отрасль.

В экономико-гидрологической модели водохранилище рассматривается не просто как накопитель воды, а как инструмент согласования разных хозяйственных интересов. Через режим притока и попусков связываются производство электроэнергии, обеспечение орошаемого земледелия, водоснабжение территорий и сохранение резерва на случай маловодья. Нурекское, Туямуюнское и Токтогульское водохранилища занимают различное положение в региональной водохозяйственной системе, поэтому сопоставление режимов их работы позволяет увидеть, какие решения обеспечивают текущие потребности за счёт поступающей воды, а какие требуют расходования ранее сформированных запасов. Соответствующие данные представлены в таблице 2.

Таблица 2

Работа ключевых водохранилищ Центральной Азии в 2020–2025 гг., км³

Год	Нурек: приток	Нурек: попуск	Туямуюн: приток	Туямуюн: попуск	Токтогул: приток	Токтогул: попуск	Запас Токтогула на конец года
2020	17,19	17,39	19,71	20,53	11,68	14,41	12,24
2021	19,26	19,03	19,71	18,25	11,59	13,71	10,10
2022	20,87	20,86	18,14	17,26	13,27	12,31	11,06
2023	21,01	21,15	20,08	19,54	12,24	12,86	10,42
2024	20,67	20,50	21,95	21,12	14,20	13,45	11,19
2025	21,15	21,14	20,39	21,61	12,33	13,97	9,48

Источники: Водохозяйственная обстановка в бассейне Аральского моря в 2020-2025 г. [Электронный ресурс] // Вода в Центральной Азии и мире: ежегодник / НИЦ МКВК Центральной Азии. – URL: https://www.cawater-info.net/yearbook/2020/02_yearbook2020_en.htm (дата обращения: 08.08.2026).

Работа Нурекского водохранилища отличалась наиболее устойчивым соотношением притока и попуска. Начиная с 2021 г. расхождения между ними оставались небольшими, что говорит об относительно сбалансированном использовании поступающей воды в пределах годового цикла. Для Таджикистана такой режим поддерживает выработку электроэнергии, однако одновременно сохраняет зависимость нижнего течения Амударьи от решений, принимаемых в верхней части бассейна. Экономический результат работы гидроузла поэтому нельзя оценивать только объёмом произведённой электроэнергии, в расчёт должны входить последствия выбранного режима для орошения и водоснабжения расположенных ниже территорий.

Туямуюнский гидроузел выполнял иную функцию. Расхождение между притоком и попуском в отдельные годы показывает, что водохранилище использовалось для перераспределения воды между периодами различной водности. В 2025 г. попуск снова превысил поступление, то есть часть текущего спроса была покрыта за счёт накопленного ресурса. Ещё более выраженная нагрузка сложилась на Токтогульском водохранилище. Попуски неоднократно превышали приток, а восстановление запасов в относительно благоприятные годы не компенсировало их последующее расходование. Снижение конечного запаса до 9,48 км³ свидетельствует о сокращении резерва, который необходим одновременно для энергетики Кыргызстана и летнего водообеспечения стран нижнего течения Сырдарьи.

Полученные результаты показывают, что сопряжение экономических и гидрологических решений должно строиться вокруг стоимости сохранённого запаса воды, а не только вокруг текущего объёма попуска. Для сотрудничества России со странами Центральной Азии это означает необходимость увязывать инвестиции в модернизацию ГЭС, насосных станций и систем учёта воды с режимами регионального энергетического обмена. Расширение поставок электроэнергии, технологическое участие российских организаций и совместное финансирование инфраструктуры способны снизить потребность в чрезмерных попусках ради

покрытия краткосрочного энергетического дефицита. В модели такие решения следует сравнивать по их совокупному эффекту: доходам энергетики, обеспеченности орошения и изменению стратегического запаса воды.

Для оценки результативности водораспределения недостаточно установить, какая часть утверждённого лимита была фактически использована. Необходимо одновременно учитывать, сколько воды после хозяйственного изъятия поступило в дельтовые и озёрные экосистемы. Такое сопоставление раскрывает противоречие между экономическим использованием стока и экологическими потребностями бассейна: формальное соблюдение лимитов ещё не означает, что нижнее течение получает необходимый объём воды. Динамика водозабора и экологической водоподачи представлена в таблице 3.

Таблица 3

Лимиты водозабора и экологический дефицит в бассейнах Амударьи и Сырдарьи в 2020–2025 гг.

Год	Лимит забора из Амударьи, км³	Фактический забор, км³	Использование лимита, %	Подача в дельту Амударьи, км³	Дефицит до минимума 3,5 км³	Забор из Сырдарьи до Шардары, км³	Приток в Северный Арал, км³
2020	55,00	46,88	85	2,693	0,807	12,41	1,82
2021	55,45	45,14	81	1,604	1,896	13,96	1,20
2022	55,23	44,26	80	2,055	1,445	13,83	0,82
2023	55,17	47,58	86	2,710	0,790	13,65	2,04
2024	55,65	47,99	86	2,588	0,912	13,44	2,60
2025	55,74	48,62	87	2,291	1,209	13,33	1,77

Источник: составлено авторами по данным ежегодника «Вода в Центральной Азии и мире» НИЦ МКВК Центральной Азии за 2020–2025 гг. [1-2,6,14-16].

На протяжении рассматриваемого периода установленный для Амударьи лимит практически не менялся, тогда как фактический водозабор оставался ниже разрешённого уровня. На первый взгляд это может восприниматься как наличие свободного ресурса. В действительности часть лимита не использовалась из-за сезонной нехватки воды, территориальной удалённости потребителей, потерь при транспортировке и ограниченных возможностей водохозяйственной инфраструктуры. Поэтому разницу между лимитом и фактическим забором нельзя автоматически считать резервом, который может быть направлен на новые хозяйственные проекты.

Подача воды в дельту Амударьи ни в одном году не достигла минимально необходимого объёма. Экологический дефицит сохранялся и в периоды сравнительно высокой водности, что указывает уже не только на природные ограничения, но и на сложившийся порядок распределения стока. Потребности сельского хозяйства и населения удовлетворяются раньше, тогда как дельтовые экосистемы получают остаточный объём. Положение Северного Арала также оставалось неустойчивым: снижение забора из Сырдарьи не сопровождалось равномерным увеличением притока. На конечный результат влияли режимы водохранилищ, сроки попусков и потери воды на пути к морю.

Для экономико-гидрологического моделирования экологическая водоподача должна выступать обязательным ограничением, а не величиной, которая определяется после удовлетворения хозяйственного спроса. Это позволяет сравнивать проекты не только по приросту сельскохозяйственного производства или энергетической отдаче, но и по способности высвободить воду для дельты и Аральского моря. В сотрудничестве России со странами Центральной Азии такой подход может применяться при отборе проектов модернизации каналов, цифрового водоучёта и водосберегающего орошения. Экономический эффект этих решений следует определять с учётом предотвращённого экологического ущерба, а не ограничивать расчёт непосредственной прибылью водопользователей.

Данные за 2026 г. требуют разграничения фактической и прогнозной частей. Запасы на начало апреля отражают уже сложившееся состояние водохранилищ, тогда как приток, попуски и конечные объёмы на сентябрь представляют утверждённый режим вегетационного периода.

Такое разделение принципиально для моделирования: прогноз характеризует управленческое решение, но не гарантирует его выполнения, поскольку фактическая водность может оказаться как выше, так и ниже первоначальных ожиданий. Соотношение исходных запасов и планируемых режимов работы представлено в таблице 4.

Таблица 4

Фактические запасы и официальный режим работы ключевых водохранилищ Центральной Азии на вегетационный период 2026 г., км³

Водохранилище	Запас на 01.04.2026, Ф	Приток апрель–сентябрь, П	Попуск апрель–сентябрь, П	Запас на конец сентября, П
Нурекское	6,470	15,988	12,480	10,554
Туямуюнское	3,005	15,779	15,274	3,510
Токтогульское	7,104	9,827	5,837	11,080
Бахри-Точик	3,404	5,164	5,975	1,609
Шардаринское	5,153	2,846	5,623	1,064
Чарвакское	0,646	4,594	3,643	1,570
Андижанское	1,166	2,376	2,587	0,947

Примечание: Ф – фактическое значение; П – официальный прогнозный показатель.
Источник: составлено авторами по данным Бюллетеня МКВК № 116 за апрель 2026 г. [4].

Начало 2026 г. показало различное положение двух основных бассейнов. Амударья подошла к вегетационному периоду с заметным отклонением от нормальной водности, тогда как фактический приток в бассейне Сырдарьи оказался выше предварительного прогноза. Это расхождение подтверждает, что единый сценарий для всей Центральной Азии не отражает реального распределения водных рисков. Даже сравнительно благоприятная обстановка на Сырдарье не компенсирует ограничений, возникающих в системе Амударьи, поскольку вода между этими бассейнами практически не перераспределяется.

Утверждённый режим предусматривает разные функции водохранилищ. Нурекское и Токтогульское должны завершить вегетацию с более крупными запасами, чем имелись в начале апреля. Тем самым создаётся резерв для последующего энергетического периода и возможного маловодья. Иная нагрузка возложена на Бахри-Точик, Шардаринское и Андижанское водохранилища: запланированные попуски превышают ожидаемый приток, а значит, часть накопленной воды будет направлена на текущие нужды орошения и нижнего течения. Наиболее напряжённым выглядит режим Шардаринского водохранилища, которое к концу сентября должно сохранить лишь небольшую часть первоначального запаса. Подобная схема позволяет обеспечить сезонный спрос, но одновременно сокращает возможность реагирования на последующее отклонение фактического притока от прогноза.

В экономико-гидрологической модели официальный режим 2026 г. целесообразно использовать как базовый сценарий, дополнив его вариантами маловодного и повышенного притока. Это позволит определить, при каком отклонении водности потребуется сокращать орошение, пересматривать выработку электроэнергии или расходовать стратегические запасы. Россия непосредственно не участвует в распределении стока Амударьи и Сырдарьи, однако может влиять на экономическую сторону принимаемых решений через энергетический обмен, финансирование модернизации гидроузлов, поставку оборудования и развитие систем прогнозирования. Поэтому сопряжение интересов должно строиться не вокруг передачи прав на воду, а вокруг снижения зависимости стран региона от вынужденных попусков и дефицита регулирующих мощностей.

Межстрановое сопоставление водопользования требует одновременного учёта абсолютного водозабора, нагрузки на доступные ресурсы и отраслевой структуры потребления. Сам по себе крупный объём забранной воды ещё не свидетельствует о дефиците, если страна располагает достаточной ресурсной базой. И наоборот, сравнительно небольшой водозабор может создавать критическую нагрузку при ограниченном внутреннем стоке и высокой зависимости от трансграничных рек. Соответствующие показатели представлены в таблице 5.

Таблица 5

Сопоставимые показатели водопользования в России и странах Центральной Азии в 2020–2022 гг.

Страна	Водозабор 2020, млрд м³	2021	2022	Водный стресс 2022, %	Сельское хозяйство в водозаборе 2022, %	Расчётный сельхозводозабор 2022, млрд м³
Россия	64,820	64,820	64,820	4,122	28,757	18,640
Казахстан	24,585	24,517	24,966	34,627	56,747	14,167
Кыргызстан	7,707	7,707	7,707	50,039	92,689	7,144
Таджикистан	10,602	10,602	10,602	69,943	74,525	7,901
Туркменистан	26,245	26,245	26,245	135,214	92,749	24,342
Узбекистан	50,000	42,500	42,900	123,028	92,135	39,526

Источник: составлено авторами по данным World Development Indicators Всемирного банка и FAO AQUASTAT [5].

Примечание: сельскохозяйственный водозабор рассчитан автором как произведение общего водозабора и доли сельского хозяйства. Повторение отдельных значений по годам может быть связано с переносом последней доступной оценки FAO AQUASTAT и не всегда означает фактическое отсутствие изменений.

Сопоставление стран показывает, что абсолютный объём водозабора и реальная напряжённость водохозяйственного баланса не совпадают. Россия забирает больше воды, чем любая отдельная страна Центральной Азии, но её водный стресс остаётся минимальным. Туркменистан и Узбекистан, напротив, используют значительно меньшие объёмы, однако нагрузка на доступные ресурсы превышает 100%. Следовательно, проблема заключается не столько в размере водопотребления, сколько в соотношении хозяйственного спроса с собственным и поступающим из-за границы стоком. Казахстан занимает промежуточное положение: его ресурсная обеспеченность заметно выше, чем у государств нижнего течения Амударьи, но зависимость отдельных регионов от трансграничной воды сохраняется. Водохозяйственное взаимодействие России со странами Центральной Азии складывается по двум различным направлениям. В отношениях с Казахстаном оно имеет непосредственную бассейновую основу, поскольку государства совместно используют ресурсы Иртыша, Урала, Тобола и Ишима. Связи с Кыргызстаном, Таджикистаном, Туркменистаном и Узбекистаном формируются преимущественно через энергетику, инвестиционное финансирование, поставку оборудования и внедрение водосберегающих технологий. Такое разграничение позволяет точнее определить инструменты сопряжения экономических и гидрологических решений, представленные на рисунке 2.

Представленная схема показывает, что единый подход к водохозяйственному сотрудничеству России со всеми странами Центральной Азии был бы недостаточно обоснованным. В российско-казахстанском контуре первостепенное значение имеют согласование режимов трансграничных рек, обмен гидрологическими данными и совместное управление паводковыми и маловодными периодами. Во взаимодействии с другими государствами региона больший результат способны обеспечить инвестиционные, энергетические и технологические механизмы. Вместе с тем оба контура зависят от процессов, происходящих за пределами рассматриваемых двусторонних отношений, включая изменение климата и увеличение водозабора в верховьях трансграничных рек. Поэтому экономико-гидрологическая модель должна объединять данные, инвестиционные решения и распределение трансграничных эффектов в общей системе межгосударственного согласования.

Основная уязвимость Центральной Азии связана со структурой потребления. В Кыргызстане, Туркменистане и Узбекистане на сельское хозяйство приходится более 90% водозабора, поэтому даже небольшое снижение водности непосредственно затрагивает посевные

площади, урожайность и доходы сельского населения. Показателен и другой момент: расчётный сельскохозяйственный водозабор Узбекистана и Туркменистана превышает российский, хотя общий объём используемой Россией воды существенно больше. Это означает, что наибольший потенциал экономии находится не в коммунальном секторе, а в модернизации орошения, сокращении потерь в каналах и пересмотре структуры водоёмких культур.

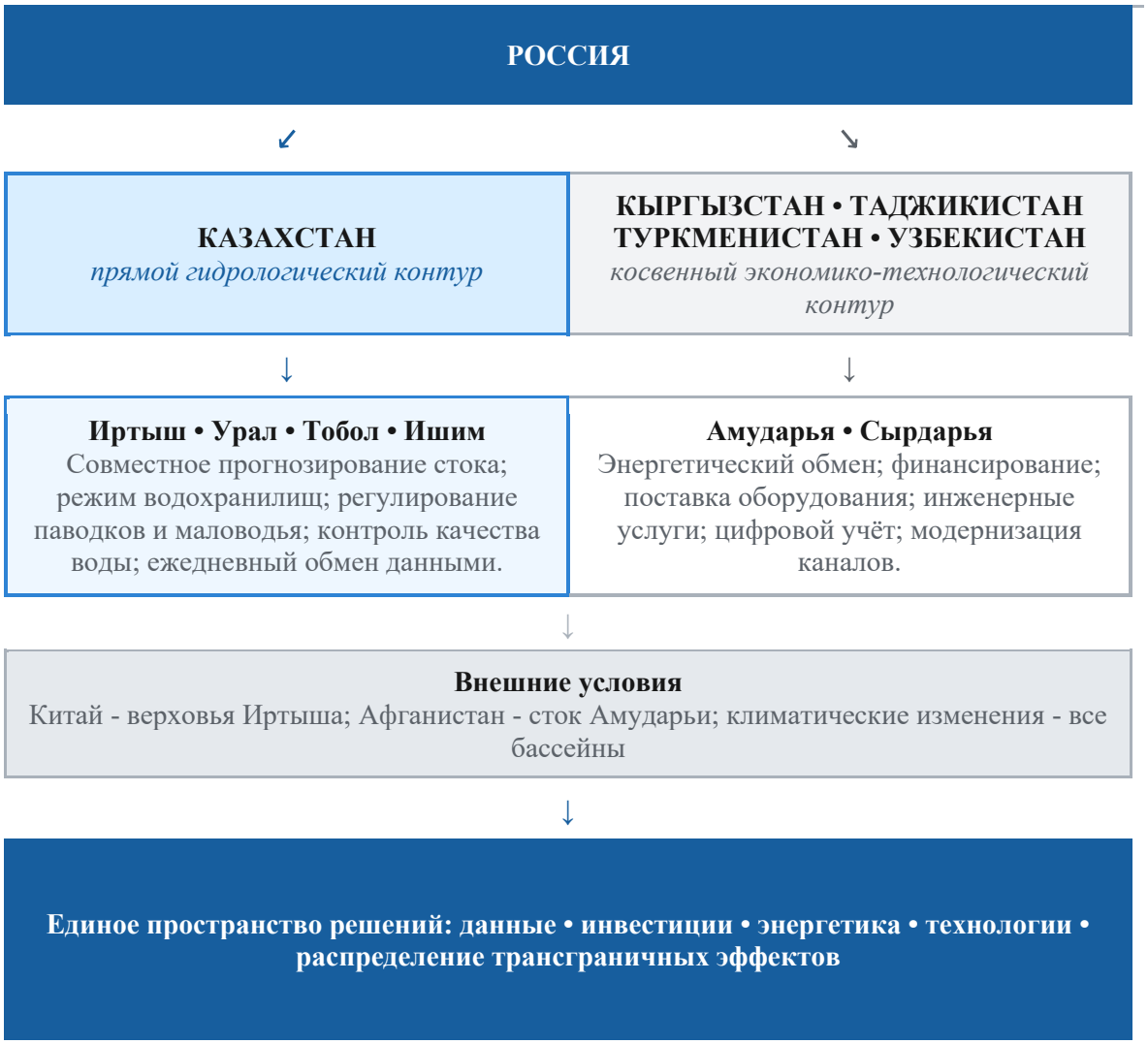

Рис. 2. Контуры водохозяйственного взаимодействия России и стран Центральной Азии

Для моделирования российско-центральноазиатского взаимодействия данные показатели следует использовать совместно. Водный стресс характеризует степень ограничения, доля сельского хозяйства, т.е. чувствительность экономики, а абсолютный водозабор позволяет оценить возможный эффект водосберегающих решений. Различия между Россией и странами региона создают основу не для механического перераспределения воды, а для инвестиционного и технологического сотрудничества. Российское участие может быть связано с модернизацией ирригационных систем, энергетическим обеспечением насосных станций, цифровым учётом и замещением части водоёмкого производства торговыми поставками. В модели такие решения необходимо сравнивать по объёму высвобождаемой воды, стоимости проекта и изменению сельскохозяйственного результата.

Доля сельского хозяйства в ВВП показывает, насколько сокращение водообеспеченности способно выйти за пределы водохозяйственного сектора и повлиять на экономику страны. Чем выше значение показателя, тем сильнее изменения речного стока, режимов орошения и запасов

водохранилищ отражаются на производстве, доходах населения и региональной занятости. Вместе с тем снижение доли не всегда означает уменьшение физической потребности в воде: оно может быть связано с более быстрым ростом промышленности и сферы услуг. Динамика показателя представлена в таблице 6.

Таблица 6

Зависимость экономики России и стран Центральной Азии от сельского, лесного хозяйства и рыболовства в 2020–2025 гг., % ВВП

Страна	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Россия	4,006	3,672	3,419	3,019	2,906	3,057
Казахстан	5,391	5,030	5,247	3,825	3,882	3,744
Кыргызстан	12,170	12,412	10,997	9,492	8,622	7,999
Таджикистан	22,690	22,449	22,935	22,859	23,055	23,850
Туркменистан	11,584	11,935	11,066	11,769	12,167	12,356
Узбекистан	21,571	21,402	20,386	19,662	17,730	16,560

Источник: составлено авторами по данным World Bank Open Data: Agriculture, Forestry, and Fishing, Value Added (% of GDP) [9].

Страны заметно различаются по тому, какое место сельское хозяйство занимает в формировании их экономики. В России и Казахстане его вклад относительно невелик, поэтому локальный дефицит воды не приводит к сопоставимому сокращению ВВП на национальном уровне, хотя последствия могут быть серьёзными для отдельных аграрных территорий. В Таджикистане сельское хозяйство сохраняет системообразующее положение, причём его доля не сокращается, а остаётся около четверти экономики. Это делает страну особенно чувствительной к изменению стока, ограничениям орошения и режимам работы Нурекского водохранилища.

Снижение показателя в Кыргызстане и Узбекистане не может рассматриваться как прямое свидетельство уменьшения водной зависимости их экономик. Доля отрасли сокращается не только при снижении сельскохозяйственного производства, но и вследствие опережающего роста промышленности и сферы услуг. При этом сельское хозяйство обеих стран по-прежнему формирует основную часть спроса на воду, поэтому структурное снижение его вклада в ВВП сочетается с сохранением высокой нагрузки на водные ресурсы. Таким образом, наиболее напряжённое положение возникает там, где значительная роль сельского хозяйства соединяется с ограниченностью ресурсов и преобладанием ирригационного водозабора.

В экономико-гидрологической модели долю сельского хозяйства следует использовать как показатель экономической уязвимости, но не как самостоятельную оценку ущерба. Её необходимо связывать с водным стрессом, объёмом сельскохозяйственного водозабора, площадью орошаемых земель и возможностью замещения водоёмких культур. Для России различия в структуре экономик открывают несколько направлений взаимодействия со странами Центральной Азии: участие в модернизации ирригации, поставки оборудования, развитие менее водоёмких производств и расширение продовольственной торговли. Эффект таких решений должен оцениваться по тому, насколько они позволяют сохранить сельскохозяйственную добавленную стоимость при сокращении расхода воды.

Гидроэнергетика образует прямую связь между состоянием водных ресурсов и результатами работы национальной экономики. Для стран, где ГЭС обеспечивают основную часть производства электроэнергии, изменение притока отражается не только на энергетической безопасности, но и на режиме водохранилищ, от которого зависит орошение расположенных ниже территорий. Поэтому доля гидроэнергии позволяет оценить, насколько энергетические решения страны связаны с распределением трансграничного стока. Фактические и расчётные значения показателя представлены в таблице 7.

Таблица 7

Гидроэнергетическая зависимость России и стран Центральной Азии в 2020–2025 гг., % общей выработки электроэнергии

Страна	2020	2021	2022	2023	2024, расч.	2025, расч.
Россия	19,675	18,664	17,318	17,418	16,240	15,428
Казахстан	8,711	8,002	8,103	7,755	7,451	7,174
Кыргызстан	90,749	85,593	85,924	86,703	84,291	83,110
Таджикистан	90,114	90,043	92,704	94,378	95,673	97,218
Туркменистан	0,012	0,018	0,015	0,015	0,017	0,017
Узбекистан	7,517	6,967	8,730	9,337	9,944	10,666

Источник: фактические значения за 2020–2023 гг. составлены по данным World Bank Open Data: Electricity Production from Hydroelectric Sources (% of Total); значения за 2024–2025 гг. рассчитаны авторами методом линейной экстраполяции тренда.

Страны региона образуют две принципиально разные группы. Для Кыргызстана и Таджикистана гидроэнергетика остаётся основой электроэнергетического баланса, поэтому объём воды в водохранилищах фактически определяет возможности национальной генерации. Россия, Казахстан и Узбекистан располагают более диверсифицированной структурой производства электроэнергии, а Туркменистан практически не зависит от ГЭС. Из этого различия возникает несовпадение хозяйственных интересов: государствам верхнего течения вода нужна для производства электроэнергии, тогда как расположенным ниже странам она требуется прежде всего в период сельскохозяйственного орошения.

Расчётный тренд указывает на дальнейшее усиление гидроэнергетической зависимости Таджикистана. В Кыргызстане её уровень может несколько снизиться, но всё равно останется достаточно высоким, чтобы водность рек продолжала определять устойчивость энергоснабжения. В России и Казахстане доля ГЭС постепенно сокращается, а в Узбекистане, напротив, формируется умеренный рост. Эти значения отражают инерционное продолжение динамики 2020–2023 гг., а не официальный прогноз. Они не учитывают ввод новых электростанций, изменение топливного баланса и возможное влияние маловодных лет.

Для сопряжения экономических и гидрологических решений определяющее значение имеет не сама доля гидроэнергии, а возможность компенсировать её сезонные колебания другими источниками генерации и межгосударственными перетоками. Расширение энергетического обмена с участием России и Казахстана способно уменьшить необходимость чрезмерных зимних попусков из водохранилищ Кыргызстана и Таджикистана, сохранив больше воды для летнего орошения. В модели такой эффект следует оценивать через сопоставление стоимости поставленной электроэнергии, изменения выработки ГЭС и объёма воды, сохранённого для последующего хозяйственного использования.

Сценарный подход позволяет оценить не единственное предполагаемое значение водопотребления, а диапазон возможной нагрузки на водные ресурсы Центральной Азии. Нижняя граница отражает относительно сдержанный рост спроса, базовым вариантом является наиболее вероятное продолжение сложившихся тенденций, а верхняя граница характеризует ускоренное увеличение потребностей населения, сельского хозяйства и промышленности. Расчёт не заменяет отсутствующие фактические данные за 2021–2025 гг., а задаёт три траектории движения от исходного уровня 2020 г. к прогнозным значениям 2030 г.

Таблица 8

Сценарный прогноз водопотребления Центральной Азии в 2026–2030 гг., км³

Год	Низкий сценарий, +5% к 2030	Базовый, +7,5%	Высокий, +10%
2020, Ф	127,3	127,3	127,3
2026, Р	131,1	132,9	134,8
2027, Р	131,7	133,9	136,1
2028, Р	132,4	134,9	137,4
2029, Р	133,0	135,9	138,7
2030, Р	133,7	136,8	140,0

Примечание: Ф – фактическое значение; Р – расчётное значение.

Источник: составлено авторами на основе прогнозного диапазона Евразийского банка развития [13].

Расчёт выполнен экспоненциальной интерполяцией:

$$W_t = 127{,}3(1+g)^{t-2020},$$

где g - обеспечивает рост за 2020–2030 гг. соответственно на 5%, 7,5% и 10%.

Все три сценария предполагают усиление нагрузки на водохозяйственную систему региона. Различия между ними в первые годы выглядят умеренными, однако по мере приближения к 2030 г. разрыв увеличивается. При высоком сценарии дополнительная потребность достигает 12,7 км³ относительно исходного уровня, что сопоставимо с верхней границей ожидаемого регионального дефицита воды. Следовательно, выбор сценария способен изменить не только величину будущей нехватки ресурса, но и требования к масштабам модернизации водохозяйственной инфраструктуры.

Даже низкий сценарий нельзя рассматривать как благоприятный сам по себе. К 2028 г. прирост водопотребления по этой траектории превышает 5 км³, тогда как ЕАБР оценивает возможный хронический дефицит региона в 5–12 км³. При одновременном росте спроса и сокращении доступного стока проблема не решается простым расширением водозабора. Увеличение подачи одному потребителю будет означать сокращение ресурса для другого либо усиление экологического дефицита. Поэтому центральным направлением должно стать снижение водоёмкости производства, прежде всего в орошаемом сельском хозяйстве.

В экономико-гидрологической модели рассчитанные траектории следует использовать как варианты внешней нагрузки на бассейны Амударьи и Сырдарьи. Для каждого сценария необходимо определить затраты на водосбережение, возможные потери сельского хозяйства, изменение выработки ГЭС и потребность в новых инфраструктурных проектах. Участие России может быть связано с финансированием модернизации каналов и гидроузлов, поставкой водоучётного и насосного оборудования, а также развитием энергетического обмена. Предпочтительным станет решение, которое позволит удержать экономический результат при меньшем приросте водозабора, а не вариант, основанный на постоянном вовлечении дополнительных объёмов воды.

Увеличение водозабора не может оставаться основным способом покрытия растущих потребностей Центральной Азии, поскольку доступный сток уже распределён между хозяйственными и экологическими направлениями. Более реалистичный резерв находится внутри действующей системы, он проявляется в сокращении потерь при транспортировке воды к орошаемым землям. Сценарный расчёт позволяет сопоставить возможный объём экономии с ожидаемым дефицитом и определить, при какой глубине модернизации водохозяйственный эффект становится заметным для всего региона.

Таблица 9

Сценарная оценка экономии воды при снижении потерь в оросительных каналах Центральной Азии

Сценарий	Потери в каналах	Расчётная валовая экономия, км³/год	Результат относительно дефицита 5–12 км³
Инерционный	40%	0	дефицит 5–12
Умеренный	30%	10,04	остаточный дефицит до 1,96
Ускоренный	25%	15,06	дефицит перекрывается; резерв 3,06–10,06
Глубокая модернизация	20%	20,08	резерв 8,08–15,08

Источник: рассчитано авторами по данным Евразийского банка развития об объёме ирригационного водопотребления и потерях воды в каналах [13].

Приведённые результаты показывают масштаб внутреннего резерва ирригационной системы, но не означают, что вся расчётная экономия может быть сразу направлена новым потребителям. Уже умеренное снижение потерь способно арифметически компенсировать

большую часть прогнозируемого дефицита. Однако часть воды, считающейся потерянной, возвращается в реки, грунтовые горизонты и коллекторно-дренажную сеть. Поэтому для оценки фактического результата необходимо отделять безвозвратные потери от возвратного стока и определять, какой объём действительно становится доступным для повторного использования.

Углубление модернизации связано с нелинейным увеличением затрат. Первоначальный эффект может быть получен за счёт ремонта наиболее повреждённых участков, расчистки каналов, устранения утечек и установки приборов учёта. Переход к потерям на уровне 20–25% потребует уже другого масштаба работ: бетонирования и перевода части сети в закрытые трубопроводы, обновления насосных станций и внедрения автоматизированного управления подачей. Поэтому экономически предпочтительным не всегда будет вариант с наибольшей технической экономией. Решение должно определяться стоимостью высвобождённого кубометра воды и сроком окупаемости вложений.

В рамках сопряжённой модели экономический блок должен включать капитальные и эксплуатационные расходы, экономию электроэнергии на перекачке и предотвращённые потери сельского хозяйства, а гидрологический составляет фактически сохранённый объём воды с учётом возвратного стока. Для сотрудничества России со странами Центральной Азии данный сценарий открывает практическое направление: совместное производство ирригационного оборудования, поставку насосной техники, цифровых систем учёта и участие в финансировании реконструкции каналов. Сравнение таких проектов по стоимости реально сбережённой воды позволит перейти от общей постановки проблемы к выбору конкретных экономико-гидрологических решений.

Бассейн Иртыша представляет одно из наиболее наглядных направлений непосредственного гидрологического взаимодействия России и Казахстана. Его особенность заключается в последовательном расположении трёх государств: сток формируется в Китае, проходит через территорию Казахстана и затем поступает в Россию. Поэтому изменение водозабора или режима регулирования в верхней части бассейна способно повлиять на водоснабжение, промышленность, энергетику и состояние экосистем ниже по течению. Прогнозные изменения стока на основных гидропостах представлены в таблице 10.

Таблица 10

Прогноз изменения стока Иртыша в зоне интересов России и Казахстана к 2030 г.

Гидропост	2020, км³	Прогноз 2030, км³	Расчётное изменение 2020–2030, км³	Изменение, %
Боран – приток Кара-Ертиса из Китая	8,32	5,82	−2,50	−30,0
Новая Станица, Россия	25,31	26,17	+0,86	+3,4
Омск, Россия	27,72	27,61	−0,11	−0,4
Екатеринское, Россия	29,69	30,85	+1,16	+3,9
Тобольск, Россия	68,15	68,13	−0,02	−0,03
Ханты-Мансийск, Россия	91,54	94,11	+2,57	+2,8

Источник: составлено и рассчитано авторами по данным Евразийского банка развития [11].

Основной риск формируется в верхней части бассейна, где прогнозируется сокращение притока Кара-Ертиса из Китая примерно на треть. Далее по течению это снижение частично компенсируется местным стоком и притоками других рек, поэтому на российских гидропостах не возникает такого же резкого падения. Однако подобная компенсация не устраняет проблему для Казахстана и Омской области. Вода поступает неравномерно по территории и сезонам, а увеличение объёма в нижней части бассейна не может восполнить нехватку, уже возникшую выше по течению.

Почти неизменный среднегодовой сток у Омска также не следует воспринимать как отсутствие риска. Годовой показатель сглаживает периоды летнего маловодья, когда потребности населения, промышленности и судоходства наиболее чувствительны к снижению уровня реки. Кроме того, уменьшение объёма воды при сохранении сброса загрязняющих веществ ухудшает способность реки к самоочищению. Следовательно, экономические последствия могут проявиться раньше, чем заметное сокращение среднегодового стока: через

рост затрат на водоподготовку, ограничения водозабора и ухудшение условий эксплуатации инфраструктуры.

Экономико-гидрологическая модель Иртыша должна быть построена по отдельным участкам реки, а не по конечному объёму стока. В ней необходимо связать китайский водозабор, режим казахстанских водохранилищ и каналов, поступление воды на российскую территорию и потребности Омского региона. Практическим результатом такого моделирования может стать обоснование минимального гарантированного стока на межгосударственных створах, согласованных режимов водохранилищ и механизма распределения затрат на совместный мониторинг. Для России и Казахстана это позволит сопоставить экономическую выгоду от дополнительного использования воды в верхнем течении с ущербом, который возникает у потребителей и экосистем ниже по реке.

Технические решения в водном секторе приобретают практическое значение только при наличии источников их финансирования. Износ сетей, недостаточная мощность очистных сооружений и потери при транспортировке воды требуют продолжительных капитальных вложений, тогда как бюджетные возможности стран Центральной Азии существенно различаются. Сопоставление инвестиционной потребности с уже ожидаемым финансированием позволяет определить, в каких странах нехватка средств становится самостоятельным ограничением водной безопасности.

Таблица 11

Прогноз потребности и дефицита финансирования водоснабжения и водоотведения в странах Центральной Азии в 2025–2030 гг., млн долл. США

Страна	Потребность	Ожидаемое финансирование	Дефицит	Среднегодовой дефицит	Покрытие потребности
Казахстан	7 500	3 300	4 200	700	44,0%
Кыргызстан	1 500	768	732	122	51,2%
Таджикистан	1 680	426	1 254	209	25,4%
Туркменистан	2 700	1 800	900	150	66,7%
Узбекистан	10 800	5 844	4 956	826	54,1%
Центральная Азия	24 180	12 138	12 042	2 007	50,2%

Источник: составлено и рассчитано авторами по данным Евразийского банка развития, представленным в докладе «Питьевое водоснабжение и водоотведение в Центральной Азии».

Показатели охватывают питьевое водоснабжение и водоотведение и не характеризуют совокупную потребность в инвестициях в ирригацию, гидроэнергетику и гидротехнические сооружения.

Ожидаемые финансовые ресурсы покрывают лишь половину потребности региона. Такой разрыв означает не только перенос сроков строительства новых объектов, но и дальнейшее накопление износа действующих сетей. При недостаточном ремонте увеличиваются утечки, расходы на аварийное восстановление и себестоимость подачи воды. В результате финансовый дефицит постепенно преобразуется в физические потери ресурса, а затем в дополнительные затраты населения, предприятий и государственных бюджетов.

Распределение дефицита между странами неодинаково. На Казахстан и Узбекистан приходится основная его сумма, что объясняется масштабом населения, инфраструктуры и планируемых работ. В Таджикистане абсолютная потребность ниже, но обеспеченность финансированием наиболее слабая: заявленные средства покрывают лишь около четверти необходимого объёма. Более высокий показатель покрытия в Туркменистане также не означает полного решения проблемы, поскольку треть потребности остаётся без подтверждённого источника. Поэтому сравнивать страны только по размеру дефицита недостаточно, необходимо учитывать долю обеспеченных расходов и исходное состояние сетей.

В экономико-гидрологической модели финансирование должно выступать ограничением, определяющим скорость реализации водосберегающих решений. Проекты целесообразно отбирать по стоимости сокращения потерь, числу обеспеченных водой жителей, экономии электроэнергии и предотвращённому экологическому ущербу. Россия может участвовать в

закрытии инвестиционного разрыва через институты развития, государственно-частное партнёрство, поставки оборудования и инженерные услуги. Такое участие будет результативным, если направлять средства не на изолированное строительство объектов, а на проекты, одновременно уменьшающие потери воды, энергозатраты и эксплуатационные расходы.

Инвестиционные проекты в бассейне Иртыша нельзя оценивать только по их стоимости или планируемой мощности. Строительство ГЭС и водохранилищ изменяет сезонное распределение стока, реконструкция каналов влияет на объём изъятия воды, а гидроузлы и шлюзы одновременно решают водохозяйственные, энергетические и транспортные задачи. Поскольку решения, принимаемые в Казахстане, отражаются на состоянии реки в России, отбор проектов требует сопоставления национального экономического эффекта с трансграничными гидрологическими последствиями.

Таблица 12

Инвестиционные решения в бассейне Иртыша, затрагивающие интересы России и Казахстана

Проект	Срок	Стоимость	Гидрологический/экономический эффект
Вторая очередь Шульбинской ГЭС	2020–2030	450 млрд тенге	+348 МВт; полезный объём водохранилища увеличивается с 1,8 до 7,1 км³
Семипалатинская ГЭС	2020–2030	420 млрд тенге	300 МВт; контррегулирование стока, управление паводками и уровнями у Омска
Модернизация канала Иртыш–Караганда	2025–2029	80,5 млрд тенге	ремонт насосов и сетей при износе оборудования около 90%
Красногорский гидроузел, Омская область	ввод планируется в 2027 г.	8,3 млрд рублей	регулирование уровня Иртыша; водохранилище протяжённостью около 65 км
Трансказахстанский канал – обсуждаемый сценарий	срок не утверждён	14,4–28,2 млрд долларов	переброска до 7 км³/год; необходима межгосударственная оценка
Судоходный шлюз в районе Семея	планируемый	5,6 млрд тенге	элемент транспортного коридора Россия–Казахстан–Китай

Источник: составлено авторами по данным доклада Евразийского банка развития «Бассейн реки Иртыш: трансграничные вызовы и практические решения».

Для самой модели оптимальна трёхблочная конструкция:

$$S_{b,t+1} = S_{b,t} + I_{b,t} - R_{b,t} - W_{b,t} - E_{b,t},$$

где S – запас водохранилищ,
I – приток,
R – регулируемый попуск,
W – водозабор,
E – экологическая подача.

Примечание: проекты находятся на разных стадиях подготовки и представлены в разных валютах. Их стоимость может сопоставляться только после приведения к единой валюте, ценам одного года и расчёта дисконтированных затрат. Полученные результаты показывают, что выбор водохозяйственного решения нельзя сводить к сопоставлению объёма речного стока и текущего водозабора. Для России и стран Центральной Азии каждый вариант регулирования затрагивает режим трансграничных рек, устойчивость орошения и гидроэнергетики, соблюдение экологических попусков, величину инвестиционных затрат и распределение получаемых эффектов между государствами. Поэтому переход от анализа исходных данных к практическому

решению требует последовательной процедуры, в которой гидрологическая допустимость проекта оценивается одновременно с его экономическими и межгосударственными последствиями. Соответствующий алгоритм представлен на рисунке 3.

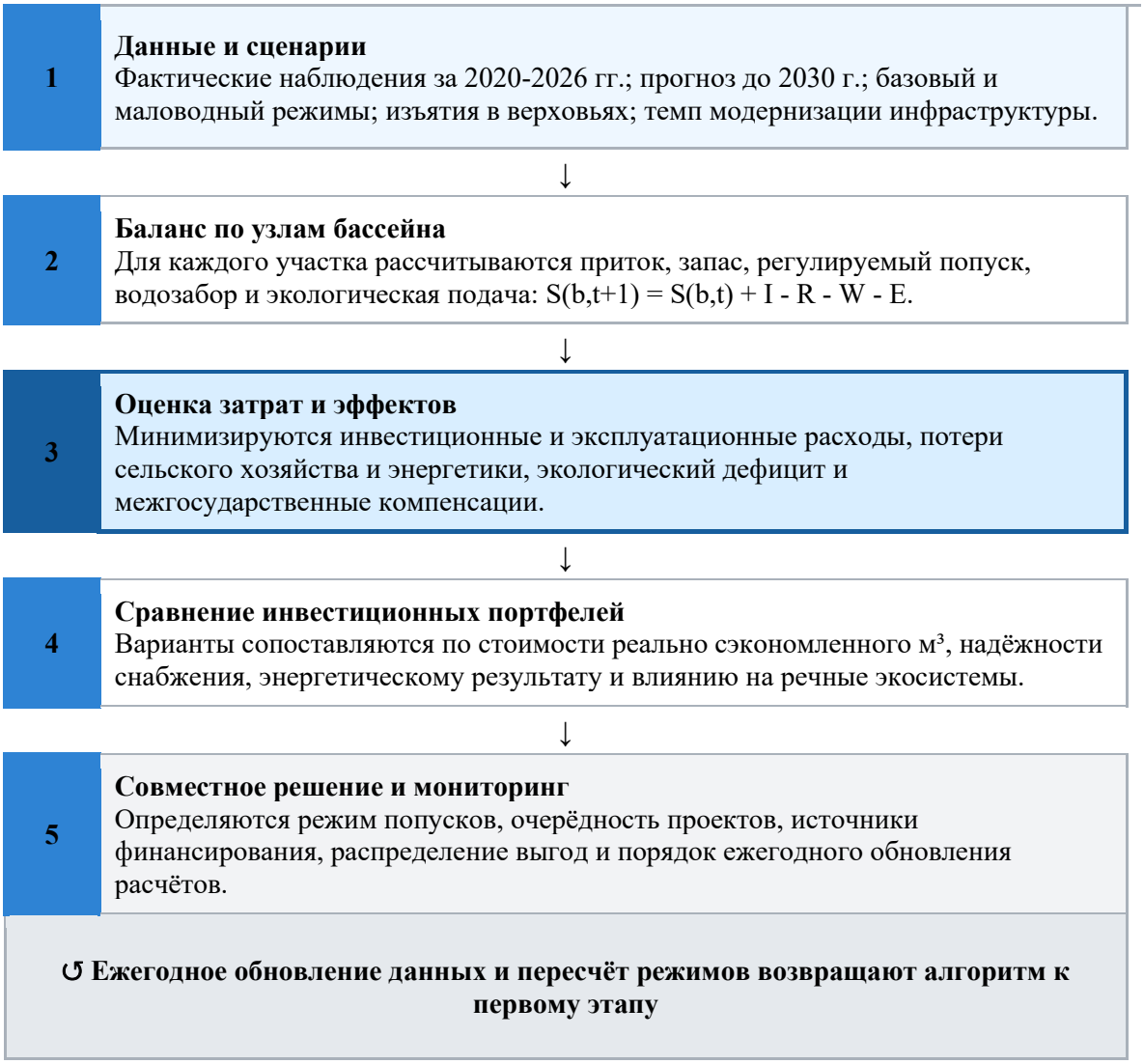

Рис. 3. Алгоритм выбора экономико-гидрологического решения

Обсуждение результатов исследования

Представленный алгоритм позволяет рассматривать экономические и гидрологические параметры не как обособленные группы показателей, а как взаимосвязанные условия выбора водохозяйственной политики. Его применение ориентировано не на поиск наиболее дешёвого проекта как такового, а на формирование такого инвестиционного портфеля, который обеспечивает приемлемую стоимость сэкономленного или перераспределённого объёма воды, устойчивость водоснабжения, сохранение энергетического эффекта и соблюдение экологических ограничений. Циклический характер расчётов приобретает особое значение для трансграничных бассейнов: изменение водности, объёмов забора или режима работы водохранилищ требует обновления исходных данных и повторного согласования решений между Россией и странами Центральной Азии.

Представленные решения образуют не единый инвестиционный пакет, а несколько разных направлений водохозяйственной политики. Новые гидроэлектростанции расширяют возможности производства электроэнергии и регулирования стока, модернизация канала направлена на сохранение работоспособности действующей системы водоснабжения, а

Красногорский гидроузел решает проблему уровня воды непосредственно в районе Омска. Транспортные проекты добавляют к водному и энергетическому эффекту доходы от судоходства. Следовательно, сравнивать их только по объёму капитальных затрат нельзя: каждый проект воздействует на разные элементы бассейновой системы.

Наибольшей межгосударственной оценки требуют проекты, способные заметно изменить объём или сезонность стока. Увеличение регулирующей ёмкости казахстанских водохранилищ может повысить устойчивость водоснабжения, но одновременно усилить зависимость российской части бассейна от согласованного режима попусков.

Трансказахстанский канал создаёт ещё более существенный риск, поскольку предполагаемый объём переброски сопоставим с крупной частью поступающего в Казахстан трансграничного стока. Красногорский гидроузел способен поддерживать необходимый уровень воды у Омска, однако локальное регулирование не заменяет достаточного поступления воды с территории Казахстана.

В экономико-гидрологической модели каждый проект следует оценивать по изменению запасов водохранилищ, водозабора, гарантированного стока, выработки электроэнергии и эксплуатационных расходов. Целевая функция должна учитывать не только инвестиции, но и предотвращённый ущерб водоснабжению, сельскому хозяйству, энергетике и экосистемам. При этом сценарии необходимо разделять по бассейнам: дополнительный афганский водозабор относится к Амударье, а усиленное изъятие в верховьях Иртыша к российско-казахстанскому блоку модели. Практическим результатом расчётов может стать совместная последовательность реализации проектов, при которой экономические выгоды Казахстана не достигаются за счёт ухудшения водообеспеченности российских территорий.

Заключение

Проведённое исследование подтвердило, что водные проблемы России и стран Центральной Азии невозможно объяснить только изменением речного стока. Их содержание определяется сочетанием природной водности, режима водохранилищ, структуры экономики, технического состояния каналов, энергетических потребностей и действующих межгосударственных договорённостей. Один и тот же объём воды приобретает различное хозяйственное значение в зависимости от времени его поступления, места формирования стока и возможности сохранить ресурс до периода наибольшего спроса. Поэтому экономические и гидрологические решения должны рассматриваться не последовательно, а как взаимосвязанные элементы единой системы.

Исследование бассейнов Амударьи и Сырдарьи выявило расхождение между формальной обеспеченностью водными ресурсами и их фактической доступностью. Неполное использование утверждённых лимитов водозабора сочеталось с недостаточной подачей воды в дельту Амударьи, что нельзя объяснить только экономией со стороны водопользователей. На доступность ресурса влияли сезонное распределение стока, пропускная способность инфраструктуры и территориальная удалённость потребителей от источников воды. Работа Нурекского, Туямуюнского и Токтогульского водохранилищ показала, что регулирование стока позволяет сглаживать природные колебания, но одновременно переносит часть рисков на последующие периоды. Особенно заметно это на примере Токтогульского водохранилища, снижение запасов которого отражает противоречие между текущей выработкой электроэнергии и сохранением воды для будущего вегетационного сезона.

Сопоставление стран обнаружило существенную экономико-гидрологическую асимметрию. Россия располагает значительно большим абсолютным водозабором, однако испытывает существенно меньший водный стресс. В государствах Центральной Азии основная часть воды направляется в сельское хозяйство, а в Кыргызстане и Таджикистане к ирригационной зависимости добавляется высокая роль гидроэнергетики. Это создаёт устойчивое противоречие между интересами верховьев и низовьев рек: энергетически выгодные зимние попуски не всегда соответствуют летнему спросу орошаемого земледелия. Снижение доли сельского хозяйства в ВВП отдельных стран не означает автоматического уменьшения их зависимости от воды, поскольку структурные изменения экономики могут происходить без сопоставимого сокращения физического водозабора.

Сценарные расчёты показали, что дальнейший рост водопотребления способен усилить уже существующие ограничения. Снижение потерь в оросительных каналах обладает большим потенциалом, однако расчётная валовая экономия не может полностью рассматриваться как дополнительный свободный ресурс. Часть фильтрационных потерь возвращается в речную и подземную систему, тогда как реконструкция каналов требует значительных капиталовложений, энергетических затрат и последующего обслуживания. Одновременно прогнозируемый дефицит финансирования водоснабжения и водоотведения ограничивает возможности государств самостоятельно провести модернизацию в необходимых масштабах. Следовательно, в модель должны включаться не только объёмы сэкономленной воды, но и стоимость реально высвобождаемого ресурса, срок окупаемости проектов, сокращение экологического ущерба и распределение получаемых выгод между странами.

Взаимодействие России с Центральной Азией имеет неодинаковую форму в разных речных бассейнах. Непосредственная гидрологическая связь наиболее выражена в отношениях с Казахстаном по Иртышу, Уралу, Тоболу и Ишиму. Прогноз по Иртышу показывает, что сокращение притока в верхней части бассейна может частично компенсироваться боковой приточностью ниже по течению, но такая компенсация не устраняет сезонный дефицит и локальные риски для Казахстана и российских регионов. В отношениях с Кыргызстаном, Таджикистаном, Туркменистаном и Узбекистаном участие России проявляется преимущественно через энергетический обмен, финансирование, поставку оборудования, инженерное сопровождение и внедрение водосберегающих технологий. Поэтому речь должна идти не о перераспределении российской воды в пользу Центральной Азии, а о сопряжении инвестиционных, энергетических и технологических решений.

Предложенная модель объединяет динамику запасов водохранилищ, приток, регулируемые попуски, водозабор и экологические подачи с инвестиционными и эксплуатационными расходами. Её применение позволяет сопоставлять последствия маловодья, увеличения водозабора в верховьях Иртыша, дополнительного изъятия воды из Амударьи и различных темпов модернизации инфраструктуры. При этом фактические наблюдения, официальные режимы и расчётные прогнозы должны сохраняться в модели как разные категории данных: значения за незавершённые периоды и трендовые оценки не могут подменять статистический факт.

Следовательно, дальнейшее развитие сотрудничества связано с созданием совместной системы мониторинга, согласованием методов расчёта водного баланса и переходом к бассейновой оценке инвестиционных проектов. Моделирование не заменяет межгосударственных соглашений, но позволяет сделать видимыми последствия каждого решения, определить его получателей и установить, на кого приходятся сопутствующие расходы и экологические потери. На этой основе может быть сформирован механизм распределения затрат и выгод, при котором модернизация водохозяйственной инфраструктуры, энергетическая устойчивость и сохранение речных экосистем рассматриваются как взаимодополняющие, а не конкурирующие направления сотрудничества России и стран Центральной Азии.

Литература

1. Ахунбаев А., Чуев С., Адахаев А., Сарсембеков Т. Эффективная ирригация и водосбережение в Центральной Азии / под ред. Е. Винокурова. – Алматы: Евразийский банк развития, 2023. – 120 с. – URL: https://eabr.org/analytics/special-reports/effektivnaya-irrigatsiya-i-vodosberezhenie-v-tsentralnoy-azii/ (дата обращения: 07.08.2026).

2. Бюллетень Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии. – 2026. – № 116, апрель [Электронный ресурс] / НИЦ МКВК Центральной Азии. – Ташкент, 2026. – URL: https://www.cawater-info.net/library/content/bul_icwc_116.htm (дата обращения: 07.08.2026).

3. Винокуров Е. Ю., Ахунбаев А., Усманов Н., Цукарев Т., Сарсембеков Т. Инвестиции в водно-энергетический комплекс Центральной Азии: доклады и рабочие документы 21/3. – Алматы; Москва: Евразийский банк развития, 2021. – 92 с. – URL: https://eabr.org/upload/EDB-WEC-CA-Report_RU_web.cleaned.pdf (дата обращения: 07.08.2026).

4. Винокуров Е. Ю., Ахунбаев А., Чуев С., Адахаев А., Сарсембеков Т. Бассейн реки Иртыш: трансграничные вызовы и практические решения: доклад 25/2. – Алматы: Евразийский банк развития, 2025. – 58 с. – URL: https://eabr.org/upload/iblock/669/23rkzdc3nnta1xf3dn9v5jpl2f5p0lfq/EDB_2025_Irtysh_Report_RU.pdf (дата обращения: 07.08.2026).

5. Винокуров Е. Ю., Ахунбаев А., Чуев С., Адахаев А., Сарсембеков Т. Питьевое водоснабжение и водоотведение в Центральной Азии: доклад 24/5. – Алматы: Евразийский банк развития, 2024. – URL: https://eabr.org/analytics/special-reports/pitevoe-vodosnabzhenie-i-vodootvedenie-v-centralnoy-azii/ (дата обращения: 07.08.2026).

6. Вода в Центральной Азии и мире: ежегодник. Выпуски за 2020–2025 гг. [Электронный ресурс] / Научно-информационный центр Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии // CAWater-Info. – URL: https://cawater-info.net/yearbook/ (дата обращения: 07.08.2026).

7. Зоидов К.Х. Математическая сигнатура как метод анализа и прогнозирования устойчивости инновационных стратегий взаимодействия национальных экономик России и стран ШОС / Под ред. академика РАН В.Л. Макарова; чл.-корр. РАН А.Р. Бахтизина – М.: ЦЭМИ РАН, 2026. – 500 с.

8. Зоидов К.Х., Медков А.А. Экономические интересы России и развитие транспортно-транзитных систем Афганистана и других стран Центральной Азии // Проблемы рыночной экономики. – 2021. – № 4. – С. 140-156.

9. Зоидов К.Х., Медков А.А. Водные аспекты инновационного развития транзитной экономики и трансграничного взаимодействия // Проблемы рыночной экономики. – 2020. – № 4. – С. 62-72.

10. Зоидов К.Х, Медков А.А. Эволюционно-институциональный подход при исследовании реализации крупных энергетических проектов и решении водных проблем в странах Центральной Азии //Проблемы рыночной экономики. 2015. № 1. С. 54-68.

11. Национальный доклад о состоянии окружающей среды Республики Узбекистан / Министерство экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан; при поддержке ЕЭК ООН, ЮНЕП и ФАО. – Ташкент, 2024. – URL: https://unece.org/environment/documents/2024/02/standards/national-state-environment-report-uzbekistan (дата обращения: 07.08.2026).

12. Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Казахстан о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов от 7 сентября 2010 г. [Электронный ресурс] // Федеральное агентство водных ресурсов. – URL: https://voda.gov.ru/regulatory/doc-3277/ (дата обращения: 07.08.2026).

13. Соглашение между Правительством Российской Федерации и Правительством Республики Казахстан о подаче водных ресурсов с территории Российской Федерации на территорию Республики Казахстан от 7 сентября 2010 г. [Электронный ресурс] // Информационно-правовая система нормативных правовых актов Республики Казахстан «Әділет». – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P100000892_ (дата обращения: 07.08.2026).

14. Agriculture, Forestry, and Fishing, Value Added (% of GDP) [Электронный ресурс] // World Bank Open Data. – URL: https://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR.TOTL.ZS (дата обращения: 07.08.2026).

15. Electricity Production from Hydroelectric Sources (% of Total) [Электронный ресурс] // World Bank Open Data. – URL: https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.HYRO.ZS (дата обращения: 07.08.2026).

16. World Development Indicators: Annual Freshwater Withdrawals, Level of Water Stress and Annual Freshwater Withdrawals in Agriculture [Электронный ресурс] // World Bank Open Data. – URL: https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators (дата обращения: 07.08.2026).

References

1. Akhunbaev A., Chuev S., Adakhaev A., Sarsembekov T. Effective Irrigation and Water Conservation in Central Asia / edited by E. Vinokurov. Almaty: Eurasian Development Bank, 2023. 120 p. URL: https://eabr.org/analytics/special-reports/effektivnaya-irrigatsiya-i-vodosberezhenie-v-tsentralnoy-azii / (date of access: 08/07/2026).

2. Bulletin of the Interstate Coordination Water Management Commission of Central Asia. – 2026. – No. 116, April [Electronic resource] / SIC ICWC of Central Asia. – Tashkent, 2026. – URL: https://www.cawater-info.net/library/content/bul_icwc_116.htm (accessed: 08/07/2026).

3. Vinokurov E. Yu., Akhunbaev A., Usmanov N., Tsukarev T., Sarsembekov T. Investments in the water and energy complex of Central Asia: reports and working papers 21/3. – Almaty; Moscow: Eurasian Development Bank, 2021. – 92 p. – URL: https://eabr.org/upload/EDB-WEC-CA-Report_RU_web.cleaned.pdf (accessed: 08/07/2026).

4. Vinokurov E. Yu., Akhunbaev A., Chuev S., Adakhaev A., Sarsembekov T. The Irtysh River basin: Cross-border challenges and practical solutions: Report 25/2. Almaty: Eurasian Development Bank, 2025. 58 p. URL: https://eabr.org/upload/iblock/669/23rkzdc3nnta1xf3dn9v5jpl2f5p0lfq/EDB_2025_Irtysh_Report_RU.pdf (accessed: 08/07/2026).

5. Vinokurov E. Yu., Akhunbaev A., Chuev S., Adakhaev A., Sarsembekov T. Drinking water supply and sanitation in Central Asia: Report 24/5. Almaty: Eurasian Development Bank, 2024. URL: https://eabr.org/analytics/special-reports/pitevoe-vodosnabzhenie-i-vodootvedenie-v-centralnoy-azii / (date of request: 08/07/2026).

6. Water in Central Asia and the World: a yearbook. Issues for 2020–2025. [Electronic resource] / Scientific and Information Center of the Interstate Coordinating Water Management Commission of Central Asia // CAWater-Info. – URL: https://cawater-info.net/yearbook/ (accessed: 07.08.2026).

7. Zoidov K.Kh. Mathematical signature as a method for analyzing and predicting the sustainability of innovative strategies for interaction between the national economies of Russia and the SCO countries / Edited by Academician of the RAS V.L. Makarov; Corresponding Member of the RAS A.R. Bakhtizin – M.: CEMI RAS, 2026. – 500 p.

8. Zoidov K.Kh., Medkov A.A. The economic interests of Russia and the development of transport and transit systems in Afghanistan and other Central Asian countries // Problems of market economy. – 2021. – No. 4. – Pp. 140–156.

9. Zoidov K.Kh., Medkov A.A. Water Aspects of the Innovative Development of the Transitional Economy and Cross-Border Interaction // Problems of Market Economy. – 2020. – No. 4. – Pp. 62–72.

10. Zoidov K.Kh., Medkov A.A. Evolutionary-Institutional Approach to Studying the Implementation of Major Energy Projects and Solving Water Problems in the Countries of Central Asia //Problems of a market economy. 2015. No. 1. pp. 54-68.

11. National Report on the state of the Environment of the Republic of Uzbekistan / Ministry of Ecology, Environmental Protection and Climate Change of the Republic of Uzbekistan; with the support of the UNECE, UNEP and FAO. – Tashkent, 2024. – URL: https://unece.org/environment/documents/2024/02/standards/national-state-environment-report-uzbekistan (date of application: 08/07/2026).

12. Agreement between By the Government of the Russian Federation and the Government of the Republic of Kazakhstan on the joint use and protection of transboundary water bodies dated September 7, 2010 [Electronic resource] // Federal Agency for Water Resources. – URL: https://voda.gov.ru/regulatory/doc-3277/ (accessed: 07.08.2026).

13. Agreement between the Government of the Russian Federation and the Government of the Republic of Kazakhstan on the supply of water resources from the territory of the Russian Federation to the territory of the Republic of Kazakhstan, dated September 7, 2010. [Electronic resource] // Information and Legal System of Regulatory Legal Acts of the Republic of Kazakhstan "Әділет". – URL: https://adilet.zan.kz/rus/docs/P100000892_ (date of access: 08/07/2026).

14. Agriculture, Forestry, and Fishing, Value Added (% of GDP) [Electronic resource] // World Bank Open Data. – URL: https://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR.TOTL.ZS (date of access: 08/07/2026).

15. Electricity Production from Hydroelectric Sources (% of Total) [Electronic resource] // World Bank Open Data. – URL: https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.HYRO.ZS (accessed: 08/07/2026).

16. World Development Indicators: Annual Freshwater Withdrawals, Level of Water Stress and Annual Freshwater Withdrawals in Agriculture [Electronic resource] // World Bank Open Data. – URL: https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators (date of request: 08/07/2026).

Об авторах

Зоидов Кобилжон Ходжиевич, кандидат физико-математических наук, доцент, руководитель Лаборатории моделирования евразийской интеграции и мирохозяйственных процессов, Центральный экономико-математический институт РАН, Россия, Москва.

Круглова Лариса Олеговна, младший научный сотрудник Лаборатории моделирования евразийской интеграции и мирохозяйственных процессов, Центральный экономико-математический институт РАН, Россия, Москва.

About authors

Kobiljon Kh. Zoidov, Candidate of Sci. (Phys.&Math.), Associate Professor, Head of the Laboratory for Modeling Eurasian Integration and Global Economic Processes, Central Economics and Mathematics Institute of RAS, Moscow, Russia.

Larisa O. Kruglova, junior research assistant at the Laboratory of Modeling Eurasian Integration and Global Economic Processes, Central Economics and Mathematics Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia.