УДК 556.18; 556.5; 502.51 *https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-4-45-63*

Оригинальная статья/Original paper

Оценка параметров экологического стока трансграничного бассейна реки Иртыш для учета экосистемных потребностей при распределении водных ресурсов

О. И. Никитина[1], А. Е. Косолапов[1], Д. В. Савостицкий[2], М. В. Болгов[1,3]

oxana.niki@yandex.ru

[1] *Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов, г. Ростов-на-Дону, Россия*
[2] *Федеральное агентство водных ресурсов, Москва, Россия*
[3] *Институт водных проблем Российской академии наук, Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ

Актуальность. Трансграничный бассейн р. Иртыш характеризуется высокой хозяйственной освоенностью, трансформацией природного водного режима и ростом водопотребления, что обусловливает необходимость разработки научно обоснованных рекомендаций по распределению водных ресурсов между странами. При этом в бассейне отсутствуют согласованные механизмы распределения стока, в т. ч. учитывающие экосистемные потребности. В мировой практике учет таких потребностей при управлении водными ресурсами реализуется через концепцию экологического стока. Настоящая работа посвящена оценке и обоснованию параметров экологического стока р. Иртыш для возможности их учета при разработке рекомендаций по распределению стока. **Методы.** Работа основана на анализе водопользования и состояния экосистем трансграничного бассейна Иртыша, анализе многолетних гидрологических наблюдений, включая данные восстановленных рядов условно-естественного стока. Для обоснования параметров экологического стока использован метод критических гидрологических условий, в качестве ключевого индикатора принят показатель обводнения поймы. Расчеты выполнены для расположенного вблизи границы России и Казахстана створа р. Иртыш – с. Татарка с учетом особенностей формирования стока на рассматриваемом участке. **Результаты.** Определены функции и оценочные параметры экологического стока. Предварительное значение экологического стока составляет около 80 % объема условно-естественного годового стока. Подчеркивается особая важность поддержания экологического стока в весенне-летний период; обеспечение стока в мае свыше 4 км³ рассматривается как гидрологическое условие, обеспечивающее выход воды на пойму. Результаты могут служить основой для учета экосистемных потребностей при разработке механизмов распределения водных ресурсов в трансграничном бассейне р. Иртыш.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: река Иртыш, трансграничный бассейн, механизмы распределения стока, экологический сток, водные экосистемы, пойма

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Никитина О. И., Косолапов А. Е., Савостицкий Д. В., Болгов М. В. Оценка параметров экологического стока трансграничного бассейна реки Ир-

© Никитина О. И., Косолапов А. Е., Савостицкий Д. В., Болгов М. В., 2026

тыш для учета экосистемных потребностей при распределении водных ресурсов // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2026. № 4. С. 45–63. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-4-45-63; EDN: RGDQZI

Assessment of environmental flow requirements in the transboundary Irtysh River basin for water resources allocation considering ecosystem needs

Oxana I. Nikitina[1], **Alexey E. Kosolapov**[1], **Dmitry V. Savostitskiy**[2], **Mikhail V. Bolgov**[1,3]

oxana.niki@yandex.ru

[1] *Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Rostov-on-Don, Russia*
[2] *Federal Agency for Water Resources, Moscow, Russia*
[3] *Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

ABSTRACT

Relevance. The transboundary Irtysh River basin is characterized by intensive economic development, transformation of the natural water regime, and increasing water demand. This creates a need for scientifically grounded recommendations on water resources allocation among the riparian countries. At the same time, there are no agreed water allocation mechanisms in the basin that take ecosystem requirements into account. In global water resources management practice, such requirements are taken into account through the concept of environmental flow. This study presents an assessment and justification of environmental flow parameters for the Irtysh River to enable taking them into account in developing recommendations on the water allocation. **Methods.** The study is based on the analysis of water use and the state of the Irtysh transboundary basin ecosystems, analysis of the long-term hydrological observations, including the data of the reconstructed naturalized flow series. The method of critical hydrological conditions was used to substantiate the environmental flow parameters; floodplain inundation was adopted as the key indicator. Calculations were performed for the Irtysh-Tatarka gauging station located near the Russia-Kazakhstan boundary considering the specific features of flow formation in the study reach. **Results.** The functions and indicative parameters of environmental flow were identified. The preliminary environmental flow value is about 80 % of the annual naturalized runoff volume. The importance of maintaining environmental flow during the spring–summer period was highlighted. Maintaining May runoff volumes above 4 km³ is considered a hydrological condition necessary for floodplain inundation. These results may provide a basis for incorporating ecosystem requirements into water allocation mechanisms in the transboundary Irtysh River basin.

KEYWORDS: Irtysh River, transboundary basin, water allocation mechanisms, environmental flow, aquatic ecosystems, floodplain

FOR CITATION: Nikitina O. I., Kosolapov A. E., Savostitskiy D. V., Bolgov M. V. Assessment of environmental flow requirements in the transboundary Irtysh River basin for water resources allocation considering ecosystem needs. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management.* 2026. No. 4. P. 45–63; https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-4-45-63; EDN: RGDQZI

ВВЕДЕНИЕ

Река Иртыш протекает через Китай, Казахстан и Россию и является важным источником для систем водоснабжения, промышленности, гидроэнергетики и сельского хозяйства трех стран. Водные ресурсы трансграничного бассейна распределены неравномерно, а интенсивная хозяйственная деятельность, включающая регулирование стока крупным каскадом гидроузлов в Казахстане, водозабор и каналы по переброске стока в Казахстане и Китае, значительно трансформировала природный водный режим. Одновременно с этим ухудшение качества воды дополнительно влияет на пригодность водных ресурсов для использования и снижает устойчивость водных экосистем. В связи с этим проблема согласованного распределения стока р. Иртыш приобретает принципиальное значение. Рост водопотребления на территории Китая и Казахстана, прогнозируемое увеличение объемов сточных вод вместе с уменьшением стока на отдельных участках Иртыша и климатические изменения усиливают необходимость разработки обоснованных рекомендаций по его распределению.

В трансграничном бассейне Иртыша отсутствуют согласованные механизмы распределения стока между странами. Действующее Соглашение между Правительствами Республики Казахстан и Российской Федерации о совместном использовании и охране трансграничных водных объектов (2010 г.) не устанавливает количественных параметров распределения стока, что в том числе ограничивает возможности учета экосистемных потребностей при управлении водными ресурсами.

В международной практике учет экосистемных потребностей при управлении водными ресурсами обеспечивается через концепцию экологического стока (environmental flow) [1–6]. Он определяется как часть водных ресурсов, сохраняемая в водном объекте для поддержания структурной и функциональной целостности водных и прибрежных экосистем, а также связанных с ними экосистемных услуг, имеющих социально-экономическое значение [3, 4]. Цель установления и реализации экологического стока, как правило, не заключается в сохранении водных экосистем в их природном состоянии. В мировой практике он рассматривается как инструмент для определения конкретных для каждого водного объекта правил использования воды, основанных на балансе между экосистемными и социально-экономическими потребностями. Несмотря на существенный прогресс в развитии методов оценки экологического стока, его практическое внедрение остается сложной задачей во многих странах мира [1, 5, 6].

В бассейне р. Иртыш экологический сток пока не используется при решении задач трансграничного распределения стока.

Цель представленной в статье работы – оценка параметров экологического стока р. Иртыш для учета экосистемных потребностей при разработке рекомендаций по распределению стока. Задачи включают рассмотрение экоси-

стемных функций реки и их связи с гидрологическим режимом, обоснование целей и параметров экологического стока, а также оценку соответствия современного водного режима р. Иртыш предложенным рекомендациям по режиму экологического стока. Особенностью работы является анализ экологического стока с позиции управления водными ресурсами трансграничного бассейна. Рассмотрена водохозяйственная система р. Иртыш в ее среднем течении – трансграничный участок между Казахстаном и Россией, играющий ключевую роль в формировании стока, поступающего на территорию России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа основана на анализе материалов о водопользовании и состоянии экосистем в трансграничном бассейне р. Иртыш, а также на обработке многолетних гидрологических наблюдений. Для характеристики водного режима использовались среднемесячные, сезонные и годовые значения стока по гидрологическим постам р. Иртыш – с. Татарка и г. Омск на территории России. Особенности обводнения поймы оценивались по материалам наблюдений в г. Павлодаре на территории Казахстана. Створом для определения экологического стока выбран пограничный створ р. Иртыш – с. Татарка.

Работа включала восстановление рядов условно-естественного стока и приведение наблюдений к пограничному створу. При восстановлении условно-естественного стока учитывались особенности формирования стока как на участке от Шульбинской ГЭС до с. Татарка, так и на расположенном ниже по течению участке с. Татарка – г. Омск; вклад боковой приточности на этих участках в отдельные годы может быть существенным. Величина боковой приточности между рассматриваемыми створами устанавливалась по данным совместного периода наблюдений при условно-естественном режиме стока.

Для определения функций экологического стока выполнен анализ современного состояния экосистем трансграничного участка р. Иртыш с учетом абиотических и биотических характеристик, отражающих степень трансформации гидрологического режима и особенности функционирования водных и пойменных экосистем. Также рассмотрены особенности водохозяйственного комплекса среднего течения р. Иртыш.

Расчет экологического стока проведен с применением метода критических гидрологических условий [7], который позволяет определить минимально допустимый (критический) объем стока, обеспечивающий поддержание продуктивности русловых и пойменных экосистем. В качестве индикатора критических условий использован показатель обводнения поймы; его применение обусловлено высокой значимостью и развитостью пойменных экосистем в Павлодарской области Казахстана в пределах рассматриваемого участка. Согласно методическим положениям, расчеты экологического стока должны выполняться по замыкающему створу бассейна. Однако в данной работе в каче-

стве расчетного створа принят створ р. Иртыш – с. Татарка. Отсутствие крупных притоков на участке от створа Шульбинской ГЭС до с. Татарка позволяет исключить искажение оценок, связанное с вкладом крупных притоков, впадающих ниже по течению. Применение метода в данной адаптации позволяет получить обоснованную оценку экологического стока в замыкающем створе участка Шульбинская ГЭС – с. Татарка.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Обоснование целей экологического стока на основе оценки состояния экосистем бассейна Иртыша

Рассматриваемый участок р. Иртыш характеризуется малой боковой приточностью, значительными потерями стока на испарение и водозабор и высокой зависимостью от притока из вышерасположенных территорий. Сток этого участка обеспечивает водоснабжение южных засушливых регионов российской части бассейна, включая г. Омск и Омскую область.

Современное состояние Иртыша определяется значительной антропогенной трансформацией гидрологического режима. В Казахстане функционирует каскад крупных водохранилищ – Бухтарминское, Усть-Каменогорское и Шульбинское, которые с 1960-х годов существенно изменили сезонную динамику стока. Дополнительное влияние оказывают водозаборы в Китае и Казахстане, а также отвод части стока по каналу Иртыш – Караганда (около 1,1 км³/год при проектной пропускной способности 2 км³/год) (рис. 1). Регулирование стока ограничивает возможности формирования экологически значимых половодий и связанных с ними процессов обводнения поймы.



Рис. 1. Схема расположения Верхне-Иртышского каскада водохранилищ и постов на р. Иртыш

Fig. 1. Location of the Upper Irtysh reservoir cascade and gauging stations on the Irtysh River

Сокращение объемов половодья ограничивает частоту и продолжительность затопления поймы, что оказывает существенное воздействие на ценные пойменные экосистемы среднего течения Иртыша, значительная часть которых (около 90 %) расположена в Павлодарской области Казах-

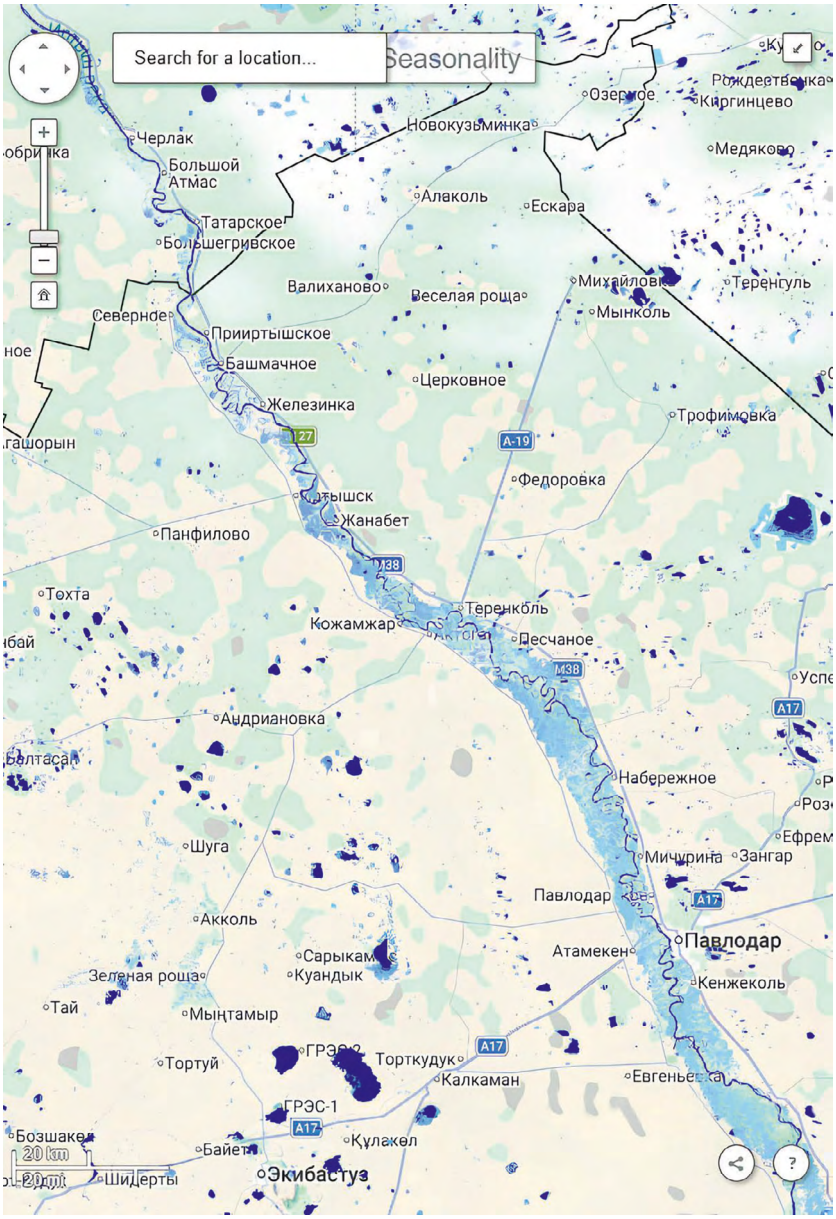


Рис. 2. Развитые пойменные экосистемы среднего течения р. Иртыш в Павлодарской области Казахстана[1]

Fig. 2. Well-developed floodplain ecosystems of the middle reach of the Irtysh River in the Pavlodar Region, Kazakhstan

стана (рис. 2) [8]. Несмотря на предусмотренные природоохранные попуски из Шульбинского водохранилища, их параметры нередко не соответствуют экосистемным требованиям, что приводит к деградации пойменных территорий, снижению площади их затопления и падению биопродуктивности [8, 9].

1 Источник: https://global-surface-water.appspot.com/map

Одной из важных проблем данного участка, определяющих состояние и функционирование водных экосистем, является низкое качество воды р. Иртыш. На территории России в последние годы оно оценивается как «умеренно загрязненное» или «загрязненное», а в районе г. Омска – как «загрязненное» [10]. Существенной проблемой остается трансграничное загрязнение тяжелыми металлами [11]. Поддержание способности реки к самоочищению тесно связано с объемом и режимом стока.

Несмотря на высокую антропогенную нагрузку и последствия трансформации режима, экосистема среднего Иртыша сохраняет сложную структуру. В фитопланктоне российского участка выявлено 575 видовых и внутривидовых таксонов, включая 127 редких, что свидетельствует о высоком уровне биоразнообразия. Одновременно таксономическая структура фитопланктона отражает усиление процессов эвтрофирования, а состав зоопланктона и зообентоса существенно обеднен (сокращение с 74 до 17 видов зоопланктона; зообентос представлен преимущественно хирономидами) [12]. Это указывает на упрощение структуры водных экосистем и, соответственно, снижение их устойчивости.

Ихтиофауна Иртыша в пределах Омской области представлена 19 видами и подвидами рыб, включая ценные и охраняемые. В Красную книгу Российской Федерации включен осетр, а в Красную книгу Омской области – осетр, нельма, щиповка, подкаменщик сибирский и два вида миног [12, 13]. Наличие охраняемых и уязвимых видов подчеркивает важность гидрологического режима, обеспечивающего условия для воспроизводства и миграций рыб.

В перспективе прогнозируется рост водопользования и водопотребления в бассейне Иртыша в Казахстане и возможное увеличение водозабора в верховьях реки на территории Китая[2] [14]. Совокупность этих факторов усиливает нагрузку на трансграничный участок и повышает экологические риски водопользования.

Таким образом, для рассматриваемого приграничного участка р. Иртыш характерны трансформация сезонного режима стока, деградация пойменных экосистем, ухудшение качества воды, снижение устойчивости водных экосистем при наличии охраняемых видов. В условиях прогнозируемого роста водопользования в Китае и Казахстане, а также высокой социально-экономической значимости реки в странах бассейна режим экологического стока приобретает особое значение для ограничения чрезмерного изъятия водных ресурсов и поддержания устойчивости экосистем.

В обстановке интенсивного хозяйственного освоения и существенного измененного гидрологического режима р. Иртыш [15] экологический сток направлен на поддержание функционирования водных экосистем в трансформированных условиях, а не на восстановление их естественного состояния.

2 Концепция развития системы управления водными ресурсами Республики Казахстан на 2024–2030 годы // Юридический сборник / Международный фонд спасения Арала, Межгосударственная координационная водохозяйственная комиссия Центральной Азии, Научно-информационный центр. Ташкент: НИЦ МКВК, 2024. № 59.

С учетом выявленных особенностей основными функциями экологического стока для рассматриваемого участка р. Иртыш являются:

– сохранение доли стока, обеспечивающей экосистемные потребности и ограничивающей чрезмерное изъятие водных ресурсов;

– поддержание устойчивого функционирования ценных пойменных экосистем среднего течения реки.

Обеспечение режима экологического стока также может способствовать поддержанию процессов самоочищения и улучшения качества воды, однако данные эффекты рассматриваются как сопутствующие результаты и не относятся к прямым функциям экологического стока.

РАСЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТОКА

Определение критических и лимитирующих условий

Метод критических условий [7] основан на выявлении параметров водного режима, определяющих предельно допустимые (критические) условия функционирования водных и пойменных экосистем, включая процессы воспроизводства рыб, существование околоводной биоты и процессы руслоформирования. Критический годовой сток ($W_{кр}$) определяется по годам минимального затопления поймы и характеризует нижний предел гидрологических условий, при котором экосистема сохраняет способность к функционированию. Такие условия, как правило, формируются в маловодные годы.

Рассматриваемый приграничный участок Иртыша характеризуется малой боковой приточностью, что обеспечивает высокую согласованность стока между расположенными на нем гидрологическими створами. Коэффициент корреляции максимальных уровней воды между створами г. Павлодар и с. Иртышское достигает 0,90 [8]. Поскольку створ с. Татарка расположен в тех же гидрологических условиях, данные указанных постов могут совместно использоваться для оценки параметров экологического стока (см. рис. 1).

Анализ наблюдений показал, что при регулировании стока в маловодные 1983 и 2012 гг. пойма в районе Павлодара практически не затапливалась. Так, при годовом стоке 18,9 км³ в 1983 г. (с. Татарка) затопление продолжалось лишь два дня при глубине 23 см (г. Павлодар), а в 2012 г. при годовом стоке около 20,0 км³ затопление поймы фактически отсутствовало [8]. На основании этих данных критический годовой сток ($W_{кр}$) оценивается в 19,5 км³, что соответствует обеспеченности 92 % по условно-естественному ряду (1923–1961 гг.) и может рассматриваться как пороговое значение возникновения критических условий обводнения поймы.

Помимо критических выделены годы лимитирующих условий – периоды, когда затопление поймы происходило, но носило кратковременный характер и ограничивало функционирование экосистем. К таким годам отнесены 1984-

й и 2011-й. При близких значениях годового стока различия в длительности и глубине затопления показали, что определяющее значение имеют не только годовые объемы, но и величина стока многоводного периода и его распределение. В 1984 г. при годовом стоке 22,8 км³ и объеме половодья 11,9 км³ майский сток составил 3,94 км³, что обеспечило лишь кратковременное затопление поймы продолжительностью около 8 дней при глубине воды до 41 см. В 2011 г., несмотря на сопоставимый годовой сток (22,6 км³), несколько больший майский сток (4,04 км³) и иное распределение расходов в период половодья обеспечили более продолжительное и глубокое затопление – до 20 дней при глубине до 136 см [8].

Анализ лет лимитирующих условий и лет со сходными объемами половодья (1992, 1999 гг.) показал, что вероятность выхода воды на пойму определяется прежде всего величиной стока в мае (табл. 1). Дополнительным подтверждением служат сведения по 2011 г., показавшие, что при объеме стока мая свыше 4 км³ обводнение поймы носит более глубокий и продолжительный характер. Это позволяет рассматривать данный показатель как гидрологический индикатор ее обводнения. Полученные оценки согласуются с рекомендациями по попускам Верхне-Иртышского каскада ГЭС[3], где обеспеченность обводнительного попуска составляет 75 % по числу бесперебойных лет при объеме около 4,8 км³ с его снижением в маловодные годы.

Установленные критические и лимитирующие объемы стока служат основой для определения экологического стока и уточнения его режима в условиях регулирования.

Таблица 1. Характеристики стока в годы лимитирующих условий
Table 1. Flow characteristics during years with limiting conditions

Характеристика	Год	Объем стока, км³						
		Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Половодье (май – август)	Годовой сток
Годы лимитирующих условий	1984	1,52	3,94	2,57	1,93	1,93	11,9	22,8
	2011	2,25	4,04	1,89	1,87	1,78	11,9	22,6
Годы для проверки лимитирующих условий	1992	1,85	3,99	2,33	1,81	1,79	11,8	22,4
	1999	1,95	3,91	2,20	1,70	1,47	11,2	22,0

3 Правила использования водных ресурсов Верхне-Иртышского каскада водохранилищ / Министерство энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан, Казгидропроект, Казгидро. Алматы: 2001. 63 с.

Определение экологически допустимого безвозвратного изъятия стока

На основе критического стока определено экологически допустимое безвозвратное изъятие ($W_{ДИ}$) – максимальный объем безвозвратного водопотребления, не приводящий к нарушению устойчивого функционирования водных и околоводных экосистем. Оно рассчитывается как разность между критическим ($W_{кр}$) и историческим минимальным годовым стоком ($W_{ист}$):

$$W_{ДИ} = W_{кр} – W_{ист}.$$

В качестве исторически минимального стока ($W_{ист}$) в данном случае принята величина, близкая к стоку 97,4%-ной обеспеченности по условно-естественному ряду, что отражает реальные минимальные значения стока за период условно-естественного водного режима 1923–1961 гг.

Для участка р. Иртыш на границе России и Казахстана (пост с. Татарка) среднее допустимое безвозвратное изъятие ($W_{ДИ}$) составляет:

$$W_{ДИ} = 19{,}5 – 14{,}5 = 5{,}0 \text{ км}^3,$$

где $W_{кр} = W_{92\%}$ – критический сток, а $W_{ист} = W_{97{,}4\%}$ – исторически минимальный сток, определенные по ряду условно-естественного стока.

Таким образом, для участка р. Иртыш на границе России и Казахстана среднегодовое экологически допустимое безвозвратное изъятие оценивается в 5 км³, что составляет 19 % от среднемноголетнего стока.

Величина допустимого безвозвратного изъятия в годы различной водности *j* ($W_{ДИj}$) определяется по формуле:

$$W_{ЭСj} = W_{j} – W_{ДИj},$$

где W_j и $W_{ср}$ – соответственно естественный (восстановленный) сток в *j*-й год и среднемноголетний естественный (восстановленный) сток в створе.

Определение объемов экологического стока для лет разной водности

Исходя из установленной величины $W^{1}_{ДИj}$ рассчитывается экологический сток ($W_{ЭСj}$) для лет разной водности. Он определяется как как разность между годовым стоком (W_j) и допустимым изъятием ($W_{ДИj}$) года заданной обеспеченности *j*:

$$W_{ЭСj} = W_{j} – W_{ДИj}.$$

В табл. 2 представлены значения годового стока и соответствующие объемы экологически допустимого безвозвратного изъятия и экологического стока для р. Иртыш – с. Татарка в годы различной обеспеченности.

Таблица 2. Экологически допустимое изъятие и экологический сток р. Иртыш на границе России и Казахстана

Table 2. Environmentally acceptable water withdrawal and environmental flow of the Irtysh River at the Russia – Kazakhstan border

Обеспеченность стока, %	Годовой сток, км³	Допустимое безвозвратное изъятие, км³	Доля допустимого безвозвратного изъятия от годового стока, %	Экологический сток, км³	Доля экологического стока от годового, %
25	27,2	5,2	19	22,0	81
50	25,5	4,9	19	20,6	81
75	23,9	4,6	19	19,3	81
95	16,7	3,2	19	13,5	81

На основе полученных данных предварительно объем экологического стока для р. Иртыш в с. Татарка должен составлять около 80 % от естественного стока, в долгосрочной перспективе обеспечивая приемлемые условия функционирования водных и околоводных экосистем.

Сравнительный анализ условно-естественного и зарегулированного режимов стока

Для обоснования величины годового объема и внутригодового режима экологического стока выполнено сопоставление характеристик водного режима р. Иртыш у с. Татарка для двух периодов: условно-естественного (1923–1961 гг., 39 лет) и периода регулирования стока Верхне-Иртышским каскадом ГЭС (1968–2022 гг., 55 лет).

Несмотря на многолетнее регулирование стока, среднегодовой сток р. Иртыш – с. Татарка снизился незначительно – с 26,2 до 25,0 км³ (около 5 %), что указывает на сохранение общего объема водных ресурсов. Аналогичный ха-

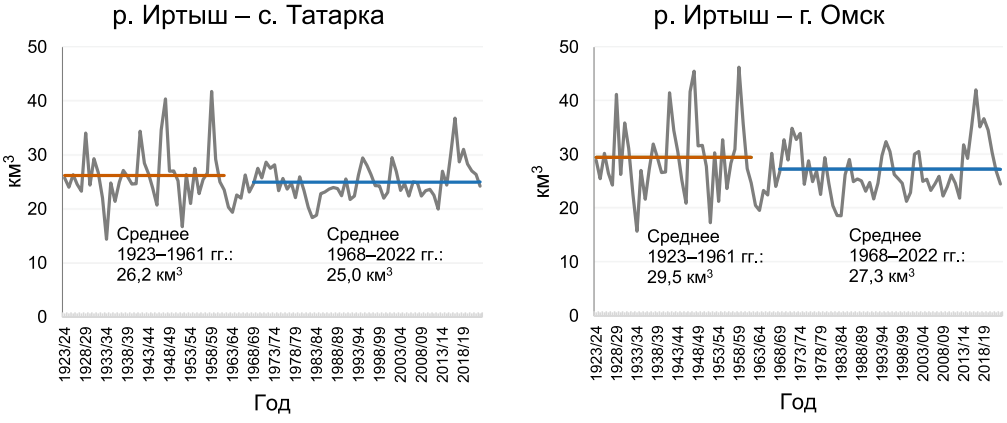


Рис. 3. Изменение и среднее значение годового стока на рассматриваемом приграничном участке за периоды условно-естественного водного режима и режима в условиях зарегулированного стока

Fig. 3. Changes in annual flow and its mean values for the transboundary study reach during the naturalized and regulated flow periods

рактер изменений наблюдается и ниже по течению, в районе г. Омска (рис. 3). Это позволяет при оценке актуальной годовой величины экологического стока опираться на годовые значения, характерные для условно-естественного режима.

Вместе с тем регулирование стока привело к сглаживанию межгодовой (см. рис. 3) и внутригодовой изменчивости, выраженному в повышении минимальных и снижении максимальных значений стока (табл. 3). Наиболее существенные изменения выявлены во внутригодовом распределении стока. Средний объем многоводного периода (апрель – август) сократился с 18,3 до 14,6 км³, а его доля в годовом стоке уменьшилась с 70 до 58 %. Одновременно зимний сток (декабрь – март) увеличился почти вдвое – с 3,0 до 5,3 км³, что привело к росту его доли с 12 до 21 %. Осенний сток (сентябрь – ноябрь) изменился незначительно и сохраняется на уровне около 5 км³ (см. табл. 3).

Таблица 3. Сезонное распределение стока в период до регулирования и после регулирования стока, р. Иртыш – с. Татарка

Table 3. Seasonal flow distribution before and after flow regulation at the Irtysh River – Tatarka gauging station

Период, показатель	Годовой сток, км³	Многоводный период (апрель – август), км³	Осень (сентябрь – ноябрь), км³	Зима (декабрь – март), км³
До 1961 г., среднее	26,2	18,3	4,9	3,0
До 1961 г., мин.	14,4	9,8	2,6	1,8
До 1961 г., макс.	41,8	29,1	9,9	5,5
С 1968 г., среднее	25,0	14,6	5,1	5,3
С 1968 г., мин.	18,4	10,4	3,4	2,8
С 1968 г., макс.	36,9	23,9	6,8	7,4

Полученные результаты показывают, что ключевые гидроэкологические последствия регулирования связаны прежде всего с сокращением весенне-летнего многоводного периода. Уменьшение объемов половодья ограничивает частоту и продолжительность затопления поймы, ухудшает условия воспроизводства гидробионтов и функционирования пойменных экосистем. Следовательно, режим экологического стока должен быть ориентирован на поддержание экологически значимых характеристик весенне-летнего водного режима.

Рекомендации по режиму экологического стока

При существующей степени антропогенного воздействия достижение «эталонного» режима экологического стока невозможно. Вместе с тем адаптированный к современным условиям режим экологического стока способен обеспечить поддержание базовых экосистемных процессов и служить основой для разработки рекомендаций по распределению стока с учетом экосистемных потребностей.

Учет выявленных изменений позволяет уточнить область практического применения экологического стока. Поскольку зимний сток в современных условиях регулирования уже существенно превышает естественные значения и его дополнительное регулирование ограничено эксплуатационными требованиями водохранилищ, установление специальных экологических требований для зимнего периода представляется нецелесообразным. Аналогично минимальные изменения осеннего стока не требуют введения дополнительных экологических требований.

На основании выявленных изменений гидрологического режима, а также установленных критических и лимитирующих условий функционирования пойменных экосистем предложены параметры режима экологического стока для приграничного российско-казахстанского участка р. Иртыш.

Годовой объем экологического стока. Его рекомендуется устанавливать на уровне не менее 80 % фактического годового стока. Поскольку регулирование не привело к существенному изменению среднегодовой водности, сохранение 80 % годового объема обосновано как базовая величина для поддержания экосистемных функций.

Многоводный период (апрель – август). В условиях сокращения половодья экологический сток должен быть ориентирован на восстановление параметров весенне-летнего периода. Рекомендуется обеспечивать объем стока не ниже 80 % условно-естественного режима, что позволяет приблизить гидрологические условия к естественной сезонной структуре и повысить вероятность затопления поймы.

Пиковый период половодья (май). Анализ критических и лимитирующих условий показал, что величина майского стока является ключевым гидрологическим индикатором выхода воды на пойму. Рекомендуется поддерживать объем стока в мае свыше 4 км³ для обеспечения выхода воды на пойму и превышения лимитирующих условий функционирования пойменных экосистем.

Предварительные параметры режима экологического стока (табл. 4) направлены на восстановление экологически значимых характеристик половодья при сохранении существующих условий регулирования стока и могут рассматриваться как практическая основа для согласования водохозяйственных режимов в приграничном участке р. Иртыш.

Таблица 4. Основные параметры предлагаемого режима экологического стока для приграничного российско-казахстанского участка р. Иртыш
Table 4. Main parameters of the proposed environmental flow regime for the Russian – Kazakh transboundary reach of the Irtysh River

Параметр режима экологического стока	Предлагаемый объем	Экологическое значение
Годовой сток	80 % от годового объема	Устойчивое функционирование речных экосистем
Многоводный период (апрель – август)	> 80 % условно-естественного стока	Приближение к естественному режиму многоводного периода, ключевого для функционирования экосистем
Минимальный сток мая (пик половодья)	> 4 км³	Выход воды на пойму, превышение лимитирующих условий функционирования экосистемы

ОБСУЖДЕНИЕ

Для оценки соответствия современного водного режима р. Иртыш предлагаемому режиму экологического стока проведено сравнение разработанных рекомендаций с фактическим режимом стока при регулировании. Для этого выбраны годы характерной водности (25, 50, 75, 95 %) из условно-естественного ряда и подобраны годы из ряда зарегулированного стока с близкими значениями годового стока (табл. 5). Такой подход правомерен, поскольку регулирование стока незначительно изменило суммарные годовые объемы, делая ряды сопоставимыми.

Анализ показал, что в многоводный год (2020 г., сопоставимый по годовому объему с условно-естественным стоком 1937 г., P = 25 %) при регулировании стока его объем за многоводный период оказался ниже установленного режима экологического стока: 15 426 млн м³ против требуемых 16 578 млн м³; в то же время критический сток мая был обеспечен: 5785 млн м³ при требуемых 4000 млн м³. В очень маловодный год при регулировании стока (1983 г., сопоставимый по объему с условно-естественным стоком 1951 г., обеспеченность 95 %) объемы стока за многоводный период и май оказались меньше требований режима экологического стока. В остальные сравниваемые годы – среднемноговодные (1975 и 1956 гг., обеспеченность 50 %), маловодные (1988 и 1927 гг., обеспеченность 75 %), – показатели фактического стока соответствовали установленным значениям экологического стока. Таким образом, в большинстве рассмотренных случаев требования режима экологического стока выполняются. Однако в современных условиях регулирования стока особое внимание следует уделять обеспечению режима экологического стока

Таблица 5. Сравнение условно-естественного, экологического и фактического стока в разные по водности годы

Table 5. Comparison of naturalized, environmental, and observed runoff for years with different hydrological conditions

Характеристика стока (водохозяйственный год)	Водохозяйственный год, млн м³	Многоводный период (апрель – август), млн м³	Май, млн м³
Условно-естественный 25 % (1937)	28 334	20 723	4604
Экологический 25 % (1937)	22 667	16 578	4000*
Фактический (2020)	27 065	**15 426**	5785
Условно-естественный 50 % (1956)	26 016	17 622	4659
Экологический 50 % (1956)	20 813	14 098	4000*
Фактический (1975)	26 296	15 857	4370
Условно-естественный 75 % (1927)	23 372	14 827	5732
Экологический 75 % (1927)	18 698	11 862	4000*
Фактический (1988)	23 874	15 101	5055
Условно-естественный 95 % (1951)	18 813	13 220	5083
Экологический 95 % (1951)	15 050	10 576	4000*
Фактический (1983)	18 856	**10 395**	**3027**

Примечание: * – объем 4000 млн м³ является лимитирующей величиной и при режиме экологического стока должен быть превышен для обводнения поймы.

в очень маловодные годы, поскольку именно в такие годы могут формироваться наиболее критические экологические условия.

Представленные в настоящей работе оценки носят предварительный характер. Для более точной оценки экологических условий необходимо учитывать режим максимальных уровней воды и особенности затопления пойменных территорий. В дальнейшем также требуется уточнение связи между объемами стока, динамикой уровней воды и характеристиками обводнения поймы, а также учет потерь воды, включая испарение с поверхности расположенных выше крупных водохранилищ.

Полученные в работе оценки параметров экологического стока могут служить научной основой для разработки экосистемно ориентированных механизмов распределения стока в трансграничном бассейне р. Иртыш. Дополнительную актуальность данная задача приобретает в связи с принятием нового Водного кодекса Республики Казахстан (2025 г.), который закрепляет понятие экологического стока и необходимость его поддержания с учетом специфики речных бассейнов. Такая нормативная база создает возможность сопоставления научных оценок экологического стока России и Казахстана и их дальнейшей интеграции в практику водохозяйственного управления.

ВЫВОДЫ

В работе предложен подход к определению параметров экологического стока для трансграничного участка р. Иртыш, основанный на применении восстановленных рядов условно-естественного стока, анализе характеристик зарегулированного водного режима и характеристик обводнения пойменных экосистем.

Установлены функции экологического стока, включающие сохранение доли стока для обеспечения экосистемных потребностей и поддержания функционирования пойменных экосистем.

Предложен адаптированный режим экологического стока, позволяющий учитывать ключевые экосистемные потребности при дальнейшем развитии хозяйственного использования водных ресурсов в трансграничном бассейне р. Иртыш. Для приграничного участка в створе р. Иртыш – с. Татарка предложено предварительное значение экологического стока на уровне около 80 % от объема условно-естественного годового стока при особой значимости весенне-летнего периода (апрель – август) в поддержании условий функционирования поймы. Для мая обосновано обеспечение объема стока свыше 4 км³, необходимого для обводнения пойменных экосистем.

Результаты создают научную основу для интеграции экологического стока в механизмы распределения трансграничных водных ресурсов р. Иртыш. Предложенный подход может быть применен и в других трансграничных бас-

сейнах с высокой степенью хозяйственного освоения, где восстановление природного состояния маловероятно и требуется поиск решений для поддержания ключевых экосистемных функций.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

CONFLICT OF INTERESTS

The authors declare no relevant conflict of interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Harwood A. J., Tickner D., Richter B. D., Locke A., Johnson S., and Yu X. Critical factors for water policy to enable effective environmental flow implementation // Frontiers in Environmental Science. 2018. Vol. 6. Art. 37. https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00037
2. King A. J., Gawne B., Beesley L., Koehn J. D., Nielsen D. L., and Price A. Improving ecological response monitoring of environmental flows. Journal of Environment Management. 2015. Vol. 55. P. 991–1005. https://doi.org/10.1007/s00267-015-0456-6
3. Arthington A. H., Bhaduri A., Bunn S. E., Jackson S. E., Tharme R. E., Tickner D., Young B., Acreman M., Baker N., Capon S., Horne A. C., Kendy E., McClain M. E., Poff N. L. R., Richter B. D., Ward S. The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows // Frontiers in Environmental Science. 2018. Vol. 6. Art. 45. https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00045
4. Dyson M., Bergkamp G., and Scanlon J., (eds.). Flow. The Essentials of Environmental Flows, 2nd Edn. Gland: IUCN, 2008.
5. Tickner D., Kaushal N., Speed R., Tharme R. Implementing Environmental Flows: Lessons for Policy and Practice // Frontiers in Environmental Science. 2020. Vol. 8. Art. 106. https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00106
6. Horne A. C., Webb J. A., Stewardson M. J., Richter B. D., and Acreman M., (eds.). Water for the Environment: from Policy and Science to Implementation and Management. Cambridge, MA: Elsevier, 2017.
7. Дубинина В. Г., Косолапов А. Е., Коронкевич Н. И., Чебанов М. С., Скачедуб Е. А. Методические подходы к экологическому нормированию безвозвратного изъятия речного стока и установлению экологического стока (попуска) // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2009. № 3. С. 26–61.
8. Бейсембаева М. А., Дубровская Л. И., Земцов В. А. Антропогенные изменения водных ресурсов и максимальных уровней реки Иртыш в равнинной части бассейна в Республике Казахстан // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 3. С. 6–15.
9. Бурлибаев М. Ж., Куц С. И., Шенбергер И. В., Бурлибаева Д. М. Анализ влияния весенних попусков реки Ертис (Иртыш) на обводнение ее поймы // Гидрометеорология и экология. 2013. № 4 (71). С. 68–80.
10. Пузанов А. В., Безматерных Д. М., Рыбкина И. Д., Зиновьев А. Т., Кошелева Е. Д., Ловцкая О. В. Трансграничные проблемы реки Иртыш: современное состояние и прогноз до 2030 года // Трансграничные водные объекты: использование, управление, охрана: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с межд. участием, 20–25 сент. 2021, Сочи. Сочи, 2021. С. 299–304.
11. Яковченко С. Г., Жерелина И. В., Рыбкина И. Д., Краморенко С. В. Оценка поступления тяжелых металлов в реку Иртыш и ее притоки с водосборной площади // Географический вестник = Geographical bulletin. 2025. № 1 (72). С. 73–85. https://doi.org/10.17072/2079-7877-2025-1-73-85

12. Баженова О. П., Костерова В. В., Адам А. М. Трансграничная река Иртыш как источник экосистемных услуг // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2024. Т. 16. № 6. С. 103–126. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-6-1015
13. Зайцев В. Ф., Ростовцев А. А., Шиповалов Л. А., Цапенков А. В., Прусевич Л. С. Оценка современного состояния запасов водных биоресурсов реки Иртыш на территории Омской области и перспективы их использования // Вестник рыбохозяйственной науки. 2015. Т. 2. № 4 (8). С. 22–33.
14. Винокуров Е., Ахунбаев А., Чуев С., Адахаев А., Сарсембеков Т. Бассейн реки Иртыш: трансграничные вызовы и практические решения. Доклад 25/2. Алматы: Евразийский банк развития, 2025. 57 с.
15. Косолапов А. Е., Болгов М. В., Савостицкий Д. В., Филиппова И. А. Изменение гидрологического режима реки Иртыш на территории Республики Казахстан в условиях функционирования Верхне-Иртышского каскада водохранилищ // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2026. № 3. С. 43–64; https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-3-43-64

REFERENCES

1. Harwood A. J., Tickner D., Richter B. D., Locke A., Johnson S., and Yu X. Critical factors for water policy to enable effective environmental flow implementation. *Frontiers in Environmental Science*. 2018. Vol. 6. Art. 37. https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00037
2. King A. J., Gawne B., Beesley L., Koehn J. D., Nielsen D. L., and Price A. Improving ecological response monitoring of environmental flows. *Journal of Environment Management*. 2015. Vol. 55. P. 991–1005. https://doi.org/10.1007/s00267-015-0456-6
3. Arthington A. H., Bhaduri A., Bunn S. E., Jackson S. E., Tharme R. E., Tickner D., Young B., Acreman M., Baker N., Capon S., Horne A. C., Kendy E., McClain M. E., Poff N. L. R., Richter B. D., Ward S. The Brisbane Declaration and Global Action Agenda on Environmental Flows. *Frontiers in Environmental Science*. 2018. Vol. 6. Art. 45. https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00045
4. Dyson M., Bergkamp G., and Scanlon J., (eds.). Flow. The Essentials of Environmental Flows, 2nd Edn. Gland: IUCN, 2008.
5. Tickner D., Kaushal N., Speed R., Tharme R. Implementing Environmental Flows: Lessons for Policy and Practice. *Frontiers in Environmental Science*. 2020. Vol. 8. Art. 106. https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00106
6. Horne A. C., Webb J. A., Stewardson M. J., Richter B. D., and Acreman M., (eds.). Water for the Environment: from Policy and Science to Implementation and Management. Cambridge, MA: Elsevier, 2017.
7. Dubinina V.G., Kosolapov A.E., Koronkevich N.I., Chebanov M.S., Skachedub E.A. Methodological approaches to environmental regulation of irreversible river runoff withdrawal and determination of environmental flow (release). *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2009. No. 3. P. 26–61.
8. Beisembaeva M. A., Dubrovskaya L. I., Zemtsov V. A. Anthropogenic changes in water resources and maximum water levels of the Irtysh River in the plain part of the basin within the Republic of Kazakhstan. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2018. Vol. 329. No. 3. P. 6–15.
9. Burlibaev M. Zh., Kuts S. I., Shenberger I. V., Burlibaeva D. M. Analysis of the influence of spring releases of the Ertis (Irtysh) River on the inundation of its floodplain. *Hydrometeorology and Ecology*. 2013. No. 4 (71). P. 68–80.
10. Puzanov A. V., Bezmaternykh D. M., Rybkina I. D., Zinoviev A. T., Kosheleva E. D., Lovtskaya O. V. Transboundary problems of the Irtysh River: current state and forecast until 2030. In: Transboundary

Water Bodies: Use, Management, Protection. *Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, Sochi, 20–25 September 2021*. Sochi. 2021. P. 299–304.
11. Yakovchenko S. G., Zherelina I. V., Rybkina I. D., Kramorenko S. V. Assessment of heavy metal input into the Irtysh River and its tributaries from the catchment area. *Geographical Bulletin*. 2025. No. 1 (72). P. 73–85. https://doi.org/10.17072/2079-7877-2025-1-73-85
12. Bazhenova O. P., Kosterova V. V., Adam A. M. The transboundary Irtysh River as a source of ecosystem services. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Vol. 16. No. 6. P. 103–126. https://doi.org/10.12731/2658-6649-2024-16-6-1015
13. Zaitsev V. F., Rostovtsev A. A., Shipovalov L. A., Tsapenkov A. V., Prusevich L. S. Assessment of the current state of aquatic biological resources of the Irtysh River in Omsk Oblast and prospects for their use. *Bulletin of Fisheries Science*. 2015. Vol. 2. No. 4 (8). P. 22–33.
14. Vinokurov E., Akhunbaev A., Chuev S., Adakhaev A., Sarsembekov T. The Irtysh River Basin: Transboundary Challenges and Practical Solutions. Report 25/2. Almaty: Eurasian Development Bank. 2025. 57 p.
15. Kosolapov A. E., Bolgov M. V., Savostitsky D. V., Filippova I. A. Changes in the hydrological regime of the Irtysh River within the Republic of Kazakhstan under operation of the Upper Irtysh reservoir cascade. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2026. No. 3. P. 43–64. https://doi.org/10.35567/1999-4508-2026-3-43-64

Сведения об авторах:

Никитина Оксана Игоревна, канд. геогр. наук, старший научный сотрудник, Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (ФГБУ РосНИИВХ), Россия, 344037, г. Ростов-на-Дону, ул. Ченцова, здание 10а; https://orcid.org/0000-0001-6627-3237; e-mail: oxana.niki@yandex.ru.

Косолапов Алексей Евгеньевич, д-р техн. наук, профессор, директор, Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов (ФГБУ РосНИИВХ), Россия, 344037, г. Ростов-на-Дону, ул. Ченцова, здание 10а; https://orcid.org/0000-0002-0440-9036; e-mail: akosol@mail.ru.

Савостицкий Дмитрий Валентинович, начальник Управления ресурсов вод и регулирования водохозяйственной деятельности, Федеральное агентство водных ресурсов, 117292, Москва, ул. Кедрова, дом. 8, корп. 1

Болгов Михаил Васильевич, д-р техн. наук, заведующий лабораторией, главный научный сотрудник, лаборатория моделирования поверхностных вод, отдел поверхностных вод, ФГБУН «Институт водных проблем РАН», 119333, Россия, Москва, ул. Губкина, 3; главный научный сотрудник, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Россия, 344037, г. Ростов-на-Дону, ул. Ченцова, 10а; https://orcid.org/0000-0003-3193-6488; e-mail: bolgovmv@mail.ru

About the authors:

Oxana I. Nikitina, Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (RosNIIVKh), 10a Chentsova Street, Rostov-on-Don, Russia, 344037; https://orcid.org/0000-0001-6627-3237; e-mail: oxana.niki@yandex.ru.

Alexey E. Kosolapov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Director, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (RosNIIVKh), 10a Chentsova Street, Rostov-on-Don, Russia, 344037; https://orcid.org/0000-0002-0440-9036; e-mail: akosol@mail.ru.

Dmitry V. Savostitskiy, Head, Federal Agency for Water Resources Department of water resources and water/economic activities regulation, ul. Kedrova, 8, build. 1, Moscow, 117292, Russia.

Mikhail V. Bolgov, Principal Researcher (PhD, Doctor of Science (habilitation)), Laboratory of Surface Water Modeling, Department of Surface Waters, Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, 119333, Russia, Moscow, ul. Gubkina, 3; Principal researcher, Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection (RosNIIVKh), Russia, 344037, Rostov-on-Don, 10a Chentsova Street; https://orcid.org/0000-0003-3193-6488; e-mail: bolgovmv@mail.ru

Поступила в редакцию / Received 27.05.2026.
Поступила после рецензирования / Revised 29.05.2026.
Принята к публикации / Accepted 18.06.2026.