

## КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ НОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И СВОБОДНОГО СТОКА РЕК КАЗАХСТАНА

М.Ж. Бурлибаев<sup>1</sup>, Д.М. Бурлибаева<sup>2</sup>

E-mail: MBurlibayev@cape.kz

<sup>1</sup>Казахстанское агентство прикладной экологии, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Институт географии и водной безопасности Министерства образования и науки Республики Казахстан, г. Алматы, Казахстан

**АННОТАЦИЯ:** Представлены методические предложения по замене утвержденных нормативов расчетов санитарных попусков из водохранилищ на экологический сток, предложена методика определения параметров экологического стока, которая может быть принята для Казахстана при осуществлении регулирования стока рек. Предпринята попытка использовать разработанные методические принципы, базирующиеся на экологической безопасности, для определения научно обоснованных количественных зависимостей и норм допустимых изъятий стока для основных рек Казахстана.

В рамках проведенного исследования Казахстан, как председатель Конвенции по трансграничным водотокам и водоемам Европейской экономической комиссии ООН, намерен вынести на обсуждение методика по обоснованию экологического стока и допустимых объемов изъятия речного стока.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** экологический сток, свободный сток, речная экосистема, гидрологический режим, уровенный режим, гидрохимический режим, речная пойма, затопление, минимально необходимый расход воды.

**Финансирование:** Работа выполнена в рамках проекта «Аналитическое исследование на тему «Экологический сток – основа сохранения экологической системы» по линии Конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (1992 г.), принятой под эгидой Европейской экономической комиссии Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН), а также Гранта Российской Федерации WWF1270/9Z1428(FY18-20)/GLO «Разработка научно-обоснованных рекомендательных норм регулирования гидрологического режима дельты реки Или (Казахстан)».

Анализ отечественных и зарубежных исследований по охране природного комплекса речных долин показывает, что водные ресурсы водотоков и водоемов нельзя целиком использовать на нужды отраслей экономики. Значительную их часть необходимо оставлять в виде экологического стока в речных системах для сохранения водных экосистем, обеспечивающих

© Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М., 2020

воспроизводство ценной водной и околородной флоры и фауны. В этой ситуации возникает острая необходимость в количественной оценке резервируемых в реках водных ресурсов по экологическим критериям.

Современный уровень деградации речных экосистем Казахстана [1–3] свидетельствует о том, что применяемая на практике методика обоснования минимально необходимых расходов воды (санитарные попуски) ниже крупных водохранилищ и других гидротехнических сооружений должна быть отменена как антиэкологичная. Необходимо обеспечить научное обоснование экологического стока рек ниже крупных водохранилищ и других гидротехнических сооружений, предназначенных для регулирования речного стока. Экологический сток, прежде всего, должен, учитывать интересы восстановления деградированных речных экосистем, тогда как свободный сток – удовлетворять потребности отраслей экономики.

При оценке экологического стока ниже гидроузлов и водозаборов в рамках данной работы принята методика, разработанная в Центральном научно-исследовательском институте комплексного использования водных ресурсов (под руководством профессора Б.В. Фащевского и профессора М.Ж. Бурлибаева) и базирующаяся на дифференцированном подходе к различным по экологической значимости рекам [1–3].

Методика содержит следующие принципиальные положения: экологический сток изменяется в зависимости от водности реального года, а не остается постоянным; экологический сток не может быть меньше минимальных расходов воды в данном створе за многолетний период. При обосновании экологического и свободного стока принято, что качество речных вод по показателям предельно допустимой концентрации (ПДК) загрязняющих веществ соответствует нормам рыбохозяйственного и рекреационного использования.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### Эколого-гидрологическое нормирование водного режима рек

В современном международном толковании «экологический сток» описывает количественные, качественные и временные параметры стока, необходимые для поддержания пресноводных и эстуарных экосистем, а также жизнеобеспечения населения. В настоящее время, как в отечественной, так и в зарубежной литературе, отсутствует единое толкование характеристик стока, оставляемого ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов. Понятие экологического стока (остаточного стока) ниже гидроузлов и водозаборов определяется по-разному: минимально приемлемые, минимально допустимые, минимально необходимые расходы воды, рыбохозяйственные попуски, сельскохозяйственные, природоохранные, экологические и санитарные. Различная терминология характеризует и крайне различные подходы к определению предельно необходимых расходов воды.

В Руководстве по составлению водохозяйственных балансов Европейской экономической комиссии ООН минимально необходимые расходы воды рекомендуется назначать с целью удовлетворения двух основных групп потребителей водных ресурсов:

- первая группа включает потребности здравоохранения и охраны природных ресурсов: сохранение санитарных условий в реке, биологического равновесия в водной и окружающей среде, геоморфологии русла и гидрогеологических условий в прибрежных районах, красоты природы и условий рекреации;
- к второй группе относятся водопользователи: гидроэнергетика, судоходство, водозаборы и т. д., для которых также необходим определенный водный режим.

Приоритетом пользуется первая группа, потребности второй удовлетворяются на основе экономических расчетов. Принцип расчета основан на априорном представлении о том, что минимально необходимый расход составляет часть характерного для данной реки минимального расхода, наблюдавшегося в течение длительного периода. Коэффициент представляется зависящим от комплекса природных, производственных, социальных факторов и устанавливается местными органами. Такой подход допускает широкую трактовку минимально необходимых расходов и в целом не отвечает основным принципам рационального использования водных ресурсов.

В Методическом руководстве по составлению водохозяйственных балансов и ведению водного кадастра отмечено, что страны постсоветского пространства установили для оценки минимально необходимых расходов методические подходы, учитывающие местные условия и гидрологический режим. Как правило, минимально необходимые расходы принимаются в зависимости от какой-либо расчетной или измеренной характеристики минимального стока реки.

Характеристики оставляемого в реках стока по странам СНГ в целом не регламентируются, но в ряде республик приняты ведомственные ограничения, не имеющие экологического обоснования. Так, в Казахстане действуют Временные указания по установлению минимально допустимых расходов воды, которые требуют оставления в руслах рек расходов воды, соответствующих 75 % минимального среднемесячного расхода  $P = 95$  % обеспеченности.

Термин «экологический сток» подразумевает внеэкономический подход. Экологический сток учитывает фазы развития водного режима и включает весеннее половодье, дождевые паводки, летнюю и зимнюю межень. Использовать при этом термин «минимальный» (необходимый, допустимый и т. д.) недопустимо, т. к. экологический сток (остаточный) весеннего половодья и дождевых паводков в год 25 % обеспеченности принимается

равным естественному стоку 50 % обеспеченности. Экологический сток учитывает весь природный комплекс речных систем – рыбу, луга, дельтовые леса, птиц, млекопитающих, поэтому отпадает необходимость оценивать отдельно сельскохозяйственные, рыбохозяйственные и другие расходы (попуски), обеспечивающие требуемое количество водных ресурсов для охраны природы, а также глубины, скорости, затопление поймы и т. д. Что касается охраняемых нормативов физического, химического и бактериологического загрязнения, их целесообразно выделить в отдельную группу – санитарный сток, который обеспечит разбавление загрязняющих веществ до предельно допустимых концентраций во все фазы водного режима.

Выполненные в рамках данной работы разработки позволили обосновать методику расчета экологического стока, резервируемого ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов, базирующуюся на оценке взаимосвязи элементов гидрологического режима водотоков, биоценозов поймы и русла.

### **Основы экологического нормирования водного режима при антропогенном воздействии**

Эколого-гидрологическое нормирование должно обеспечивать сохранение в водотоках и водоемах не только ценных организмов и популяций (рыбы, млекопитающие, птицы, растительность и др.), но и всего производства органического вещества живыми организмами.

Все элементы живой и неживой природы водного бассейна тесно связаны между собой: изменение элементов неживой природы (снижение уровней и расходов воды, глубин, скоростей течения, сроков затопления поймы, термического режима и др.), уклонов водной поверхности (изъятие части стока, строительство подпорных сооружений, одамбирование пойм и т. д.) изменяет условия обитания и численность живой природы. В результате этих преобразований меняется географический ландшафт, формируемый текущими водами.

Важнейшее условие обоснования предельно допустимого истощения речного стока (экологического стока) – обоснование устойчивости и надежности функционирования экосистемы ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов. Для каждой био- и экосистемы существует определенная область внешней среды, в которой механизмы взаимодействия обеспечивают гомеостаз системы – неустойчивое равновесное состояние, которое может колебаться около какой-то средней величины, но относительно постоянно. Для речных экосистем это сток весеннего половодья, осенних паводков, летней и зимней межени, температура воды и другие физические и химические свойства. Как отмечает В.Н. Новосельцев, для всех экосистем существуют предельные минимальные и макси-

мальные значения экологических факторов внешней среды, при выходе за пределы которых гомеостаз не обеспечивается. Вблизи этих границ может существовать неравновесное состояние популяций или экосистемы, которое поддерживается на очень низком уровне и медленно, но неуклонно идет процесс деградации.

В качестве характеристики гидрологического режима, используемой как показатель воздействия внешних факторов на элементы живой природы, могут использоваться как отдельные компоненты режима (объемы весеннего половодья и паводков, продолжительность и высота затопления поймы, уровни весеннего половодья, глубины на нерестовых участках, содержание растворенного кислорода в воде и др.), так и комплексные, охватывающие одновременно несколько факторов (например, объем половодья, продолжительность затопления, температуру воды, глубину на нерестовых участках и др.).

Анализ гомеостатических кривых – связи урожайности пойменных лугов, воспроизводства фито- и зоопланктона, донных беспозвоночных, сеголетков рыбы и уловов рыбы со сдвигом на срок достижения промыслового возраста, воспроизводства околоводных млекопитающих и птиц с гидрологическими характеристиками – показывает, что для средних и крупных рек минимум продуктивности приходится на очень многоводные и маловодные годы, а по мере приближения к среднему по водности году воспроизводство всех организмов нарастает и достигает максимума.

Таким образом, на кривой обеспеченности гидрологических характеристик (объема половодья, сроков затопления, среднего уровня за половодье, глубины межени и др.) выделяются предельные значения величин соответствующей частоты повторения, которые могут быть обозначены как красные линии –  $P = 0,1$  и  $99,9$  %. Известно, что в течение последних 1000 лет необратимых изменений в большей части речных и озерных экосистем в естественных условиях развития природы (без воздействия человека) не произошло, т. е. имели место катастрофически многоводные и катастрофически маловодные годы, очень многоводные и очень маловодные ( $P = 5-10$  и  $90-95$  % обеспеченности, повторяющиеся иногда два года подряд). Но по мере дальнейшего повторения лет, близких по водности к среднему году ( $P = 40-60$  % обеспеченности), с учетом внутригодового режима экосистема возвращалась в исходное состояние. В этом случае устойчивость экосистемы, ее гомеостаз обеспечивается ритмическими колебаниями гидрологических характеристик по вертикали (величине), горизонтали (времени внутри года) и частоте (времени от года к году).

Одним из важнейших параметров, обеспечивающих сохранение реки в устойчивом природном состоянии, является руслоформирующий расход

воды. Как показывают выполненные расчеты, для большей части рек руслоформирующие расходы близки к максимумам весеннего половодья  $P = 50\%$  обеспеченности. При соблюдении этого условия вертикальная эрозия заменяется боковой и река трансформируется в другую природную геосистему. Для аналитического расчета динамически устойчивой допустимой ширины потока могут быть рекомендованы формулы И.Ф. Карасева [4]:

$$B = 0,85 \left( \frac{Q}{\sqrt{qHI}} \right), \quad (1)$$

где  $B$  – ширина реки;

$Q$  – расход воды;

$H$  – средняя глубина потока;

$I$  – уклон;

$q$  – ускорение силы тяжести.

$$B \leq 3,65 (Hd)^{1/4} \frac{H}{I}^{1/2}, \quad (2)$$

где  $d$  – крупность частиц руслоформирующей фракция наносов.

Устойчивость и надежность эко- и геосистем базируется на вероятностных процессах, описываемых кривыми распределения. Кривая распределения в этом случае описывает некую систему, способную сохранять устойчивость в пределах колебаний от  $P = 0,1$  до  $99,9\%$  обеспеченности. Подтверждением служат сравнительные данные параметров кривых распределения (обеспеченности), характеризующих речной сток (половодья, паводки, межени), кислородный режим, урожайность лугов, уловы рыбы, биомассу и численность зоопланктона и т. д.

Основная особенность экологических систем – большая сложность, обусловленная сочетанием живой и неживой природы. Живые системы от неживых отличаются способностью к самовоспроизводству. Поэтому устойчивость компонентов живой природы определяется кроме динамических факторов неживой природы биотическими особенностями, а именно – способностью к сохранению воспроизводительных функций от поколения к поколению.

Устойчивость экосистем определяют как допустимую (без риска разрушения) меру отклонений заданных свойств системы от нормы. В этом определении устойчивость системы устанавливается по отношению к определенному, ограниченному числу выбранных свойств и ряду конкретных, возмущающих воздействий среды. Устойчивость экосистем определяется по мере отклонения от нормы заданных свойств (например, нерестовых глубин и скоростей течения), вызванных возмущающей силой внешнего воздействия. Такой подход позволяет положить в основу количественных оценок устойчивости сопоставления: с одной стороны, меру допустимых отклонений заданных свойств от нормы, с другой, – меру возмущающих воздействий. Область устойчивости, таким образом, определяется мерой

отклонений, которые могут быть ликвидированы самой экосистемой, в результате чего она может вернуться в исходное состояние.

Представляется целесообразным оценить область устойчивости отдельных компонентов живой природы на основе совместного анализа гомеостатических кривых и кривых распределения вероятностей возмущающих факторов, в данном случае – характеристик стока в различные фазы водного режима. Нижний предел допустимых изменений может расцениваться по степени равноущербности компонентам живой природы в расчетные по водности годы. Известно, что в период весеннего половодья в годы  $P = 95\%$  обеспеченности поймы большинства рек не затапливаются. Аналогичная картина наблюдается в половодье и в годы  $P = 99\%$  обеспеченности.

Верхний предел соответствует  $P = 40\text{--}60\%$  обеспеченности стока (весеннего, меженного и паводков), т. е. максимум воспроизводства может быть принят равным стоку  $50\%$  обеспеченности. Встает вопрос, к какой же повторяемости отнести гидрографы естественного стока  $P = 50\%$  обеспеченности, соответствующие годовому объему стока, на кривой обеспеченности годового экологического стока. Выполненные эксперименты при отнесении характеристик естественного стока (весеннего и меженного) к  $P = 50, 33, 25$  и  $20\%$  обеспеченности экологического стока показывают, что полная компенсация ущерба основным компонентам речных экосистем – рыбе и лугам (по которым имеются достаточно длительные ряды наблюдений) в маловодную фазу (зона кривой обеспеченности экологического стока менее  $P = 50\%$ ) отмечается при принятии  $P = 25\%$  обеспеченности за счет срезки высокого стока в многоводную фазу – зона кривой от  $50\%$  обеспеченности и выше. Это соотношение и принято для дальнейших расчетов, хотя без возможности многолетнего регулирования и больших объемов безвозвратного изъятия оно может считаться идеализированным. Однако следует подчеркнуть, что в зоне маловодной фазы ординаты стока при принятии  $P = 33, 25$  и  $20\%$  обеспеченности разнятся не более чем на  $10\text{--}15\%$  и находятся в пределах точности исходных данных. Основные расхождения отмечаются в зоне кривой выше  $P = 50\%$  обеспеченности.

Выполненные в рамках данной работы расчеты позволили получить важные выводы об устойчивости речных экосистем:

– речной сток, оставляемый ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов для охраны природы, имеет большее значение, чем только количество воды. С изменением водности меняются многие физические и химические характеристики. Поэтому экологический сток, описываемый гидрографами, служит комплексным показателем, учитывающим все гидрологические характеристики;

– оставляемый ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов сток по условиям охраны природы не может приниматься постоянной

величиной (тем более равным величине межennaleго стока  $P=95$  обеспеченности), он изменяется по величине расходов воды от определенного минимума до определенного максимума; по времени внутри года, соответствуя типовым схемам внутригодового распределения стока, приближающегося к естественному режиму в годы данной водности; по частоте или повторяемости годового стока, приближаясь в определенных пределах также к естественным природным колебаниям.

Решающую роль в экологической значимости рек играет коэффициент развитости поймы. На его основе все реки Казахстана типизированы на три группы:

– с высокой экологической значимостью: развитая пойма ( $K_p > 5$ ), сток которых определяет нормальное функционирование экосистем внутренних морей и озер;

– с средней экологической значимостью: среднеразвитая пойма ( $2 < K_p < 5$ );

– с низкой экологической значимостью: неразвитая пойма ( $K_p < 2$ ).

При этом в засушливых районах Казахстана нижние участки многих рек, стекающих с гор, никуда не впадают и теряются в песках в процессе естественного истощения. Их экологический сток оценивается только на выходе из гор, а оставшаяся часть водных ресурсов должна распределяться на основе экономических расчетов.

Для практических расчетов экологического стока рекомендуется следующая схема:

– статистический диапазон колебаний характеристик стока определяется (с целью некоторого запаса по условиям охраны природы) не в области  $P = 0,1$  и  $99,9$  %, а в области  $P = 1,0$  и  $99,0$  % обеспеченности;

– нижний предел экологического стока описывается гидрографами естественного стока  $P = 99$  % обеспеченности, т. е. запасами водных ресурсов в речной экосистеме;

– верхний предел экологического стока для средних и крупных рек описывается гидрографами  $P = 50$  % обеспеченности, т. е. в годы, когда наблюдается максимум воспроизводства живой природы (луга, рыба и др.), а руслоформирующий расход половодья, обеспечивающий сохранение реки как устойчивой ландшафтной единицы, для большей части равнинных рек соответствует  $P = 50$  % обеспеченности;

– выполняется расчет значений естественного годового стока различной обеспеченности и выборка соответствующих значений стока расчетной обеспеченности ( $P = 99$  и  $50$  % для средних и крупных рек);

– учитывая примерно равную ущербность экосистемам в очень мало-водные годы  $P = 99$  и  $95$  % обеспеченности величина экологического стока в год  $P = 95$  % обеспеченности принимается равной естественному стоку  $P = 99$  % обеспеченности;

– величина естественного годового стока  $P = 50$  % обеспеченности принимается равной экологическому стоку  $P = 25$  % обеспеченности. По двум точкам проводится логнормальная кривая, позволяющая получить весь диапазон расчетных значений стока (весеннего, меженного и паводков соответственно, и годового).

На основе матриц естественного среднемесячного стока рассчитывается его внутригодовое распределение в годы различной обеспеченности [4] или, при коротких рядах наблюдений, по распределению реальных лет. Относительное (в долях от единицы) расчетное внутригодовое распределение экологического стока принимается равным распределению естественного стока той же смежной обеспеченности ( $P = 95-99$  %,  $P = 85-95$  % и т. д.). Путем умножения годового экологического стока  $\left[ \sum_1^{12} q \right]$  на относительную величину месячного стока можно получить внутригодовое распределение экологического стока в годы различной обеспеченности для рек с высокой экологической значимостью;

Для рек средней экологической значимости допускается в месячные величины стока вводить коэффициент снижения, учитывающий внутригодовую зарегулированность стока [1]:

$$\delta = 1 - \frac{Q_{95\%}^{min}}{Q_{95\%}^{max}}, \quad (3)$$

где  $\delta$  – коэффициент снижения стока;  $Q_{95\%}^{min}$  и  $Q_{95\%}^{max}$  – соответственно минимальный и максимальный среднемесячные расходы воды года 95 % обеспеченности.

Введение такого коэффициента снижает величину экологического стока (в среднем на 5–10 %) и позволяет использовать для нужд отраслей экономики больше воды из рек, имеющих большую естественную зарегулированность. При этом для рек с низкой экологической значимостью во все месяцы, за исключением весеннего половодья, сток принимается равным минимальным межнным стокам данной расчетной обеспеченности (10, 25, 50, 75, 95 %). Если в реках со средней и низкой экологической значимостью обитают полупроходные и проходные рыбы, то осенне-зимние и зимне-весенние экологические расходы воды рекомендуется назначать в соответствии с рекомендациями для рек с высокой экологической значимостью. Учитывая, что в большей части не перегороженных плотинами рек обитают проходные и полупроходные рыбы, снижение расходов внутри года проводится только в теплый период.

По данному алгоритму составлена программа, где в автоматизированном режиме рассчитываются параметры кривых обеспеченности годового естественного стока и экологического стока, по разности ординат которых опреде-

ляются величины свободного годового стока (изъятие водных ресурсов) различной обеспеченности. В виде выходной информации выдаются таблицы внутригодового распределения естественного, экологического и свободного стоков в помесячном разрезе для лет с  $P = 10, 25, 50, 75$  и  $95\%$  обеспеченности.

На основе рассчитанных величин годового экологического стока построены графические связи экологического стока различной обеспеченности ( $95, 75, 50$  и  $25\%$ ) и естественного стока  $50\%$  обеспеченности, получены региональные зависимости вида:

$$W_{\text{эк}}^{P\%} = \alpha W_{\text{ест.}}^{50\%}, \quad (4)$$

где  $W_{\text{эк}}^{P\%}$  – расчетные значения годового экологического стока;

$\alpha$  – коэффициент перехода от нормы естественного стока к экологическому расчетной обеспеченности;

$W_{\text{ест.}}^{50\%}$  – естественный годовой сток  $P=50\%$  обеспеченности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Определение допустимого изъятия стока с учетом экологических требований

Методологические основы расчета экологического стока, резервируемого ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов в соответствии с требованиями охраны природы, впервые приведены в работах [5–7]. В данных исследованиях, в частности, утверждается, что необходимо охватить взаимосвязь компонентов живой и неживой природы для научного обоснования допустимой степени регулирования и изъятия водных ресурсов, т. е. динамику гидрологического режима, урожайности пойменных лугов, рыбных запасов и т. д. На контрольных створах и участках основных водоисточников во всех фазах водного режима следует вести наблюдения за млекопитающими, бактериями, высшей водной и околоводной растительностью и т. д., а также за сроками вегетации различных видов растительности, нереста рыб, размножения млекопитающих.

В настоящее время по уровню антропогенной трансформированности водных экосистем условно выделяются четыре типа состояния, обусловленных соответствующей величиной нагрузки:

– экологически безопасное состояние: ситуация, при которой вследствие экзогенных и эндогенных процессов природного или антропогенного характера происходят изменения структурно-функциональной организации экосистемы в пределах границ толерантности естественной стадии гидрогенеза;

– состояние экологического риска: ситуация, при которой происходят изменения естественного механизма саморегуляции в сторону перехода на качественно новый уровень самоорганизации. Возможен возврат речной

экосистемы в исходное состояние путем снятия фактора воздействия до уровня ниже критического;

– кризисное состояние: фиксируется выход речной экосистемы за пределы гомеостаза, нарушаются механизмы саморегуляции, отмечаются деструктивные изменения структурно-функциональной организации, при этом возврат таких речных экосистем в исходное состояние естественным путем невозможен;

– состояние экологической катастрофы: ситуация, при которой вследствие экзогенных процессов природного или антропогенного характера идет разрушение структурно-функциональной организации речной экосистемы, возврат речной экосистемы в исходное состояние естественным путем или принудительной рекультивацией невозможен.

При оценке экологически допустимого безвозвратного изъятия стока рек необходимо исходить из основной предпосылки сохранения экологически безопасного и устойчивого состояния водной экосистемы, когда изменения структурно-функциональной организации происходят в пределах границ толерантности естественной стадии гидрогенеза и не подрывают способность природного комплекса к самоочищению и саморегуляции. Следовательно, экологически безопасная нагрузка – это допустимая доза воздействия экзогенных факторов, не приводящая к выходу речной экосистемы за границы параметров при неограниченном времени воздействия.

При определении уровня загрязнения водного объекта по действующему законодательству качество воды должно отвечать нормативным требованиям. Этот фактор в современных условиях якобы учитывается в виде санитарного попуска (минимально необходимых расходов воды), обеспечивающего нормативные концентрации загрязняющих веществ в заданном створе. Если для поддержания нормативного качества воды требования оказываются жестче, чем требования к объему предельно допустимого изъятия (ПДИ) и экологического стока (ЭС), последние принимают в соответствии с требованиями, обеспечивающими нормативное качество.

Профессор В.Г. Дубинина предложила два варианта определения критических расходов для установления ПДИ [7]:

– метод на основе связей биологических и гидрологических характеристик состояния экосистем;

– метод на основе критических экологических параметров, основанных на использовании косвенных характеристик состояния экосистем.

Нормативы предельно допустимого экологически безопасного безвозвратного изъятия речного стока устанавливается дифференцированно для каждого водного объекта в разных створах. Этот метод применим для рек и их участков, имеющих многолетние данные по ведущим параметрам

гидрологического режима и различным показателям биопродуктивности водных и околосредовых экосистем. При отсутствии количественных зависимостей различных видов антропогенного воздействия на водные экосистемы при нормировании безвозвратного изъятия речного стока и расчете экологического стока рекомендуется использовать второй метод. Для водотоков экологически значимый элемент гидрологического режима – это скорость воды в потоке; для дельтовых озер – уровень солености воды. Также при нормировании безвозвратного изъятия речного стока учитывают экологические требования к естественному размножению рыб.

На основании изложенного метода определяют параметры гидрологического режима, при которых создаются «критические» условия для естественного размножения рыб. Из этого следует, что в данном методе учитывается еще и санитарная функция реки, а не только экологическая.

Расчеты по определению гарантированной величины экологического стока рек Казахстана в рамках данного исследования проведены для двух вариантов:

- при наличии гидрологического ряда наблюдений за стоком реки;
- при отсутствии (недостаточности) стокового ряда.

Ниже представлена последовательность выполнения аналитических и расчетных работ, позволивших обосновать объем экологического стока. Согласно методике, для этих расчетных створов оценивались коэффициенты развитости пойм и продолжительности ее затопления для определения и отнесения реки к тому или иному типу гидролого-экологической классификации, приводимой в методике [8, 9]. При этом, на основе топографических материалов, были уточнены отметки затопления поймы, в результате чего получен средневзвешенный коэффициент развитости поймы р. Урал ( $K_p = 8,20$ ) при средней продолжительности ее затопления 20,5 сут.

В соответствии с гидролого-экологической классификацией р. Урал отнесена к рекам высокой природно-хозяйственной значимости с учетом компонентов речного природного комплекса. Для нижних участков Урала величина естественного стока  $P = 95$  % обеспеченности от 3,84 до 14,01 км<sup>3</sup>/год  $P = 25$  % обеспеченности: объем допустимых изъятий изменяется от 0,39 км<sup>3</sup>/год  $P = 95$  % до 5,25 км<sup>3</sup>/год  $P = 25$  % при экологическом стоке 3,45 и 8,76 км<sup>3</sup> за соответствующие годы (табл. 1).

Объем естественного стока р. Урал в створе Кушум составляет 8,83 и 5,24 км<sup>3</sup>/год; величина допустимых изъятий стока в годы  $P = 50$  % и  $P = 75$  % равна 3,00 и 1,24 км<sup>3</sup> при экологическом стоке 5,83 и 4,00 км<sup>3</sup>.

При обосновании и расчете величины экологического стока за месяц особое внимание обращено на половодья (апрель, май, июнь), когда совпадают во времени пик хода миграции осетровых рыб на нерестилища и пик половодья.

**Таблица 1.** Объемы экологического и свободного речного стока рек по условиям охраны речной экосистемы, км<sup>3</sup>  
 Table 1. Volumes of ecological and free river flow of rivers according to the conditions of river ecosystem protection, km<sup>3</sup>

| Река–створ                | Обеспеченность, % |       |       |       |                             |       |      |      |                    |       |       |       |
|---------------------------|-------------------|-------|-------|-------|-----------------------------|-------|------|------|--------------------|-------|-------|-------|
|                           | естественный сток |       |       |       | потенциально свободный сток |       |      |      | экологический сток |       |       |       |
|                           | 25                | 50    | 75    | 95    | 25                          | 50    | 75   | 95   | 25                 | 50    | 75    | 95    |
| Иртыш – Буран             | 11,51             | 9,49  | 7,75  | 5,41  | 2,00                        | 1,77  | 1,42 | 1,07 | 9,51               | 7,72  | 6,32  | 4,34  |
| Иртыш – Усть-Каменогорск  | 23,43             | 19,71 | 16,52 | 11,66 | 3,61                        | 3,19  | 2,86 | 2,57 | 19,82              | 16,52 | 13,66 | 9,09  |
| Иртыш – Черлак            | 33,19             | 27,66 | 22,88 | 17,15 | 5,53                        | 4,73  | 3,56 | 2,78 | 27,66              | 22,93 | 19,32 | 14,37 |
| Иртыш – Тобольск          | 80,83             | 67,93 | 56,21 | 43,03 | 13,00                       | 11,39 | 8,83 | 7,31 | 67,83              | 56,54 | 47,38 | 35,72 |
| Тобол – Костанай          | 0,84              | 0,36  | 0,15  | 0,09  | 0,49                        | 0,21  | 0,04 | 0,01 | 0,35               | 0,15  | 0,11  | 0,08  |
| Тобол – Курган            | 2,36              | 1,18  | 0,62  | 0,34  | 1,22                        | 0,57  | 0,16 | 0,01 | 1,14               | 0,61  | 0,46  | 0,33  |
| Тобол – Липовское         | 33,70             | 24,54 | 18,12 | 13,03 | 9,18                        | 6,41  | 3,52 | 1,78 | 24,52              | 18,13 | 14,60 | 11,25 |
| Ишим – Петропавловск      | 2,82              | 1,62  | 0,61  | 0,35  | 1,51                        | 0,71  | 0,18 | 0,07 | 1,31               | 0,91  | 0,43  | 0,28  |
| Или – 37 км ниже пос. Или | 16,47             | 14,13 | 12,74 | 10,57 | 2,18                        | 1,66  | 1,07 | 0,68 | 14,29              | 12,47 | 11,67 | 9,89  |
| Или – Ушжарма             | 21,72             | 18,81 | 17,11 | 14,18 | 1,72                        | 1,56  | 1,40 | 1,25 | 20,00              | 17,25 | 15,71 | 12,93 |
| Карагал – Ушгобе          | 2,58              | 1,93  | 1,49  | 1,04  | 0,64                        | 0,47  | 0,28 | 0,18 | 1,94               | 1,46  | 1,21  | 0,86  |
| Карагал – Наймансуйек     | 3,13              | 2,41  | 1,65  | 1,21  | 0,65                        | 0,51  | 0,35 | 0,26 | 2,48               | 1,90  | 1,30  | 0,95  |
| Урал – Кизильское         | 1,49              | 0,82  | 0,49  | 0,27  | 0,67                        | 0,38  | 0,16 | 0,05 | 0,82               | 0,44  | 0,33  | 0,22  |
| Урал – Кушум              | 14,01             | 8,83  | 5,24  | 3,84  | 5,25                        | 3,00  | 1,24 | 0,39 | 8,76               | 5,83  | 4,00  | 3,45  |
| Чу – Фурмановка           | 1,74              | 1,59  | 1,45  | 1,30  | 0,73                        | 0,66  | 0,58 | 0,77 | 1,01               | 0,93  | 0,87  | 0,53  |
| Талас – Караой            | 0,64              | 0,58  | 0,52  | 0,41  | 0,33                        | 0,30  | 0,27 | 0,21 | 0,31               | 0,28  | 0,25  | 0,20  |
| Асса – Маймак             | 0,45              | 0,36  | 0,30  | 0,26  | 0,18                        | 0,15  | 0,14 | 0,10 | 0,27               | 0,21  | 0,16  | 0,15  |

Водность этих месяцев является определяющей и во влагозарядке пойменных почв, что, в конечном итоге, сказывается на урожае травостоя.

Доля экологического стока в эти месяцы особенно велика: например, в год  $P = 95$  % обеспеченности объем экологического стока за апрель, май, июнь равен  $2,43 \text{ км}^3$ , что составляет около 70 % годового объема. В годы  $P = 70, 50, 25$  % показатели весеннего экологического стока равны  $2,62; 4,31; 7,10 \text{ км}^3$  соответственно и составляют 66, 74, 81 % годового объема экологического стока. При этом приведенные увеличенные объемы экологического стока в период нереста осетровых рыб не устраняют отрицательное влияние загрязнения реки неочищенными сточными водами, а также другие биологические и биотические факторы, отрицательно влияющие на естественное воспроизводство осетровых.

При обосновании экологического и свободного стока, исходя из гидролого-экологических особенностей речного бассейна, аналогичный индивидуальный подход применен в отношении всех рассматриваемых рек Казахстана (табл. 2). Например, для р. Иртыш особое внимание уделено затоплению пойменных лугов, одновременно являющихся поставщиком сена для Восточно-Казахстанской и Павлодарской областей и Российской Федерации (нижнее течение реки). При обосновании экологического стока также были учтены требования, предъявляемые судоходством к стоку реки.

Годовые объемы экологического стока р. Иртыш в створе г. Усть-Каменогорска при водности года  $P = 25, 50, 75$  и 95 % соответственно равны  $19,82; 16,52; 13,66; 9,09 \text{ км}^3$ , из них соответствующие доли весеннего экологического стока составляют  $9,34; 7,19; 6,11; 3,73 \text{ км}^3$ . В створе с. Черлак при такой же последовательности водности объем экологического стока равен:  $27,66; 22,93; 19,32; 14,37 \text{ км}^3$ . В этих створах доля весеннего экологического стока в его годовых объемах составляет 45–67 %. Таким образом, исходя из условий основных компонентов природного комплекса речных долин, наиболее важным для сохранения экосистем реки является обеспечение экологическим стоком в весенний период.

Среди рек, отнесенных к группе высокой природно-хозяйственной значимости, особое место занимают реки Или и Каратал, обеспечивающие потребности в воде уникального по своей природе Или-Балхашского природного комплекса. В результате эксплуатации Капчагайского водохранилища в низовьях р. Или сформировалось катастрофическое положение, выразившееся в деградации пойменных лугов из-за отсутствия весеннего затопления. Коренным изменениям подвергся также гидрохимический режим реки в результате потери самоочищающей способности в связи с увеличивающимся с каждым годом объемом сточных и возвратных вод с орошаемых территорий.

**Таблица 2.** Внутригодовое распределение экологического стока рек по условиям охраны речной экосистемы, км<sup>3</sup>  
 Table 2. Intra-year distribution of ecological flow of rivers according to the conditions of river ecosystem protection, km<sup>3</sup>

| Обеспеченность Р, % | Месяц                    |      |      |      |       |       |       |      |      |      |      |      |
|---------------------|--------------------------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|
|                     | I                        | II   | III  | IV   | V     | VI    | VII   | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|                     | Иртыш – Боран            |      |      |      |       |       |       |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,15                     | 0,13 | 0,16 | 0,47 | 1,67  | 2,77  | 1,73  | 1,13 | 0,56 | 0,36 | 0,24 | 0,14 |
| 50                  | 0,13                     | 0,11 | 0,13 | 0,37 | 1,51  | 2,15  | 1,43  | 0,78 | 0,47 | 0,32 | 0,19 | 0,13 |
| 75                  | 0,11                     | 0,10 | 0,11 | 0,39 | 1,34  | 1,67  | 1,02  | 0,64 | 0,36 | 0,27 | 0,17 | 0,14 |
| 95                  | 0,10                     | 0,09 | 0,10 | 0,30 | 1,62  | 0,71  | 0,96  | 0,68 | 0,31 | 0,20 | 0,15 | 0,12 |
|                     | Иртыш – Усть-Каменогорск |      |      |      |       |       |       |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,66                     | 0,59 | 0,67 | 1,79 | 3,89  | 3,66  | 1,97  | 1,84 | 1,52 | 1,58 | 0,92 | 0,73 |
| 50                  | 0,55                     | 0,48 | 0,61 | 1,40 | 2,82  | 2,97  | 2,16  | 1,45 | 1,33 | 1,30 | 0,82 | 0,63 |
| 75                  | 0,43                     | 0,38 | 0,49 | 1,37 | 2,52  | 2,22  | 1,43  | 1,30 | 1,10 | 1,07 | 0,78 | 0,57 |
| 95                  | 0,42                     | 0,28 | 0,31 | 0,80 | 1,90  | 1,03  | 0,91  | 0,99 | 0,76 | 0,68 | 0,54 | 0,47 |
|                     | Иртыш – Черлак           |      |      |      |       |       |       |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,82                     | 0,66 | 0,69 | 3,30 | 6,53  | 5,27  | 3,37  | 2,02 | 1,58 | 1,70 | 1,15 | 0,55 |
| 50                  | 0,80                     | 0,54 | 0,62 | 2,31 | 5,30  | 4,03  | 3,05  | 1,75 | 1,55 | 1,29 | 1,02 | 0,67 |
| 75                  | 0,63                     | 0,47 | 0,50 | 2,04 | 3,22  | 4,68  | 2,39  | 1,49 | 1,33 | 1,19 | 0,75 | 0,63 |
| 95                  | 0,51                     | 0,37 | 0,39 | 1,83 | 3,71  | 2,10  | 1,04  | 1,12 | 0,92 | 0,91 | 0,69 | 0,78 |
|                     | Иртыш – Тобольск         |      |      |      |       |       |       |      |      |      |      |      |
| 25                  | 1,57                     | 1,26 | 1,27 | 2,67 | 13,27 | 16,17 | 10,27 | 8,34 | 4,79 | 3,73 | 2,48 | 2,01 |
| 50                  | 1,40                     | 1,13 | 1,13 | 2,41 | 12,54 | 12,47 | 8,73  | 5,37 | 4,12 | 3,39 | 2,08 | 1,77 |
| 75                  | 1,17                     | 1,02 | 1,05 | 2,30 | 11,85 | 9,22  | 6,44  | 4,75 | 3,11 | 2,91 | 1,94 | 1,62 |
| 95                  | 0,81                     | 0,78 | 0,73 | 2,20 | 10,77 | 8,35  | 3,50  | 2,14 | 2,21 | 2,08 | 1,08 | 1,07 |
|                     | Тобол – Курган           |      |      |      |       |       |       |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,01                     | 0,01 | 0,01 | 0,21 | 0,59  | 0,13  | 0,04  | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,01 |
| 50                  | 0,01                     | 0,01 | 0,01 | 0,15 | 0,22  | 0,08  | 0,04  | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| 75                  | 0,01                     | 0,01 | 0,01 | 0,14 | 0,17  | 0,04  | 0,01  | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 95                  | 0,01                     | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,16  | 0,03  | 0,01  | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
|                     | Тобол – Липовское        |      |      |      |       |       |       |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,35                     | 0,33 | 0,33 | 1,91 | 5,68  | 6,20  | 3,21  | 1,93 | 1,59 | 1,50 | 0,89 | 0,61 |
| 50                  | 0,30                     | 0,22 | 0,22 | 1,30 | 3,89  | 4,67  | 3,17  | 1,36 | 0,92 | 0,84 | 0,72 | 0,52 |
| 75                  | 0,25                     | 0,19 | 0,18 | 1,10 | 2,99  | 4,35  | 2,29  | 0,82 | 0,66 | 0,81 | 0,57 | 0,39 |
| 95                  | 0,20                     | 0,11 | 0,10 | 1,06 | 4,13  | 2,66  | 0,97  | 0,65 | 0,39 | 0,39 | 0,32 | 0,27 |
|                     | Ишим – Петропавловск     |      |      |      |       |       |       |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,01                     | 0,01 | 0,01 | 0,29 | 0,68  | 0,16  | 0,06  | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| 50                  | 0,01                     | 0,01 | 0,01 | 0,16 | 0,25  | 0,08  | 0,03  | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 |
| 75                  | 0,01                     | 0,01 | 0,01 | 0,09 | 0,17  | 0,06  | 0,02  | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 95                  | 0,01                     | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,09  | 0,04  | 0,02  | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |

| Обеспеченность Р, % | Месяц                  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------|------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                     | I                      | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|                     | Урал – Кизильское      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,01                   | 0,01 | 0,02 | 0,41 | 0,13 | 0,06 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| 50                  | 0,01                   | 0,01 | 0,01 | 0,15 | 0,11 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| 75                  | 0,01                   | 0,01 | 0,01 | 0,11 | 0,09 | 0,05 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
| 95                  | 0,01                   | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,08 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 |
|                     | Урал – Кушум           |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,11                   | 0,09 | 0,10 | 1,28 | 4,80 | 1,02 | 0,38 | 0,27 | 0,22 | 0,20 | 0,17 | 0,12 |
| 50                  | 0,10                   | 0,08 | 0,09 | 1,7  | 2,12 | 0,92 | 0,37 | 0,23 | 0,19 | 0,20 | 0,15 | 0,11 |
| 75                  | 0,07                   | 0,06 | 0,08 | 0,95 | 1,17 | 0,50 | 0,33 | 0,22 | 0,18 | 0,19 | 0,15 | 0,10 |
| 95                  | 0,06                   | 0,04 | 0,05 | 0,94 | 1,04 | 0,45 | 0,26 | 0,16 | 0,12 | 0,12 | 0,14 | 0,07 |
|                     | Чу – Фурмановка        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,08                   | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,13 | 0,22 | 0,35 | 0,25 | 0,14 | 0,11 | 0,09 | 0,08 |
| 50                  | 0,07                   | 0,07 | 0,07 | 0,06 | 0,12 | 0,21 | 0,23 | 0,23 | 0,13 | 0,10 | 0,09 | 0,08 |
| 75                  | 0,05                   | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,10 | 0,17 | 0,22 | 0,19 | 0,12 | 0,10 | 0,09 | 0,07 |
| 95                  | 0,02                   | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,15 | 0,21 | 0,25 | 0,10 | 0,05 | 0,05 | 0,03 |
|                     | Талас – Караой         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,02                   | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,09 | 0,11 | 0,08 | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,02 |
| 50                  | 0,02                   | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,09 | 0,10 | 0,07 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| 75                  | 0,01                   | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,04 | 0,08 | 0,07 | 0,06 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 0,02 |
| 95                  | 0,01                   | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |
|                     | Или – урочище Капшагай |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,50                   | 0,50 | 0,74 | 0,85 | 1,35 | 2,13 | 2,64 | 2,30 | 1,13 | 0,83 | 0,73 | 0,59 |
| 50                  | 0,46                   | 0,45 | 0,73 | 0,76 | 1,15 | 1,60 | 1,98 | 2,19 | 1,10 | 0,78 | 0,70 | 0,57 |
| 75                  | 0,43                   | 0,40 | 0,68 | 0,78 | 1,30 | 1,36 | 1,90 | 1,89 | 1,05 | 0,73 | 0,60 | 0,55 |
| 95                  | 0,34                   | 0,29 | 0,62 | 0,51 | 1,01 | 1,35 | 1,41 | 1,66 | 0,99 | 0,61 | 0,59 | 0,51 |
|                     | Или – Ушжарма          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,65                   | 0,63 | 0,21 | 1,57 | 1,91 | 2,66 | 3,40 | 2,88 | 2,11 | 1,33 | 0,87 | 0,78 |
| 50                  | 0,56                   | 0,56 | 0,10 | 1,13 | 1,88 | 2,63 | 2,47 | 2,59 | 1,51 | 1,15 | 0,96 | 0,71 |
| 75                  | 0,55                   | 0,52 | 0,99 | 1,01 | 1,48 | 2,16 | 2,44 | 2,54 | 1,41 | 1,10 | 0,92 | 0,59 |
| 95                  | 0,42                   | 0,51 | 0,82 | 0,78 | 1,23 | 1,54 | 1,92 | 2,19 | 1,34 | 0,95 | 0,77 | 0,46 |
|                     | Карагал – Унгтобе      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,08                   | 0,07 | 0,15 | 0,19 | 0,28 | 0,34 | 0,28 | 0,15 | 0,08 | 0,12 | 0,12 | 0,08 |
| 50                  | 0,07                   | 0,07 | 0,12 | 0,15 | 0,18 | 0,19 | 0,19 | 0,14 | 0,08 | 0,09 | 0,10 | 0,08 |
| 75                  | 0,06                   | 0,06 | 0,12 | 0,12 | 0,17 | 0,14 | 0,13 | 0,09 | 0,07 | 0,08 | 0,10 | 0,07 |
| 95                  | 0,05                   | 0,05 | 0,08 | 0,10 | 0,04 | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,06 |
|                     | Карагал -- Наймансуйек |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 25                  | 0,10                   | 0,10 | 0,18 | 0,22 | 0,42 | 0,42 | 0,44 | 0,26 | 0,11 | 0,14 | 0,13 | 0,10 |
| 50                  | 0,08                   | 0,08 | 0,15 | 0,17 | 0,27 | 0,28 | 0,31 | 0,15 | 0,09 | 0,11 | 0,11 | 0,10 |
| 75                  | 0,06                   | 0,08 | 0,13 | 0,13 | 0,15 | 0,12 | 0,15 | 0,13 | 0,08 | 0,10 | 0,11 | 0,08 |
| 95                  | 0,05                   | 0,06 | 0,11 | 0,10 | 0,09 | 0,07 | 0,09 | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,09 | 0,06 |

В конечном итоге эти изменения ставят под угрозу существование оз. Балхаш: сокращение поступления стока р. Или в результате зарегулирования создает обратный солепереток из Восточного в Западный Балхаш, вместо нормального водного перетока из западной в восточную часть озера при естественном гидрологическом режиме.

Произошедшие изменения в естественном гидрологическом режиме привели к уничтожению значительных площадей нерестовых угодий и кормовой базы рыб. Поэтому при расчете экологического и свободного речного стока р. Или наравне с удовлетворением сезонных требований (затопление дельтовых участков для целей нереста рыб, влагозарядка почв сенокосных угодий и кормовой базы ондатры) учитывалась потребность в воде в течение всего года, т. е. постоянный приток стока р. Или для поддержания балансового перетока оз. Балхаш, что обеспечивает более благоприятный солевой режим озера.

С учетом этих требований при расчете экологического стока и объема допустимых изъятий для р. Или получены следующие результаты: из полного годового объема стока в 21,72; 18,81; 17,11 и 14,18 км<sup>3</sup> при водности  $P = 25, 50, 75, \text{ и } 95 \%$  в качестве остаточного экологического стока должен оставаться объем 20,0; 17,25; 17,25; 17,71 и 12,93 км<sup>3</sup> при тех же обеспеченностях. При этом объемы допустимых изъятий должны равняться 1,72; 1,56; 1,40; 1, 25 км<sup>3</sup>.

Анализ полученных результатов показывает, что для целей охраны природных комплексов речных долин необходимо пересмотреть объемы таких крупных водохранилищ, как Бухтарминское, Ириклинское, Капчагайское с учетом требований к водности рек. При обосновании экологического стока рек, отнесенных к группе низкой и средней природно-хозяйственной значимости (Чу, Талас, Асса), основные требования к ним необходимо предъявлять в весенне-летний период.

При расчете экологического стока этих рек особое внимание необходимо уделять затоплению сенокосных угодий во время весеннего половодья с учетом промывки почв от соленакпления. Как показывают исследования, оптимальные режимы для влагозарядки и солепромывки достигаются в средние по водности годы, однако стохастическая природа стокообразующих факторов юга Казахстана не позволяет ежегодно предусматривать в виде экологического стока наблюдаемые среднемноголетние величины естественного стока. Особое место занимает р. Асса, подпитывающая эвтрофированное оз. Бийликоль. В настоящее время ее сток полностью зарегулирован. Целью забора воды является орошение и обеспечение водой химических гигантов г. Тараза. Для затопления поймы в вегетационный период и нормальной жизнедеятельности флоры и фауны оз. Биликколь,

согласно расчетам, потребуется следующие величины экологического стока р. Ассы: 0,33; 0,28; 0,24 и 0,21 км<sup>3</sup> при соответствующей водности года P = 25, 50, 75, 95 %. Исходя из этих норм экологического стока, объемы допустимых изъятий для использования в отраслях экономики в той же последовательности по водности года будут равны: 0,12; 0,08; 0,05; и 0,03 км<sup>3</sup>.

С учетом исключительной роли дельтовых участков р. Чу для заготовки кормов и в качестве временных пастбищ для Чуйского и Мойынкумского районов Жамбылской обл. получены следующие величины экологического стока: 1,66; 1,46; 1,29 и 0,98 км<sup>3</sup> при водности P = 25, 50, 75 и 95 %. При той же водности объемы допустимых изъятий составляют: 0,22; 0,21; 0,17; и 0,10 км<sup>3</sup>. В процентном соотношении доля весеннего экологического стока от годового для рек Чу, Талас и Аса колеблется от 42 до 78 %.

Анализ полученных расчетных значений объемов экологического стока рек при наличии рядов наблюдений за гидрологическим режимом показывает, что корректные результаты возможны при длительности рядов наблюдений в створах не менее 25 лет. Использование вышеизложенной методики по оценке экологического стока во всех створах Казгидромета Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан (МЭГПР РК) весьма ограничено в силу малочисленности створов с таким периодом наблюдения [10–12].

Для оценки экологического стока в изученных створах в рамках данного исследования предлагаются зависимости этих характеристик как от естественного стока отдельных месяцев (для оценки месячного экологического стока), так и от среднесезонных естественных объемов стока для расчета величин экологического стока за год.

Для рассмотренных речных бассейнов корректная аппроксимация достигается выражением вида:

$$W_{\text{эк}}^{P\%} = \alpha W_{\text{ест.}}^{50\%} \quad (5)$$

где  $W_{\text{эк}}^{P\%}$  – экологический сток, км<sup>3</sup>;

$W_{\text{ест.}}^{50\%}$  – естественный сток рек, км<sup>3</sup>;

$\alpha$  – эмпирический коэффициент, зависящий от физико-географических условий речного бассейна (табл. 3).

Как следует из данных табл. 3, коэффициенты колеблются от 0,85 до 0,92. Больше всего экологический сток зависит от естественных характеристик стока в бассейнах рек Иртыш, Урал, Или, где коэффициенты корреляции изменяются от 0,92 до 0,96. Наименее – на р. Каратал ( $r = 0,85 - 0,87$ ).

Расхождения между объемами экологического стока, полученными на основе предлагаемых зависимостей и рассчитанными по вышеизложенной методике, в основном составляют от 5 до 15 %, хотя в отдельные зимние месяцы могут достигать и 20 % (р. Каратал). Следует заметить, что выявлен-

ные максимальные расхождения наблюдаются в месяцы с большой естественной изменчивостью стока ( $Cv$ ). Например, в створе Наймансуйек на р. Каратал расхождение в феврале составляет 18 % при  $Cv = 0,68$ , тогда как в период половодья в среднем колеблется от 4 до 10 % при среднем  $Cv = 0,32$ . Аналогичный рост расхождения при  $Cv = 1,0$  в зимние месяцы и уменьшение его в весенне-летний период при  $Cv = 0$  наблюдается в отношении всех рассмотренных рек [8, 9].

**Таблица 3.** Статистические параметры  $\alpha$

Table 3. Statistical parameters of  $\alpha$

| Река             | Обеспеченность $P$ , % |      |      |      |      |
|------------------|------------------------|------|------|------|------|
|                  | 10                     | 20   | 50   | 75   | 95   |
| Урал             | 1,61                   | 1,00 | 0,65 | 0,50 | 0,40 |
| Или              | 1,14                   | 1,00 | 0,89 | 0,81 | 0,71 |
| Каратал          | 1,22                   | 0,98 | 0,79 | 0,61 | 0,41 |
| Иртыш            | 1,27                   | 1,00 | 0,83 | 0,72 | 0,53 |
| Уба, Ульба       | 1,19                   | 0,99 | 0,81 | 0,69 | 0,55 |
| Бухтарма, Курчум | 1,21                   | 1,00 | 0,82 | 0,67 | 0,41 |

Таким образом, полученные результаты по расчету экологического стока являются первыми попытками определения объемов водопотребления самих речных и озерных экосистем. Не секрет, что до сих пор эти экосистемы не были полноправными участниками водохозяйственного баланса и довольствовались только иллюзорными минимально необходимыми расходами или санитарными попусками, что повсеместно привело к деградации природных комплексов.

### ВЫВОДЫ

В рамках проведенного исследования Казахстан, как председатель Конвенции по трансграничным водотокам и водоемам Европейской экономической комиссии ООН, намерен вынести на обсуждение две методики по обоснованию экологического стока и допустимых объемов изъятия речного стока – российскую и казахстанскую. Известно, что в настоящее время в мировой практике переговоров по трансграничным рекам нет предложенных методик по вододелению на основе количественных характеристик экологического стока. Эти две методики являются первыми в решении проблем трансграничных рек на основе количественных характеристик вододеления с учетом сохранения экосистем водных объектов. Полученные количественные характеристики экологического стока являются новыми результатами.

Современное состояние деградации речных экосистем Казахстана показывает, что применяемая на практике методика обоснования минимально необходимых расходов воды (или санитарные попуски) ниже крупных водохранилищ и других гидротехнических сооружений должна быть пересмотрена как антиэкологичная. Настало время для научного обоснования экологического стока рек ниже крупных водохранилищ и других гидротехнических сооружений, так или иначе предназначенных для регулирования речного стока. При этом экологический сток должен, прежде всего, учитывать интересы восстановления деградированных речных экосистем, тогда как свободный сток – удовлетворять потребности отраслей экономики.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Фащевский Б.В., Бурлибаев М.Ж., Походня Г.В., Шулика А.Г.* Ресурсы экологического и свободного речного стока Московской области // Проблемы водоснабжения Москвы и Московской области. М.: АН СССР, 1989. С. 86–88.
2. *Фащевский Б.В.* Основы экологической гидрологии. М.: Экономист, 1986. 239 с.
3. *Бурлибаев М.Ж.* Теоретические основы устойчивости экосистем трансзональных рек Казахстана. Алматы: «Каганат», 2007. 516 с.
4. *Карасев И.Ф., Векшина Т.В.* Расчетные оценки гидравлических сопротивлений русел зарастающих рек // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 1975. Т. 245. С. 101–108.
5. *Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М. и др.* Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана (Ертысский, Балкаш-Алакольский, Арало-Сырдарьинский и Жайык-Каспийский бассейны). Алматы: «Каганат», 2014. Т. 1. 744 с.
6. *Мокляк В.Ф.* Теплообмен и гидродинамика при конденсации в термосифонах в режиме двухфазной смеси; автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1976. 54 с.
7. *Дубинина В.Г.* Методические основы экологического нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установление экологического стока (попуска). М.: Экономика и информатика, 2002. 117 с.
8. *Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М. и др.* Затопление поймы Ертыса – главный фактор устойчивого развития речной экосистемы. Алматы: «Каганат», 2014. 396 с.
9. *Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М. и др.* Научные основы нормирования экологического стока рек Казахстана. Алматы: «Каганат», 2014. 408 с.
10. *Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М. и др.* Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана (бассейны рек Есиль и Тобыл). Алматы: «Каганат», 2017. Т. 2. 552 с.
11. *Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М. и др.* Проблемы загрязнения основных трансграничных рек Казахстана (бассейны рек Шу и Талас). Алматы: «Каганат», 2018. Т. 3. 511 с.
12. *Novoseltsev V.N., Carey J., Liedo P., Novoseltseva J.A., Yashin A.I.* Anticipation of oxidative damage decelerates aging in virgin female medflies: a hypothesis tested by statistical modeling // Exp. Gerontol. 2000. Vol. 35. P. 971–987.

*Для цитирования:* Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М. Концептуальные основы нормирования экологического и свободного стока рек Казахстана // Водное хозяйство России. 2020. № 5. С. 52–73.

**Сведения об авторах:**

**Бурлибаев Малик Жолдасович**, д-р техн. наук, профессор, академик Академии Водохозяйственных наук Российской Федерации, заместитель генерального директора по научной работе Казахстанского агентства прикладной экологии (КАПЭ), Казахстан, 050012, г. Алматы, ул. Амангельды, 70 А; e-mail: MBurlibayev@kape.kz

**Бурлибаева Диана Маликовна**, д-р философии (PhD) по специальности «Водные ресурсы и водопользование», старший научный сотрудник, Институт географии и водной безопасности Министерства образования и науки Республики Казахстан, Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Пушкина, 99; e-mail: diana.burlibayeva@yandex.kz

CONCEPTUAL BASICS OF STANDARDIZATION OF ECOLOGICAL  
AND FREE FLOW FOR RIVERS IN KAZAKHSTAN

**Malik Z. Burlibayev<sup>1</sup>, D.M. Burlibayeva<sup>2</sup>**

E-mail: MBurlibayev@kape.kz

<sup>1</sup>*Kazakhstan Agency for Applied Ecology, Almaty, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Institute of Geography and Water Safety of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan*

**Abstract:** The article presents methodical proposals concerning replacement of the approved norms for calculation of sanitary releases from reservoirs for ecological flow, proposals for the methods of determination of the ecological flow parameters that could be accepted for Kazakhstan for the river flow regulating. We tried to use the developed methodical principles based on ecological safety for determination of scientifically proved quantitative dependencies and norms of the flow permissible withdrawal for the main rivers of Kazakhstan.

Within the framework of the performed studies Kazakhstan as the Chairperson of the Convention on Transboundary Water Courses and Water Bodies of the UN EEC intends to present the methods for determination of ecological flow and permissible river flow withdrawal for discussion.

**Key words:** ecological flow, free flow, river ecosystem, hydrological regime, level regime, hydro/chemical regime, temperature regime, oxygen regime, river floodplain, flooding, minimal necessary water flow, river valley.

**Financing:** The work has been done within the framework of the project «Analytical research «Ecological flow as the basis for preservation of an ecological system» of the convention on protection and use of transboundary water courses and international lakes (1992) adopted under the aegis of the UN European Economic Commission, as well the Russian Federation grant WWF1270/9Z1428(FY18-20)/GLO «Development of scientifically grounded recommended norms for the Ili River delta hydrological regime regulation».

**About the authors:**

**Malik Z. Burlibayev**, Professor, Doctor of Technical Sciences, Academician of the Academy of Water/economic Sciences of the Russian Federation, Deputy Chief Director on Scientific Work of the Kazakhstan Agency for Applied Ecology, ul. Amangeldy, 70A, Almaty, 050012, Kazakhstan; e-mail: MBurlibayev@kape.kz

**Diana M. Burlibayeva**, PhD on water resources and water use, Senior Researcher, Institute of Geography and Water Safety of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, ul. Pushkina, 99, Almaty, 050010, Kazakhstan; e-mail: diana.burlibayeva@yandex.kz

**For citation:** *Burlibayev M.Z., Burlibayeva D.M. Conceptual Basics of Standardization of Ecological and Free Flow for Rivers in Kazakhstan // Water Sector of Russia. 2020 No. 5. P. 52–73.*

## REFERENCES

1. *Fashchevskiy B.V., Burlibayev M.Z., Pokhodnya G.V., Shulika L.G.* Resursy ekologicheskogo i svobodnogo rechnogo stoka Moskovskoy oblasti [Resources of ecological and free river flow of Moscow Oblast] // *Prolemy vodosnabzheniya Moskvy i Moskovskoy oblasti*. M.: AN SSSR, 1989. Pp. 86–88.
2. *Fashchevskiy B.V.* Osnovy ekologicheskoy gidrologiyi [Basic ecological hydrology]. M.: Ekonomist, 1986. 239 p.
3. *Burlibayev M.Z.* Teoreticheskiye osnovy ustoychivosti ekosistem tranzonalnykh rek Kazakhstana [Theoretical foundations of the Kazakhstan trans/zonal rivers' ecosystem sustainability]. Almaty: "Kaganat", 2007. 516 p.
4. *Karasev I.F., Vekshina T.V.* Raschetniye otsenki gidrvlicheskiikh soprotivleniy rusel zarastayushchikh rek [Calculated assessments of the overgrown rivers' bed hydrological resistance] // *Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneyeva*. 1975. Vol. 245. Pp. 101–108.
5. *Burlibayev M.Z., Burlibayeva D.M. et al.* Problemy zagryazneniya osnovnykh transgranichnykh rek Kazakhstana (Ertyskiy, Balkash-Alakolskiy, Aralo-Syrdaryinskiy i Zhayik-Kaspiyskiy basseyny) [Problems of the Kazakhstan main transboundary rivers pollution (Ertyskiy, Balkash-Alakolskiy, Aralo-Syrdaryinskiy and Zhayik-Kaspiyskiy basins)]. Almaty: "Kaganat", 2014. Vol. 1. 744 p.
6. *Moklyak V.F.* Teploobmen i gidrodinamika pri kondensatsiyi v termosifonakh v rezhime dvukhfaznoy smesi [Thermal exchange and hydrodynamics in condensation in thermal syphons in the two-phase mode]; avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 1976. 54 p.
7. *Dubinina V.G.* Metodicheskiye osnovy ekologicheskogo normirovaniya bezvozvratnogo izyatiya rechnogo stoka i ustanovleniye ekologicheskogo stoka (popuska) [Methodical foundations of the river flow irreversible withdrawal ecological normalization and establishment of ecological release (discharge)]. M.: Ekonomika i informatika, 2002. 117 p.
8. *Burlibayev M.Z., Burlibayeva D.M. et al.* Zatopleniye poymy Ertisa – glavniy faktor ustoyчивого razvitiya rechnoy ekosistemy [The Ertis River floodplain flooding as the main factor of the river ecosystem sustainable development]. Almaty: "Kaganat", 2014. 396 p.
9. *Burlibayev M.Z., Burlibayeva D.M. et al.* Nauchniye osnovy normirovaniya ekologicheskogo stoka rek Kazakhstana [Scientific foundations of the Kazakhstan rivers ecological flow norms setting]. Almaty: "Kaganat", 2014. 408 p.
10. *Burlibayev M.Z., Burlibayeva D.M. et al.* Problemy zagryazneniya osnovnykh transgranichnykh rek kazakhstana (basseyny rek Esyl i Tobyl) [Problems of the Kazakhstan main transboundary rivers pollution (the Esyl River and Tobyl River basins)]. Almaty: "Kaganat", 2017. T. 2. 552 p.
11. *Burlibayev M.Z., Burlibayeva D.M. et al.* Problemy zagryazneniya osnovnykh transgranichnykh rek kazakhstana (basseyny rek Shoo i Talas) [Problems of the Kazakhstan main transboundary rivers pollution (the Shoo River and Talas River basins)]. Almaty: "Kaganat", 2018. T. 3. 511 p.
12. *Novoseltsev V.N., Carey J., Liedo P., Novoseltseva J.A., Yashin A.I.* Anticipation of oxidative damage decelerates aging in virgin female medflies: a hypothesis tested by statistical modeling // *Exp. Gerontol.* 2000. Vol. 35. P. 971–987.