

УДК 614.8.084+504.061.2:69.05(075.8)

Доктор геогр. наук Б.В. Фащевский *
Доктор техн. наук М.Ж. Бурлибаев **
Профессор, доктор К. Опп ***
Д.М. Бурлибаева ****

О КОНЦЕПЦИИ НАУЧНОГО ОБОСНОВАНИЯ МЕТОДИКИ НОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО И ПОТЕНЦИАЛЬНО- СВОБОДНОГО СТОКА РЕК КАЗАХСТАНА

*ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ СТОК, ПОТЕНЦИАЛЬНО-СВОБОДНЫЙ СТОК,
РЕЧНАЯ ЭКОСИСТЕМА, ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ, УРОВЕН-
НЫЙ РЕЖИМ, ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ, ТЕМПЕРАТУРНЫЙ
РЕЖИМ, КИСЛОРОДНЫЙ РЕЖИМ, РЕЧНАЯ ПОЙМА, ЗАТОПЛЕ-
НИЕ, МИНИМАЛЬНО-НЕОБХОДИМЫЙ РАСХОД ВОДЫ, РЕЧНАЯ
ДОЛИНА*

Современное состояние деградации речных экосистем Казахстана показывает, что ныне применяемая на практике методика обоснования минимально-необходимых расходов воды ниже крупных водохранилищ и других гидротехнических сооружений должна быть отменена как антиэкологичная. Поэтому 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 потенциально-свободный сток должен удовлетворять потребности отраслей экономики. В данной статье сделана попытка обосновать методику нормирования экологического и потенциально-свободного стока рек Казахстана.

* Центральный НИИ комплексного использования водных ресурсов МПРООС РБ, г. Минск, Республика Беларусь;

** Казахстанское агентство прикладной экологии, г. Алматы, Республика Казахстан;

*** Филипс университет, г. Марбург, ФРГ;

**** Казахский национальный аграрный университет МОН РК, г. Алматы, Республика Казахстан.

1. Общие положения

Анализ работ по охране природного комплекса речных долин отечественных и зарубежных исследователей показывает, что водные ресурсы водотоков и водоемов нельзя целиком использовать на нужды отраслей экономики.

Значительную часть их необходимо оставлять в виде экологического стока в речных системах для сохранения экосистем, обеспечивающих воспроизводство ценной водной и околоводной флоры и фауны, - пойменных лугов, лесов, рыбы, водоплавающих и прибрежных птиц, околоводных млекопитающих. В результате возникает острая необходимость в количественной оценке резервируемых в реках водных ресурсов по экологическим критериям.

Как показал анализ современных методов расчета допустимых изъятий речного стока, ни один из них не может быть положен в основу расчета величины экологического стока, так как все эти методы в конечном итоге не защищают природные комплексы от деградации. При оценке экологического стока ниже гидроузлов и водозаборов нами принята методика, разработанная в Центральном научно-исследовательском институте комплексного использования водных ресурсов (под руководством профессора Б.В. Фащевского и с участием профессора М. Бурлибаева). Она базируется на дифференцированном подходе к различным по экологической значимости рекам, согласно приводимой в ней классификации [1, 5, 6]. 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, наблюдаемых в данном створе за многолетний период.

При обосновании экологического и потенциально-свободного стока считается, что качество речных вод по показателям предельно-допустимой концентрации (ПДК) загрязняющих веществ соответствует нормам рыбохозяйственного и рекреационного использования.

Настоящей методикой предусматриваются:

- затопление поймы на определенное время с соответствующим слоем воды для обеспечения нереста, инкубации икры и нагула мальков фитофильных рыб, поддержания условий обитания водоплавающей и околоводной фауны и воспроизводства кормов для нее, влагозарядки пойменных почв;

- продолжительность стояния воды определенных уровней в летне-осенний период, обеспечивающих миграцию проходных и полупроходных рыб на нерестилища;

- интенсивность подъема и спада уровней весенне-летнего половодья, обеспечивающая необходимые условия своевременного захода и ухода рыбы с пойм;

- температурный режим воды;

- газовый режим в течение всего года, особенно в зимний период и во время ледостава;

- скоростной режим на нерестовых участках рек.

Авторами предпринята попытка использовать вышеизложенные методические принципы для получения научно-обоснованных количественных зависимостей и норм допустимых изъятий стока для основных рек Казахстана, базирующихся на экологической безопасности.

1.1. Методика нормирования экологического и потенциально-свободного стока рек Казахстана (далее – Методика), соответствующая нормативам количества и качества, в границах речных бассейнов и водохозяйственных участков при различных условиях водности года в отношении каждого речного бассейна республики (разработана в целях реализации Экологического Кодекса и Водного Кодекса Республики Казахстан) и обеспечения равновесного развития речных экосистем.

1.2. Настоящая Методика предназначена для использования Министерством охраны окружающей среды РК и Комитетом по водным ресурсам (КВР) и их территориальными органами, уполномоченными органами исполнительной власти РК.

1.3. На основе разработанной Методики должны быть выработаны индивидуальные адаптационные критерии Методики нормирования экологического стока и потенциально-свободного стока рек для каждого речного бассейна Республики Казахстан.

1.4. Нормы потенциально-свободного стока рек (далее – нормы изъятия водных ресурсов из водного объекта), нормы регулирования речного стока и сброса сточных вод (соответствующих нормативам качества в границах речных бассейнов и водохозяйственных участков при различных условиях водности в отношении каждого источника водных ресурсов и сброса сточных

вод) устанавливаются МООС РК и КВР на основе научно обоснованных заключений и заявок уполномоченных органов исполнительной власти на установление норм изъятия водных ресурсов и норм сброса сточных вод, представляемых в соответствующий территориальный орган МООС РК и КВР.

1.5. Территориальные органы МООС РК и КВР, после утверждения ежегодного экологического стока в зависимости от водности реального года, формируют заявки на установление ежегодных норм изъятия водных ресурсов (по целям их использования) и норм сброса сточных вод с учетом заявленных водопотребителями (водопользователями) потребностей в объемах изъятия водных ресурсов и сброса сточных вод, отраженных в договорах водопользования, заключенных и принятых в порядке, установленном водным законодательством, действующих лицензиях на водопотребление (водопользование) и договорах пользования водными объектами, по которым сохраняются права водопользования и потребностей в водных ресурсах при использовании водных объектов, в отношении которых водным законодательством не требуется заключение договора водопользования или принятия решения о предоставлении водного объекта в пользование, а также потребностей, планируемых с учетом социально-экономического развития региона.

1.6. Потребности в водных ресурсах при использовании водных объектов, в отношении которых водным законодательством не требуется заключение договора водопользования или принятия решения о предоставлении водного объекта в пользование, предусмотренных Водным Кодексом Республики Казахстан, определяются на основе соответствующих нормативов, а также оценочных расчетов.

1.7. Установление норм изъятия водных ресурсов (по целям их использования) и норм сброса сточных вод осуществляется с учетом ежегодных норм экологического стока, в зависимости от водности реального года и нормативов водопотребления и водоотведения.

1.8. Территориальные органы КВР и МООС РК рассматривают и обобщают заявки на следующий календарный год в отношении каждого водопотребителя (водопользователя) в соответствии с гидрографическим и водохозяйственным районированием в каждом речном бассейне, сведениями о водопользовании, содержащимися в государственном водном реестре и формах государственной статистической отчетности (наблюдения) за использованием воды, све-

дениями об изъятии водных ресурсов для санитарных, экологических и (или) суходонных попусков (сбросов), а также данными, полученными в ходе осуществления государственного мониторинга водных объектов.

1.9. МООС РК и КВР на основе обобщенных сведений и предложений, представленных территориальными органами, устанавливает нормы экологического стока для каждого речного бассейна, нормы изъятия водных ресурсов и нормы сброса сточных вод, соответствующих нормативам качества, в границах речных бассейнов и водохозяйственных участков в отношении каждого речного бассейна и доводит их в письменной форме до сведения каждого водопотребителя (водопользователя).

1.10. МООС РК и КВР по согласованию имеют право изменять установленные нормы изъятия водных ресурсов и нормы сброса сточных вод, соответствующих нормативам качества, в границах речных бассейнов и водохозяйственных участков в отношении каждого водопотребителя (водопользователя) в случае ввода корректив в нормы экологического стока, изменения состояния речной экосистемы, гидрологического режима, физико-географических, морфометрических и других особенностей водного объекта, а также при обращении территориальных органов и исполнительной власти о необходимости (с обоснованием) изменения установленных норм.

2. Эколого-гидрологическое нормирование водного режима

2.1. Современное состояние нормирования

В современном международном толковании: «Экологический сток описывает количественные, качественные и временные параметры стока, необходимые для поддержания пресноводных и эстуарных экосистем, а также жизнеобеспечения и благополучия людей от них зависящих».

В настоящее время, как в отечественной, так и зарубежной литературе, отсутствует единое толкование характеристик стока, оставляемого ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов. Различными авторами понятие экологического стока (остаточного стока) ниже гидроузлов и водозаборов определяется по-разному: минимально приемлемые, минимально допустимые, минимально необходимые расходы воды, рыбохозяйственные попуски (расходы воды), сельскохозяйственные, природоохранные, экологические и санитарные. Различная терминология характеризует и крайне различные под-

ходы к определению предельно необходимых расходов воды, оставляемых в реках.

В Руководстве по составлению водохозяйственных балансов, подготовленном Европейской экономической комиссией 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;

- ко второй группе относятся водопользователи: гидроэнергетика, судоходство, водозаборы и другие, для которых также необходим определенный водный режим.

Приоритетом пользуется первая группа, потребности которой удовлетворяются безоговорочно. Потребность второй группы удовлетворяется на основе экономических расчетов. Принцип вычисления 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 и политических факторов и устанавливается местными органами. Такой подход допускает широкую трактовку минимально необходимых расходов, но в целом отвечает основным принципам рационального использования водных ресурсов.

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

Характеристики оставляемого в реках стока в целом по странам СНГ 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 $P = 95\%$ -й обеспеченности.

Выполненные авторами разработки позволили обосновать методику расчета экологического стока, резервируемого ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов по условиям охраны природы, базирующуюся на оценке взаимосвязи элементов гидрологического режима водотоков, биоценозов поймы и русла. 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, так как экологический сток (остаточный) весеннего половодья и дождевых паводков в год 25 %-й обеспеченности принимается равным естественному стоку 50 %-й 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, необходимые глубины, скорости, затопление поймы и т.д. Что касается охранных нормативов физического, химического и бактериологического загрязнения, то их целесообразно выделить в отдельную группу – санитарный сток. Он обеспечит разбавление загрязненных веществ и патогенных микроорганизмов до предельно допустимых концентраций во все фазы водного режима.

3. Основы экологического нормирования водного режима при антропогенном воздействии

3.1. 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. Нормативы экологического стока должны обеспечить устойчивое сохранение в реках и озерах первичной (автотрофные растения), вторичной, или промежуточной (зоопланктон, зообентос, земноводные и др.) продуктивности, и конечной продукции – рыбы, околородных млекопитающих, птиц и др. Такое условие может быть достигнуто при обеспечении необходимых гидрологических характеристик –

расходов и уровней воды, скоростей течения, глубин, мутности, газового режима, температуры воды и других, при которых не будет нарушаться нормальный ход круговорота веществ в водотоках и водоемах. Что касается нормативов химического и бактериального загрязнения, то они разработаны в виде предельно допустимых концентраций и предельно допустимых сбросов и вопрос стоит лишь о неуклонном их выдерживании в водотоках и водоемах предприятиями промышленности, сельского и коммунального хозяйств.

3.2. Элементы неживой природы включают речную долину и озерную котловину с пойменными террасами, формирующимися в грунтах земной толщи, с основными элементами их строения (ширина поймы и русла, озерной чаши, глубины, уклоны, площадь живого сечения потока и др.), водную толщу с ее основными физическими (скорость течения, расход воды, объем водной массы озера, плотность, вязкость и температура воды, прозрачность, наносы, ледовые образования и др.) и химическими (ионный состав, минерализация, газовый режим, органические вещества, биогены и др.) свойствами.

3.3. Живая природа, связанная с гидрологическим режимом водотоков, распределена на пойме, в водной толще и на ее поверхности включает: бактерии, водоросли, грибы, высшую водную растительность, луговую и древесно-кустарниковую растительность, беспозвоночных, рыб, земноводных и рептилий, птиц и млекопитающих.

Все эти элементы живой и неживой природы тесно связаны между собой. Поэтому изменение элементов неживой природы (снижение уровней и расходов воды, глубин, скоростей течения, сроков затопления поймы, термического режима и др.) в результате изменения отметок дна русла и пойменных террас (в результате дноуглубительных работ), изменения уклонов водной поверхности (в результате изъятия части стока, создания подпорных сооружений, одамбирования поймы и отчленения ее от основного русла и др.) меняет условия обитания, и численность живой природы. В результате всех этих преобразований изменяется географический ландшафт, формируемый текущими водами.

3.4. Различают количественное истощение водных ресурсов, обусловленное естественными природными процессами – климатическими колебаниями (осадки, испарение) и антропогенным, искусственным воздействием. В связи с тем, что естественные климатические колебания не поддаются управ-

лению, в работе рассматривается лишь количественное истощение и изменение качественных характеристик, обусловленное антропогенным воздействием, под которым понимается уменьшение речного стока в результате регулирования и изъятия водных ресурсов по сравнению с естественным, как внутри года, так и от года к году.

3.5. Важнейшее условие обоснования предельно допустимого истощения речного стока (экологического стока) – обоснование устойчивости и надежности функционирования экосистемы ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов. Основным понятием, обеспечивающим самосохранение и устойчивость экосистем, является понятие гомеостаза. Целостность экологических систем обеспечивается сложной системой прямых и обратных связей. 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, температуры воды, а также другие физические и химические свойства.

Как отмечают авторы [7], для всех экосистем существуют предельные минимальные и максимальные значения экологических факторов внешней среды, при выходе за пределы которых гомеостаз не обеспечивается. Вблизи этих границ может существовать неравновесное состояние популяций или экосистемы, которая поддерживается на очень низком уровне и медленно, но неуклонно идет процесс деградации.

В средней части допустимой области существования популяции или экосистемы регулирующие механизмы обеспечивают хороший гомеостаз. Зависимость отдельных элементов внутренней среды от внешних факторов для системы, находящейся в стационарном состоянии, имеет обычно вид кривой с платообразным участком в середине и двумя крутыми участками по краям. Кривые зависимости, переменных внутренней среды от внешних факторов предложено называть гомеостатическими кривыми. Большая часть живых организмов имеет хорошо выраженные гомеостатические свойства по отношению к основным факторам внешней среды, о чем свидетельствует высокая изменчивость характеристик гидрологического режима.

3.6. В качестве характеристики гидрологического режима, как показателя воздействия внешних факторов на элементы живой природы, могут использоваться как отдельные компоненты (объемы весеннего половодья и паводков, продолжительность и высота затопления поймы, уровни весеннего половодья, глубины на нерестовых участках в пойме и в русле, содержание растворенного кислорода в воде в период ледостава 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 околородных 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.

Исследования динамики развития зоопланктона, показывают, что величина биомассы зоопланктона в пойменных водоемах (они являются основными «производителями» кормов в реках) определяется водностью весеннего половодья. В многоводные годы пойменные водоемы бедны зоопланктоном, благодаря интенсивному и продолжительному смыву его в русла рек. В маловодные годы смыв планктона не происходит, однако и воспроизводится его мало. Средние по водности половодья являются наиболее благоприятными для воспроизводства зоопланктона.

3.7. Для каждого типа луга и вида луговых растений существует определенная оптимальная длительность заливания тальми водами, изменяющаяся по годам из-за различия условий произрастания (температура воды и воздуха, осадки, высота и продолжительность затопления, наносы и др.).

В поймах рек, характеризующихся особо затоплением, наивысший урожай бывает в годы со средней поемностью.

Слабое затопление или незатопление поймы в весенне-летний период приводит к уменьшению площади кормовых угодий и кормовой базы всех видов рыб (так как пойма является основной «фабрикой» кормов всех гидро-

бионтов), что приводит к резкому снижению их воспроизводства. Маловодье осенне-зимнего периода нарушает условия нереста литофильных рыб, особенно в период ледостава отмечаются заморы и перемерзание нерестовых бугров осенне-нерестующих видов.

Отсутствие затопления поймы снижает урожайность луговой растительности и ухудшает условия воспроизводства водоплавающих птиц и млекопитающих (снижение кормовой базы, ухудшение условий гнездования и т.д.).

В многоводные годы кроме нарушения нормального периода вегетации растений и условий гнездования околородных животных за счет продолжительности затопления и формирования высоких скоростей течения на поверхности поймы (что ведет к ее размывам и переотложению наносов) отрицательное влияние оказывает отложение наилка. Наилки могут отрицательно влиять на стоящие в воде растения. Кроме того, в тех случаях, когда растения еще не начали вегетировать, суглинистые и глинистые наилки, подсыхая и твердея, образуют плотную корку, которая препятствует выходу растений на поверхность. В такие годы снижение воспроизводства рыбы происходит за счет нарушения кладок икры как фитофильных видов на пойме, так и литофильных в русле. Увеличение толщины наилка на пойме приводит к занесению кладок икры и снижению воспроизводства рыбы.

В многоводные годы увеличивается содержание в воде взвешенных минеральных веществ, которые попадают на жабры и в пищеварительный аппарат рыб и подавляют их жизнедеятельность. Планктонные организмы в результате засорения их кишечника не перевариваемыми частицами, разрушения взвесью и увлечения в осадок погибают. В маловодные годы прослеживается очень сильное сокращение урожайности молоди за счет уменьшения площадей нерестовых угодий и объема воспроизводства кормов для ихтиофауны. В маловодные годы, когда рыба концентрируется в небольшом объеме воды, большое количество молоди и кладки икры выедается сорной и хищной рыбой. Подобные закономерности отмечены и для рыб, нерестующих в осенне-зимний период – наилучшие условия характерны для средних по водности лет этого периода, а в многоводные и маловодные годы объем их воспроизводства снижается. Анализ литературных материалов по экологии водоплавающих и прибрежных птиц и околородных млекопитающих показывает, что

как многоводные, так и маловодные годы являются неблагоприятными для их воспроизводства. Наилучшие условия создаются в средние по водности годы.

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 $99,9$ %. Действительно, хорошо известно, что в течение последней 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 года, очень многоводные и очень маловодные ($P = 5...10$ и $90...95$ % обеспеченности, повторяющиеся иногда 2 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 (по величине), горизонтали (по времени внутри года) и по частоте (по времени от года к году). Все эти выводы относятся к экосистемам, т.е. взаимосвязи живой и неживой природы.

Однако речные экосистемы играют важную роль в жизни человека и в тех случаях, когда не несут большой нагрузки в части создания благоприятных условий для связанной с ними живой природы, представляя собой особые природные ландшафты, ресурсы воды, энергии, транспортные и санитарные системы. В этом случае их необходимо рассматривать как геосистемы.

3.8. 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 $P = 50$ %-й 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 [3]:

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

где B – ширина реки; Q – расход воды; H – средняя глубина потока; I – уклон; q – ускорение силы тяжести.

$$B \leq \left[\frac{3,65 \cdot H \cdot d}{4} \right] \frac{H}{I} / 2, \quad (2)$$

где d – крупность частиц руслоформирующей фракции наносов.

В формуле (1) характер грунтов учитывается лишь косвенно, через уклон потока, а в формуле (2) устойчивость грунта определяется непосредственно расчетным диаметром частиц наносов.

В целом можно заключить, что устойчивость, или надежность геосистемы оценивается вероятностью ее безотказного функционирования в течение длительного периода времени в определенных граничных условиях. Устойчивость речных геосистем (экосистем) зависит от устойчивости ее отдельных компонентов. В естественной природе надежность функционирования геосистем (экосистем) приближается к 100 %, однако никогда не достигает этой величины, вследствие того, что и в естественной обстановке существуют природные катаклизмы (катастрофы) – землетрясения, селевые паводки, вулканическая деятельность, подвижки ледников, катастрофические засухи и др.

3.9. 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 тому служат сравнительные данные параметров кривых распределения (обеспеченности), характеризующих речной сток (половодья, паводки, межени), кислородный режим, урожайность лугов, уловы рыбы, урожайность сеголетков рыбы, биомассу и численность зоопланктона, добычу шкурок и др.

Анализ материалов показывает, что относительная дисперсия, выражаемая коэффициентом вариации одного порядка, как для характеристик стока, так и для компонентов живой природы – уловы рыб, урожайность лугов. Однако коэффициенты вариации уловов рыбы и заготовок ондатры (на при-

мере бассейна озера Балхаш) примерно в 2 раза выше коэффициентов вариации характеристик весеннего и межлетнего стоков, что объясняется зависимостью компонентов неживой природы от множества других, кроме стока, факторов среды (температуры воды и воздуха, освещенности, загрязнения и др.), а также биотических воздействий. Для пойменных же луговых ценозов коэффициенты вариации практически совпадают с таковыми для весеннего стока.

Основная особенность экологических систем – большая сложность, обусловленная сочетанием живой и неживой природы. Живые системы от неживых отличаются способностью к самовоспроизведению, включающему ряд этапов (размножение, нагул, рост, половое созревание и др.). Поэтому устойчивость компонентов живой природы определяется кроме динамических факторов неживой природы биотическими особенностями, а именно способностью к сохранению воспроизводительных функций от поколения к поколению.

3.10. Определяют устойчивость экосистем как допустимую (без риска разрушения системы) меру отклонений заданных свойств системы от нормы, вызванную некоторой мерой возмущающих внешних воздействий. 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 сопоставление; с одной стороны, меру допустимых отклонений заданных свойств от нормы, а 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 $P = 95\%$ -й обеспе-

ченности поймы большинства рек не затапливаются. Аналогичная картина наблюдается в половодье и в годы $P = 99$ %-й обеспеченности.

Верхний предел, как показано выше, соответствует $P = 40 \dots 60$ %-й обеспеченности стока (весеннего, меженного и паводков), т.е. максимум воспроизводства может быть принят равным стоку 50 %-й обеспеченности. Встает вопрос, к какой же повторяемости отнести гидрографы естественного стока $P = 50$ %-й обеспеченности, соответствующие годовому объему стока, на кривой обеспеченности годового экологического стока. Выполненные машинные эксперименты при отнесении характеристик естественного стока (весеннего и меженного) к $P = 50$ -, 33-, 25- и 20 %-й 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 $P = 25$ %-й обеспеченности за счет срезки высокого стока в многоводную фазу – зона кривой от 50 %-й 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 все эти ординаты стока при принятии $P = 33$ -, 25- и 20 %-й обеспеченности разнятся, не более чем на 10...15 %, и находятся в пределах точности исходных данных. Основные расхождения отмечаются в зоне кривой выше $P = 50$ %-й обеспеченности.

Выполненные нами разработки позволили получить важные выводы об устойчивости речных экосистем, включая одновременно элементы живой и неживой природы:

- речной сток, оставляемый ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов для охраны природы, несет большую смысловую нагрузку, 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 (термика, растворенные и взвешенные наносы, кислородный режим и др.).

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

личной (тем более равным величине межennaleго стока $P = 95$ %-й обеспеченности), а 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.

3.11. Как было уже сказано, решающую роль в экологической значимости рек играет коэффициент развитости (K_p) поймы. На его основе все реки страны типизированы на 3 группы:

- с высокой экологической значимостью – с развитой поймой ($K_p > 5$), сток которых определяет нормальное функционирование экосистем внутренних морей и озер;

- со средней экологической значимостью – со среднеразвитой поймой ($2 < K_p < 5$);

- с низкой экологической значимостью – с неразвитой поймой ($K_p < 2$).

Следует также указать, что в засушливых районах страны нижние участки многих рек (как правило, дельтовые участки), 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.

3.12. 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 $99,9$ %-й, а в области $P = 1,0$ и $99,0$ -й обеспеченности;
- нижний предел экологического стока описывается гидрографами естественного стока $P = 99$ %-й обеспеченности, т.е. вековыми запасами водных ресурсов в речной экосистеме;
- верхний предел экологического стока для средних и крупных рек описывается гидрографами $P = 50$ %-й 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 $P = 50$ %-й 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 маловодные годы $P = 99$ - и 95 %-й обеспеченности, величина экологического стока в год $P = 95$ %-й обеспеченности принимается равной естественному стоку (описываемому гидрографом) $P = 99$ %-й обеспеченности.
- величина естественного годового стока $P = 50$ %-й обеспеченности принимается равной экологическому стоку $P = 25$ %-й 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 (В. Мокляк) [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 ($P = 95 \dots 99$ %, $P = 85 \dots 95$ % 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 со средней экологической значимостью допускается в месячные величины стока вводить коэффициент снижения, учитывающий внутригодовую зарегулированность стока (Фашчевский, Бурлибаев) [1]:

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

где δ – коэффициент снижения стока; $Q_{95\%}^{\min}$ и $Q_{95\%}^{\max}$ – соответственно минимальный и максимальный среднемесячный расход воды года 95 %-й 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. Для рек с низкой экологической значимостью, кроме того, во все месяцы, за исключением весеннего половодья, сток принимается равным минимальным межженным 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 назначаются в соответствии с рекомендациями для рек с высокой экологической значимостью. Учитывая, что в большей части рек, не перегороденных плотинами, обитают проходные и полупроходные рыбы, снижение расходов внутри года проводится только в теплый период года.

На основе рассмотренного алгоритма составлена программа, где в автоматизированном режиме рассчитываются параметры кривых обеспеченности годового естественного стока и годового экологического стока, по разности ординат которых определяются величины свободного годового стока (изъятие водных ресурсов) различной обеспеченности. Кроме того, в виде выходной информации выдаются таблицы внутригодового распределения естественного, экологического и свободного стоков в помесечном разрезе для лет с $P = 10$ -, 25 -, 50 -, 75 - и 95 %-й обеспеченностями.

На основе рассчитанных величин годового экологического стока строились связи экологического стока различной обеспеченности (95, 75, 50 и 25 %) и естественного стока 50 %-й обеспеченности. На основе графических связей получены региональные зависимости вида:

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

где $W_{\text{эк}}^{P\%}$ – расчетные значения годового экологического стока; α – коэффициент перехода от нормы естественного стока к экологическому расчетной обеспеченности; $W_{\text{ест}}^{P\%}$ – естественный годовой сток $P = 50$ %-й обеспеченности.

4. Обоснование объёма и режима допустимого изъятия стока из водоемного источника

4.1. Задача данного подраздела состоит в том, чтобы разработать методику определения возможных объёмов и режима изъятия стока из открытых водотоков в различных условиях, встречающихся в разнообразных водохозяйственных системах. Многие факторы определяют величину водоотбора: это экологические, санитарно-экологические условия, определяющие экологический сток реки; степень внутримесячной (декадной, суточной) неравномерности; тип водозаборных устройств.

По каждому из названных направлений имеется определенная методология, которая четко представлена в решении отдельных вопросов, либо приближенными оценками, либо практически не освещена в литературе. Так, например, определение возможного изъятия стока в условиях бесплотинного водозабора не имеет сколько-нибудь обоснованной методики. На стадии постановки задачи необходимо обозначить существующее состояние проблемы по затронутым направлениям, остановившись более подробно на подходах к назначению тех или иных попусков и смежным вопросам – определения допустимого изъятия стока.

4.2. Методологические основы расчета «экологического стока» резервируемого ниже створов регулирования и изъятия водных ресурсов в соответствии с требованиями охраны природы впервые приводились в работах Б.В. Фашевского и М.Ж. Бурлибаева [1, 5, 6]. Они утверждают, что необходимо охватить взаимосвязь компонентов живой и неживой природы для научного обоснования допустимой степени регулирования и изъятия водных ресурсов, то есть динамику гидрологического режима, урожайности пойменных лугов, рыбных запасов и т.д. На контрольных створах и участках основных водоемных источников во всех фазах водного режима (половодье, паводок, межень) необходимо 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 и других видов.

4.3. В настоящее время по уровню антропогенной трансформированности водных экосистем условно выделяется 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 вследствие экзогенных и эндогенных процессов природного или антропогенного характера происходят изменения естественного механизма саморегуляции в сторону перехода на качественно новый уровень самоорганизации. При этом возможен возврат речной экосистемы в исходное состояние путем снятия фактора воздействия до уровня ниже критического;
- кризисное состояние – ситуация, при которой вследствие экзогенных процессов природного или антропогенного характера происходит выход речной экосистемы за пределы гомеостаза, при этом нарушаются механизмы саморегуляции, отмечаются деструктивные изменения структурно-функциональной организации. При этом возврат для этих речных экосистем в исходное состояние естественным путем невозможен;
- состояние экологической катастрофы – ситуация, при которой вследствие экзогенных процессов природного или антропогенного характера происходит разрушение структурно-функциональной организации речной экосистемы, это приводит к гибели биокосного водного тела. При этом возврат речной экосистемы в исходное состояние естественным путем или принудительной рекультивацией невозможен.

4.4. 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, саморегуляции и самовозобновлению. Следовательно, экологически безопасная нагрузка – это допустимая доза воздействия экзогенных факторов, не приводящая к выходу речной экосистемы за границы параметров при неограниченном времени воздействия.

4.5. Основными критериями нормирования безвозвратного изъятия речного стока для водных объектов или отдельных их участков по воспроиз-

водству ценных рыб и пойменной растительности, являются показатели, характеризующие эффективность воспроизводства рыб и биопродуктивность пойменных лугов. Вместе с этим используются данные режимных наблюдений по уровню развития донных и планктонных животных и растений для малых рек и водоёмов. Состояние водной экосистемы характеризуется рядом экологических критериев и базовых показателей.

Экологический критерий – это показатель (признак), на основании которого производится оценка состояния водной экосистемы и её компонентов.

Параметр – это величина, характеризующая количественное значение показателя (признака). При разработке норм предельно допустимого изъятия (ПДИ), экологического стока (ЭС), в качестве основных параметров используются: расход, сток и уровни воды, а также их внутригодовое распределение (гидрограф) в годы различной обеспеченности; сроки весеннего половодья и паводков; площадь затопления пойм и дельты; характеристики водного режима русловых и пойменных нерестилищ (температура, скорости течения и т.д.); уровенный режим, солёность вод, площади нагула молоди и взрослых особей рыб и т.д.; видовой состав, численность и биомасса планктонных и донных организмов запасы и уловы промысловых рыб, характеристика численности молоди разных особей.

4.6. При учете качества загрязнения водного объекта, с учетом действующего законодательства, качество воды должно отвечать нормативным требованиям. Этот фактор на современном уровне 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 ПДИ и ЭС, последние принимают в соответствии с требованиями, обеспечивающими нормативное качество.

4.7. В.Г. Дубинина предложила два варианта определения критических расходов для установления ПДИ [2]:

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

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

4.8. В основу методик В.Г. Дубининой входят модельные исследования влияния речного стока на воспроизводство популяции рыб в бассейнах рек. В данном случае критерий оценки экологически допустимого безвозвратного изъятия речного стока – это показатели качества поколений и динамика численности или возврат основных промысловых рыб. Также основой метода считаются графоаналитические однофакторные зависимости нелинейного и в крайних случаях линейного видов, результаты многофакторного регрессивного анализа показателей биопродуктивности экосистем от гидрологических характеристик речного стока по данным непосредственных наблюдений в различных бассейнах рек.

4.9. 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 различными показателями биопродуктивности водных и околоводных экосистем. В.Г. Дубинина считает этот метод основным для водных объектов, имеющих важное значение для воспроизводства ценных пород рыб. При выяснении относительной роли отдельных факторов в формировании сложных процессов и построении количественных многопараметрических зависимостей может быть выполнен метод, основанный на регрессивном анализе однофакторных зависимостей линейного и нелинейного видов или многофакторным регрессионным анализом.

4.10. 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. В основе его лежит метод И.П. Герасимова о наличии в сложных динамических природно-географических структурах определённых «опорных механизмов», контролирующих прямые и обратные связи между различными компонентами среды. При наличии в «опорных механизмах» элементов гидрологического режима, относительно которых центрированы отдельные экосистемы, что позволяет контролировать состояние этих экосистем и управлять ими.

Для водотоков экологически значимый элемент гидрологического режима – это скорость воды в потоке; для дельтовых озёр – это уровень солёности воды. Также при нормировании безвозвратного изъятия речного стока учитывают экологические требования к естественному размножению рыб на русловых, пойменных и лиманных нерестилищах.

Экологические требования предполагают обеспечение следующих условий: объемов стока, которые достаточны для прохождения рыб к местам нереста в период массового нерестового хода; продолжительности затопления нерестилищ; объемов стока, достаточных для затопления необходимых площадей пойменных нерестилищ в требуемые сроки и с соответствующей температурой; объемов стока, гарантирующих скат молоди с пойменных нерестилищ в реку; состояние русла реки и поймы; сохранение функций самоочищения водных экосистем.

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 ещё и санитарная функция реки, а не только экологическая.

4.11. Примеры расчета экологического стока рек при наличии рядов наблюдений за гидрологическим режимом.

Расчеты по определению гарантированной величины экологического стока рек Казахстана нами проводились для двух вариантов:

- при наличии гидрологического ряда наблюдений за стоком рек;
- 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 поймы и продолжительность ее затопления для определения и отнесения реки к тому или иному типу гидролого-экологической классификации, приводимой в методике Фашевского Б.В. и Бурлибаева М.Ж. При этом на основе топографических материалов были уточнены отметки затопления поймы, в результате чего получается средневзвешенный коэффициент развитости поймы р. Жайык (Урал) ($K_p = 8,20$) при средней продолжительности ее затопления 20,5 суток.

В соответствии с гидролого-экологической классификацией, р. Жайык отнесена к рекам высокой природо-хозяйственной значимости, с учетом компо-

нентов речного природного комплекса. Здесь нерестится около 50 видов рыб, из которых промысловое значение имеют 22 вида; основу промысла составляют: осетр, белуга, севрюга, судак, вобла, жерех, лещ, сом и 2 вида сельди – волжская малотычиновая и черноспинка. Учтены также пойменные луга, являющиеся нерестовым участком для фитофильных рыб и используемые как сенокосные и пастбищные угодья с урожайностью трав от 6...7 до 30...33 ц/га.

Для нижних участков р. Жайык величина естественного стока $P = 95\%$ -ой обеспеченности с 3,84 до 14,01 км³/год $P = 25\%$ -ой обеспеченности: объем допустимых изъятий изменяется от 0,39 км³/год $P = 95\%$ до 5,25 км³/год $P = 25\%$ при экологическом стоке 3,45 и 8,76 км³ за соответствующие водности (табл. 1).

Объем естественного стока р. Жайык в створе Кушум составляет 8,83 и 5,24 км³/год; величина допустимых изъятий стока в годы $P = 50\%$ и $P = 75\%$ равна 3,00 и 1,24 км³ при экологическом стоке 5,83 и 4,00 км³.

При обосновании и расчете величины экологического стока в месячных разрезах мы особое внимание обращали на половодья, т.е. на апрель, май, июнь, когда совпадают во времени пик хода миграции осетровых рыб на нерестилища и пик половодья. Водность этих месяцев является определяющей и во влагозарядке пойменных почв, что, в конечном итоге, сказывается на урожае травостоя (табл. 2).

Доля экологического стока в эти месяцы особенно велика. Например, в год $P = 95\%$ обеспеченности объем экологического стока за апрель, май, июнь равен 2,43 км³, что составляет около 70 % годового объема. В годы $P = 70\%$, 50 %, 25 % эти показатели весеннего экологического стока равны 2,62; 4,31; 7,10 км³ и составляют 66, 74, 81 % от 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 потенциально-свободного (допустимого изъятия) стока, исходя из гидролого-экологических особенностей речного бассейна, аналогичный индивидуальный подход соблюден и в отношении всех рассматриваемых рек Казахстана (табл. 2). Например, в отноше-

нии р. Ертис (Иртыш) особое внимание уделено затоплению пойменных лугов, одновременно являющихся поставщиком сена для Восточно-Казахстанской, Семипалатинской и Павлодарской областей, а также Российской Федерации (нижнее течение реки) и нерестовым угодьем для фитофильных рыб. При обосновании экологического стока также были учтены требования, предъявляемые судоходством к стоку реки.

Так, годовые объемы экологического стока р. Ертис в створе г. Усть-Каменогорск при водности года $P = 25, 50, 75$ и 95% соответственно равны $19,82; 16,52; 13,66; 9,09$ км³. Из них соответствующие доли весеннего экологического стока составляют $9,34; 7,19; 6,11; 3,73$ км³. В створе с. Черлак при такой же последовательности водности объем экологического стока равен соответственно: $27,66; 22,93; 19,32; 14,37$ км³. 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 Иле (Или) и Каратал, обеспечивающие потребности в воде уникального по своей природе Иле-Балкашского (Или-Балхашского) природного комплекса. В результате эксплуатации Капшагайского (Капчагайского) водохранилища в низовьях р. Иле создано катастрофическое положение, выразившееся в деградации пойменных лугов из-за отсутствия весеннего затопления. Пойменные луга здесь являлись основным местом обитания околоводной фауны, нерестилищем полупроходных (фитофильных) рыб, а также основным сенокосным угодьем Алматинской области. 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. В итоге, все эти изменения (сокращение объема стока и ухудшение гидрохимического режима реки) ставят под угрозу само существование оз. Балкаш (Балхаш). Сокращение стока р. Иле в результате зарегулирования создает обратный солепереток из Восточного в Западный Балкаш, вместо нормального балансового (водного) перетока из Западной в Восточную часть озера, наблюдавшегося при естественном гидрологическом режиме.

Объемы экологического и потенциально-свободного речного стока рек по условиям охраны речной экосистемы, км³

Река – створ	Обеспеченность, %											
	Естественный сток				Потенциально-свободный сток				Экологический сток			
	25	50	75	95	25	50	75	95	25	50	75	95
Ертис – Боран	11,51	9,49	7,75	5,41	2,00	1,77	1,42	1,07	9,51	7,72	6,32	4,34
Ертис – 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
Ертис – 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
Ертис – 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
Есиль (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
Иле-37 км ниже п. Иле	16,47	14,13	12,74	10,57	2,18	1,66	1,07	0,68	14,29	12,47	11,67	9,89
Иле – 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
Каратал – Уштобе	2,58	1,93	1,49	1,04	0,64	0,47	0,28	0,18	1,94	1,46	1,21	0,86
Каратал – 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
Жайык – 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
Жайык – 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
Шу – 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
Аса – 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

Таблица 2

Характеристики экологического стока рек по условиям охраны речной экосистемы, км³

Обеспеченность, %	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
р. Ертис – 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
р. Ертис – 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
р. Ертис – 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
р. Ертис – 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
р. 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
р. 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

Обеспеченность, %	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
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
р. Есиль – 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
р. Жайык – Кизильское												
25	0,01	0,01	0,02	0,41	0,13	0,06	0,04	0,05	0,03	0,03	0,02	0,01
50	0,01	0,01	0,01	0,15	0,11	0,05	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01
75	0,01	0,01	0,01	0,11	0,09	0,03	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
р. Жайык – 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
р. Шу – 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
р. 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

Обеспеченность, %	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
р. Иле – 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
р. Иле – 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
р. Каратал – Уштобе												
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
р. Каратал – Наймансуйек												
25	0,10	0,10	0,18	0,22	0,28	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

Произошедшие изменения в естественном гидрохимическом режиме привели к уничтожению значительных площадей нерестовых угодий и кормовой базы рыб. Поэтому при расчете экологического и свободного стока р. Иле наравне с удовлетворением сезонных требований (затопление дельтовых участков для целей нереста рыб, влагозарядка почв сенокосных угодий и кормовой базы ондатры) мы учитывали потребность в воде в течение всего года, то есть постоянный приток стока р. Иле для поддержания балансового перетока из Западной и Восточную часть озера, что обеспечивает более благоприятный солевой режим озера.

С учетом этих требований при расчете экологического стока и объема допустимых изъятий для р. Иле получены следующие результаты: из полного годового объема стока в 21, 72; 18,81; 17,11; и 14,18 км³ при водности P = 25, 50, 75, и 95 %; в качестве остаточного экологического стока должен оставаться объем 20,00; 17,25; 17,25; 17,71 и 12,93 км³ при тех же обеспеченностях. При этом объемы допустимых изъятий должны равняться 1,72; 1,56; 1,40; 1,25 км³.

Анализ полученных результатов показывает, что для целей охраны природных комплексов речных долин необходимо пересмотреть объемы таких крупных водохранилищ, как Буктырминское, Ириклинское, Капшагайское, с учетом требований к водности рек – основных компонентов природного комплекса. При обосновании экологического стока рек, отнесенных к группе низкой и средней природно-хозяйственной значимости (Шу, Талас, Асы), основные требования к ним предъявлять в весенне-летний период для затопления сенокосных угодий, являвшихся единственным местом заготовки кормов и временными пастбищами Жамбылской области. При расчете экологического стока этих рек особое внимание уделять затоплению сенокосных угодий во время вегетационного периода, с учетом промывки почв от солевого накопления. Как показали 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 среднегодовые величины естественного стока. Особое место занимает р.

Аса, подпитывающая оз. Бииликоль. 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. Бииликоль, согласно расчетам, потребуются следующие величины остаточного экологического стока р. Асы: 0,33; 0,28; 0,24 и 0,21 км³ при соответствующей водности года P = 25, 50, 75, 95 %. Исходя из этих норм экологического стока, объемы допустимых изъятий для использования в отраслях народного хозяйства в той же последовательности по водности года будут равны: 0,12; 0,08; 0,05; и 0,03 км³.

С учетом исключительной роли дельтовых участков р. Шу для заготовки кормов и в качестве временных пастбищ для Шуйского и Мойынкумского районов Жамбылской области получены следующие величины экологического стока: 1,66; 1,46; 1,29 и 0,98 км³ 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 км³. В процентном соотношении доля весеннего экологического стока от годового для рр. Шу, Талас и Асы колеблется от 42 до 78 %.

4.12. Примеры расчета экологического стока рек при отсутствии рядов наблюдений за гидрологическим режимом.

Анализ полученных расчетных значений объемов остаточного 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 РГП «Казгидромет» МООС РК весьма ограничено в силу малочисленности створов с периодом наблюдения более 25 лет, тем более в неизученных.

Для оценки экологического стока в изученных створах нами предлагаются зависимости этих характеристик как от естественного стока отдельных месяцев (для оценки месячного экологического стока), так и от среднееголетних естественных объемов стока для расчета величин экологического стока в годовом разрезе (рис. 1, 2).

Расхождения между объемами экологического стока, полученными на основе предлагаемых зависимостей и рассчитанными по методике, в основном составляют от 5 до 15 км³, хотя в отдельные зимние месяцы могут достигать и 20 км³ (р. Каратал).

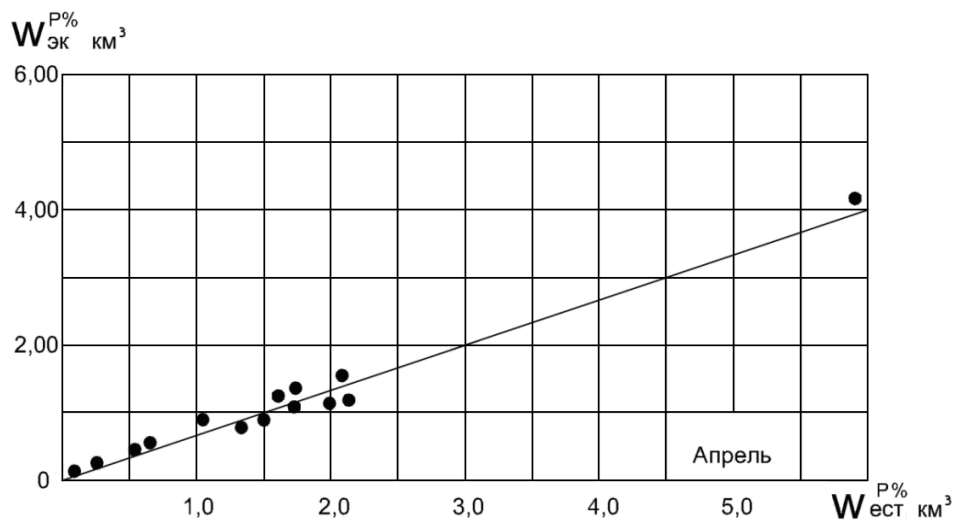
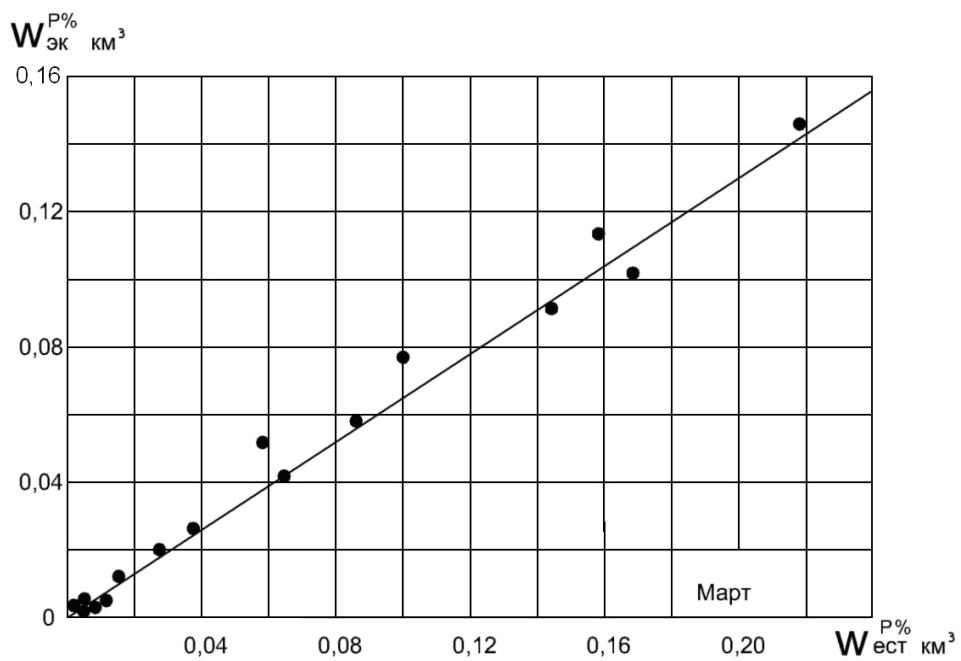


Рис. 1. Зависимость среднемесячного экологического стока р. Жайык расчетной обеспеченности от среднемесячного естественного стока.

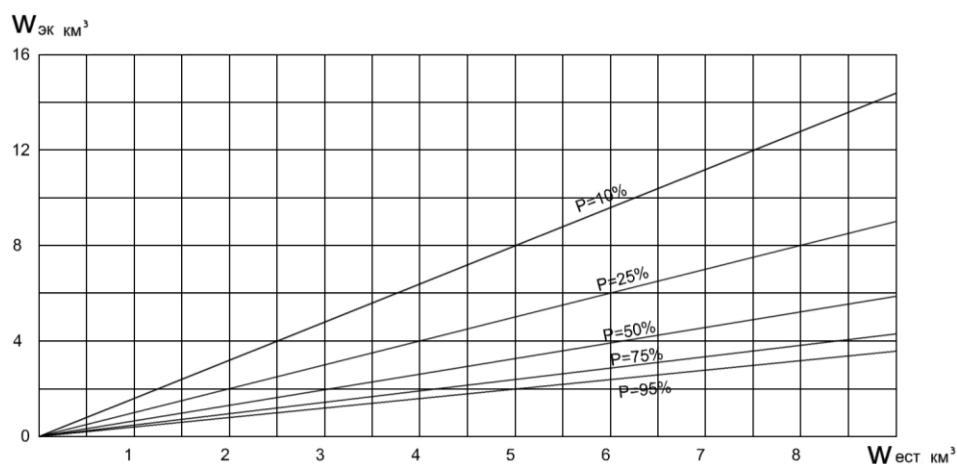


Рис. 2. Зависимость годового экологического стока *р. Жайык* расчетной обеспеченности от среднего месячного естественного стока.

Интересно заметить, что выявленные максимальные расхождения наблюдаются в месяцы с большой естественной изменчивостью стока (C_v). Например, в створе Наймансуйек на *р. Каратал* расхождение в феврале составляет 18 при $C_v = 0,68$, тогда как в период половодья в среднем колеблется от 4 до 10 при среднем $C_v = 0,32$. Аналогичный рост расхождения при $C_v \rightarrow 1,0$ в зимние месяцы и уменьшение его в весенне-летний период при $C_v \rightarrow 0$ наблюдается в отношении всех рассмотренных рек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурлибаев М.Ж. Теоретические основы устойчивости экосистем трансграничных рек Казахстана. – Алматы: Каганат, 2007. – 516 с.
2. Дубинина В.Г. Методические основы экологического нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установление экологического стока (попуска). – М.: Экономика и информатика, 2002. – 117 с.
3. Карасев И.Ф., Векшина, Т.В. Расчетные оценки гидравлических сопротивлений русел зарастающих рек // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. – СПб.: Т. 245. – 2006. – С. 101-108.
4. Мокляк В.Ф. Теплообмен и гидродинамика при конденсации в термосифонах в режиме двухфазной смеси: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1976. – 54 с.

5. Фащевский Б.В. Основы экологической гидрологии. – М.: Экономист, 1986. – 239 с.
6. Фащевский Б.В., Бурлибаев М.Ж., Походня Г.В., Щулика Л.Г. Ресурсы экологического и свободного речного стока Московской области./ Проблемы водоснабжения Москвы и Московской области. – М., АН СССР, 1989. – С 86-88.
7. 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.

Поступила 28.11.2012

Геогр. ғылымд. докторы	Б.В. Фащевский
Техн. ғылымд. докторы	М.Ж. Бурлибаев
Профессор, доктор	К. Опп
	Д.М. Бурлибаева

ҚАЗАҚСТАН ӨЗЕНДЕРІНІҢ ЭКОЛОГИЯЛЫҚ ЖӘНЕ БАСЫҢҚЫ ЕРКІН АҒЫНДАРЫН МӨЛШЕРЛЕУ ӘДІСТЕМЕСІН ҒЫЛЫМИ НЕГІЗДЕУ ТҰЖЫРЫМДАМАСЫ ЖӨНІНДЕ

Қазіргі кездегі Қазақстан өзендерінің экологиялық жағдайының құлдырауы өзен су ғимараттарының төменгі жағына жіберілетін ағын суының ғылыми негіздері жоқ екенін дәлелдейді. Сол себептен өзен су ғимараттарының төменгі жағына жіберілетін ағын судың ғылыми негіздері болуы керек және осы процессті анықтау кезінде басыңқы еркін ағынның мөлшері де анықталуы қажет. Осы мақала сол проблемаларын шешуі үшін дайындалған.