



ВОПРОСЫ ГЕОГРАФИИ

Сборник 133

*60-летнему юбилею
Гидрологической комиссии
Московского отделения
Русского географического общества
посвящается*

Географо-гидрологические исследования

Ответственные редакторы:
доктор географических наук Н.И. Коронкевич
кандидат географических наук Е.А. Барабанова

МОСКВА
Издательский дом «Кодекс»
2012

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ¹

Рассмотрены подходы к определению гидрологических ограничений природопользования. Выделены различные гидроэкологические функции водных объектов, характеризующие условия использования природных ресурсов рек и их водосборов, риски природопользования. Рассмотрена шкала изменений гидрологических функций в ряду состояний «норма» – «риск» – «кризис» – «бедствие» – «катастрофа». Выявлено существование критериев перехода от одних к другим формам ограничения природопользования в зависимости от изменения гидрологического состояния и режима водных объектов. Показаны особенности влияния природных и антропогенных факторов на изменение гидрологических ограничений.

Введение

Задачи охраны окружающей среды и рационального природопользования являются одними из наиболее острых и социально значимых проблем современности. Особую роль в социальной и производственной жизни современного общества играют водные объекты и гидрологические процессы вследствие исключительной зависимости населения, хозяйства, разнообразных биоценозов от наличия или отсутствия необходимых водных ресурсов надлежащего качества, опасных гидрологических явлений. С одной стороны, масштабы природо- и водопользования, его отрицательного воздействия на природную среду в последние десятилетия достигли таких пределов, когда возможности использования водных ресурсов и требования сохранения водной среды стали для большинства регионов лимитирующим фактором дальнейшего социально-экономического развития, одним из основных условий развития и размещения производительных сил. Водные ресурсы приобрели характер одного из стратегических ресурсов социально-экономического развития России. С другой стороны, в последние десятилетия происходит нарастание экстремальности изменений характерных расходов и уровней воды, русловых процессов, ледовых явлений, нередко локаль-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 09-05-00041; 09-05-00339; 09-05-92001-ННС), программы поддержки ведущих научных школ (НШ-4964.2008.5), ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (государственный контракт № 02.740.11.0336 и проект № П164).

ные и бассейновые проблемы изменения качества воды. В силу целого ряда природных и антропогенных факторов происходит рост ущерба от опасных гидрологических явлений. Ситуация осложняется проблемами, накопившимися в области мониторинга и прогнозирования состояния водных объектов, несовершенством водного законодательства и экономических механизмов природо- и водопользования. В этой связи комплексный анализ водохозяйственных проблем, возникающих при изменении состояния водных объектов под влиянием природных и антропогенных факторов, является частью политики экономически эффективного и экологически безопасного использования водных ресурсов.

Гидроэкологические функции водных объектов

Многообразие аспектов влияния водных объектов и гидрологических процессов на условия жизни населения, возможность и эффективность разнообразных видов производства, на условия существования водных и наземных экосистем при естественном или измененном гидрологическом режиме рек, озер и водохранилищ, подземных вод проявляется через разнообразные *гидроэкологические функции* водных объектов — экологическую, геосферную, ландшафтную, водохозяйственную, рекреационно-эстетическую, социально-экономическую (табл.).

Гидроэкологические функции водных объектов характеризуют многообразие аспектов использования и влияния водных объектов, гидрологических процессов, водохозяйственной деятельности на условия жизни населения, возможность и эффективность разнообразного использования ресурсов рек и речных долин, на условия существования водных и прибрежных экосистем. Эти функции способствуют или препятствуют экономически эффективному и экологически безопасному использованию земельных, лесных, сырьевых, водных, энергетических, транспортных, биологических, рекреационных и иных ресурсов речных долин и водосборов.

Изменение гидроэкологических функций происходит под влиянием как природных, так и антропогенных факторов (рис. 1). Природное изменение составляющих речного стока приводит к опасным гидрологическим явлениям, к которым относятся затопление освоенных территорий, маловодья, деформации русел рек, негативное изменение ледовых явлений и даже качества воды, поскольку формирование ее потребительских качеств сильно зависит от способности

Таблица. Гидроэкологические функции водных объектов

Функции	Характеристика функций
Экологическая	Обеспечение условий жизни населения, воспроизводства живых организмов, утилизация отходов хозяйственной деятельности
Геосферная	Участие в круговороте воды, наносов, химических веществ, обеспечение потоков веществ различной природы и энергии в системе «гидросфера–атмосфера–педосфера–литосфера–биосфера»
Ландшафтная	Участие в процессах выветривания, в изменении направленности и интенсивности эрозионных и русловых процессов, в формировании зональных ландшафтов и трансформации веществ разной природы и энергии в гидрографической сети территорий
Водохозяйственная	Предоставление водных, энергетических, биологических, сырьевых и других ресурсов водных объектов и их бассейнов для социально-экономического развития
Рекреационно-эстетическая	Создание условий для отдыха, эстетического развития отдельной личности и общества в целом
Социально-экономическая	Возникновение риска социального, экономического и экологического ущерба при развитии опасных гидрологических процессов

природных вод к самоочищению и разбавлению различных видов загрязняющих веществ. В зависимости от конкретных природных условий изменяются повторяемость, интенсивность и площадь негативного влияния опасных гидрологических явлений на население и хозяйство. Эти явления могут оказаться следствием хозяйственной деятельности на водосборах рек и в их руслах, поскольку природопользование способно существенно влиять на водоносность рек, внутригодовое распределение стока, мутность воды, ее химический состав, температуру и энергию водных потоков. В этих условиях изменение гидроэкологических функций зависит не только от природных факторов, но и от уровня освоенности территории, экономического развития страны и экономического положения ее отдельных регионов, используемых технологий природопользования, его масштабов и интенсивности, степени вовлеченности водных объектов в производственные операции, токсичности и объема сточных вод и т.п.

Нередко имеет место одновременное воздействие природных и антропогенных факторов на безопасность природопользования. Со-

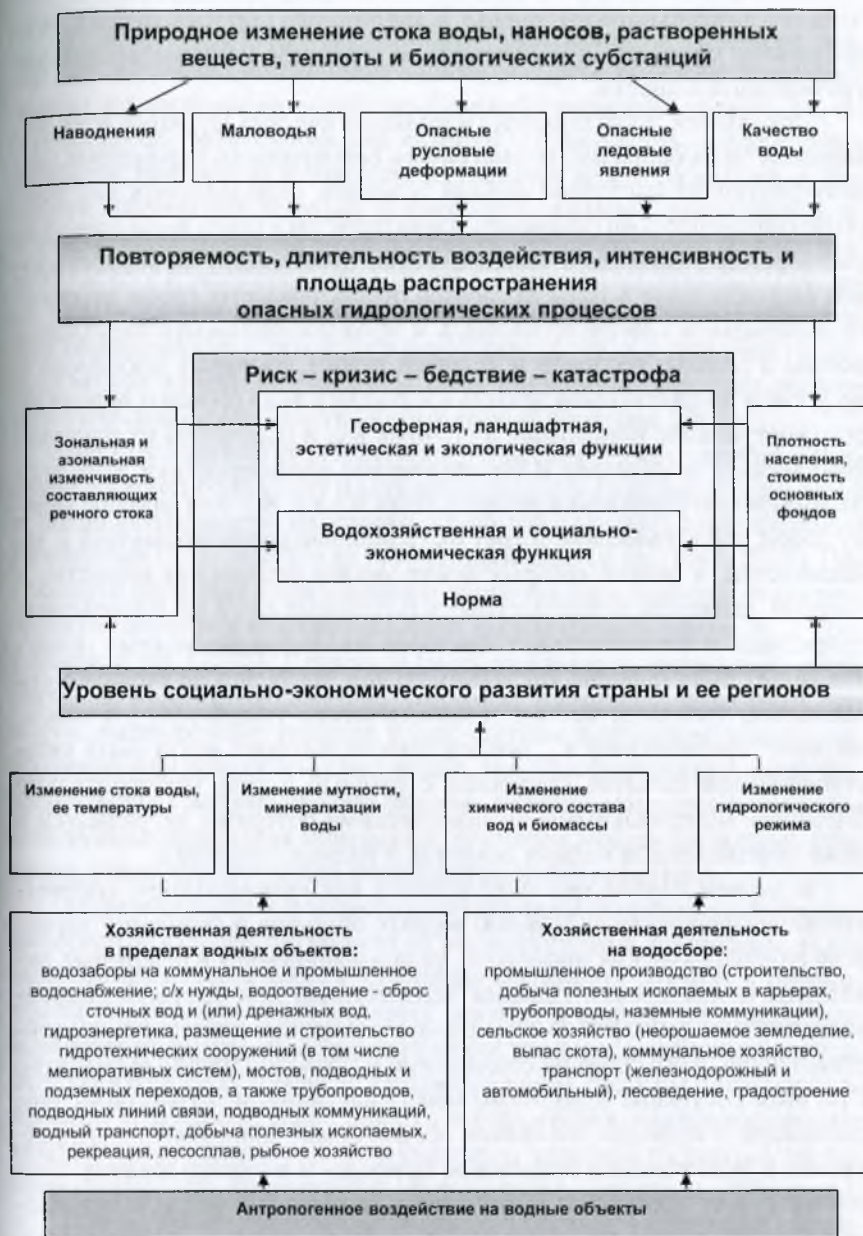


Рис. 1. Соотношение природных и антропогенных факторов (с учетом их перечня (Антропогенные ..., 2003)) в изменении гидроэкологических функций водных объектов

четание длительного маловодья и аварийного сброса сточных вод, например, приводит к экстремально высоким концентрациям загрязняющих веществ.

Для оценки особенностей гидроэкологических функций и их изменений целесообразно рассматривать совокупность параметров, характеризующих состояние водных объектов, определяемых как природными процессами (например, характеристики стока воды, наносов, растворенных веществ и биологических субстанций, их внутригодовое распределение в годы различной обеспеченности, сроки весеннего половодья и паводков; площадь и продолжительность затопления поймы и дельты, тепловой и ледовый режим, русловых процессов и др.), так и хозяйственной деятельностью человека (объемы водозаборов; поступление возвратных и сточных вод и параметры их очистки; физические, химические и биологические характеристики этих вод; параметры регулирования речного стока и т.д.). Все они связаны между собой, и их изменение может быть описано рядом уравнений и зависимостей, в основе которых лежат законы сохранения вещества и энергии, движения поверхностных и подземных вод и др. Воздействие природных и антропогенных факторов на состояние водных объектов может быть оценено как минимальное, когда оно не вызывает социальных, производственных и экологических ущербов A_{min} , и максимальное (критическое) $A_{кр}$, последствиями которого могут быть катастрофические события, связанные с гибелью людей, исключительно большими материальными, экономическими потерями, деградацией и даже исчезновением водных объектов и водных экосистем.

В первом случае оно определяется как «нормальное», соответствующее фоновому состоянию водных объектов и фоновому характеру гидрологических процессов, укладывающемуся в некоторые диапазоны изменчивости (заранее неизвестные) или «норму» гидроэкологических функций по отношению к запросам населения, воздействию водных объектов на социальные и производственные объекты. При этом состояние отношений между населением, хозяйством, экосистемами и водными объектами обеспечивает экономически эффективное и экологически безопасное природо- и водопользование. Оно соответствует критериям обеспечения гидроэкологической безопасности водного объекта (реки или ее участка, озера, водохранилища, горизонта подземных вод или артезианского бассейна), его водосбора или другой территории (район, область, республика, регион, страна) (Алексеевский и др., 2000; Данилов-Данильян и др., 2007).

Поддержание гидроэкологической безопасности на уровне нормы обеспечивает достаточные водные ресурсы, надежное водоснабжение, приемлемое качество воды, низкий природный уровень развития опасных гидрологических явлений, стабильность числа водных объектов; природные условия существования водных и наземных экосистем. Изменение фоновых условий под влиянием природных факторов и техногенных нагрузок последовательно увеличивает риск экологического и экономического ущерба. При этом позитивные и активно используемые населением, хозяйством функции водных объектов при определенных условиях и в некотором диапазоне значений гидрологических характеристик могут быть причиной нарушения гидроэкологической безопасности (Алексеевский, Фролова, 2000).

Данные нарушения или степень деградации (риск – кризис – бедствие – катастрофа) могут иметь различные последствия для здоровья и жизнедеятельности населения, хозяйства, условий существования биоценозов (Глазовский и др., 1991; Коронкевич и др., 1995; 2005). Подобная (с несколько иной степенью детальности) оценочная структура эколого-геологической безопасности рассмотрена в работе В.Т. Трофимова и др. (2000). Причиной рассматриваемых нарушений могут быть как природные факторы, например, изменение стока воды, наводнения, растворенных веществ в многолетнем и сезонном разрезе, наводнения или длительные маловодья, так и антропогенные нагрузки, приводящие к возникновению опасных явлений или нарушению условий функционирования природных экосистем, состояния водных объектов, условий нормальной жизнедеятельности населения.

Мера нарушения фонового (естественного) уровня гидроэкологической безопасности зависит от региона страны, природных условий, истории его освоения. Основная сложность состоит в определении пороговых или граничных значений, соответствующих возможному переходу от нормального состояния к условиям кризиса, бедствия или катастрофы. В настоящее время сделаны попытки «нащупать» эти критические значения параметров эмпирическим путем, используя данные об устойчивости, уязвимости водных экосистем (Михайлов, Эдельштейн, 1996; Примаков, Дмитриев, 2008 и др.).

Для оценки гидроэкологических условий (отдельных функций) водных объектов и степени их нарушений используют прямые и индикаторные критерии. Прямые критерии оценки регламентируются нормативно-директивными документами и выражаются по отношению к ПДК, ПДВ и т.д. Наиболее разработаны данные крите-

рии в отношении показателей качества воды, нормированных в отношении физического (мутность, температура), химического (содержание химических веществ и элементов) и бактериального загрязнения (Абакумов, 1991; Жукинский, 2003; Критерии..., 1992; Методические..., 1981; Методические..., 1988; Никаноров, 1989 и др.). Экологическому бедствию, например, соответствует показатель химического загрязнения $\text{ПХЗ-10} > 10$ (Критерии..., 1992). Для фоновых условий – $\text{ПХЗ-10} < 1$. Экологический кризис, по-видимому, можно характеризовать условием $1 < \text{ПХЗ-10} < 10$. По мнению Коронкевича и др. (2005), по большинству ингредиентов границей так называемой экстремальности служит 50-кратное превышение ПДК. В то же время по БПК₅ соответствующая цифра – 20, по ряду особо токсичных веществ – до 5 (в нашем понимании и по аналогии с работой В.Т. Трофимова и др. (2000) данная ситуация соответствует бедствию и катастрофе).

В меньшей степени разработаны гидроэкологические оценки природного и техногенного изменения объема водных ресурсов, хотя и здесь имеются некоторые рекомендации (Глазовский и др., 1991; Коренева, Христофоров, 1993; Нежиховский, 1990; Фашевский, 1989, 1996 и др.). В рамках теории экологического русловедения разработаны критерии оценок направленности и интенсивности русловых процессов (Беркович и др., 2000).

В качестве индикаторных выступают, например, коэффициенты использования водных ресурсов $k_{\text{ивр}}$ или удельной водообеспеченности (Водные ресурсы..., 2008), биотические критерии (Коронкевич и др., 1995; Булгаков и др., 2009). Критерий $k_{\text{ивр}}$ представляет собой отношение величин полного водопотребления и реальных водных ресурсов. При этом возобновляемые водные ресурсы – сумма местных водных ресурсов, формирующихся в пределах рассматриваемого региона, и притока речных вод с соседних территорий. Если $k_{\text{ивр}} < 10\%$, то нехватка воды (водный стресс) отсутствует или ситуация соответствует норме. При изменении этого коэффициента в пределах от $10 \leq k_{\text{ивр}} < 20\%$ существует слабая нехватка воды, уровень водообеспечения становится фактором, ограничивающим развитие региона. Если $k_{\text{ивр}} = 20\text{--}40\%$, то дефицит воды носит умеренный характер, а для устойчивого развития территории необходимо регулировать в ее пределах предложение и спрос на воду. В противоположном случае ($k_{\text{ивр}} \geq 40\%$) для территории характерен высокий уровень водного стресса. Градации очень высокого и критического уровня стресса соответствуют условию $k_{\text{ивр}} = 40\text{--}60\%$. В этом случае имеет

место серьезный дефицит воды и острая необходимость регулирования и ограничения водопотребления, привлечения дополнительных источников водообеспечения. Дефицит водных ресурсов становится фактором, сдерживающим экономический рост и повышение уровня благосостояния населения. При $k_{\text{нвр}} > 60\%$ (критически высокая нагрузка) дефицит водных ресурсов становится критическим фактором развития экономики и безопасности жизнедеятельности.

Для критериев выделения классов гидроэкологического состояния (функций) водных объектов используют показатели, которые разделяют на тематические, пространственные и динамические (например, продолжительность, скорость и площади затопления и загрязнения территории, число пострадавших, величина ущерба на единицу площади и т.д.). Они могут быть использованы при картографировании гидроэкологических условий и свойств водных объектов. Единого интегрального показателя состояния водных объектов не существует, однако число наиболее представительных показателей можно свести к разумному минимуму.

Для обеспечения рассмотренных выше функций водных объектов общество принимает на себя обязательства по ограничению природо- и водопользования для сохранения количества и определенного качества природных вод и обеспечения безопасности своей жизнедеятельности. Запасы воды на Земле колоссальны, но возможность их использования ограничена в первую очередь природными (в т.ч. экологическими) факторами. Рост водопотребления и потери воды в результате загрязнения создают дополнительные ограничения на использование водных ресурсов в будущем. В этой связи целесообразно рассмотреть состав и содержание современных и ожидаемых гидрологических ограничений природопользования, которые смогут обеспечить соответствующий уровень гидроэкологической безопасности водных объектов или какой-либо территории.

Требования обеспечения гидроэкологической безопасности могут быть выражены в виде целого ряда условий, выражающих ограничения на допустимые изменения параметров состояния водного объекта или территории в течение расчетного периода. Тип и величина ограничений зависят от вида хозяйственной деятельности. К ним могут относиться: ограничения снизу на расходы воды в реках (минимальный допустимый сток) и уровни воды в озерах и водохранилищах, гарантирующие сохранение водных экосистем и удовлетворение интересов водопользователей; ограничения сверху на расходы и уровни воды, обеспечива-

ющие безопасность населения и гидротехнических сооружений; ограничения на концентрацию загрязняющих веществ (ПДК); ограничения на температуру, мутность, минерализацию, pH, цвет и запах сточных и природных вод; ограничения на колебания уровня грунтовых вод и изменения пьезометрического напора артезианских вод; ограничения на степень развития различных опасных гидрологических явлений. Все эти ограничения имеют не только количественный смысл, но и вероятностную основу. Например, сбрасываемый в нижний бьеф водохранилища расход воды в течение каждого года периода его эксплуатации должен: с вероятностью $P_1 = 90\%$ быть не меньше расхода минимального допустимого стока; с вероятностью $P_2 = 99,9\%$ быть не больше максимально допустимого расхода воды с точки зрения безопасности населения и хозяйственных объектов в нижнем бьефе (Крицкий и Менкель, 1981, 1982). Для каждого вида природо- и водопользования существует свой диапазон величин и повторяемостей (обеспеченностей) гидрологических характеристик, при которых наблюдаются благоприятные условия хозяйствования. Определение этого диапазона основано на учете возможных затрат на поддержание безопасности и экономической выгоды от использования ресурсов водного объекта.

Таким образом, под **гидрологическими ограничениями** понимаются предельные величина и вероятность гидрологических характеристик водных объектов, переход через которые сопровождается значительным увеличением риска социального, экономического и экологического ущерба. Такие переходы означают возникновение дефицита водных ресурсов, критическое понижение уровней воды, уменьшение глубины водных потоков, опасное увеличение расходов и повышение уровней воды, снижение качества речных вод по сравнению с лимитирующим пределом, изменение направленности и интенсивности русловых процессов, смещение дат ледовых явлений на более поздние или ранние сроки и т.п. Часть гидрологических ограничений определяется природными условиями, изменение которых можно с той или иной степенью достоверности предвидеть, чтобы избежать возможных негативных последствий. Другая часть ограничений возникает в процессе хозяйственной деятельности и задается самими водопользователями.

Возникающие гидрологические ограничения природопользования соответствуют разным пороговым значениям гидрологических характеристик, связаны с возможными нарушениями работы водохозяйственных систем, изменениями состояния экосистем, условий жизни и здоровья населения. Проблемы их задания обусловлены сложностью экс-

плуатации этих систем, множественностью подходов к планированию и реализации природоохранных мероприятий в бассейнах водных объектов, противоречиями интересов различных природопользователей. Для назначения этих характеристик необходимо создание соответствующей нормативной базы, регламентирующей использование и охрану природных (в т.ч. водных) ресурсов. Необходимый минимум обоснованных нормативов и стандартов, позволяющих решать задачи использования и охраны водных ресурсов на четкой количественной основе, существует лишь применительно к пресным природным водам.

Виды и особенности гидрологических ограничений

Гидрологические ограничения природо- и водопользования включают ограничения, связанные с возможностью предоставления населению, различным отраслям хозяйства водных, энергетических, биологических, сырьевых и других ресурсов водных объектов и их бассейнов. Они связаны с невозможностью беспредельного изъятия тех или иных ресурсов водных объектов. Объем (расход) потребления водных ресурсов не должен превышать гарантированной (статистически обоснованной) величины их естественного или искусственного восполнения.

Нормативы допустимого изъятия ресурсов водных объектов и их бассейнов устанавливаются в соответствии с ограничениями объема их изъятия в целях сохранения собственно водных объектов, задачами обеспечения устойчивого функционирования водных объектов, экосистем и водохозяйственных систем, предотвращения их деградации. Величина ограничений и возможность использования природных ресурсов определяется действующими правовыми нормами (СНиПы, ГОСТы и др.), разработанными с учетом особенностей гидрологического режима водных объектов, состава и вероятности опасных гидрологических явлений.

Одним из основных лимитирующих факторов природопользования является наличие на определенной территории требуемого объема водных ресурсов надлежащего качества. Средняя природная обеспеченность местным стоком в России составляет 28,4 тыс.м³/год на человека и колеблется по субъектам РФ от 1,53 в Ставропольском крае до 600–1000 тыс. м³/год и более на человека в автономных округах Сибирского и Дальневосточного ФО. Большая часть этих ресурсов находится в сравнительно слабо обжитых районах Севера ЕТР,

Сибири и Дальнего Востока. На этом фоне весьма невелики водные ресурсы южных степных и полупустынных районов России. В их же пределах достигает максимума межгодовая изменчивость стока. Сток многоводных лет даже относительно крупных рек этой зоны может превышать сток маловодных лет в десятки раз. Месячный, декадный и суточный сток воды многих рек засушливой зоны оказывается недостаточным для удовлетворения потребностей отдельных или всех водопользователей при соблюдении экологических ограничений. Более 75% речного стока формируется в период половодья и паводков, что требует регулирования водного режима для удовлетворения потребностей различных отраслей водного хозяйства.

В ближайшие десятилетия гидрологические аспекты природопользования в значительной мере будут во многом определяться климатическими изменениями, влияющими на величину местных водных ресурсов, направленность и интенсивность опасных гидрологических процессов, характер и особенности гидроэкологических функций водных объектов. Климатические изменения существенно повлияют на потребности в воде в зонах орошаемого земледелия. Анализ, основанный на сценариях потепления климата к 2020 и 2070 гг., показывает, что на 2/3 орошаемых территорий будет существовать дефицит водных ресурсов. На половине орошаемых земель потери сельскохозяйственной продукции вследствие потепления и аридизации территории окажутся более значительными по сравнению с потерями в неурожайные годы (Данилов-Данильян, Лосев, 2006).

Ограничения при использовании поверхностных вод могут быть связаны с высокими фоновыми концентрациями химических веществ в природных водах; антропогенным воздействием, результатом которого является неудовлетворительное качество воды и невозможность ее дальнейшего использования в тех или иных водохозяйственных целях; недостаточной способностью водных объектов к самоочищению. Компоненты химического состава речных вод являются факторами, от которых зависят потребительские свойства водных ресурсов. Они оцениваются на основе универсальных показателей (Кимстач, 1993; Никаноров, 2005; Шитиков и др., 2005), в состав которых входит индекс загрязнения вод (ИЗВ), рассчитываемый в соответствии с (Методические указания..., 1988), единый критерий качества вод (ЕККВ), определяемый согласно (Единые критерии..., 1982), критерий кислородного баланса воды и другие. Первые два вида рассмотренных классификаций качества воды (ИЗВ и ЕККВ) анализируют общую

экологическую нагрузку на водный объект на основе содержания в воде специфических загрязняющих веществ. Другие критерии позволяют оценить уровень органической нагрузки на водный объект, дать качественную характеристику самоочищающей способности водного объекта (Геоэкологическое состояние..., 2007).

Нормативы состава и свойства воды водных объектов устанавливаются применительно к отдельным категориям водопользования. Например, к первой категории относится использование водного объекта в качестве источника хозяйственно-питьевого водоснабжения (ГОСТ Р51232-98 и СанПиН 2.1.4.1074-01, 2.1.4.1110-02), а также для водоснабжения предприятий пищевой промышленности; ко второй — использование водного объекта для купания, спорта и отдыха населения, а также использование водных объектов, находящихся в черте населенных мест.

Другой тип ограничений связан с лимитированием хозяйственной деятельности, которая может привести к негативному изменению состояния водных объектов, качества воды, направленности и интенсивности гидрологических процессов, увеличению стоимости водоохраных мероприятий. Подобные ограничения предполагают обеспечение безопасности существования водных экосистем, экологического стока, ограничение в сбросах сточных вод, сохранения качества воды и т.д. Нормативы допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты устанавливаются по каждому виду хозяйственной деятельности, а также по совместному их воздействию. Нормирование включает разработку, утверждение и контроль над выполнением норм водопотребления и норм предельно допустимых вредных воздействий на водные объекты (ПДВВ). Нормируемые виды воздействия определены величиной привноса химических и взвешенных веществ, радиоактивных веществ, микроорганизмов, тепла, изъятия водных ресурсов и т.п. Однако даже по наиболее разработанной проблеме определения объема возможного изъятия речного стока ситуация далека от завершения (Вода России., 2001; Данилов-Данильян и др., 2006; Дубинина и др., 1996; Коренева, Христов, 1993; Кумсиашвили, 1980, 2005; Фашевский, 1989, 1996 и др.).

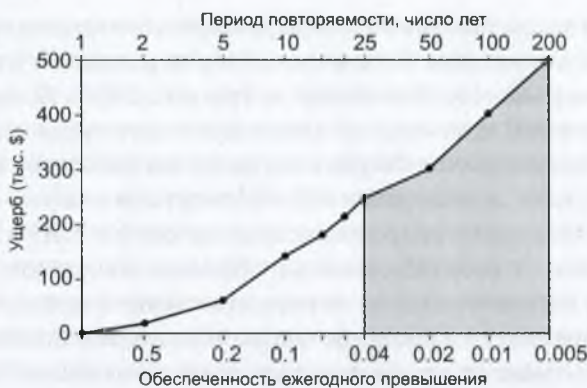
Наиболее сложным вопросом при оценке воздействия на водные объекты является разработка нормируемых показателей качества воды, соответствующих различной степени ущерба водным объектам. Для этой цели могут использоваться экологические нормативы. Экологические нормативы (как и результаты экологической оценки качества поверхностных вод) выражают в абсолютных значениях от-

дельных характеристик и в относительных величинах (классы, категории, индексы) (Жукинский, 2003). В качестве дополнения или замены ныне существующих и порою неэффективных для оценки состояния водных экосистем нормативов ПДК и качества воды предлагаются экологически допустимые нормативы (ЭДН) потенциально вредных для биоты факторов среды, устанавливаемых непосредственно по данным биологического и физико-химического мониторинга (Булгаков и др., 2009). Установление нормативов происходит в несколько этапов: 1) выбор индикатора состояния биоты, 2) выявление границы между благополучными и неблагополучными состояниями и 3) расчет уровней значений исследуемого фактора, приводящих к неблагополучным значениям индикаторной характеристики.

Еще один вид ограничений связан с минимизацией водохозяйственного, социального риска, обеспечением безопасности хозяйственных объектов в условиях опасных гидрологических явлений: затопления освоенной местности, маловодий, размыва или заиления русел рек, заторов, промерзания рек и т.д.).

Рассмотренные виды гидрологических ограничений не гарантируют абсолютной безопасности природопользования. Они основываются на идее приемлемого риска опасных гидрологических явлений. Под *приемлемым* (допустимым) уровнем риска понимают уровень допустимых потерь для конкретного вида природопользования, соответствующих заданной вероятности наступления опасного гидрологического явления. Выбор уровня приемлемого риска – политическая, экономическая и управленческая задача (рис. 2). Величина принятого уровня приемлемого риска отражает отношение государства к обеспечению безопасности его населения. Если уровень приемлемого риска установлен значительно ниже допустимого, то государство предусматривает дополнительные затраты на обеспечение безопасности населения страны. Они связаны с развитием новых технологий и методов инженерной защиты населения, социальных и производственных объектов.

В некоторых странах уровни приемлемого риска приняты законодательно. Первой такой страной стали Нидерланды, где в качестве граничного значения индивидуального риска, индуцированное отдельным промышленным предприятием, принято равным 10^{-6} смертей в год, что в 100 раз ниже естественной смерти детей в возрасте от 10 до 14 лет. По статистическим данным реальный индивидуальный риск гибели людей в мире от природных опасных явлений составляет около $4 \cdot 10^{-5}$ чел./год. Для России эта величина равняется $1 \cdot 10^{-6} - 3,3 \cdot 10^{-7}$ чел./год.



(а) Ущерб от событий различной повторяемости



(б) Водохозяйственный анализ

Рис. 2. Определение расчетной обеспеченности гидрологических характеристик при водохозяйственном анализе (Chow и др., 1988)

При расчете риска в материальной сфере используется понятие «общественно-допустимая опасность». Оно характеризует максимальную по интенсивности природную опасность при допустимой вероятности ее возникновения, зависящую от категории сложности и значимости объекта, запланированной продолжительности его эффективного использования. В Нидерландах, где почти половина территории страны защищена береговыми дамбами, предупреждающими затопление освоенной местности речными и морскими водами, расчет высоты дамб производится с учетом опасных гидрологических явлений повторяемостью 1 раз в 10 000 лет (Безопасность России., 2008; Алексеевский и др., 2009).

В России законодательно уровень приемлемого индивидуального риска пока не установлен. Есть мнение, что он находится в пределах $n \cdot 10^{-4}$ — 10^{-5} смертей в год (Безопасность России..., 2008). Принятие более низких уровней приемлемого индивидуального риска затруднено проблемами финансового обеспечения задач понижения существующего уровня риска до значений $n \cdot 10^3$ — 10^4 смертей в год.

Степень опасности гидрологических явлений (ОГЯ) в отношении социальных и производственных объектов зависит от их типа, природной и антропогенной изменчивости соответствующих характеристик, освоенности и площади территории, подвергшейся воздействию ОГЯ, а также от продолжительности этих явлений. Чем реже возникает опасное гидрологическое явление, тем сильнее его воздействие на социальные и производственные объекты.

Существующее многообразие критериев оценки опасности, соответствующее возможным ограничениям природо- и водопользования, сводится к показателям, оценивающим масштаб, интенсивность развития гидрологических процессов и их повторяемость (например, величина и скорость подъема уровней воды при максимальном стоке); показателям, характеризующим возможные неблагоприятные изменения абиотических компонентов ландшафтов или свойств водных объектов; биологическим показателям, характеризующим изменение условий существования водных биоценозов; социально-экономическим показателям, отражающим величину ущерба, число пострадавших и т.д. Их учет можно использовать для интегральной оценки степени безопасности природопользования в условиях конкретного сочетания ОГЯ (Геоэкологическое..., 2007).

Оптимизация природопользования с учетом имеющихся гидрологических ограничений

Регламентация гидрологических ограничений обеспечивает достижение условий гидроэкологической безопасности населения, хозяйства, водных и прибрежных экосистем. В этом случае учитывается социальная необходимость, природная допустимость, экологическая безопасность, техническая обеспеченность и юридическая обусловленность природопользования и, в частности, водопользования на освоенных участках речных долин. Регламентация определяет порядок деятельности водопользователей в отношении водных объектов, предполагает установление такого способа их использования, при котором опре-

делены и ограничены параметры, основные свойства опасного гидрологического явления, приемлемые для организации водохозяйственной деятельности в пределах определенного водного объекта или его водосбора. Такие параметры определяются для каждого вида хозяйственной деятельности в отношении: продолжительности (временные ограничения или допущения); последовательности (определение порядка чередования); объемности (ограничение или допущение количественных величин); территориальности (площадные ограничения или допущения).

Определение *временных ограничений* предполагает установление продолжительности периода изменения использования территории речного бассейна или долины (освоения, застройки, адаптации к изменению техногенных нагрузок и др.); установление продолжительности периода расчетной эксплуатации гидротехнического объекта, зависящего от объема имеющихся ресурсов, потребности общества.

Определение *порядка чередования* действий водопользователей предполагает последовательное применение экологических (при рассмотрении различных вариантов водопользования) и экономических ограничений (при выборе наиболее экономически эффективного (оптимального) варианта организации водопользования). Он предполагает выбор приоритетного вида водопользования, учет интересов других участников водохозяйственного комплекса, обеспечение нормальных условий хозяйственной деятельности на данной и сопряженных территориях. Реализация этого принципа учитывает принцип приоритета водопользователей, относящихся к социальной сфере (приоритета использования водных объектов для целей питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения), перед иными водопользователями. Это означает первоочередное обеспечение потребностей в водных ресурсах населения, предприятий и организаций жилищно-коммунального хозяйства поселений и других отраслей социальной сферы.

Пространственные ограничения определяются при нормировании хозяйственной деятельности в долинах и руслах рек. Они устанавливают минимальные размеры водоохранных зон и прибрежных полос.

Решение о конкретных значениях характеристик гидрологических ограничений природопользования (нормы допустимого изъятия, попуска, стока и т.п.) принимаются с учетом особенностей водных объектов, принятой приоритетности водопотребления, сложившейся структуры водохозяйственного комплекса территории. Установленные ограничения в практической сфере жизнедеятельности населения не всегда воспринимаются жесткими. Это связано с неоднозначностью и про-

блемами точности их определения. Многие годы, например, остается дискуссионным вопрос об экологически безопасных объемах изъятия воды из водных объектов, в частности, из малых рек. Реальные нарушения ограничений (чрезмерный сброс сточных вод, превышение допустимого изъятия воды, непредусмотренные масштабы воздействия на экосистемы водосбора и т.п.) обусловлены отсутствием соответствующих мгновенных средств прекращения незапланированного природопользования, подобных электрическому предохранителю, который «перегорает» при превышении силой тока заданного предела. Еще одна причина нарушения, например, экологических ограничений, связана с проявлением негативных изменений состояния водных биоценозов не мгновенно, а через значительный период времени.

Ужесточение режима гидрологических ограничений хозяйственной деятельности требует разработки и использования технологий оптимизации водопользования. В основе этой оптимизации находится обеспечение гидроэкологической безопасности населения, хозяйства, водных и прибрежных экосистем, предупреждение крупных ущербов, связанных с опасными гидрологическими явлениями. Эти технологии должны базироваться на хорошо зарекомендовавших себя методах водохозяйственных расчетов, учитывающих наличие комплекса водопользователей и задачи охраны водных объектов от загрязнения, истощения и засорения (Кумсиашвили, 1980, 2005; Раткович, 1993 и др.).

В этом случае задача оптимизации сводится к сохранению нормального состояния водных экосистем, устойчивого функционирования водохозяйственных систем при наличии ряда ограничений на величину и вариацию запросов различных водопотребителей (рис. 3). Она основывается на «правилах» регулирования речного стока за интервал времени $[0; T]$ с учетом требований n потребителей и m водопользователей (Алексеевский и др., 2000). Эффективное и экологически безопасное использование речного стока в этом случае предполагает соблюдение ряда ограничений на изменение расходов воды $Q(t)$. Они включают ограничения на максимум расхода воды $A(t)$, гарантирующий безопасность гидротехнических сооружений, мостов, продуктопроводов, береговых, сельскохозяйственных объектов в поймах рек. Не менее важным ограничением является обеспечение гарантированного снабжения водой $q(t)$ конкретных для территории водопотребителей. Удовлетворение потребностей гидроэнергетики, водного транспорта, рекреации объясняет зависимость безопасного уровня от экстремально низкого стока. Требование сохранения его означает, что

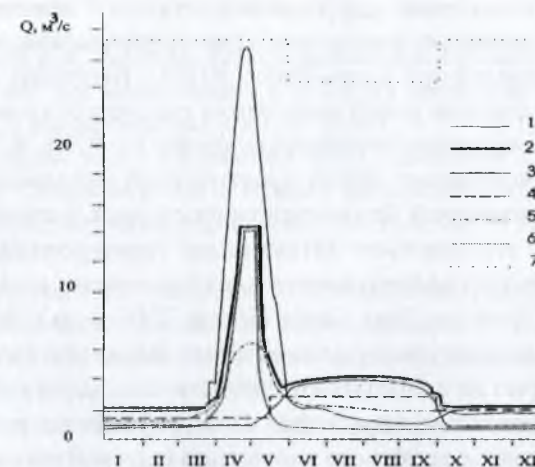


Рис. 3. Соотношение фактических (1) и оптимальных (2) с учетом различных ограничений расходов воды при определении безопасных условий водопользования (Алексеевский и др., 2000).

Ограничения: 3 – по признаку необходимости разбавления сточных вод; 4 – обводнения рек; 5 – поддержания оптимальных условий существования водных экосистем; 6 – сохранения условий динамического равновесия в системе «поток – русло»; 7 – предупреждения катастрофических наводнений

в руслах рек расходы воды не должны быть меньше некоторого предела $\alpha_i(t)$. Одновременно их величина должна обеспечивать разбавление сточных вод до уровня ПДК для i -й характеристики качества воды. При учете k таких характеристик в качестве $\alpha_{p,i}(t)$ принимается значение $\alpha_{p,i}(t) = \max[\alpha_{p,i}(t), \dots, \alpha_{p,k}(t)]$. Ограничения на минимальные расходы воды также увязываются с обеспечением транзита речных наносов $\alpha_f(t)$, при котором отсутствует направленное заиливание мелких элементов русловой сети, оптимальных условий существования водных экосистем $\alpha_e(t)$. Условие сохранения гидроэкологической безопасности соответствует такой минимальной величине $\alpha(t)$, которая равна максимуму Q по совокупности ограничений $\alpha_v(t), \alpha_{p,i}(t), \alpha_f(t), \alpha_e(t)$. При наличии безвозвратных потерь стока $q_b(t)$ этот уровень зависит от выполнения неравенства $\alpha(t) \leq Q(t) - q_b(t) \leq A(t)$.

За время T $P_T(a, A) = P[a(t) \leq (Q(t) - q_b(t) \leq A(t)]$. Вероятность $P_T(a, A)$ характеризует надежность сохранения нормального состояния водных объектов в данный период времени при указанных ограничениях. Надежность безопасности снижается с увеличением

$\alpha(t), q_b(t)$ и уменьшением $A(t)$. При возрастании T значение $P_T(\alpha, A)$ уменьшается, поскольку растет вероятность нарушения вышеприведенного неравенства при каком-либо $t \in [0; T]$. Величина $1 - P_T(\alpha, A)$ характеризует степень риска нарушения гидроэкологической безопасности. Минимизация вероятности риска $1 - P_T(\alpha, A)$ или функции ущерба представляет собой практический механизм обеспечения гидроэкологической безопасности различных регионов России.

Очевидно, что подобная оптимизация также должна обеспечивать экономическую эффективность в использовании водных и иных ресурсов рек (Данилов-Данильян и Лосев, 2006 и др.). Задача оптимизации в целях получения максимального экономического эффекта предполагает учет не только необходимости получения прибыли всеми водопользователями, но и затрат на охрану водных ресурсов, покрытие ущербов от возможного нарушения гидрологических ограничений. Решение подобных задач сопряжено со значительными трудностями формализации их алгоритма, адекватного описания вероятностной природы гидрологических процессов. Примеры успешного использования методов оптимизации в управлении сложными водно-ресурсными системами не очень многочисленны (Крицкий и Менкель, 1981, 1982; Кумсиашвили, 2005; Пряжинская и др., 2002; Раткович и Болгов, 1997; Христофоров, 2004 и др.). Их применение необходимо при оптимизации регулирования речного стока, комплексного использования водных ресурсов трансграничных рек и т.д.

Заключение

Таким образом, использование ресурсов водных объектов и их водосборов должно организовываться с учетом гидрологических ограничений, учитывающих природное и техногенное изменение составляющих речного стока, опасных гидрологических процессов, а также техногенных нагрузок, при которых возможен социальный, экономический и экологический ущерб. На основе полученных научно обоснованных величин таких ограничений должны разрабатываться схемы оптимизации экономически эффективного и экологически безопасного природопользования.

Литература

1. *Абакумов В.А.* Экологические модификации и развитие биоценозов // Экологические модификации и критерии экологического нормирования. Л.: Гидрометеиздат, 1991. С. 18–40.
2. *Алексеевский Н.И., Евстигнеев В.М., Храменков С.В., Христофоров А.В.* Общие подходы к оценке и достижению гидроэкологической безопасности речных бассейнов // Вестник МГУ. Сер.5. География. 2000. №1. С. 22–28.
3. *Алексеевский Н.И., Михайлов В.Н., Алабян А.М., Бабич Д.Б.* Опасные гидрологические процессы в Голландской дельте. II. Меры по уменьшению их негативного влияния на население, хозяйство и экосистемы // Водные ресурсы. Том 36. №2. 2009. С. 131–138.
4. *Алексеевский Н.И., Фролова Н.Л.* Гидроэкологическая безопасность территории: Причины изменения и способы повышения надежности // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия. Материалы Междун. научной конференции. Томск, 2000. С. 4–7.
5. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Под ред. Н.И. Коронкевича и И.С. Зайцевой. М.: Наука, 2003. 367 с.
6. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ рисков и управление безопасностью. М.: МГОФ «Знание», 2008. 672 с.
7. *Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Экологическое русловедение. М.: ГЕОС, 2000. 232 с.
8. *Булгаков Н.Г., Левич А.П., Абакумов В.А., Максимов В.Н., Мамихин С.В.* Метод установления экологически допустимых нормативов вредных воздействий на основе данных экологического мониторинга // Материалы научно-практической конференции «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России». Ч. 2. г. Азов, 8–10 июля 2009 г. – Ростов-на-Дону, 2009. С. 121–125.
9. Вода России. Малые реки / Под ред. А. М. Черняева; ФГУП РосНИИВХ. Екатеринбург: Изд-во «АКВА-ПРЕСС», 2001. 804 с.
10. Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
11. Геоэкологическое состояние Арктического побережья России и безопасность природопользования / Под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. 694 с.
12. *Глазовский Н. Ф., Коронкевич Н.И., Кренке А.Н., Кочуров Б.И., Сдаюк Г.В.* Критические экологические районы: географические подходы и принципы изменения // Изв. ВГО. 1991. Т. 123, вып. 1. С. 9–17.

13. Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Потребление воды: Экологический, экономический, социальный и политический аспекты. М.: Наука, 2006. 221 с.
14. Данилов-Данильян В.И., Залиханов М.Ч., Лосев К.С. Экологическая безопасность. Общие принципы и российский аспект. М.: Изд-во МППА БИМПА, 2007. 288 с.
15. Дубинина В.Г., Гаргона Ю.М., Чебанов М.С. Методические подходы к экологическому нормированию антропогенного сокращения речного стока // Водные ресурсы. 1996. Т. 24. №1. С.78–85.
16. Единые критерии качества вод. М.: Изд. СЭВ, 1982. С. 69.
17. Кимстач В.А. Классификация качества поверхностных вод в странах Европейского Экономического Сообщества. СПб.: Техническая книга, 1993.
18. Жукинский Н. И. Экологический риск и экологический ущерб качеству поверхностных вод: Актуальность, терминология, количественная оценка // Водные ресурсы. 2003. Т. 30. №2. С. 213–221.
19. Коренева И.Б., Христофоров А.В. Об оценке минимального экологически достаточного стока воды в реках // Вестник МГУ. Сер.5. География. 1993. №1. С. 77–83.
20. Коронкевич Н.И., Зайцева И.С., Китаев Л.М. Негативные гидроэкологические ситуации // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. №1. С.43–53.
21. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Бумакова А.Ф., Зайцева И.С., Малик Л.К. Экстремальные гидрологические явления // Изв. РАН. Сер. геогр. 2005. №2. С.45–57.
22. Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. М., 1992. 58 с.
23. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. М.: Наука, 1981. 255 с.
24. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления водохозяйственными системами. М.: Наука, 1982. 270 с.
25. Кумсиашвили Г.П. Регулирование стока и охрана природных вод. М: МГУ, 1980. 136 с.
26. Кумсиашвили Г.П. Гидроэкологический потенциал водных ресурсов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 270 с.
27. Методические основы оценки антропогенного воздействия на качество поверхностных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 170 с.
28. Методические указания по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. Ростов-на-Дону: ГХИ, 1988. 28 с.

29. Михайлов В.Н., Эдельштейн К.К. Оценка устойчивости и уязвимости водных экосистем с позиции геоэкологии // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1996. №3. С. 45–51.
30. Нежиховский Р.А. Гидролого-экологические основы водного хозяйства. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 229 с.
31. Никаноров А.М. Гидрохимия. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 351 с.
32. Никаноров А.М. Научные основы мониторинга качества вод. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 576 с.
33. Примаков Е.А., Дмитриев В.В. Разработка интегрального индекса для оценки устойчивости водоемов к изменению параметров естественного и антропогенного режимов. В сб.: Географические и геоэкологические аспекты развития природы и общества / Под ред. Н.В. Каледина, В. В. Дмитриева. СПб, 2008. С. 234–241.
34. Пряжинская В.Г., Ярошевский Д.М., Левит-Гуревич Л.К. Компьютерное моделирование и управление водными ресурсами. М.: Физматиздат, 2002. 494 с.
35. Раткович Д.Я. Гидрологические основы водообеспечения. М.: ИВП РАН, 1993. 430 с.
36. Раткович Д.Я., Болгов М.В. Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна. М., 1997. 262 с.
37. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г., Барабошкина Т.А. и др. Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд. МГУ, 2000. 432 с.
38. Фацевский Б.В. Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока. Мн.: БелНИИНТИ, 1989. 52 с.
39. Фацевский Б.В. Основы экологической гидрологии. Мн.: Эковест, 1996. 240 с.
40. Христофоров А.В. Оптимизация деления и совместного использования водных ресурсов трансграничных рек // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. Вып. 2. М.: Геогр. фак. МГУ, 2004. С. 140–158.
41. Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: Методы, критерии, решения. М.: Наука, 2005. 281 с.
42. Chow Nen Te, Maidment David R., Mays Larry W. Applied hydrology / New York. 1988.