

Гидротехническое строительство

УДК 502/504:556.18

Н. И. АЛЕКСЕЕВСКИЙ, Л. А. АНИСИМОВА, Н. Л. ФРОЛОВА

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова

СОВРЕМЕННЫЕ И ОЖИДАЕМЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ*

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

Гидрологические ограничения, водные объекты, природные ресурсы, риски природопользования, антропогенные факторы, климатические изменения.

There are considered approaches to the determination of hydrological limitations of nature management. Different hydraulic and ecological functions of water objects are selected which characterize conditions of usage of natural resources of rivers and their water collection basins, risks of water management. The scale of changes of hydrological functions is substantiated in the line “norm — risk — crisis — disaster — catastrophe”. The existence of transition criteria is revealed from one form of environmental management restrictions to the others depending on the change of hydrological state and water objects regime. The peculiarities of influence of natural and anthropogenic factors on changing of hydrological limitations of nature management in present conditions and in connection with possible climatic changes are shown.

Hydrological limitations, water objects, natural resources, risks of nature management, anthropogenic factors, climatic changes.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 06-05-64099).

Проблемы охраны окружающей среды и рационального природопользования являются одними из наиболее острых и социально значимых в современном мире. Особую роль в социальной и производственной жизни общества играют водные объекты и гидрологические процессы вследствие исключительной зависимости населения, хозяйства, разнообразных биоценозов от наличия или отсутствия необходимых водных ресурсов, опасных гидрологических явлений. Существующий дефицит воды, например, оказывается более острой проблемой по сравнению с проблемами обеспечения населения продовольствием, энергией, сохранения здоровья жителей планеты и биоразнообразия, глобального потепления и т. п. Вода в необходимом объеме и надлежащего качества является ключом к решению перечисленных и других проблем человечества. В этой связи целесообразно рассмотреть состав и содержание современных и ожидаемых гидрологических ограничений природопользования или гидроэкологических функций водных объектов.

Гидроэкологические функции водных объектов и ограничения природопользования. Гидроэкологическими функциями водных объектов можно считать все многообразие аспектов влияния водных объектов и гидрологических процессов на условия жизни населения, на 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.

Вода является необходимым условием для возникновения и развития жизни на нашей планете, обеспечения условий существования разнообразных биоценозов, населения. Роль водных объектов чрезвычайно велика и в отношении утилизации (усвоения, преобразования, захоронения) отходов хозяйственной деятельности. Эта функция

отражает экологическую роль водных объектов и гидрологических процессов. Геосферная функция водных объектов заключается в обеспечении и постоянном возобновлении круговорота воды, минеральных частиц, химических веществ, тепла на планете. На этой основе складывается зональное распределение условий природной среды, в частности наличия природных территорий с большей или меньшей увлажненностью и т.п. Ландшафтные функции водных объектов заключаются в том, что в пределах природных зон наличие и перемещение воды в разных агрегатных состояниях достигается объединением всех элементов среды в единое целое. Вода является важнейшим фактором выветривания, эрозионных и русловых процессов, формирования зональных типов и внутризональных отличий почвенного и растительного покрова. Водные объекты и гидрологические процессы образуют специфические системы, в которых осуществляется формирование, перемещение и трансформация составляющих речного стока (воды, наносов, химических веществ, биологических субстанций, тепла), изменение гидравлической энергии водных потоков. В результате возникает специфическое сочетание ландшафтной структуры территории и состояния водных объектов (зональной величины составляющих речного стока и их аazonальной изменчивости, обусловленной различием размеров водных объектов, площади их водосборов и акваторий, длины водотоков, глубины их вреза, глубины озер и т. д.).

Водохозяйственная функция водных объектов связана с предоставлением населению, различным отраслям хозяйства водных, энергетических, биологических, сырьевых и других ресурсов водных объектов и их бассейнов. Ресурсы используются для обеспечения водой сельского хозяйства и промышленности, населения за счет забора воды из рек, озер, подземных источников воды, водохранилищ. Ежегодный объем использования воды

намного превосходит суммарный объем всех полезных ископаемых. Водные объекты предоставляют богатые рекреационные возможности. Одновременно они являются компонентом природной среды, который придает ландшафтам эстетическую неповторимость. В водохозяйственной функции, тесно сопряженной с социально-экономической функцией водных объектов, учтено опасное влияние гидрологических явлений на население, хозяйство, водные и наземные экосистемы, потенциально или реально сопровождающиеся водохозяйственными, социальными и экологическими рисками. Минимизация этих рисков связана с пониманием их генезиса. Теоретический анализ причин их возникновения показывает, что в явной или косвенной форме они связаны с трансформацией всех или отдельных составляющих речного стока. Изменение стока воды, наносов, химических веществ, биологических субстанций, тепла и энергии водных потоков определяет частоту, выраженность и пространственные масштабы всех опасных гидрологических процессов, что создает естественные ограничения природопользования. Их ослабление или усиление происходит под влиянием природных и антропогенных факторов. Природное изменение составляющих речного стока приводит к опасным гидрологическим явлениям, к которым относится затопление освоенных территорий, маловодье, деформация русел рек, негативное изменение ледовых явлений и даже качества воды, поскольку формирование качества воды во многом зависит от способности природных вод к самоочищению и разбавлению природных видов загрязняющих веществ. От конкретных природных условий зависит повторяемость, интенсивность и площадь негативного влияния на население и хозяйство опасных гидрологических явлений. С другой стороны, все перечисленные опасные гидрологические явления могут оказаться следствием хозяйственной деятельности на водосборах рек и в их руслах, поскольку она способна существенно влиять на водоносность рек,

внутригодовое распределение стока, мутность воды, ее химический состав, температуру воды и энергию водных потоков. В этих условиях изменение гидроэкологических функций зависит не только от природных факторов, но и от уровня освоения территории, экономического развития страны и экономического положения ее отдельных регионов, используемых технологий природопользования, его масштабов и интенсивности, степени вовлеченности водных объектов в производственные операции, от токсичности и объема сточных вод и т. п.

В зависимости от сочетания природных и антропогенных факторов изменяются масштабы влияния гидрологических ограничений на реализацию политики экономически эффективного и экологически безопасного использования ресурсов водных объектов. Степень такого влияния, социального и экономического ущерба меняется в широких пределах, отражая реальные события, при которых использование соответствующих преимуществ, предоставляемых водными объектами, имеет экономический, социальный или экологический смысл (соответствует обычной ситуации (норме), при которой риск опасных гидрологических явлений минимален). Альтернативой является катастрофа — ситуация, обусловленная крайне опасным изменением гидроэкологических функций, при котором возможны жертвы, огромный социальный, экономический и экологический ущерб. Между нормальным и катастрофическим характером реализации функций водных объектов существуют промежуточные состояния в отношениях между водными объектами, населением, хозяйством, водными и прибрежными биоценозами. Величина ущерба вследствие опасных гидрологических явлений нарастает в ряду «норма — риск — кризис — бедствие — катастрофа».

Экономически эффективное и экологически безопасное природопользование предполагает существование ряда ограничений на изменение характеристик

речного стока, гидрологического режима, качества воды и т. п. [1]. Часть этих ограничений определена природными условиями, изменение которых с той или иной степенью достоверности можно предвидеть, чтобы избежать возможного ущерба. Другая часть ограничений предназначена для лимитирования хозяйственной деятельности, приводящей к негативному изменению состояния водных объектов, качества воды, направленности и интенсивности гидрологических явлений. При отказе от ограничения хозяйственной деятельности последовательно возрастает риск экологического и экономического ущерба, связанного с изменением водных ресурсов, их качества, масштабов затопления освоенных территорий, русловых деформаций, отмиранием малых рек и т. п.

Состояние водных объектов передает совокупность гидрологических характеристик, определяющая водохозяйственное и экологическое значение рек, озер и водохранилищ. В конкретных условиях их численные значения отражают большее или меньшее отклонение гидроэкологических функций водных объектов от нормы. Оно зависит от характерных расходов и уровня воды, мутности, концентрации химических веществ, биомассы, температуры воды, внутригодового распределения этих характеристик. Не меньшее значение имеет изменение сроков и продолжительности весеннего половодья, ледовых явлений, затопления освоенных участков речных пойм и дельт, направленность и интенсивность вертикальных и горизонтальных русловых деформаций. Нормирование этих величин в отношении реального или потенциального ущерба, обусловленного отклонением гидрологических характеристик от «нормы», пока не имеет однозначного подхода. В настоящее время нормируют следующие показатели качества воды: физические (мутность, температура), химические (содержание химических веществ и элементов) и бактериальные загрязнения [2]. В меньшей степени разработаны

гидроэкологические оценки природного и техногенного изменения объема водных ресурсов [3]. В рамках теории экологического русловедения разработаны критерии оценок направленности и интенсивности русловых процессов [4].

Современные гидрологические ограничения на водопользование. Современные гидрологические ограничения по природопользованию тесно связаны с опасными гидрометеорологическими явлениями. К ним относятся затопление освоенных территорий, дефицит водных ресурсов, размывы и заиление русел рек, ледовые явления, локальные и территориальные негативные изменения качества воды. Число опасных гидрометеорологических явлений постоянно растет. Если в 1992–1994 гг. происходило около 150 таких явлений, то в 2004–2006 гг. их число превысило 300 событий в год. На фоне социально-экономического ущерба это создает возрастающее воздействие на экономику страны, приводит к формированию социального напряжения.

Наиболее мощное и негативное воздействие на экономическую и социальную обстановку оказывают наводнения. Наводнения постоянно, периодически или эпизодически наблюдаются практически на всей территории страны: от Калининградской области на западе до Чукотки на востоке, от берегов Северного Ледовитого океана на севере до Кавказских гор на юге страны. На освоенных участках долин многих рек максимальные уровни воды на 2...3 м превышают отметки освоенной местности. Частота и экономический ущерб от наводнений повышен в южных и в юго-западных регионах страны, где высока плотность населения, повышена степень хозяйственного освоения территории и относительно велика стоимость основных фондов. По данным Министерства природных ресурсов Российской Федерации, ежегодный прямой суммарный ущерб от наводнений составляет в настоящее время 41,6 млрд р. Наибольший ущерб от

наводнений характерен для бассейнов Волги, Амура, рек Северного Кавказа (Терек, Кубань и др.).

Не меньшую угрозу для населения и экономики страны представляют маловодья. В период минимального стока нарушается нормальный режим водоснабжения отдельных населенных пунктов и сельскохозяйственного производства, затрудняется работа энергетических объектов и водного транспорта. Маловодья в связи с гидрологическими ограничениями судоходства в условиях меженного стока приводят к возникновению кризисных ситуаций с завозом жизненно необходимых грузов (продуктов, товаров, топлива, техники) в труднодоступные северные регионы страны.

В России проблема маловодий актуальна и для южных районов. Периодически здесь возникает дефицит питьевой воды, происходят перебои в обеспечении водой сельскохозяйственных и промышленных предприятий. Периодические ограничения по признаку дефицита водных ресурсов характерны для юга Приморского края, некоторых областей Центральной России, Калмыкии, Астраханской, Волгоградской, Саратовской, Оренбургской областей и др. Максимальные проблемы при этом испытывает водоснабжение, гидроэнергетика, речной транспорт и коммунальное хозяйство.

Особенно острые ситуации возникают в периоды засух, когда многие реки пересыхают. Длительность пересыхания небольших рек на территории Европейской России может превышать 100...200 дней в год. При этом продолжительность отсутствия стока снижается с юго-запада на северо-восток. Работа многих водопотребителей и жизнедеятельность большинства водных экосистем очень жестко лимитирована.

Гидрологические ограничения для природопользования на данной территории связаны с наличием или отсутствием достаточного объема возобновляемых водных ресурсов. По объему речных вод Россия занимает второе

место на планете. Тем не менее, дефицит возобновляемых водных ресурсов актуален и для нашей страны, поскольку эти ресурсы распределены по территории неравномерно. Большая часть этих ресурсов находится в сравнительно слабо обжитых районах севера Европейской России, Сибири и Дальнего Востока. На этом фоне весьма невелики водные ресурсы южных степных и полупустынных районов страны.

За последние 20 лет водные ресурсы страны увеличились примерно на 5 % [5]. Лишь в бассейне Дона сложилась устойчивая тенденция к уменьшению водных ресурсов, что в немалой степени связано с интенсивной хозяйственной деятельностью на водосборе реки. В большинстве же регионов России произошло увеличение годового стока до 20...40 % (за исключением южных районов). Практически повсеместно произошло увеличение меженного стока (летне-осеннего — на 40...60 % и менее; зимнего — на 60...90 % и менее).

Существенные ограничения для природопользования в руслах и на берегах рек создают русловые процессы. Размыв русел создает угрозы, связанные с нарушением безопасности социальных и производственных объектов на берегах и в поймах рек. Не меньшие угрозы существуют для переходов через реки трубопроводов, линий связи и электропередачи и т. п. Заиление русел рек создает не меньшие ограничения природопользованию вследствие снижения безопасности судоходства, мостовых переходов, надежности водоснабжения. Направленность и интенсивность этих процессов тесно связана с изменением водоносности рек. Увеличение стока сопровождается размывом дна и берегов рек. Уменьшение стока приводит к не менее опасным процессам заиления водотоков.

На локальных участках ряда рек природопользование может быть ограничено вследствие естественного изменения качества воды (большего или меньшего поступления загрязняющих

веществ (органики, тяжелых металлов, взвешенных частиц и др.) в водотоки, увеличения поверхностного стока, мутности и т.п.). Качество воды может снижаться и вследствие уменьшения водности рек (при неизменности объемов поступления загрязняющих субстанций), поскольку теряется способность к разбавлению. В зависимости от сезонного или более кратковременного изменения этих факторов ухудшаются потребительские свойства водных ресурсов, возрастают издержки на то, чтобы довести качество воды до необходимых санитарно-гигиенических норм.

Для многих северных районов России ограничения по природопользованию обусловлены ледовыми явлениями. Ранние сроки осенних ледовых явлений и поздние даты их завершения в весенний период — главный фактор изменения продолжительности навигации, завоза необходимых грузов в труднодоступные районы арктического региона страны. В зависимости от толщины льда исчисляются вероятность заторных наводнений, надежность работы русловых водозаборов. При вскрытии рек плавающие льдины представляют опасность для объектов, находящихся в руслах и на берегах рек.

В настоящее время 40 % населения планеты проживают в условиях критически высокой нагрузки на водные объекты и исключительно низкой обеспеченности водными ресурсами. В пределах нашей страны антропогенные изменения стока и гидрологического режима начались в ее южных районах в 50–60-х гг. прошлого столетия. Они были обусловлены широким применением экстенсивных технологий использования воды (в частности, в земледелии), слабым внедрением маловодных и безводных производств. На фоне экономического роста в 1965–1975 гг. потребление воды возросло в 2–2,5 раза. Замедление экономического роста (1975–1989) и внедрение водосберегающих технологий привело к стабилизации антропогенного влияния на вод-

ные объекты. Затем антропогенное воздействие на водные объекты снижалось, что косвенно подтверждается изменением объемов используемой воды. Уменьшение объемов водопотребления в эти годы происходило медленнее по сравнению с уменьшением объемов водоотведения. Эта закономерность связана с увеличением удельных (на единицу продукции) затрат воды на фоне снижения объемов промышленного и сельскохозяйственного водопотребления. Удельная водоемкость экономики России к 2000 г. выросла в два раза относительно уровня 1990 г. [6].

Ожидаемые гидрологические ограничения природопользования. В ближайшие десятилетия гидрологические аспекты природопользования в значительной мере будут контролироваться климатическими изменениями, влияющими на направленность и интенсивность опасных гидрологических процессов, характер и особенности гидроэкологических функций водных объектов. С 1901 по 2000 гг. повышение средней планетарной температуры воздуха составило 0,6 °С, а повышение средней температуры воздуха на территории России — 1,0 °С. За период 1976–2006 гг. изменение этой характеристики оказалось еще больше — около 1,3 °С. Следовательно, для территории России скорость потепления климата в последние три десятилетия достигла 0,043 °С в год. Наиболее быстро возрастают среднегодовые температуры в пределах Европейской России (0,048 °С в год), в Средней Сибири, в Прибайкалье и Забайкалье (0,046 °С в год). Климатическая нестационарность отражается на гидрологическом режиме водных объектов, величине водных ресурсов обширных территорий и небольших рек, на частоте, масштабе проявления и интенсивности опасных гидрологических процессов.

Ожидаемые гидрологические последствия происходящего изменения климата весьма разнообразны. Изменение температуры воздуха и осадков

приведет к изменению всех характеристик водного и ледового режима, изменению стока наносов и характера русловых процессов, качества воды. Для многих регионов страны указанные изменения будут иметь природно-техногенный характер. Повышение температуры воздуха в средних и высоких широтах Северного полушария окажет существенное влияние на ледовый режим рек нашей страны. Главной его особенностью станет более позднее образование ледяного покрова и более раннее вскрытие рек. Для большей части страны смещение дат образования устойчивого ледяного покрова на более поздние сроки не превысит 4...6 дней. В западных регионах России такое смещение составит 6...12 и более дней. Эти изменения ледового режима могут негативно повлиять на возможность использования замерзших рек в качестве зимних дорог, частоту заторных явлений, зимних наводнений. Одновременно прогнозируемое изменение ледового режима позитивно отразится на продолжительности навигации, условиях завоза грузов в труднодоступные районы Восточной Сибири.

Климатические изменения приведут к изменению объема местных водных ресурсов. Расчеты, проведенные на кафедре гидрологии суши МГУ В. М. Евстигнеевым и Г. С. Ермаковой, показали, что главной чертой этих изменений станет нарастание дефицита водных ресурсов в тех районах, где их недостаточно и в настоящее время. Для Северного Кавказа, Нижнего Поволжья, бассейна Нижнего Дона ожидается уменьшение водоносности рек на 30...50 % ($k_v = 0,5...0,7$). Увеличение стока на 10...20 % (относительно нормы $k_v = 1$) произойдет в районах современного их избытка. 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 2/3 орошаемых территорий будут нуждаться в дополнительных водных ресурсах, а на

половине орошаемых земель потери сельскохозяйственной продукции вследствие потепления будут более значительными, чем отклонения объема производства в неурожайные годы от среднемноголетних [6].

Ожидаемые изменения климата неизбежно приведут к соответствующему изменению расхода речных наносов. Возрастание или уменьшение увлажненности речных бассейнов при этом отразится на интенсивности склоновой, овражной и русловой эрозии, величине стока минеральных частиц, поступающих на произвольный участок реки. Одновременно изменится величина стока взвешенных и влекомых наносов, соотношение между ними, гранулометрический состав русловых отложений и взвешенных частиц, доля частиц руслового генезиса, что отразится на динамике объемов речных отложений и, следовательно, отметок поверхности дна и поймы. По изменению объема пойменных и террасовых отложений контролируют направленность и скорость горизонтальных деформаций русел рек.

Масштабы климатического изменения этих процессов зависят от степени увеличения или уменьшения стока воды и наносов. Не меньшее значение имеют зональные особенности их формирования и размер водотока [7]. При прочих равных условиях интенсивность русловых деформаций будет максимальна в руслах рек аридной зоны. Снижение водоносности рек будет сопровождаться повышением отметок дна, уменьшением площади поперечных сечений русла и увеличением вероятности наводнений седиментационного генезиса. На реках гумидных территорий увеличение водоносности приведет к интенсификации размыва дна и берегов, что повысит вероятность аварийных ситуаций на участках расположения переходов через реки различных коммуникаций (линий электропередач, мостов, трубопроводов и т.п.).

Любое природопользование предполагает эксплуатацию природных

ресурсов и нарушение естественного состояния природной среды. Природопользование рационально, если при этом сохраняется природа для будущих поколений. Достижение такого идеального соответствия возможно, если хозяйственная деятельность обеспечивает экономную эксплуатацию природных ресурсов и условий, наиболее эффективный режим их воспроизводства с учетом перспективных интересов развивающегося хозяйства и сохранения здоровья людей [8]. Несмотря на то что водные ресурсы относятся к возобновляемым природным ресурсам, возможности этого возобновления и сохранения устойчивого состояния водных объектов не беспредельны, а во многих случаях весьма скромны. Поэтому необходимо предупреждать критические масштабы антропогенного воздействия на речной сток и условия его формирования. Очевидно, что меры такого предупреждения не совпадают в разных регионах страны, поскольку для каждого из них характерна вполне определенная хозяйственная специализация. Существуют и общие подходы к организации экономически эффективного и экологически безопасного использования ресурсов водных объектов и их бассейнов.

В любом случае использование ресурсов водных объектов и их водосборов должно организовываться с учетом современных и будущих гидрологических ограничений. Экологические, геосферные, ландшафтные, водохозяйственные и другие гидрологические ограничения учитывают такое природное и техногенное изменение составляющих речного стока, опасных гидрологических процессов, а также техногенных нагрузок, при которых возможен социальный, экономический и экологический ущерб. В ближайшие десятилетия величина такого ущерба и возможность организации экономически эффективного и экологически безопасного водопользования будет определяться климатическими изменениями водных объектов и гидрологических процессов, а также степенью упрежда-

ющей адаптации водного хозяйства к новым гидроклиматическим условиям.

Список литературы

1. **Алексеевский, Н. И.** Общие подходы к оценке и достижению гидроэкологической безопасности речных бассейнов [Текст] / Н. И. Алексеевский, В. М. Евстигнеев, С. В. Храменков, А. В. Христофоров // Вестник Моск. гос. ун-та. — Сер. 5. География. — 2000. — № 1. — С. 22–28.

2. Методические указания по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям [Текст]. — Ростов-на-Дону : ГХИ, 1988. — 28 с.

3. Критические экологические районы: географические подходы и принципы изменения [Текст] / Н. Ф. Глазовский [и др.] // Известия ВГО. — 1991. — Т. 123. — Вып. 1. — С. 9–17.

4. **Беркович, К. М.** Экологическое русловедение [Текст] / К. М. Беркович, Р. С. Чалов, А. В. Чернов. — М.: ГЕОС, 2000. — 332 с.

5. **Бедрицкий, А. И.** Водные ресурсы России и их использование в новых социально-экономических условиях с учетом возможных изменений климата [Текст] / А. И. Бедрицкий, Р. З. Хамитов, И. А. Шикломанов, И. С. Зекцер // Пленарные доклады VI Всероссийского гидрологического съезда. — СПб., 2008. — С. 5–21.

6. **Данилов-Данильян, В. И.** Потребление воды : экологический, экономический, социальный и политический аспекты [Текст] / В. И. Данилов-Данильян, К. С. Лосев. — М.: Наука, 2006. — 221 с.

7. Изменения водоносности и руслового режима рек [Текст] / Н. И. Алексеевский [и др.] // Водное хозяйство России. — № 2. — 2006. — С. 80–99.

8. **Реймерс, Н. Ф.** Природопользование [Текст] / Н. Ф. Реймерс. — М.: «Мысль», 1990. — 640 с.

Материал поступил в редакцию 15.03.2008.

Алексеевский Николай Иванович, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой гидрологии суши

Тел. 939-10-01

E-mail: alex50@mail.ru

Анисимова Людмила Александровна, аспирантка кафедры гидрологии суши

Тел. 939-10-01

Фролова Наталья Леонидовна, канд. географ. наук, доцент кафедры гидрологии суши

Тел. 935-15-33