

ПРОБЛЕМЫ
ЭКОЛОГИИ

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ
НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ

© 2019 г. Н.И. Коронкевич*, Е.А. Барабанова**, А.Г. Георгиади***,
С.В. Долгов****, И.С. Зайцева*****, Е.А. Кашутина*****

Институт географии РАН, Москва, Россия

*E-mail: koronkevich@igras.ru; **E-mail: barabanova@igras.ru;

E-mail: georgiadi@igras.ru; *E-mail: dolgov@igras.ru;

*****E-mail: zirinas@mail.ru; *****E-mail: kashutina@igras.ru

Поступила в редакцию 08.10.2018 г.

Поступила после доработки 08.10.2018 г.

Принята к публикации 18.12.2018 г.

На основании результатов исследований, выполненных в Институте географии РАН (АН СССР) с привлечением данных других организаций, оценивается воздействие на водные ресурсы России хозяйственной деятельности и его последствия. Различают воздействие косвенное, через рельеф, почву, биоту (мероприятия неорошаемого земледелия, лесное хозяйство, урбанизированные ландшафты) и прямое (гидротехническое строительство, переброска стока, водозабор, сброс сточных вод). Проведена оценка воздействия комплекса антропогенных факторов на количество и качество водных ресурсов. Сопоставлены показатели использования воды в России и различных регионах мира. Излагаются основные пути решения водных проблем.

Ключевые слова: водные ресурсы, сток, сточные воды, антропогенные и климатические факторы, изменение, загрязнение, последствия, водные проблемы, пути решения.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-5873896603-614>

Антропогенная деятельность неизбежно оказывает воздействие на водные ресурсы. В связи с ростом населения и экономики роль водных ресурсов постоянно возрастает. В отличие от нефти, газа и многих других ресурсов вода возобновляется в процессе её круговорота в природе. Но водные ресурсы, основу которых составляет речной сток, крайне неравномерно распределяются по террито-

рии и во времени. Во многих районах мира имеющиеся водные ресурсы не могут удовлетворить потребность в воде, тем более что она часто загрязнена отходами хозяйственной деятельности. Это в полной мере относится и к России. В обобщающей работе Государственного гидрологического института [1] показано, что по величине среднего многолетнего речного стока (4118 км³/год) Россия занимает второе место в мире после Бразилии (плюс ещё 206 км³/год, поступающих с территории соседних государств). Несмотря на общую высокую водообеспеченность, в том числе в расчёте на душу населения (около 30 тыс. м³/чел.), что более чем в 5 раз выше среднемирового показателя и многократно выше показателей таких стран, как США, Великобритания, Германия, Франция, Китай, удельная (на единицу площади в мм слоя) водообеспеченность территории России в 1,4 раза ниже общемировой. Ещё более неблагоприятная ситуация сложилась с устойчивым во времени и не требующим регулирования подземным стоком. По подземному стоку водообеспеченность России меньше среднемирового показателя поч-

КОРОНКЕВИЧ Николай Иванович – доктор географических наук, заведующий лабораторией гидрологии ИГ РАН. БАРАБАНОВА Елена Алексеевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН. ГЕОРГИАДИ Александр Георгиевич – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН. ДОЛГОВ Сергей Владимирович – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН. ЗАЙЦЕВА Ирина Сергеевна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН. КАШУТИНА Екатерина Александровна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии ИГ РАН.

ти в 1,8 раза. На большинстве рек нашей страны 60–70% годового стока проходит в сравнительно кратковременное весеннее половодье, в то время как наибольшая потребность в воде приходится на меженный, особенно летне-осенний период, когда реки имеют преимущественно подземное питание. К тому же более 2/3 всего речного стока приходится на Азиатскую часть, население которой составляет менее 1/3 общероссийского. В Европейской и Азиатской частях страны южные районы, в которых проживает значительная часть населения, в целом гораздо хуже обеспечены местными водными ресурсами, чем северные. Хотя южные районы Европейской части пересекают такие реки, как Волга, Дон, Урал, Кубань, значительная часть их водных ресурсов требуется для поддержания весьма уязвимых экосистем Каспийского и Азовского морей.

Водопотребление в России сравнительно невелико, однако в результате хозяйственной деятельности загрязнено огромное число рек и водоёмов. В этих условиях чрезвычайно важно правильно оценить имеющиеся водные ресурсы и степень их изменения, обусловленные как климатическими флуктуациями, так и антропогенными факторами, действующими непосредственно и косвенно (через рельеф, почву, биоту), а также определить пути наиболее рационального воздействия на водные ресурсы с целью предотвращения или сведения к минимуму угрозы их количественного и качественного истощения, возникновения негативных социально-экономических последствий.

Антропогенное воздействие на водные ресурсы давно привлекает пристальное внимание гидрологов, гидрогеологов, специалистов водного хозяйства, экологов и представителей других наук. Затронутая тема чрезвычайно обширна, и авторы не претендуют на её исчерпывающее рассмотрение. Приводятся результаты работ, выполненных в основном в Институте географии РАН (АН СССР) с привлечением наиболее интересных, по нашему мнению, данных других организаций. Так, антропогенным изменениям количества водных ресурсов уделено больше внимания, чем качеству вод, хотя очевидно, что именно загрязнение воды представляет наибольшую опасность. Не затронуто воздействие антропогенного изменения климата на водные ресурсы: оно, надо заметить, остаётся дискуссионным.

Исходные материалы и методы исследования. Основным материалом для оценки антропогенных изменений водных ресурсов, в первую очередь речного стока и качества вод, служат ряды наблюдений, полученные на гидрологических постах, метеорологических станциях, данные воднобалансовых станций, изучающих формирование загрязнения воды, стока и других

элементов водного баланса на водосборах, сведения о влагозапасах и ресурсах подземных вод в различных ландшафтах и угодьях, а также данные водохозяйственной статистики. Сейчас всё большее внимание уделяется дистанционным исследованиям. К сожалению, в последние десятилетия снизилось количество информации о гидрометеорологическом состоянии территории России. Большая часть воднобалансовых станций закрылась или резко сократила объём работ. Много нареканий имеется и по качеству получаемых исходных материалов. Автоматизации наблюдений в значительной мере препятствует широко распространённый в отношении гидрометеорологической аппаратуры.

Имеется довольно большой перечень методов определения антропогенных воздействий на водные ресурсы – от простого сопоставления стока, запасов подземных вод и показателей качества воды за периоды примерно одинаковых метеорологических условий, но отличающихся по характеру и уровню хозяйственной деятельности, до математического моделирования по данным гидрометеорологической информации. Поскольку объём водных ресурсов колеблется от года к году и от сезона к сезону под влиянием климатических и антропогенных факторов, одной из основных задач стала оценка влияния этих факторов. Понятно, что оценка в любом случае будет относительной, учитывая тесную связь факторов между собой. В наших расчётах применялся метод сравнения фактического речного стока за изучаемый период с условно-естественным, восстановленным по связям с реками, которые расположены в районах, слабо затронутых хозяйственной деятельностью, за период, когда во всём бассейне рассматриваемой реки можно пренебречь воздействием антропогенных факторов.

При расчётах антропогенного изменения стока Волги и Дона сопоставление его современных значений со средним многолетним стоком до 1930 г., когда уровень хозяйственного преобразования бассейнов рек был относительно невелик, говорит об общем изменении стока, а сравнение с восстановленным условно-естественным стоком позволяет за изучаемый период приближённо оценить вклад антропогенных факторов в общее изменение. Вклад непосредственно воздействующих на сток отдельных видов хозяйственной деятельности, например, водопотребления, определяется по данным водохозяйственной статистики, а косвенных воздействий – по результатам наблюдений на воднобалансовых станциях, на которых осуществляется сопоставление стока, качества воды и других гидрологических характеристик, в том числе элементов водного баланса одних угодий и ландшафтов с другими при одних и тех же ме-

теорологических условиях. Правда, при переносе результатов наблюдений на воднобалансовых станциях на изучение состояния речного стока требуется вносить поправки, поскольку в речном стоке участвует не весь поверхностный склоновый сток. Эти поправки нередко существенно отличаются у разных исследователей и, соответственно, приводят к разным оценкам гидрологического влияния хозяйственной деятельности на водосборах в отношении стока рек. Наши методические подходы к выявлению антропогенных воздействий на водные ресурсы изложены в работах [2–4].

Условно-естественный сток можно определить по уравнениям множественной корреляции стока с величинами атмосферных осадков и температуры воздуха. Но ряды этих факторов, особенно осадков, к сожалению, неоднородны из-за неоднократно меняющихся способов их определения и условий расположения метеостанций (например, находясь первоначально на окраине населённого пункта, они затем оказываются среди построек).

Неоднородными бывают и данные водохозяйственной статистики. В конце 1980-х годов были пересмотрены стандарты отнесения тех или иных видов сточных вод к отдельным категориям загрязнённости, в том числе части нормативно очищенных и нормативно чистых вод к категории загрязнённых. Если не учитывать это обстоятельство, можно прийти к парадоксальным выводам. Так, М.Я. Лемешев [5] привёл следующую динамику загрязнённых сточных вод СССР: 1985 г. – 16 км³, 1988 г. – 29 км³, что означает огромное увеличение, на 80%, всего за 3 года. Аналогичная ситуация сложилась и с загрязнёнными сточными водами России: 1985 г. – 12 км³, 1990 г. – 27,8 км³ [6]. В связи с этим объективный анализ можно провести, лишь разбив весь ряд данных на два периода – до и после 1986 г. Менялись и интегральные показатели качества вод: на смену индексу загрязнённости воды (ИЗВ) пришёл удельный комбинаторный индекс загрязнённости воды (УКИЗВ), но оба основаны на определении содержания загрязняющих веществ по отношению к их предельно допустимой концентрации (ПДК). Заметим, что большинство разработанных ПДК далеки от совершенства ввиду их недостаточной экологичности. Всё это способствует расхождению в оценке антропогенных изменений стока и остроты гидроэкологической ситуации, заставляет прибегать к помощи косвенных показателей, например, для оценки качества вод – к кратности разбавления сточных вод, особенно загрязнённых.

Воздействие на качество вод. Очевидно, что загрязнение представляет главную угрозу для водных ресурсов на большей части территории суши, в том числе России. Данному вопросу посвящено много

работ, в частности, загрязнению, вызванному сбросом сточных вод в реки и водоёмы. Опасность представляют не только сточные воды, относимые к загрязнённым и недостаточно очищенным, но и так называемые условно чистые, очищенные, поскольку они всё равно содержат вредные ингредиенты, даже после самой совершенной биологической очистки. Нередко сточные воды бывают нагреты, что представляет опасность для водных экосистем. Надежда на разбавление сточных вод чистой водой и на процессы самоочищения в реках и водоёмах часто неоправдана из-за чрезмерного количества сточных вод, а также из-за того, что многие водные объекты в значительной мере уже потеряли способность самоочищаться, в том числе по причине поступления в них продуктов так называемого диффузного (рассредоточенного по территории) загрязнения, которое обычно вообще не подвергается очистке. Эти продукты, в частности, биогены, служащие источником эвтрофирования естественных водоёмов и водохранилищ, поступают с поверхностным и подземным стоком с сельскохозяйственных и урбанизированных территорий.

Одни из главных поставщиков органики и биогенов на водосборы – органические и минеральные удобрения. Известно [7], что вынос биогенов с 1 га удобряемых площадей в зависимости от характера почв, количества и типа удобрений, техники их внесения, атмосферных и других условий составляет 14,5–25% внесённого азота и 1–1,5% (на целинных землях до 7%) фосфора. В СССР в середине 1970-х годов в водные объекты попадало около 10% всех удобрений [8].

В естественных условиях те же биогены, представляющие собой продукты жизнедеятельности биоты, выносятся в реки и водоёмы с водосборов, но добавки антропогенного происхождения делают эти поступления чрезмерными. Диффузное загрязнение водных объектов изучено гораздо хуже, чем загрязнение, вызванное поступлением в них сточных вод из точечных источников. Неудивительно, что в разрабатываемом сейчас приоритетном государственном проекте "Оздоровление Волги" изучению диффузного загрязнения, наряду с точечным, уделено значительное внимание. Руководство в изучении диффузного загрязнения возложено на Институт водных проблем РАН. К разработке подключён ряд академических институтов, в том числе Институт географии РАН. Внимание к Волге неслучайно: при огромной роли в жизни нашей страны она – одна из наиболее загрязнённых рек России (табл.). На Волгу, как и на Обь, приходится большая часть случаев высокого, для большинства ингредиентов 10-кратного, превышения ПДК и экстремально высокого загрязнения – в 100 и более раз, в том числе 30–40% случаев приходится на Волгу [9].

Характеристика качества воды основных рек России (по данным [9])

Река	Качество воды
Восточный склон территории РФ	
Амур	От условно чистой до грязной
Реки Камчатки	От условно чистой до слабозагрязнённой
Реки Сахалина	От слабозагрязнённой до экстремально грязной
Южный склон территории РФ	
Урал	От слабозагрязнённой до загрязнённой
Волга, в том числе притоки	От загрязнённой до экстремально грязной
Ока	От слабозагрязнённой до экстремально грязной
Москва	От слабозагрязнённой до экстремально грязной
Терек	От слабозагрязнённой до экстремально грязной
Дон	От загрязнённой до экстремально грязной
Кубань	От слабозагрязнённой до грязной
Днепр	От слабозагрязнённой до грязной
Западный склон территории РФ	
Нева	От слабозагрязнённой до загрязнённой
Северный склон территории РФ	
Северная Двина	От слабозагрязнённой до грязной
Печора	От слабозагрязнённой до грязной
Реки Кольского п-ова	От загрязнённой до экстремально грязной
Обь	От слабозагрязнённой до экстремально грязной
Енисей	Загрязнённая
Лена	От условно чистой до грязной

Предварительные расчёты, основанные на результатах исследований ИГ РАН величины стока с отдельных ландшафтов и содержания в нём биогенов на территории Русской равнины, а также структуры ландшафтов в бассейне Волги, позволяют определить вынос минерального азота и фосфора в весенний период (основную гидрологическую фазу) в размере, соответственно, 180–190 тыс. т (130–140 кг/км²) и 15–20 тыс. т (10–15 кг/км²). Это значительно больше того, что дают сточные воды от точечных источников — 70 тыс. т минерального азота и 3–4 тыс. т

фосфора, общего азота и фосфора в 2012–2015 гг., соответственно, 140 и 10 тыс. т. [10]. Однако действительный вклад выносимых со сточными водами азота и фосфора в эвтрофирование водохранилищ Волги гораздо больше. Дело в том, что большинство крупных поставщиков сточных вод (предприятия и крупные населённые пункты) находится непосредственно на берегах Волги, её водохранилищ и крупных притоков. Биогены же, первоначально поступающие преимущественно в малые реки, проделывают долгий путь до основного русла Волги и её крупных притоков. За это время происходит самоочищение воды, и лишь часть биогенов достигает крупных рек и водохранилищ. Какова эта часть, предстоит выяснить в процессе детальных исследований по проекту "Оздоровление Волги". Необходимо вычислить такие показатели, как вынос биогенов со стоком с сельскохозяйственных и лесных угодий в тёплый период, в годы различной водности, соотношение выноса с естественных угодий и в результате хозяйственной деятельности, поступление биогенов из животноводческих комплексов и с территории населённых пунктов. Требуется уточнить величину их концентраций на отдельных угодьях, разработать меры по снижению биогенного загрязнения рек и водоёмов без ущерба для урожайности сельскохозяйственных культур. Загрязнение подземных вод от диффузных источников и сточными водами носит в основном локальный характер и приурочено главным образом к крупным агломерациям.

Насколько же водные объекты России загрязнены в сравнении с показателями других стран и мировыми показателями в целом? Это весьма сложный вопрос, учитывая неполноту статистики и различающиеся методы оценки качества вод. Если иметь в виду кратность разбавления сточных вод речным стоком, то ситуация в целом выглядит для нашей страны относительно благополучной — в 70 раз. По этому показателю Россия из крупных стран уступает лишь Бразилии (более 200 раз), но в 10 раз превосходит США и в 3 раза все мировые регионы, хотя положение наиболее обжитых и малообеспеченных водой районов России неблагоприятное.

Воздействие на количество и режим водных ресурсов. Косвенные воздействия. Актуальность изучения косвенных воздействий на речной сток, осуществляемых через рельеф, почву и биоту, достаточно очевидна. К концу XX в. почти на 3/4 площади всей суши Земли (без Антарктиды) изменение естественных ландшафтов вызывалось различными видами хозяйственной деятельности, причём в Европе — почти на 85%, в Азии — более чем на 55%, в отдельных странах это касалось более 90% их территории, а площадь построек и до-

рог в таких странах, как Германия и Нидерланды, приблизилась к 15% [11, 12]. К настоящему времени эти показатели ещё выше. По сравнению с началом XX в. площадь нарушенных территорий в мире увеличилась более чем в 3 раза. Поэтому водный баланс и сток во многих районах мира и России давно уже не является естественным, а за периоды, по сравнению с которыми оцениваются произошедшие изменения, их правильнее называть условно-естественными.

Сейчас уже практически никто не отрицает важности учёта гидрологической роли косвенных воздействий в водохозяйственных расчётах. Между тем ещё до середины XX в. многие гидрологи придерживались так называемой климатологической [13] концепции формирования стока, согласно которой только метеорологические изменения определяют величину и водный режим рек, состоянием же водосбора можно пренебречь. В противовес ей существовала, согласно М.И. Львовичу [13], почвенная концепция, основы которой были заложены ещё в XIX в. известными отечественными почвоведом В.В. Докучаевым, А.А. Измаильским, Н.А. Костычевым и американцем Г. Маршем. Как отмечалось выше, важная гидрологическая роль хозяйственной деятельности на водосборах рек и водоёмов не отрицается, но в большинстве водохозяйственных расчётов не учитывается, во многом из-за существенно расходящихся оценок её роли, а также из-за неоднозначного влияния отдельных видов этой деятельности на сток, часто приводящей к взаимокомпенсации расчётов в изменениях стока.

Рассмотрим гидрологическую роль отдельных видов косвенных воздействий на водные ресурсы.

Мероприятия неорошаемого земледелия. Казалось бы, как может повлиять на речные водные ресурсы характер сельскохозяйственной деятельности на полях, подчас на многие километры удалённых от водных объектов. Но не следует забывать, что именно на водосборах, значительную часть которых занимают сельскохозяйственные угодья, формируется большая часть поверхностного и подземного стока. Ещё во второй половине XIX в. В.В. Докучаев, А.А. Измаильский и Н.А. Костычев связывали ухудшение водного режима рек (усиление половодий, обмеление в межень) с массовой распашкой целинных земель в южных районах страны, а также со сведением лесов. Замена целинных участков пахотными угодьями приводила к ухудшению инфильтрационных свойств почв и увеличению поверхностного стока, формирующего половодья. Правда, исследователи делали выводы в основном по визуальным наблюдениям и не располагали гидрометрическими данными.

На рубеже 1920–1930-х годов произошло новое, важное с гидрологических позиций событие:

бытовавшая весенняя вспашка под яровые культуры стала всё чаще заменяться зяблевой (осенней) пахотой. Почва при зяблевой пахоте имеет к началу весеннего снеготаяния гораздо лучшие инфильтрационные свойства, чем на полях, не распаханых осенью (стерня, залежь, озимь, многолетние травы). Наибольшего развития зяблевая пахота и другие агротехнические приёмы, способствующие задержанию поверхностного стока на полях (а это актуально, учитывая подверженность лесостепных и степных районов засухам, а также необходимость борьбы с эрозией), достигли в 1960–1980-е годы, когда зяблевая пахота занимала до 40–60% всей территории в южных районах страны. К этому времени появились данные воднобалансовых станций, на их стоковых площадках и на малых водосборах была выявлена большая гидрологическая роль зяблевой пахоты и других агротехнических приёмов. Обобщив эти данные, А.М. Грин [14] на основе экспериментальных наблюдений на сельскохозяйственных полях и целинных участках Курского стационара оценил динамику водного баланса Центрально-Чернозёмного района в основном под влиянием земледельческого освоения, начиная с периода, когда его природа практически не была затронута деятельностью человека. Эта реконструкция, основанная на фактических данных, подтвердила правильность выводов В.В. Докучаева и других почвоведов о направленности гидрологических последствий распашки целинных земель.

С учётом данных экспериментальных наблюдений ИГ АН СССР в Заволжье, под Загорском (ныне – Сергиев Посад) и на Курском стационаре института М.И. Львович [13] пришёл к выводу, что зяблевая пахота уменьшает поверхностный склоновый сток в 1,5 раза в южной части лесной зоны и в 3–5 раз в степной, что неизбежно сказывается на поверхностном и годовом речном стоке (особенно малых рек), уменьшая его на десятки процентов. Изменение стока крупных рек под влиянием неорошаемого земледелия по-разному оценивалось отдельными авторами [2, 13, 15, 16]. Особенно это относится к прогнозным оценкам, которые оказались существенно завышенными из-за неосуществления многих запланированных мероприятий преимущественно в связи с распадом СССР и кризисными экономическими явлениями. Не были учтены и произошедшие к настоящему времени климатические трансформации.

В связи с изменениями климата, а также структуры сельскохозяйственных угодий, особенно после 1980-х годов, возникла необходимость уточнения реальной картины. Из-за закрытия большинства воднобалансовых станций пришлось ориентироваться на данные Федераль-

ного научного центра агроэкологии (бывшего ВНИИ агротехники и лесомелиорации), продолжающего вести исследования на ряде стоковых станций. Обобщение этих данных [17] показало, что в 2000-х годах поверхностный склоновый сток уменьшился под влиянием агротехнических и климатических факторов по сравнению с периодом исчисления нормы стока по К.П. Воскресенскому [18] в 2 раза в переходной зоне от южной части лесной к северной части лесостепной зоны, в 3 раза в центральной лесостепи и северной части степной зоны и ещё больше в южной части степной зоны в пределах Европейской части страны. В последние годы эти изменения продиктованы в большей степени климатическими условиями.

При исчислении речных гидрологических изменений под влиянием агротехнических мероприятий, например, на Волге, сток которой формируется в основном в лесной зоне, следует учитывать гораздо меньшую роль здесь агротехники, чем в лесостепной и степной зонах, и такой компенсационный фактор, как улучшение условий инфильтрации и увеличение в 1,5–2 раза подземного стока [1, 19]. Уменьшение стока Волги под влиянием агротехнических мероприятий по сравнению с нормой оценивается в 1–1,5%, а Дона – в 4–6%, то есть, по крайней мере, в 2 раза ниже, чем прежде. Это сравнительно небольшие величины, но они существенны для сельскохозяйственных полей в южной части Европейской России, страдающей от засух. Задержание таких объёмов воды на полях способствовало в последнее время повышению урожайности сельскохозяйственных культур в южных районах Европейской части страны.

Лесное хозяйство. Водорегулирующая роль лесов общепризнанна, но их влияние на величину годового стока, равно как и рубок и восстановления леса, остаётся дискуссионным. Наиболее достоверным считается метод, предложенный сотрудником Государственного гидрологического института (ГГИ) О.И. Крестовским [20]. Рубки леса увеличивают сток, особенно поверхностный. Затем в процессе восстановления леса и увеличения его продуктивности испарение возрастает, а сток снижается. Наибольшее испарение и, соответственно, наименьший сток фиксируются при среднем возрасте лесов, когда наблюдается их наивысшая биологическая продуктивность. Перестойным лесам свойственно низкое испарение и максимальный сток. Анализ состояния лесов в Европейской части страны свидетельствует об их продолжающемся омоложении, сопровождающемся увеличением испарения и уменьшением стока. Если для бассейна Дона ввиду незначительной площади, занимаемой лесами, этим обстоятельством можно пренебречь, то для бассейна

Волги современное уменьшение стока, рассчитанное нами [21] по методике О.И. Крестовского, оказывается равным приблизительно 2%. Предполагаемое изменение водного баланса (к середине и концу XXI в.) только за счёт изменения структуры лесных угодий может стать ещё более значительным. Процесс омоложения лесов имеет место во многих районах мира, но пока неясно, как в них соотносятся уменьшение стока из-за роста биологической продуктивности лесов и его увеличение вследствие вырубki и замены сельскохозяйственными и другими угодьями.

Урбанизация территории. Первое крупное обобщение влияния урбанизированных ландшафтов на сток, учитывающее и зарубежный опыт, выполнено в ГГИ [22]. Наряду с экспериментальным изучением гидрологической роли неорошаемого земледелия в ИГ РАН исследовали влияние на сток урбанизированных территорий – сначала Курска, затем Москвы. Полученные данные и обобщение литературных материалов позволили выявить общие закономерности влияния урбанизированных территорий на сток [23]. Сравнительно недавно подобные работы были выполнены по бассейну р. Москвы [24]: в начале XXI в. в результате урбанизации ландшафтов годовой сток реки вырос по сравнению с нормой почти на 10%, а в летне-осенний период – на 27%. Полученные соотношения между общей площадью урбанизации и площадью водонепроницаемых территорий, с одной стороны, и изменениями годового речного стока – с другой, сводятся к следующему: 1% урбанизации речного бассейна (с учётом площади не только городов, но и дорог, сельских населённых пунктов) приводит приблизительно к такому же увеличению стока, а 1% водонепроницаемых участков – к 2–3%-ному увеличению стока.

Расчёты, выполненные для бассейнов Волги и Дона, показали, что при современной площади урбанизированных территорий, соответственно, 2 и 3,5%, где 1/3–1/4 занимают водонепроницаемые участки, годовой речной сток возрастает по сравнению с периодом исчисления нормы стока примерно на 1,5–2% в бассейне Волги и на 3–5% в бассейне Дона в основном за счёт тёплого периода года.

Учитывая, что гидрологический эффект урбанизации проявляется больше всего в тёплый период, когда наиболее велика разница в коэффициентах стока с естественных и урбанизированных ландшафтов, она способствует усилению летних паводков и наводнений. Это увеличивает водные ресурсы, но способствует загрязнению рек и водоёмов.

Прямые воздействия. **Создание гидроузлов.** Гидротехническое регулирование стока, в частности, создание водохранилищ, весьма актуально

для нашей страны, учитывая низкие значения устойчивого стока подземного происхождения по сравнению со средними мировыми показателями. В то же время оно влечёт за собой крупные негативные последствия, особенно экологические: происходит затопление и подтопление подчас весьма ценных земель, увеличиваются затраты воды на заполнение мёртвых объёмов¹, на дополнительное испарение с акватории водохранилищ и подтопленных территорий. Ряд исследователей считает, что создание водохранилищ ухудшает качество воды, хотя эта точка зрения зачастую оспаривается [25].

В ИГ РАН выполнен цикл работ по оценке влияния крупных водохранилищ на речной сток и окружающую среду [4, 26, 27]. Они показали, что водохранилища Волжско-Камского каскада и Цимлянское на Дону коренным образом изменили внутригодовое распределение стока Волги и Дона, существенно уменьшив сток половодья (соответственно, на 20–30% и более чем на 40%) и увеличив его в меженный период более чем в 2 раза на Волге и в 1,3 раза на Дону.

Сравнение водохранилищ мира и России показало, что на нашу страну, занимающую по площади 13% территории суши, приходится 16% площади всех водохранилищ, то есть затопление земель при их создании в среднем в 1,2–1,3 раза превысило общемировые показатели. Если сравнивать удельные показатели – площадь затопления, приходящуюся на 1 км³ полного и полезного объёмов, то для России они составляют около 60 и 138 км² соответственно, для мира – 56 и 90 км², Канады – 74 и 102 км², США – 50 и 55 км². Регулирование стока в России сопряжено с большими земельными издержками, поскольку наши водохранилища, в отличие от многих других стран, находятся на равнине [28]. Остановимся подробнее на плюсах и минусах создания отдельных гидроузлов.

Волжско-Камский каскад водохранилищ создан в 1937–1981 гг. Полный объём 13 крупных водохранилищ составляет 178,3 км³, полезный объём – 88,9 км³ (что позволяет регулировать 35% стока Волги), площадь – 28 800 км² [29]. Каскад решает целый ряд задач, в первую очередь обеспечивает выработку 40 млрд кВт·ч электроэнергии в год, причём преимущественно наиболее ценной – пиковой, а также развитие судоходства, водоснабжения, в том числе Москвы на 70% за счёт подачи воды по каналу им. Москвы из Иваньковского водохранилища. В 1941 г. подача электроэнергии от Рыбинской ГЭС в Москву во многом способство-

вала тому, что столицу удалось отстоять в Великой Отечественной войне. Заметим, что производство электроэнергии на ГЭС наиболее экологично с точки зрения состояния водных ресурсов. На распространённый упрёк об эвтрофировании ("цветении") водохранилищ К.К. Эдельштейн [25] отвечал, что эвтрофирование и вообще загрязнение водохранилищ – следствие сброса больших объёмов сточных вод и поступления загрязняющих веществ со стоком с водосборов. Не будь водохранилищ, Волга, по его мнению, превратилась бы в сточную канаву. Вместе с тем создание каскада привело к затоплению около 1 млн га плодородных земель, территорий городов и сёл, население которых пришлось переселить в другие места. Несмотря на то, что в водохранилищах каскада ежегодно вылавливается несколько тысяч тонн рыбы (в основном частиковых видов), рыбному хозяйству нанесён большой ущерб из-за создания препятствий для прохождения на нерест наиболее ценных проходных рыб, в частности осетровых, уменьшения обводнения нерестилищ в период весеннего половодья. Потери воды на дополнительное испарение с акватории водохранилищ каскада оцениваются в 2–3% годового стока Волги [4].

Сейчас берёт верх точка зрения, во многом основанная на опыте эксплуатации Волжско-Камского каскада, о нецелесообразности создания крупных равнинных водохранилищ, связанных с затоплением больших массивов земель и другими негативными последствиями. Нередки высказывания относительно необходимости спуска или понижения проектных отметок водохранилищ Волжско-Камского каскада, в первую очередь Рыбинского. Однако на недопустимость подобных действий указал А.Б. Авакян [30]: по его мнению, это приведёт к огромному ущербу для энергетики, судоходства, водоснабжения населённых пунктов, промышленных центров, орошаемых массивов, водной рекреации, качества воды в Волге и Каме. Да, при спуске водохранилищ освободится около 2,3 млн га земель, но для вовлечения их в сельскохозяйственный оборот потребовалась бы чрезвычайно дорогостоящая рекультивация, поскольку значительная их часть занесена илом и песком с большим содержанием загрязняющих ингредиентов.

В последние годы активно обсуждается вопрос о поднятии уровня Чебоксарского водохранилища до проектной отметки, что позволило бы превратить Волгу в глубоководную (3,6–4,5 м) судоходную магистраль. Однако имеются серьёзные возражения, связанные с затоплением земель, активизацией абразии берегов и др. Существует альтернативный проект: не повышать уровень воды в Чебоксарском водохранилище, а постро-

¹ Мёртвый объём – это постоянная часть полного объёма водохранилища, которая в нормальных условиях эксплуатации не срабатывается (не спускается) и в регулировании стока не участвует.

ить низконапорную плотину примерно в 90 км ниже Горьковского гидроузла, но данный проект также недостаточно проработан.

Ангаро-Енисейский каскад водохранилищ создавался в основном во второй половине XX в. Недавно завершено строительство Богучанского гидроузла. Полный объём водохранилищ — 439,2 км³, полезный объём — 132,8 км³, выработка электроэнергии — 100 млрд кВт·ч. Площадь акватории всех водохранилищ — 12,5 тыс. км² (затоплено около 300 тыс. га сельскохозяйственных угодий). В расчёте на 1 км³ полезного объёма затоплено в 3 раза меньше земель, чем Волжско-Камским каскадом — 94,9 и 324 км² соответственно, а в расчёте на 1 млрд кВт·ч — почти в 5,7 раза меньше (125 и 720 км²). В то же время ложе большинства водохранилищ в бассейне Енисея не было очищено от леса, здесь затоплено 30–40 млн м³ древесины, гниение которой отрицательно сказывается на качестве воды. Активно развивается абразия берегов. Уловы ценных сибирских видов рыб — хариуса, сига, тайменя и др. — снизились в 15 раз [31].

Нижнеобская ГЭС. Основные варианты её создания, разработанные институтом "Гидропроект", предполагали мощность гидроэлектростанции от 4 до 6,5 млн кВт с выработкой, соответственно, от 19 до 31 млрд кВт·ч электроэнергии и затоплением от 45 до 83 тыс. км² территории [32]. Этот проект вполне мог бы стать реальностью, если бы не открытие в 1950-е годы в районе Сибирского Приуралья газовых и в начале 1960-х в Среднем Приобье нефтяных месторождений, если бы не возражения географов, в том числе сотрудников ИГ АН СССР, геологов и других представителей научной общественности против создания Нижнеобской ГЭС. Главные их аргументы заключались в том, что затопление огромных площадей сделает малоэффективной добычу нефти и газа, приведёт к гибели больших массивов леса и утрате сельскохозяйственных угодий. Противникам создания ГЭС удалось убедить в своей правоте партийные и государственные органы, и проект был отвергнут.

Эвенкийская (Туруханская) ГЭС на р. Нижняя Тунгуска. В проекте ГЭС предусматривается, что при мощности 12 тыс. МВт она будет вырабатывать 46 млрд кВт·ч электроэнергии (больше, чем весь Волжско-Камский каскад). Площадь зеркала водохранилища составит 9400 км², полный его объём — 409,4 км³, а полезный — 101 км³. Ориентировочная стоимость — 14 млрд долл. [33]. Основные негативные последствия — затопление около 1 млн га уникальных лиственничных лесов, практически полное уничтожение ключевых территорий традиционного природопользования эвенков — коренного малочисленного народа

России (затоплению подлежит даже административный центр Эвенкийского района — посёлок Тура). Обширная зимняя полынья в нижнем бьефе гидроузла будет способствовать повышению влажности воздуха, что негативно скажется на состоянии здоровья людей и оленей — основы жизнедеятельности эвенков. Проект Эвенкийской ГЭС оживлённо обсуждается, и решение о его осуществлении пока не принято.

Комплекс защитных сооружений (КЗС) в восточной части Финского залива создан в 1979–2011 гг. для защиты Санкт-Петербурга от наводнений из-за сильных западных ветров, сгоняющих воды Финского залива к устью Невы и препятствующих её стоку, результатом чего становится подъём уровня моря до 3 м и более по сравнению с ординаром, как это случилось в 1777 г. (3,1 м), 1824 г. (4,1 м) и 1924 г. (3,69 м), а с меньшим подъёмом воды — более 300 раз за всю историю Санкт-Петербурга [34]. КЗС имеет длину 22 км, связывает остров Котлин и Кронштадт с материком, снабжён оригинальным устройством для пропуска судов, а главное, предотвращает катастрофические наводнения с высотой подъёма воды до 5,3 м в районе Санкт-Петербурга. Негативным результатом создания КЗС стали замедление водообмена в отгороженной, так называемой Маркизовой луже и её загрязнение. Впрочем, проблема решается при резком уменьшении сброса загрязнённых сточных вод в Неву.

Канал им. Москвы введён в эксплуатацию в 1937 г. и берёт начало в Ивановском водохранилище. Его длина 128 км. По каналу ежегодно подаётся 1,5–1,8 км³ воды, что решило проблему водоснабжения столицы, сделало Москву портом пяти морей, резко увеличило рекреационные возможности для населения Московской агломерации. Было несколько попыток промыть водами канала русло р. Москвы, но особым успехом они не увенчались. Создание канала не привело к существенным экологическим издержкам (если не считать затопление больших площадей Ивановским водохранилищем), скорее, наоборот, способствовало увеличению биологического разнообразия.

Проекты межзональной переброски части стока северных и сибирских рек на юг. Первая очередь переброски стока в Европейской части страны предполагала изъятие воды из северных рек (Сухоны, Онеги, Свири, Печоры, Северной Двины) — в общей сложности около 30 км³ в год — и подачу её в бассейн Волги. Цель переброски — компенсация роста водопотребления в этом бассейне и недопущение дальнейшего снижения уровня Каспийского моря, который в 1977 г. достиг критической отметки -29,5 м абс. При этом на Севере Европейской части страны неизбежно произошло бы изъятие земельных ре-

сурсов, хотя и не очень больших, под водохранилища и каналы. В процессе работы над проектом во многом учитывались рекомендации научной общественности, в том числе сотрудников ИГ АН СССР. Были значительно уменьшены объёмы предполагаемого затопления земель, в частности Митрофановским водохранилищем в верховьях Печоры, и разработаны меры защиты памятников архитектуры. Последовавшее с конца 1970-х годов увеличение стока Волги и повышение уровня Каспия, обусловленные климатическими причинами, а в дальнейшем и антропогенными (распад СССР, социально-экономический кризис, приведшие к уменьшению водозаборов), резко снизили актуальность проекта, и он, как известно, не был реализован, во многом из-за протестов общественности и отсутствия необходимых средств.

В Азиатской части страны предполагалось забирать из Оби у Белогорья 25 км^3 воды в год и по системе так называемого Антииртыша, а также по каналу в земляном русле общей протяжённостью более 2 тыс. км подавать эту воду в междуречье Амударьи и Сырдарьи с целью орошения хлопковых полей. Часть возвратных вод с орошаемых массивов хотели направить в Аральское море для замедления падения его уровня. Возражения против этого проекта в основном относились к недостаточной проработке экологических последствий, в частности, в отношении влияния на ледовитость Северного Ледовитого океана, размеров потерь воды по трассе канала, а главное, к чрезвычайно высокой реальной стоимости проекта, многократно превышавшей запланированную.

Проекты как европейской, так и азиатской перебросок стока вызвали ожесточённую дискуссию, тем более что впервые в СССР было разрешено публично критиковать государственные проекты.

Водозабор и использование воды. В начале 1970-х годов М.И. Львович [14] выполнил оценку современного и перспективного водопотребления СССР и всего мира. Он считал, что при сохранении принципов охраны водных ресурсов, ориентированных на очистку сточных вод с последующим сбросом их в реки и водоёмы, можно ожидать качественного истощения водных ресурсов, так как очистка, как правило, не бывает полной. Был предложен профилактический принцип охраны вод, заключающийся во всемерном недопущении сброса сточных вод в реки и водоёмы. В последующем сотрудниками ИГ РАН была выполнена оценка использования водных ресурсов на разных региональных уровнях и разработаны сценарии их состояния при разных темпах экономического развития и путях экономии воды [4, 35]. Выполнено первое монографическое обобщение результатов последствий распада СССР для состояния водных ресурсов России [36].

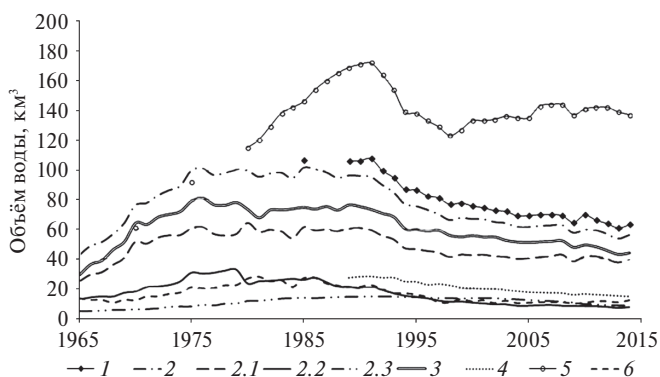


Рис. 1. Динамика использования водных ресурсов России в 1965–2015 гг., $\text{км}^3/\text{год}$

1 — забор воды из водных источников для использования; 2 — использование свежей воды, в том числе: 2.1 — на производственные нужды, 2.2 — на орошение и сельскохозяйственное водоснабжение, 2.3 — на хозяйственно-питьевые нужды; 3 — сброс сточных вод в поверхностные водоёмы; 4 — сброс загрязнённых сточных вод; 5 — объём оборотной и последовательно используемой воды; 6 — безвозвратный расход в процессе использования

Анализ динамики водопотребления в России позволяет выявить следующие его периоды: нарастание до середины 1970-х годов; стабилизация до начала 1990-х годов; спад, продолжающийся до настоящего времени, что способствует увеличению стока многих рек. Наряду с водозабором и безвозвратным расходом воды снижались и многие другие показатели её использования (рис. 1), что объясняется кризисными явлениями в экономике после распада СССР и перестройкой структуры хозяйства в сторону менее водоёмких производств.

Уменьшился забор воды как из поверхностных, так и из подземных источников, причём доля последних довольно устойчиво сохраняется в диапазоне 13–15% от общего водозабора. Заметим, что водозабор и безвозвратный расход воды в России, как и объём сточных вод (важный показатель качественного состояния водных ресурсов), составляют менее 2% мировых показателей. Во многом такое положение — следствие относительно северного географического расположения России, а также невысокой доли орошаемого земледелия — главного водопотребителя в мировой экономике.

Закономерно возникает вопрос: насколько эффективно используются водные ресурсы России в сравнении с мировыми показателями? Принято оценивать эту эффективность по отношению общего расхода воды к валовому внутреннему продукту (ВВП) или валовому региональному продукту (ВРП), причём желательно по паритету покупательной способности. В настоящее время отношение расхода воды к ВВП в России близко к среднему мировому показателю и имеет тенденцию к снижению. Это объясняется внедрением

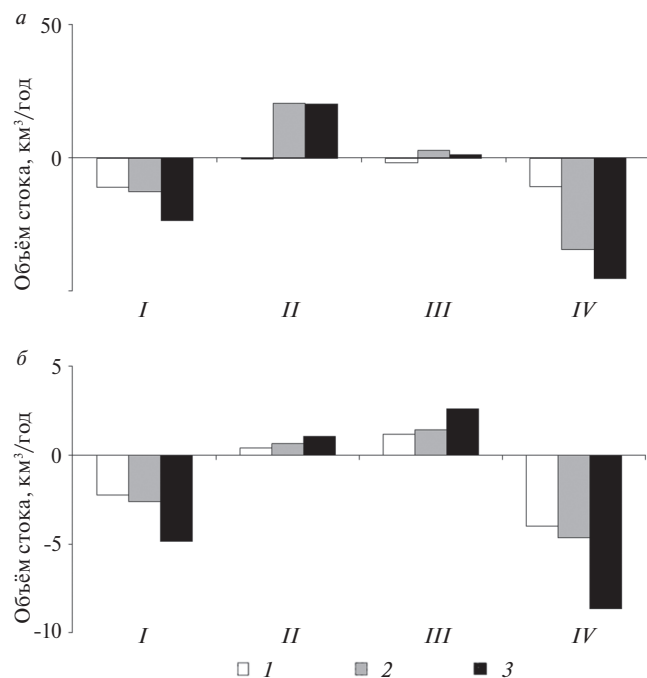


Рис. 2. Климатические и антропогенные изменения стока Волги у Волгограда (*а*) и Дона у Раздорской (*б*) за 1930–2006 гг. по сравнению с 1891–1929 гг.

I – климатические изменения; *2* – антропогенные изменения; *3* – суммарные изменения; *I* – годовые изменения; *II* – зима; *III* – лето–осень; *IV* – половодье

современных технологий использования воды, введением платы за её использование и изменением структуры водопотребления, в том числе закрытием многих водоёмких производств, уменьшением орошаемых площадей. Россия занимает средние позиции в мире и по таким показателям эффективности использования воды, как расход воды на хозяйственно-бытовые нужды на одного человека и на гектар орошаемой площади. В целом по России картина весьма пёстрая, наименее эффективно используется вода в южных субъектах, где значительную роль в водопотреблении играет орошаемое земледелие, продукция которого ценится намного ниже, чем промышленная.

Комплекс антропогенных воздействий. Оценивая гидрологическую роль отдельных антропогенных факторов, логично рассмотреть их совокупное воздействие на воды. Такая оценка выполнена для ряда регионов и речных бассейнов мира, для территории СССР, России, включая бассейны Волги, Дона, рек Арктического бассейна [2, 4, 14, 28, 35, 36]. Отметим, что такие косвенные воздействия, как мероприятия неорошаемого земледелия и урбанизация территории, действуют на сток неоднозначно и в значительной мере взаимно компенсируются, хотя в разные периоды выявляется более важная роль некоторых из них, например, неорошаемого земледелия в СССР в 1930-е годы. В последнее время всё большее

воздействие на состояние вод оказывает урбанизация территории, но главная гидрологическая роль на современном этапе принадлежит традиционным отраслям водного хозяйства.

В большинстве районов России уменьшение речного стока в целом невелико по сравнению с общими его ресурсами – менее 0,5%, хотя в ряде районов эти изменения значительно заметнее. Так, в бассейнах Волги и Дона суммарное антропогенное уменьшение стока за 1930–2015 гг. составило, соответственно, 1200 км³ и 240 км³ в основном в результате создания водохранилищ и безвозвратного изъятия воды на различные хозяйственные нужды, то есть в среднем за год за этот период сток уменьшался на 5–7% в бассейне Волги и на 10–13% в бассейне Дона. Разумеется, в отдельные временные периоды изменения стока отличались от средних величин. Особенно значительным уменьшение стока было во время заполнения мёртвого объёма водохранилищ. В бассейнах Кубани и Терека, где развито орошаемое земледелие, уменьшение годового стока достигает 50% и более, в мире оно составляет примерно 5%. Главная угроза для водных ресурсов в большинстве регионов мира и России – загрязнение их сточными водами и стоком с водосборов.

Соотношение вклада климатических и антропогенных факторов в изменение гидрологических показателей в полной мере оценить очень трудно, однако можно утверждать, что их роль соизмерима, а иногда антропогенные изменения превосходят климатические. В первую очередь это относится к изменению качества вод, где очевидна преобладающая роль антропогенных факторов. Для оценки этого соотношения применительно к величинам годового стока и режима вод приведём в качестве примера годовые и сезонные изменения стока Волги и Дона (рис. 2). Рисунок составлен на основании сравнения фактического стока и стока, рассчитанного по связям с реками – индикаторами климатических условий, расположенными в районах, слабо затронутых хозяйственной деятельностью [4]. Соизмеримость антропогенных и климатических изменений налицо.

Пути решения водных проблем. Гидрология антропогенного направления – одна из составных частей конструктивной географии. Она предполагает обоснование мер по совершенствованию антропогенного воздействия на водные ресурсы и охране водных и связанных с ними иных ресурсов. Совершенно очевидно, что в каждом конкретном случае необходим комплекс мероприятий, учитывающий специфику местных природных и хозяйственных условий. Ввиду особой опасности качественного истощения водных ресурсов в числе приоритетных должны быть мероприятия, максимально предотвращаю-

щие и ослабляющие эту угрозу. Конечно, совершенствовать очистку сточных вод необходимо, но не менее важно не допускать попадание в реки и водохранилища даже очищенных сточных вод. Главные пути достижения этой цели — всемерная экономия воды, безводные технологии и замкнутые циклы водопотребления, реальность которых доказана ещё в 1980-х годах [37].

Профилактический подход применим и в борьбе с диффузным загрязнением рек и водоёмов, а также с эрозией на основе *организации территории водосбора*, направленной на снижение поверхностного стока (чередование лесных и полевых угодий, водозадерживающие агротехнологии и др.). Попутно решается вопрос улучшения водообеспеченности сельскохозяйственных культур. В ряду актуальных мероприятий — мульчирование сельскохозяйственных полей, подавляющее непродуктивное испарение (с поверхности почвы) — главный вид потерь воды в земледелии.

По-прежнему актуально гидротехническое преобразование стока водохранилищами и в ряде случаев его переброски. Весьма интересно предложение о переброске не непосредственно водных ресурсов, а так называемой виртуальной воды в составе водоёмкой продукции, например, нефтехимической и целлюлозно-бумажной промышленности [38, 39]. Это открывает большие перспективы для России с её огромными водными ресурсами.

Здесь отмечены лишь некоторые пути управления водным балансом и качеством вод. Более подробно необходимый комплекс мероприятий изложен в упомянутых публикациях. Успех многих технологических решений водных проблем в значительной мере зависит от мониторинга и прогнозирования, в том числе долгосрочного, состояния водных ресурсов под влиянием климатических и антропогенных факторов.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания (тема № 0148-2019-0007) при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-00479).

ЛИТЕРАТУРА

1. Водные ресурсы России и их использование. СПб.: Гос. гидрол. ин-т, 2008.
2. *Коронкевич Н.И.* Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990.
3. *Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г. и др.* Гидрология антропогенного направления: становление, методы, результаты // Известия РАН. Серия географическая. 2017. № 2. С. 8–23.
4. *Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милукова И.П. и др.* Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Ч. 2. Бассейны рек Волги и Дона. М.: МАКС Пресс, 2014.
5. *Лемешев М.Я.* Пока не поздно. Размышления экономиста-эколога. М.: Молодая гвардия, 1991.
6. Российский статистический ежегодник: Статистический сборник. М.: Госкомстат России, 1994; 1995; 1996; 1997; 1998; 1999.
7. *Ласкорин Б.Н., Болотных О.Т., Каминский В.С. и др.* Качество и охрана воды в бассейне реки Волги // Водные ресурсы. 1975. № 4. С. 23–45.
8. *Топачевский А.В., Сиренко Л.А., Цеб Я.Я.* Антропогенное евтрофирование водохранилищ, "цветение" воды и методы его регулирования // Водные ресурсы. 1975. № 1. С. 48–60.
9. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2017.
10. Водное хозяйство и водные ресурсы России в 2016 году (Статистический сборник) / Под ред. Н.Г. Рыбальского, А.Д. Думнова, В.А. Омеляненко. М.: НИИ-Природа, 2017.
11. *Котляков В.М., Лосев К.С., Ананичева М.Д.* Сравнение нарушенности экосистем России и других стран Европы // Известия РАН. Серия географическая. 1998. № 2. С. 18–29.
12. *Hannah L., Lohse D., Hutchinson Ch. et al.* A preliminary inventory of human disturbance of world ecosystems // Ambio. 1994. № 4–5. P. 246–251.
13. *Львович М.И.* Человек и воды. М.: Географгиз, 1963.
14. *Грин А.М.* Динамика водного баланса Центрально-Чернозёмного района. М.: Наука, 1965.
15. *Львович М.И.* Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974.
16. *Водогрецкий В.Е.* Влияние агролесомелиораций на годовой сток: методика исследований и расчёты. Л.: Гидрометеиздат, 1979.
17. *Барабанов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И. и др.* Поверхностный сток и инфильтрация в почву талых вод на пашне в лесостепной и степной зонах Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2018. № 1. С. 62–69.
18. *Воскресенский К.П.* Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1962.
19. Современные ресурсы подземных и поверхностных вод Европейской части России. Формирование, распределение, использование. М.: ГЕОС, 2015.
20. *Крестовский О.И.* Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеиздат, 1986.
21. *Кашутина Е.А., Коронкевич Н.И.* Влияние изменения состояния лесов Европейской части России на годовой речной сток // Водные ресурсы. 2013. № 4. С. 339–349.
22. *Куприянов В.В.* Гидрологические аспекты урбанизации. Л.: Гидрометеиздат, 1977.

23. Львович М.И., Чернышёв Е.П. Водный баланс и вещественный обмен в условиях города // Известия АН СССР. Серия географическая. 1983. № 3. С. 34–48.
24. Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Антропогенные воздействия на сток реки Москвы. М.: МАКС Пресс, 2015.
25. Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998.
26. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А. Гидрологическая роль водохранилищ Волги, Днепра и Дона в различные по водности годы // Известия РАН. Серия географическая. 2002. № 6. С. 60–69.
27. Барабанова Е.А. Глобально-региональные особенности регулирования стока рек под влиянием водохранилищ (по косвенным данным) // Вопросы географии. Сб. 133: Географо-гидрологические исследования. М.: Издат. дом "Кодекс", 2012. С. 297–311.
28. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Бибикова Т.С., Зайцева И.С. Россия на водохозяйственной карте мира // Известия РАН. Серия географическая. 2014. № 1. С. 7–18.
29. Салтанкин В.П. Волжско-Камский каскад водохранилищ // Реки и озёра мира. Энциклопедия. М.: Энциклопедия, 2012. С. 155–159.
30. Авакян А.Б. Народно-хозяйственные и экологические последствия спуска водохранилищ // Гидротехническое строительство. 1991. № 8. С. 1–8.
31. Салтанкин В.П. Ангаро-Енисейский каскад водохранилищ // Реки и озёра мира. Энциклопедия. М.: Энциклопедия, 2012. С. 45–49.
32. Комгорт М.В., Колева Г.Ю. Проблема повышения уровня индустриального развития Западной Сибири и проект строительства Нижнеобской ГЭС // Вестник Томского государственного университета. 2008. Вып. 308. С. 85–90. <http://sun.tsu.ru/mminfo/000063105/308/image/308-85.PDF>
33. Туруханская ГЭС // РусГидро АО "Ленгидропроект". 19.07.2018. <http://www.lhp.rushydro.ru/company/objectsmap/5744.html>
34. Алексеевский Н.И., Жук В.А. Нева // Реки и озёра мира. Энциклопедия. М.: Энциклопедия, 2012. С. 456–461.
35. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С. Сравнение состояния водных ресурсов и антропогенного воздействия на них в Европейской и Азиатской частях России // Известия РГО. 2017. № 4. С. 1–12.
36. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. М.: Наука, 2003.
37. Ласкорин Б.Н., Громов Б.В., Цыганков А.П., Сенин В.Н. Проблемы развития безотходных производств. М.: Стройиздат, 1981.
38. Данилов-Данильян В.И., Дёмин А.П., Пряжинская В.Г., Покидышева И.В. Рынки воды и водохозяйственных услуг в мире и Российской Федерации. Ч. I // Водные ресурсы. 2015. № 2. С. 229–239.
39. Данилов-Данильян В.И., Дёмин А.П., Пряжинская В.Г., Покидышева И.В. Рынки воды и водохозяйственных услуг в мире и Российской Федерации. Ч. II // Водные ресурсы. 2015. № 3. С. 329–342.

AN ASSESSMENT OF THE ANTHROPOGENIC IMPACT ON WATER RESOURCES IN RUSSIA

© 2019 N.I. Koronkevich*, E.A. Barabanova**, A.G. Georgiadi***,
S.V. Dolgov****, I.S. Zaitseva*****, E.A. Kashutina*****

Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

*E-mail: koronkevich@igras.ru; **E-mail: barabanova@igras.ru; ***E-mail: georgiadi@igras.ru;

****E-mail: dolgov@igras.ru; *****E-mail: zirinas@mail.ru; *****E-mail: kashutina@igras.ru

Received 08.10.2018

Revised version received 08.10.2018

Accepted 18.12.2018

Based on the results of research carried out at the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (Academy of Sciences of the USSR), and using data from other organizations, the impact of various types of economic activity on water resources in Russia and their consequences were estimated. There are indirect anthropogenic effects through relief, soil, biota (rain-fed agriculture measures, forestry, urbanized landscapes) and direct effects (hydraulic engineering, flow transfer, water intake, wastewater discharge). The impact of a complex of anthropogenic factors on the quantity and quality of water resources was assessed. Water use indicators in Russia and other regions of the world were compared. Methods for solving water resource problems are also outlined.

Keywords: water resources, runoff, wastewater, anthropogenic and climatic factors, change, pollution, consequences, water problems, solutions.