
ТЕОРИЯ И СОЦИАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ГЕОГРАФИИ

УДК 556

**ГИДРОЛОГИЯ АНТРОПОГЕННОГО НАПРАВЛЕНИЯ:
СТАНОВЛЕНИЕ, МЕТОДЫ, РЕЗУЛЬТАТЫ¹**

© 2017 г. Николай И. Коронкевич, Елена А. Барабанова, Александр Г. Георгиади,
Сергей В. Долгов, Ирина С. Зайцева, Екатерина А. Кашутина,
Константин С. Мельник

*Институт географии РАН, Москва, Россия
e-mail: hydro-igras@yandex.ru*

Поступила в редакцию 21.04.2016 г.

Аннотация. Рассмотрено становление гидрологии антропогенного направления, изучающей различные аспекты влияния деятельности человека на водные ресурсы, водный элемент окружающей среды и приводятся некоторые результаты выполненных авторами расчетов этого влияния на речной сток на локальном (бассейн р. Москвы), региональном (бассейны Волги и Дона), общероссийском и глобальном уровнях. Показан большой вклад отечественных исследователей в развитие гидрологии антропогенного направления. Особое внимание уделено географо-гидрологической школе М. И. Львовича. В составе антропогенных воздействий на водные ресурсы рассмотрены как традиционные непосредственные воздействия (гидротехническое строительство, водозабор на различные хозяйственные нужды), так и косвенные, осуществляемые на водосборах через почву, растительность, рельеф (мероприятия неорошаемого земледелия, лесное хозяйство, урбанизация ландшафтов). Рассчитаны величины современного хозяйственного воздействия на водные ресурсы на указанных территориальных уровнях. Показано, что влияние на них совокупности антропогенных факторов в рассматриваемых примерах соизмеримо с влиянием климатических факторов и нередко превосходит его. Причем различные косвенные антропогенные факторы в настоящее время часто воздействуют на речной сток неоднозначно и в основном взаимокompенсируются.

Ключевые слова: гидрология антропогенного направления, водные ресурсы, сток, изменение, разные территориальные уровни.

DOI:10.15356/0373-2444-2017-2-8-23

ANTHROPOGENIC HYDROLOGY: FORMATION, METHODS, RESULTS

Nikolai I. Koronkevich, Elena A. Barabanova, Aleksandr G. Georgiadi, Sergei V. Dolgov,
Irina S. Zaitseva, Ekaterina A. Kashutina, and Konstantin S. Mel'nik

*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
e-mail: hydro-igras@yandex.ru*

Received April 21, 2016

Abstract. The formation of anthropogenic hydrology studying various aspects of the impact of human activities on water resources and water environment are considered. Some results of the authors' calculations of this effect on river runoff on a local (the Moscow River basin), regional (the Volga and Don river basins), national and global levels are presented. A great contribution of Russian researchers to the development of anthropogenic hydrology is showed. Special attention is paid to geographical and hydrological school of M.I. L'vovich. The composition of anthropogenic impacts on water resources involves as traditional direct impacts (hydraulic construction, water intake for various economic needs) and indirect, carried out in the catchments through soil, vegetation, landscape (measures of rain-fed agriculture, forestry, urbanization of landscapes). The amounts of modern industrial impact on water resources in concerned territorial levels are calculated. It is shown that the impact of aggregate anthropogenic factors in the considered examples is comparable with the influence of climatic factors and often surpasses it. Moreover, at present, various indirect anthropogenic factors affect river runoff ambiguously and are mostly mutually compensated.

Keywords: anthropogenic hydrology, water resources, runoff, change, various territorial levels.

¹ Статья подготовлена по материалам одноименного доклада на XIX сессии Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам при Международной ассоциации академий наук и научного совета по фундаментальным географическим проблемам РАН "Идеи конструктивной географии и развитие фундаментальных географических исследований" (Кострома, 24–27 сентября 2015 г.).

Общие положения. Гидрология антропогенного направления или антропогенная гидрология изучает влияние различных видов хозяйственной деятельности на гидрологические процессы и явления, на количество, режим, качество водных ресурсов, водный элемент окружающей среды, разрабатывает предложения по оптимизации воздействий на них. Задачи, решаемые при этом, тесно увязываются с задачами конструктивной географии и мониторинга окружающей среды, сформулированными И. П. Герасимовым [11], 110-летие со дня рождения которого отмечалось в 2015 г.

Актуальность гидрологии антропогенного направления очевидна, учитывая огромные масштабы изменения природы, в том числе водного элемента окружающей среды под влиянием деятельности человека.

Гидрология антропогенного направления неразрывно связана с традиционной гидрологией, поскольку без знания естественных процессов невозможно правильно объяснить и предугадать все последствия деятельности человека. Она использует многие методы, которые применяются для исследования гидрологической роли естественных факторов, и вместе с тем накладывает дополнительные ограничения на применение статистических методов анализа колебаний элементов водного баланса во времени и пространстве, поскольку при быстро изменяющейся хозяйственной обстановке (что присуще современному периоду) нарушается стохастический характер этих колебаний. Антропогенная гидрология предполагает тщательное изучение многообразных форм деятельности человека, важных в гидрологическом отношении, причем не только тех, влияние которых очевидно, но и тех, которые воздействуют косвенно — через посредство других элементов природы (в основном через климат, почвы, растительный и животный мир).

Можно, по-видимому, согласно [19], с учетом некоторых корректив, выделить следующие основные классификационные признаки антропогенного воздействия на водные ресурсы, основу которых составляет речной сток (табл. 1). В табл. 1 каждый из выделенных признаков и основные его подразделения наделены условным знаком, позволяющим, как показано в табл. 2, кратко охарактеризовать укрупненные специфичные виды деятельности человека, с влиянием которых необходимо считаться.

Например, хозяйственно-бытовое и промышленное водопотребление (№ 9) осуществляет преимущественно целенаправленно (A_3), хотя

и не исключает побочных непредусмотренных последствий (A_1). Они начинаются с изъятия воды непосредственно из водных объектов с последующим (в большинстве случаев) возвратом ее части после использования (B_3 , B_2). Последствия водопотребления на водосборе (B_2) связаны с косвенным (в основном через почву) воздействием (B_1) и приводят при прямоточной системе водоснабжения (преобладает в хозяйственно-бытовом секторе) и обратном водоснабжении (преобладает в промышленности), в первую очередь, к загрязнению рек и водоемов сточными водами (G_3), а во вторую и третью очереди — к изменению режима и уменьшению годового количества вод (G_3 , G_2 , G_1) в результате так называемого безвозвратного расхода воды. Безвозвратный расход составляет вода, которая входит в состав продукции, расходуется на испарение, фильтрацию в глубокие подземные горизонты с замедленным водообменом. Вместе с тем, при замкнутой системе водоснабжения (пока имеются лишь отдельные примеры в промышленности) сброса сточных вод нет и загрязнение водных объектов отсутствует, но безвозвратный расход возрастает.

Важно отметить, что в табл. 2 не отражено косвенное влияние отдельных видов хозяйственной деятельности на водные ресурсы через изменение климата, ввиду недостаточной изученности данного вопроса, хотя в ряде случаев, особенно в промышленности, оно может быть очень существенным.

При всем своеобразии проявлений различных антропогенных факторов для большинства из них отчетливо выделяются две фазы изменения водного баланса и водных ресурсов: 1) сравнительно непродолжительная начальная; 2) последствие. Первая характеризуется быстрым, взрывным, революционным изменением сложившегося водного баланса в ходе и сразу же после антропогенного воздействия и выраженной нестационарностью всего процесса. Второй фазе присуще сравнительно медленное, эволюционное изменение водных ресурсов вплоть до возвращения геосистемы в первоначальное состояние (если таковое возможно под действием компенсационных механизмов) после окончания конкретной деятельности человека или его стабилизация на новом уровне. Наиболее ярко две фазы антропогенного воздействия на водные ресурсы, водный баланс проявляются при рубках леса. Согласно О. И. Крестовскому [23], сначала происходит резкое увеличение стока, в основном поверхностного, а испарение, соответственно, падает, затем в процессе восстановления лесной экосистемы, сукцессии сток

Таблица 1. Основные классификационные признаки антропогенной нагрузки на водные ресурсы и их индексация

Признак		Индекс
Воздействие А	непреднамеренное	A ₁
	преобразование	A ₂
	потребление воды	A ₃
Место Б	в атмосфере и космосе	B ₁
	в ландшафтах водосборов	B ₂
	в водных объектах	B ₃
Механизмы В	косвенные (неявные) воздействия	V ₁
	непосредственные воздействия с изъятием или подачей воды	V ₂
	непосредственные воздействия без изъятия или подачи воды	V ₃
Изменение Г	годового количества водных ресурсов	G ₁
	внутригодового режима	G ₂
	качества вод	G ₃

Таблица 2. Качественная характеристика влияния укрупненных видов деятельности человека на водные ресурсы

№	Вид деятельности	Индексы (шифр основных влияний) *
1	Действия в атмосфере и космосе	A ₁ , A ₂ , B ₁ , V ₁ , G ₂ , G ₁ , G ₃
2	Сельскохозяйственное использование территории	A ₁ , A ₂ , A ₃ , B ₂ , B ₁ , G ₃ , G ₂ , G ₁
3	Лесное хозяйство	A ₁ , A ₂ , B ₂ , V ₁ , G ₂ , G ₃ , G ₁
4	Рост урбанизированных площадей	A ₁ , B ₂ , V ₁ , G ₅ , G ₁ , G ₃
5	Горнодобывающая промышленность	A ₁ , B ₂ , B ₃ , V ₁ , B ₂ , G ₃ , G ₂ , G ₁
6	Рекреация, туризм на водосборе	A ₁ , B ₂ , V ₁ , G ₃ , G ₂ , G ₁
7	Осушение земель	A ₂ , A ₁ , B ₂ , B ₃ , V ₁ , B ₂ , G ₂ , G ₁ , G ₃
8	Орошение земель	A ₂ , A ₃ , A ₁ , B ₂ , B ₃ , B ₂ , V ₁ , G ₁ , G ₂ , G ₃
9	Хозяйственно-бытовое и промышленное водопотребление	A ₃ , A ₁ , B ₃ , B ₂ , B ₂ , V ₁ , G ₃ , G ₁ , G ₂
10	Рыбное хозяйство	A ₂ , B ₃ , B ₂ , V ₃ , G ₂ , G ₁
11	Очистка вод	A ₂ , B ₂ , B ₃ , B ₂ , V ₃ , G ₃ , G ₁
12	Гидротехническое регулирование стока	A ₂ , A ₁ , B ₃ , B ₂ , V ₃ , B ₂ , V ₁ , G ₂ , G ₃ , G ₁
13	Территориальное перераспределение водных ресурсов	A ₂ , A ₁ , B ₃ , B ₂ , B ₂ , G ₃ , G ₁ , G ₂ , G ₃
14	Опреснение засоленных вод	A ₂ , B ₂ , B ₃ , B ₂ , G ₃ , G ₁
15	Общее водопользование **	A ₃ , A ₁ , B ₃ , V ₃ , G ₃
16	Военные действия, террористические акты, аварии	A ₁ , A ₂ , A ₃ , B ₂ , B ₃ , B ₁ , V ₃ , B ₂ , G ₃ , G ₂ , G ₁

Примечания. * Индексы, объединяемые одной буквой, расположены в порядке снижения значимости воздействий (без учета косвенных воздействий через изменение климата).

** Гидроэнергетика, водный транспорт, водный туризм и т.п.

уменьшается, а испарение возрастает, достигая экстремальных значений в период максимальной продуктивности леса, после чего по мере его старения структура водного баланса возвращается к первоначальной. Даже в пределах одного вида хозяйственной деятельности способы и интенсивность антропогенных воздействий могут

с течением времени меняться в широких пределах. Тогда возникает новый двухфазный цикл антропогенных изменений водного баланса. Число возможных вариаций при этом чрезвычайно велико.

Оценка изменений водных ресурсов по сравнению с естественными условиями их формирования – важная задача антропогенного направления

гидрологии, но далеко не единственная, а во многих случаях — не самая главная. Это обусловлено тем, что уже к началу гидрометрических наблюдений (начало — середина XIX в.) в большинстве стран мира условия формирования водных ресурсов были в той или иной мере преобразованы деятельностью человека и на первый план выходит оценка изменений водных ресурсов, в частности, речного стока, за периоды, отличающиеся уровнем и направленностью хозяйственной деятельности, например, современного периода и периода исчисления нормы стока, который для большинства рек СССР долгое время определялся с конца XIX века до 1960-х годов [8]. В последние годы Государственный гидрологический институт (ГГИ) предложил определять норму стока за период 1930–1980 гг. Вообще же сравниваемые периоды для различных видов хозяйственной деятельности могут существенно отличаться. Например, при оценке гидрологической роли агротехнических мероприятий в России особый интерес представляет сравнение гидрологических показателей современного периода с периодом до 1930-х годов, когда такой широко распространенный агротехнический прием, как зяблевая пахота под яровые культуры, пришедший на смену весновспашке на огромных площадях и существенно уменьшивший поверхностный сток на водосборах (до нескольких раз в степных и лесостепных районах), практически не применялся. При анализе промышленного и сельскохозяйственного водопотребления в России отчетливо выделяются три периода: нарастания нагрузки на водные ресурсы вплоть до середины 1970-х годов, стабилизации — до начала 1990-х годов и последующего спада вплоть до самого последнего времени.

Особо актуальны прогнозы ожидаемых антропогенных изменений водных ресурсов, без которых трудно осуществлять оптимальное управление ими.

Становление гидрологии антропогенного направления. Еще в глубокой древности строители плотин и ирригационных систем обладали незаурядными инженерными знаниями, но их сравнительно мало интересовало, как создаваемые ими сооружения влияют на величину речного стока. Тем более это относится к тем, кто занимался хозяйственной деятельностью вне гидрографической сети.

Как следует из работ, освещающих историю гидрологии [24, 31, 34, 35 и др.], зарождение гидрологии антропогенного направления можно отнести к началу XIX столетия, когда появились первые достоверные гидрометеорологические данные,

а общие масштабы воздействий на природу достигли таких размеров, что стали всерьез беспокоить научную общественность. Это нашло отражение в ряде исследований, наибольшую известность из которых в XIX — начале XX в. приобрели работы немецкого гидролога Г. Бергхауза [41], француза Бельграна, американца Г. Марша, австрийца Г. Векса, российских исследователей А. И. Воейкова, В. В. Докучаева, А. А. Измайльского. Результаты их исследований доказывали, что хищническое освоение территории приводит к пагубным последствиям для ее водного режима.

Вместе с тем параллельно существовала так называемая климатологическая концепция в гидрологии, согласно которой сколько-нибудь существенные изменения общей водоносности рек возможны лишь в случае изменения климата. Наиболее четкое выражение она получила в работе известного гидролога Е. В. Оппокова [30], исследовавшего влияние вырубки лесов на сток рек Европейской России — преимущественно Днепра и Волги. По существу, климатологическая концепция отрицала возможность антропогенных изменений стока крупных рек, связанных с хозяйственной деятельностью на водосборах, — ввиду ограниченных возможностей воздействия человека на климат.

Большой вклад в развитие антропогенного направления в 1930-х годах сделан В. Г. Глушковым, предвидевшим необходимость развития “искусственной гидрологии” или “гидрологии от человеческой деятельности” и полагавшим, что она должна заниматься широким кругом вопросов, включающим в себя гидрологические последствия хозяйственной деятельности как на водосборах, так и непосредственно в русловой сети [12].

С конца 1940 — начала 1950-х годов значительная роль в развитии антропогенного направления в гидрологии принадлежит М. И. Львовичу. Большое значение имеет созданная им теория косвенных антропогенных преобразований [24], позволяющая судить о характере и размахе изменений элементов водного баланса в зависимости от свойств почвы, а, следовательно, и в зависимости от антропогенных воздействий на нее. М. И. Львовичем в Институте географии АН СССР была создана географо-гидрологическая школа, значительное место в которой отводилось гидрологии антропогенного направления. Параллельно это направление развивалось в Государственном гидрологическом институте (здесь особо следует выделить работы И. А. Шикломанова [36, 37]), Институте водных проблем, на кафедре гидрологии МГУ, в других учреждениях

нашей страны. Результаты исследований опубликованы в многочисленных работах. Назовем лишь несколько отечественных монографий, посвященных оценке влияния различных видов хозяйственной деятельности на величину и режим водных ресурсов и последствий этого влияния: [1, 2, 4–7, 10, 14, 15, 19, 23–26, 36–39]. Значительное внимание гидрологии антропогенного направления уделено в работе Всесоюзных и Российских гидрологических съездов (всего их было семь, последний состоялся в 2013 г.). Из зарубежных исследований отметим работы Г. Келлера [17] и Г. Уайта [33]. Здесь мы не касаемся огромного числа статей и книг, посвященных антропогенному изменению качества воды, что резко увеличило бы объем данной статьи. Информацию о них можно найти в работах А. М. Никанорова и других сотрудников ГХИ [28, 32 и др.].

Методы оценки антропогенных воздействий на водные ресурсы. Все эти методы базируются на сравнительно-географическом подходе – гидрологическом сравнении различных периодов и районов, отличающихся уровнем антропогенной нагрузки. Все многообразие методов оценки, можно сгруппировать следующим образом:

1. Методы пространственной аналогии, когда подбираются территории (водосборы), имеющие до антропогенного преобразования одного из них высокие коэффициенты корреляции соответствующих гидрологических характеристик. Изменение характера связи служит основанием для суждения о гидрологической роли антропогенного фактора. Одной из наиболее распространенных разновидностей этого метода является эксперимент с изменением состояния одного из двух или более рядом расположенных водосборов и определением влияния этого изменения на сток. Данный прием обычно применяется на воднобалансовых (стоковых) станциях, правда, в основном на сравнительно небольших площадях.

2. Методы временной аналогии. Сравняются гидрологические характеристики одной и той же территории до и после антропогенного воздействия.

3. Анализ гидрометеорологических рядов и восстановление условно-естественной величины рассматриваемой гидрологической характеристики (чаще всего стока) по связи с обуславливающими ее неантропогенными (обычно климатическими) факторами. Показателем этих факторов часто является сток рек-индикаторов климатических условий, расположенных в районах, мало измененных хозяйственной деятельностью. Масштабы антропогенного воздействия на сток исследуемой

реки при этом определяются в сравнении с его фактическими значениями. Выявленные связи, часто в виде уравнений множественной корреляции, служат основой для моделирования и прогноза гидрологических процессов.

4. Воднобалансовые методы, позволяющие на основе знания гидрологических особенностей и изменений отдельных частей (угодий, ландшафтов) территории (водосбора) рассчитывать изменение водных ресурсов всей территории речного бассейна в целом. Как правило, гидрологические характеристики отдельных частей территории, угодий, ландшафтов определяются по данным экспериментальных наблюдений на воднобалансовых станциях. Частью воднобалансового метода можно считать водохозяйственный баланс, позволяющий рассчитать общее изменение водных ресурсов, суммируя величины использования воды отдельными ее потребителями. Балансовый подход используется и в прогнозных расчетах с учетом перспектив изменения численности населения, развития отраслей хозяйства и удельной водоемкости производимой продукции.

5. Математическое моделирование гидрологических процессов и явлений.

Часто в расчетах элементы указанных основных методов тесно переплетаются между собой. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки. Так, методы аналогии кажутся наиболее простыми. Но это справедливо для небольших водосборов. Довольно сложно подобрать крупные территории, речные бассейны, близкие по природно-климатическим условиям до и после антропогенного воздействия. Гидрологическую роль отдельных антропогенных факторов сложно выявить при анализе гидрометеорологических рядов сравнительно крупных речных бассейнов. Воднобалансовые расчеты как раз позволяют это сделать, но связаны с необходимостью весьма сложного учета особенностей формирования водного баланса и стока на пути воды от водораздела до замыкающего гидрометрического створа. Поэтому желательно при оценке антропогенных гидрологических изменений применение комплексных методов.

Последствия гидрологических изменений определяются с помощью известных методов физико-географического и социально-экономического анализа.

В ниже приведенных результатах ряда наших расчетов гидрологических изменений в качестве главных факторов антропогенных воздействий учтены такие виды хозяйственной деятельности,

как их комплекс, неорошаемое земледелие, урбанизация территории, создание водохранилищ, общее водопотребление, а для некоторых районов — лесное хозяйство и осушение земель.

Расчет изменения речного стока под влиянием комплекса антропогенных факторов методом анализа гидрометеорологических рядов подробно изложен в работе [10]. Его суть заключается в восстановлении условно-естественного стока изучаемой реки по рекам-индикаторам климатических условий, хозяйственной деятельностью в бассейнах которых можно пренебречь, и сравнением восстановленного стока с фактическим. Разница дает величину изменения стока под влиянием комплекса антропогенных факторов.

Для оценки изменений стока под влиянием мероприятий неорошаемого земледелия и урбанизации территории применен воднобалансовый метод М. И. Львовича [24], усовершенствованный в работах [19, 20]. В его основу положено решение уравнений водного баланса с использованием как традиционных гидрометеорологических данных, так и данных воднобалансовых станций.

Для приближенной оценки влияния неорошаемого земледелия на сток и испарение на глобальном уровне использован график на рис. 1. Он построен на основании данных Л. И. Зубенок [16] по испарению на территориях с разной продуктивностью естественной растительности и данных А. Г. Булавко, Н. И. Логиновой [3], анализировавших динамику испарения на сельскохозяйственных полях при разном урожае биомассы преимущественно в условиях зоны достаточного увлажнения.

Влияние лесного хозяйства на сток и испарение определялось по методике О. И. Крестовского [23].

Для оценки гидрологической роли осушения земель использована методика С. М. Новикова, Д. С. Гончаровой [29].

Изменение речного стока в результате забора воды на хозяйственные нужды для крупных регионов и речных бассейнов приближенно оценивалось по разнице водозабора и сброса сточных вод (данные почерпнуты из водохозяйственных справочников). Для относительно небольших районов и бассейнов, например, для бассейна реки Москвы, эта схема расчета уточнялась с учетом объема воды, забираемой отдельно из поверхностных и подземных источников, как это рекомендовано в справочниках Государственного водного кадастра.

Влияние водохранилищ на сток определялось по методике И. А. Шикломанова [36].

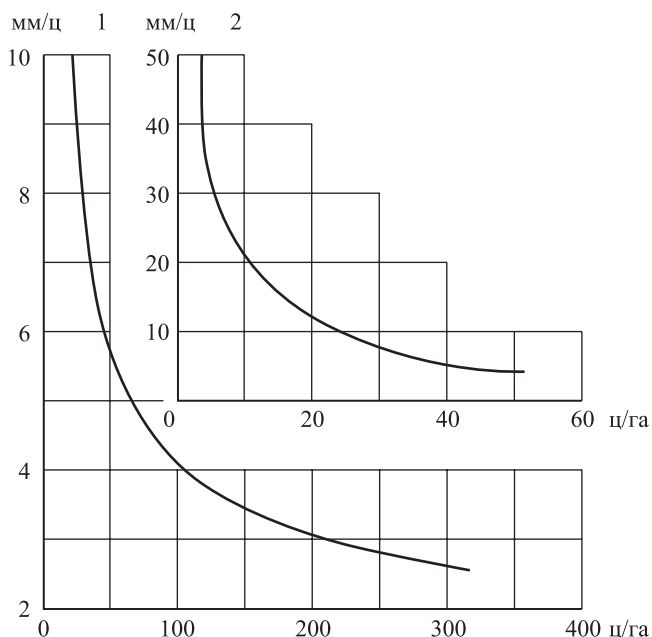


Рис. 1. Удельное водопотребление (мм/ц) в связи с общей биологической продуктивностью (1) и урожаем зерна (2).

Источник [3, 16].

Результаты расчета антропогенных воздействий на речной сток на локальном (бассейн р. Москвы), региональном (бассейны Волги и Дона), общероссийском и глобальном уровнях. Ниже приводятся результаты уточненных и дополненных расчетов, выполненных авторами ранее и частично опубликованных в работах [10, 20, 21].

Бассейн р. Москвы. Оценена гидрологическая роль трех основных видов антропогенных воздействий: ландшафтных изменений, гидротехнических преобразований и водопользования.

На основании данных о структуре ландшафтов и данных воднобалансовых станций, а также натурных наблюдений за стоком с урбанизированных площадей прослежена динамика речного стока и отдельных его составляющих за последние 150 лет. Наиболее существенно изменилась площадь урбанизированных территорий. Если в середине XIX в. площадь урбанизированных территорий (города, сельские населенные пункты, дороги) занимала около 3% всей площади водосбора р. Москвы, то в начале XXI в. — почти 20%, из которых треть приходится на долю г. Москвы. С учетом последнего расширения г. Москвы доля урбанизированных площадей и столицы еще выше, но большую часть вновь присоединенной к Москве территории в полной мере пока нельзя считать урбанизированной. Площадь водонепроницаемых участков (крыши, дороги и др.)

Таблица 3. Изменение стока р. Москвы по сравнению с периодом исчисления его нормы (3170 млн м³) под влиянием основных видов хозяйственной деятельности*

Показатель	Середина XIX в.	Начало XX в.	Начало второй половины XX в.	Начало XXI в.
Ландшафтные преобразования	–194/–6	–35/–1	88/3	282/9
Гидротехническое воздействие**	–5/–0.01	–2/–0.01	1901/60	1589/50
Использование воды	58/2	18/–1	–102/–3	–54/–2
Всего	–141/–4	–19/–1	1887/60	1817/57

Примечания. * В числителе — изменения в млн м³, в знаменателе — в %.

** Без учета гидротехнических воздействий в период исчисления нормы стока.

возросла за последние 150 лет с 0.3 до 6%, т.е. в 20 раз.

Расчеты показывают, что при средних климатических условиях общий годовой поверхностный сток в бассейне р. Москвы за рассматриваемый период в результате ландшафтных трансформаций вырос в 1.4 раза (с 82 до 114 мм), в основном за счет летне-осеннего периода. Вместе с тем сток инфильтрационного происхождения (сток верховодки и из основных водоносных горизонтов) снизился с 87 до 82 мм, или немногим более чем на 5%. Таким образом, полный речной сток возрос со 169 до 196 мм или на 16%. Гораздо более существенные гидрологические изменения произошли на территории г. Москвы, где водонепроницаемые площади на уровне 2010 г. составляли 50%. За последние 150 лет годовой поверхностный сток возрос почти в 3.4 раза, сток инфильтрационного происхождения снизился более чем в 1.5 раза, а полный речной сток возрос в итоге в 1.8 раза.

Несколько меньше (табл. 3) изменение стока в результате ландшафтных преобразований по сравнению с периодом исчисления его нормы по К.П. Воскресенскому [8], поскольку уже тогда площадь урбанизированных территорий в бассейне р. Москвы составляла 8%, а водонепроницаемых участков — 2%.

Если отнести произошедшие ландшафтно-обусловленные изменения стока к влиянию в основном урбанизации, то увеличение на 1% урбанизированных площадей приводит к росту годового речного стока в среднем на 1%. В отношении водонепроницаемых площадей получается, что однопроцентное их увеличение способствует росту общего стока ориентировочно на 2–3%. Весьма вероятно, что влияние урбанизированных площадей на сток, особенно в пределах г. Москвы, может быть еще больше, если учитывать, что над городами возрастает количество осадков.

Еще большие гидрологические изменения в бассейне р. Москвы связаны с гидротехническими преобразованиями (переброска воды в р. Москву по каналу им. Москвы и Вазузской системе, создание водохранилищ) (см. табл. 3). Переброска воды увеличила располагаемые ресурсы речного стока р. Москвы к началу второй половины XX в. более чем в 1.6 раза, а к началу XXI в. — в 1.5 раза². Создание водохранилищ мало повлияло на годовой сток, но кардинально изменило его внутригодовое распределение. В результате регулирования стока и, отчасти, за счет его увеличения на урбанизированных участках сток в зимнюю межень, увеличившись по сравнению с нормой более чем в 3 раза, возрос в долевом участии внутригодового распределения в 2 раза, а сток летне-осенней межени, соответственно, в 1.3 раза. Сток весеннего половодья в объемном выражении вырос сравнительно мало — менее, чем на 10%, при снижении доли вклада в годовой сток в 1.4 раза. Регулирование стока р. Москвы сделало невозможными наводнения, аналогичные тому, что случилось в 1908 г., когда было затоплено 9 км² (16%) территорий Москвы.

Уменьшение стока р. Москвы в результате безвозвратного изъятия воды на различные хозяйственные нужды в значительной мере компенсируется объемом сточных вод, образующихся в результате забора воды из глубоких водоносных горизонтов, слабо связанных с рекой, и составляют в среднем 2% (см. табл. 3). Вместе с тем, сточные воды наряду со стоком с урбанизированных участков — основная причина неудовлетворительного качества воды в р. Москве.

² В последние годы подача воды по каналу им. Москвы снизилась, а по Вазузской системе практически не осуществлялась.

С учетом климатических изменений и всех видов хозяйственной деятельности фактический сток в бассейне р. Москвы в начале XXI в. оценивается в среднем в 5526 млн м³ (174 м³/с), что в 1.7 раза превышает его величину за период исчисления нормы. Из общего увеличения стока на 2356 млн м³ более 77% приходится на долю антропогенных воздействий, а 23% — на влияние климата. Таким образом, антропогенные гидрологические изменения в бассейне р. Москвы являются определяющими. Если обратиться к табл. 1, то их можно охарактеризовать как A_2 , A_2 , A_3 , B_3 , B_2 , I_1 , I_3 , G_1 , G_3 , G_2 , то есть преобладают гидротехнические преобразования, которым сопутствуют непреднамеренные воздействия и водопотребление. Эти воздействия осуществляются преимущественно в водных объектах и в значительной мере на водосборах. Они представлены, главным образом, переброской стока, значительным косвенным воздействием через ландшафты и выражаются в увеличении стока, загрязнении вод и внутригодовом перераспределении водных ресурсов.

Волга и Дон. Эти реки несоизмеримо больше р. Москвы и существенно отличаются от нее по характеру влияния на сток природно-климатических и антропогенных факторов. При этом важно учитывать, что основная зона формирования стока Волги расположена в лесной зоне, а Дона — в лесостепи и степи. Большая часть водосбора Волги сравнительно мало изменена хозяйственной деятельностью в отличие от бассейна Дона. Вместе с тем обе реки, особенно Волга, в значительной мере преобразованы гидротехническими сооружениями.

Анализ кривых нарастающих сумм отклонений фактического (наблюденного) годового и сезонного стока от восстановленного (условно-естественного) стока показывает динамику изменения интегрального эффекта антропогенного воздействия (рис. 2). На Волге влияние антропогенных факторов в наибольшей степени сказывается на стоке половодья (объем суммарного снижения стока за весь рассматриваемый период, начиная с 1930 г., составил 2620 км³) и годовом стоке (суммарное снижение — более 1000 км³), тогда как зимний сток в общей сложности вырос почти на 1500 км³, а интегральный эффект антропогенного воздействия на сток за летне-осенний период (приведший к его росту) оказался относительно невелик — около 200 км³ (см. рис. 2а).

Наибольшее интегральное снижение стока на Дону (см. рис. 2б) также характерно для годового стока (около 200 км³) и стока половодья (340 км³).

Но в отличие от Волги на Дону наибольшим суммарным увеличением стока характеризуется сток лета—осени (почти 150 км³). При этом сток летне-осеннего периода увеличился в два раза больше, чем зимний сток. Для Волги же характерно прямо противоположное соотношение, что связано, прежде всего, с региональными особенностями регулирования стока водохранилищами.

Сравнивая между собой фактический средний многолетний годовой и сезонный сток за 1882—1929 гг. (принятый нами в качестве условно-естественного периода с относительно небольшим антропогенным влиянием) и восстановленный по уравнениям регрессии сток за 1930—2006 гг. можно оценить, какой вклад внесли изменения климата и антропогенных факторов этого периода в изменение стока. Оказалось, что на Волге и на Дону природно-климатические и антропогенные факторы, действуя в одинаковом направлении, снижали сток половодья, а, следовательно, и годовой сток (рис. 3). При этом вклад в изменения стока каждого из факторов был примерно одинаков для годового стока, а в снижении стока половодья существенно более заметную роль сыграли антропогенные факторы. В то же время соотношение вклада этих факторов в изменения меженного (зимнего и летне-осеннего) стока на Волге и на Дону характеризуются значительными различиями, но в целом они компенсировали снижение стока половодья. На Дону они вносят одинаковый вклад в повышение стока каждого из меженных сезонов (более значительного в летне-осенний период), тогда как на Волге увеличение стока зимней межени целиком обусловлено антропогенным влиянием, а суммарное малозаметное повышение стока летне-осенней межени было обусловлено антропогенными факторами.

Проанализируем теперь, что дают непосредственные оценки антропогенного воздействия на сток Волги у Волгограда и Дона у Раздорской на основе использования воднобалансовых методов и анализа водохозяйственной статистики.

Анализ водохозяйственной статистики, а также ориентировочных оценок за те годы, когда эта статистика отсутствовала, свидетельствует, что безвозвратное водопотребление в водохозяйственном комплексе (находимое в общем случае по разнице между водозабором и объемом сточных вод) возросло с 0.2—0.3% от среднего годового стока Волги в период условно естественного стока до 5—6% в период наибольшего антропогенного воздействия в середине 1980-х годов. В 1990—2005 гг. это воздействие снизилось в среднем в 1.3 раза, а в самые последние годы почти в 2 раза. Потери

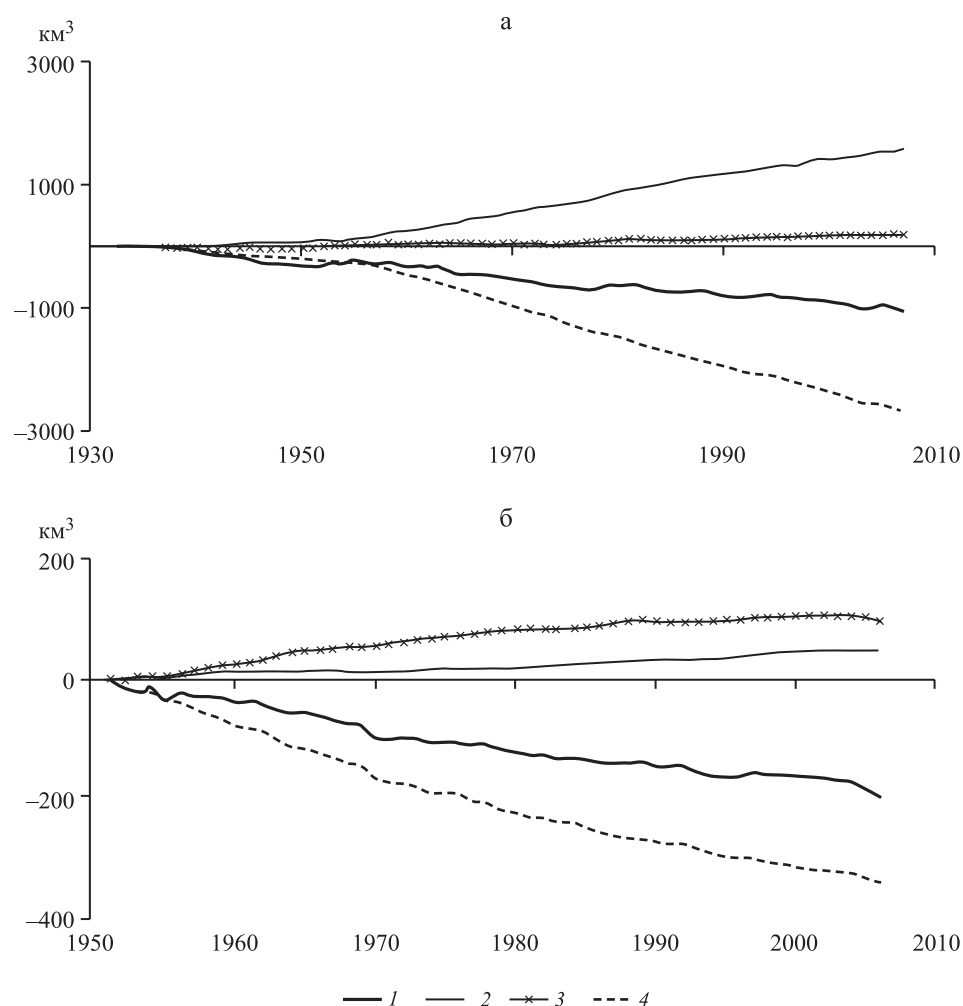


Рис. 2. Нарастающая сумма отклонений фактического годового и сезонного стока Волги у Волгограда (а) и Дона у Раздорской (б) от восстановленного (условно-естественного) стока, км³. 1 – год; 2 – зима; 3 – лето–осень; 4 – половодье.

водных ресурсов за счет дополнительного испарения с акватории водохранилищ и подтопленных ими земель, а также заполнения их мертвого объема возросли практически с нуля в период условно-естественного стока до 8–9% от годового стока во время самого активного гидротехнического строительства в бассейне Волги в 1956–1960 гг., а сейчас составляют в среднем 2–3% стока Волги. Совместное воздействие традиционного водного хозяйства и водохранилищ привело к уменьшению стока Волги к 2005 г. по сравнению с условно-естественным периодом (до 1930-х годов) почти на 480 км³.

Расчет изменения стока мероприятиями агротехники показал, что нарастание влияния этого фактора шло от практически нулевого в условно-естественный период до 2–3% от стока Волги

в 1980-е годы, а затем снизилось до 1–1.5% после 1990-х годов.

Осушение земель также имело незначительное применение в условно естественный период, но в дальнейшем (на уровне 1980-х годов) привело к увеличению речного стока до 0.5–1% на уровне 1980-х годов. Сейчас темпы осушительных мелиораций резко снизились, а многие ранее осушенные земли пришли в запустение.

Оценка влияния рубок леса и его восстановления на речной сток показала, что в условно-естественный период сток был повышенным из-за наличия в бассейне больших массивов перестойных лесов, испарение с которых было относительно невысоким. Последовавшие затем рубки леса и замена перестойных лесов более молодыми и продуктивными привели в целом к увеличению

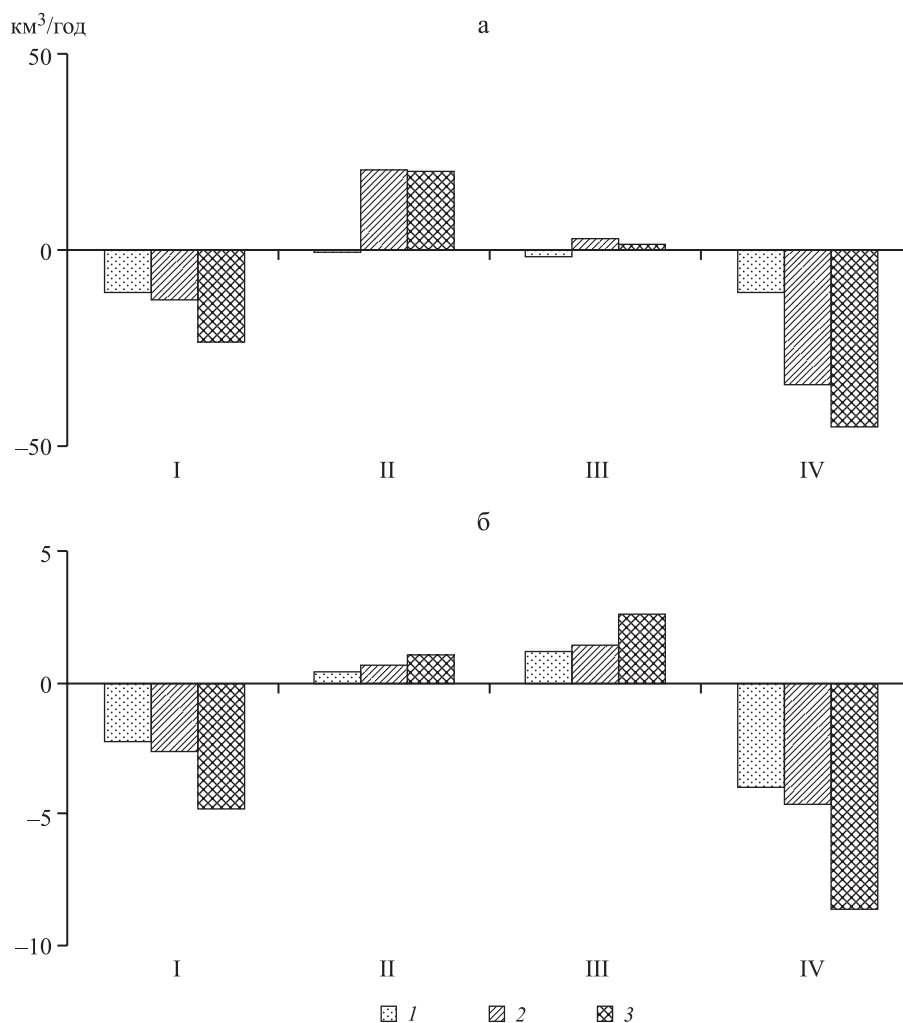


Рис. 3. Климатические и антропогенные изменения стока Волги у Волгограда (а) и Дона у Раздорской (б) за период 1930–2006 гг. по сравнению с 1891–1929 гг.

1 – климатические изменения, 2 – антропогенные изменения, 3 – суммарные изменения; I – год; II – зима; III – лето–осень; IV – половодье.

испарения и снижению стока. Этот процесс продолжается и сейчас, приводя к уменьшению стока Волги в среднем на 2%.

Урбанизация земель, напротив, способствует увеличению стока по сравнению с условно-естественным периодом на 1.5–2%. Сейчас площадь урбанизированных территорий в бассейне Волги реально превысила 2%, из которых 0.5–0.7% занимают водонепроницаемые участки.

В бассейне Дона антропогенное воздействие осуществлялось на протяжении всех периодов. Это относится и к хозяйственной деятельности на водосборах. Наименьшим оно было в 1881–1930 гг. — в период, принятый за естественно-условный, причем влияние агротехники, в первую очередь зяблевой пахоты, которая занимала менее 10% общей площади и приводила к уменьшению

стока, уравнивалось воздействием на сток в сторону его увеличения быстро растущей площадью уплотненных поверхностей под населенными пунктами и дорогами. В дальнейшем и вплоть до начала 1990-х годов влияние агротехнических мероприятий на водосборах на сток превышало влияние урбанизированных площадей, поскольку только площадь зяблевой пахоты достигла в бассейне Дона 40–50% общей площади водосбора. Сток же с такой пашни в лесостепных районах в 1.5–2, а в степных в 2–4 раза ниже, чем с полей с уплотненной к началу весеннего половодья почвой. Под влиянием агротехники сток Дона снизился к середине 1980-х годов более чем на 10% (в среднем на 3.3 км³). Однако после 1990 г. в связи с кризисными явлениями в сельском хозяйстве влияние агротехники снизилось. Общее снижение стока Дона под влиянием агротехники

с 1881 по 2005 гг. оценивается в 185 км^3 , в том числе по сравнению с периодом условно-естественного стока в 170 км^3 .

Воздействие на сток Дона урбанизированных площадей вначале отставало от темпов воздействия на сток агротехники, но в самые последние годы, когда их площадь превысила 3% (а по некоторым данным 4%), это воздействие стало сопоставимо с воздействием агротехники, но с обратным знаком. Общее воздействие роста урбанизированных площадей за 1881–2005 гг. выразилось в увеличении стока Дона более чем на 120 км^3 , из которых около 110 км^3 приходится на период после 1930 г. Таким образом, как и в бассейне Волги, в бассейне Дона хозяйственная деятельность на водосборах разнонаправлено воздействует на годовой сток и в значительной мере приводит к взаимной компенсации.

Крупным антропогенным фактором с начала 1950-х годов стало создание Цимлянского водохранилища с заполнением его “мертвого” объема, с дополнительными потерями воды на испарение с его акватории, с забором, правда небольшого объема воды, в Волго-Донской канал. В дальнейшем было создано Воронежское водохранилище и ряд других, более мелких, мало повлиявших на общую картину гидротехнического воздействия на годовой сток. Более того, с конца 1980-х годов имеет место некоторое снижение потерь воды с акватории вследствие уменьшения дефицита влажности воздуха. Суммарно за 1881–2005 гг. воздействие водохранилищ на уменьшение стока Дона выразилось величиной около $90 \text{ км}^3/\text{год}$, из которых большая часть приходится на период после 1930-х годов.

На основные виды водопотребления безвозвратно затрачено за 1881–2005 гг. примерно 220 км^3 , в том числе после 1930 г. — 205 км^3 . Из них около 65% приходится на нужды орошения, около $\frac{1}{4}$ на промышленное водопотребление и около 10% — на хозяйственно-бытовое. Все эти виды антропогенного воздействия имели тенденцию нарастания до начала 1990-х годов (медленнее в хозяйственно-бытовом секторе и гораздо быстрее в орошении и промышленном секторе). В последние годы имеет место стабилизация водопотребления в хозяйственно-бытовом секторе и резкий его спад в промышленности и орошаемом земледелии.

Общий шифр антропогенных воздействий на речной сток Волги можно представить как: $A_2, A_3, A_1, B_3, B_2, B_1, B_3, G_2, G_3, G_1$, а Дона — $A_3, A_2, A_1, B_3, B_2, B_1, B_3, G_1, G_2, G_3$. Основное различие между ними заключается в том, что в бассейне Волги

на первый план выходит регулирование стока, а в бассейне Дона — водопотребление, в основном на нужды орошаемого земледелия.

Близкий характер изменения водопотребления в России в целом и в отдельных ее регионах позволяет при прогнозировании региональных изменений водных ресурсов в значительной мере опираться на прогнозные расчеты по стране в целом, которые, как правило, разработаны более обстоятельно, чем большинство региональных. Если выявленная тенденция изменения водопотребления продолжится и дальше, то к 2030 г. можно ожидать дальнейшего его снижения до 10–20% по сравнению с современным периодом. При максимальных темпах экономического развития и сохранении современного удельного водопотребления степень водно-экологической напряженности может вернуться к ситуации 1990 г. Снижение темпов экономического развития и осуществление водоохранных мероприятий, направленных на снижение удельного водопотребления, скорей всего, позволит сохранить современную водно-экологическую ситуацию (рис. 4).

Россия и мир. Согласно данным Государственного водного кадастра [13], средний многолетний речной сток рек РФ за 1930–1980 гг. составлял $4262 \text{ км}^3/\text{год}$, а за 1991–2010 гг. — $4430 \text{ км}^3/\text{год}$, т.е. был на 4% больше. Причем особенно многоводной ($4509 \text{ км}^3/\text{год}$) была первая половина из этих 20 лет. В 2011–2014 гг. сток также был выше нормы, составив, соответственно, 4399, 4218, 4615 и 4623 км^3 .

Увеличению стока способствовало и уменьшение безвозвратного изъятия, по меньшей мере, на $10\text{--}15 \text{ км}^3/\text{год}$ за последние 20 лет. Эта величина, кажущаяся незначительной в масштабе всей страны, формируется в наиболее обжитых районах России, где она весьма ощутима. Наряду с безвозвратным расходом воды снижались и большинство других показателей ее использования (рис. 5), что объясняется кризисными явлениями в экономике после распада СССР и перестройкой структуры хозяйства в сторону менее водоемких производств.

Что касается мирового водопотребления, то оно в целом растет. Так, с 1990 по 2010 г. водопотребление увеличилось с около 3500 до почти 3900 км^3 , причем в основном за счет развивающихся стран. Учет дополнительных потерь воды на испарение с акватории водохранилищ увеличивает мировое водопотребление до более чем $4000 \text{ км}^3/\text{год}$, из которых половину составляет безвозвратный расход воды [21]. Один из позитивных результатов роста водопотребления в мире и уменьшения речного стока в мировой океан — снижение интенсивности

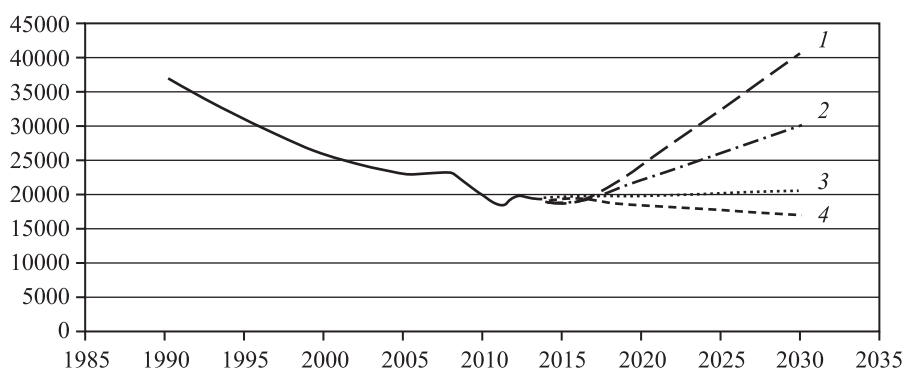


Рис. 4. Изменение водозабора в бассейне Волги и его сценарный прогноз, млн $\text{м}^3/\text{год}$.

1 – максимальное развитие экономики при сохранении современного удельного водопотребления; 2 – средние темпы развития экономики и осуществления комплекса водоохранных мер; 3 – низкие темпы развития экономики при осуществлении полного комплекса мер по экономии воды; 4 – экстраполяционный сценарий.

подъема уровня океана, который составляет в последние годы (по [18]) около 2 мм/год.

Уместно заметить, что водозабор и безвозвратный расход воды в России составляют менее 2% соответствующих мировых показателей, как и объем сточных вод – важный показатель качественного состояния водных ресурсов³. Если сравнивать крупные страны мира, то по кратности разбавления сточных вод полным речным стоком (70 раз) Россия уступает лишь Бразилии (более 200 раз), но в 10 раз превосходит США

и в 3 раза мир в целом. Наряду с Бразилией и Канадой Россия (в основном север ЕТС и азиатская часть страны) остается главным мировым резервом относительно чистой воды, хотя и здесь многие реки сильно загрязнены.

Выше рассматривалось влияние на водные ресурсы России и мира лишь водного хозяйства и гидротехнических сооружений. Но существенное значение может иметь и влияние, оказываемое такими видами хозяйственной деятельности, как неорошаемое земледелие, лесное хозяйство,

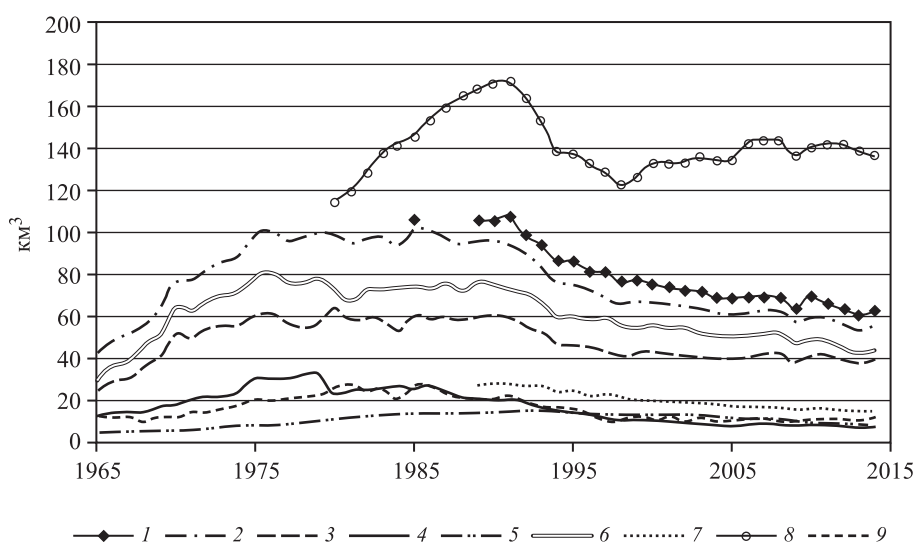


Рис. 5. Динамика использования водных ресурсов России, $\text{км}^3/\text{год}$.

1 – забор воды из водных источников для использования; 2 – использование свежей воды, всего, в том числе: 3 – на производственные нужды, 4 – на орошение и сельскохозяйственное водоснабжение, 5 – на хозяйственно-питьевые нужды; 6 – сброс сточных вод в поверхностные водоемы; 7 – сброс загрязненных сточных вод; 8 – объем оборотной и последовательно используемой воды; 9 – безвозвратный расход в процессе использования.

³ Гораздо выше (около 10%) доля России в объеме зарегулированного стока.

Таблица 4. Расход воды на неорошаемой пашне, км³

Страна	1961–1970 гг.	2000–2011 гг.	Прирост
Россия	269	290	21
Германия	36	52	16
Франция	51	76	25
Великобритания	19	28	9
Австралия	81	94	13
Канада	96	106	10
США	387	435	48
Мир	2210	2610	400

урбанизация территории и др., учитывая их современные масштабы. Так, общая площадь нарушенных деятельностью человека ландшафтов составила в конце XX в. почти $\frac{3}{4}$ площади всей суши Земли (без Антарктиды), а в некоторых странах — более 90% их территории, причем площадь построек и дорог в таких странах, как Германия и Нидерланды приблизилась к 15% [22, 40]. Для бассейнов Волги и Дона показано, что эти виды деятельности влияют на сток разнонаправленно и в значительной мере это влияние взаимокompенсировано. Для территории России в целом и тем более мира этот вопрос нуждается в дальнейшем изучении. Приведем лишь некоторые предварительные расчеты гидрологической роли неорошаемого земледелия и урбанизации территории.

Для расчета водопотребления неорошаемым земледелием в мире использованы выявленные связи удельного водопотребления (мм/ц) с общей биологической продуктивностью земель и урожаем зерна (см. рис. 3). Если на уровне 1700 г. урожайность зерновых на неорошаемых землях составляла в мире немногим более 5 ц/га, то на уровне 1950 г. приблизилась к 13 ц/га, а к настоящему времени еще удвоилась, а в таких странах, как Великобритания, Франция, Германия превысила 70 ц/га. Если предположить, что вся площадь неорошаемой пашни и посевов на уровне 1950–1960 гг. занята зерновыми (пшеницей), то в результате роста урожайности к настоящему времени расход воды за вегетационный период возрастает на 400 км³ — до 2600 км³, а по отдельным странам на величины, представленные в табл. 4. Фактически же этот расход воды еще выше, учитывая увеличение площади неорошаемой пашни.

Довольно очевидно увеличение стока в результате роста урбанизированных территорий. Детальный расчет, выполненный для бассейна р. Москвы, как уже отмечалось, показал, что

увеличение на 1% урбанизированных площадей приводит к такому же увеличению речного стока. Если исходить из этих величин, и допустить, что площадь урбанизированных территорий в последние десятилетия возросла на 1%, то речной сток в мире возрос приблизительно на 400 км³, т.е. на величину, соизмеримую с приведенной выше величиной изменения стока под влиянием неорошаемого земледелия, но противоположную по знаку.

Очевидно однако, что оценка влияния на сток ландшафтных изменений требует для большинства районов мира дополнительных и весьма тщательных исследований.

В целом шифр антропогенных воздействий на водные ресурсы в России и в мире достаточно близок, в России — $A_2, A_3, A_1, B_3, B_2, B_2, B_1, B_3, G_3, G_2, G_1$, в мире — $A_3, A_2, A_1, B_3, B_2, B_2, B_1, B_3, G_3, G_1, G_2$. Особо отметим, что и в России, и в мире наиболее остро стоит проблема качества воды, ее загрязнения. Главное отличие — в России более существенно изменение внутригодового режима стока в результате его регулирования.

О конструктивной направленности гидрологических исследований. Практически любое новое гидрологическое знание способствует решению тех или иных хозяйственных или экологических проблем. Существует огромное число проектов и предложений относительно того, как гидрологические знания, особенно новые, использовать в практических целях. Остановимся лишь на некоторых примерах применения этого знания, которым, по-нашему мнению, уделяется недостаточное внимание.

1. Учет в оценках изменения речного стока хозяйственной деятельности на водосборах, влияющей на сток косвенно — через почву, биоту, рельеф. Взаимокompенсация этих воздействий для ряда территорий в отдельные отрезки времени не исключает на определенном этапе существенного

увеличения или уменьшения стока под их влиянием. Отсюда необходимость согласования планов развития традиционного водного хозяйства с планами хозяйственной деятельности на водосборах (агролесомелиоративные мероприятия, лесохозяйственная деятельность, урбанизация территории) и их воздействия на водный баланс и сток. Важным условием для этого является реанимация на новой методической основе сети воднобалансовых станций и организация новых, более или менее равномерно распределенных в наиболее обжитых районах.

2. Разработка сценариев антропогенного воздействия на водные ресурсы на отдаленную (более 20 лет) перспективу, учитывающих как разные варианты численности населения, развития хозяйства, так и разные способы экономии воды и решения водохозяйственных проблем. В настоящее время основное внимание уделяется долгосрочным климатическим прогнозам, а роль антропогенных факторов учитывается весьма схематично (например, контрастные сценарии мирового социально-экономического развития А2 и В1).

3. Профилактическая концепция борьбы с загрязнением природных вод, основы которой были предложены М.И. Львовичем более 50 лет назад, предусматривающая всемерное ограничение сброса в реки и водоемы даже очищенных сточных вод. Также профилактической концепцией следует считать и ландшафтно-гидрологическое обустройство водосборов, направленное на уменьшение поверхностного стока и снижение так называемого диффузного загрязнения рек и водоемов. Попутно решаются проблемы эрозии почв и уменьшения объема и высоты наводнений.

Заключение. Таким образом, важность гидрологии антропогенного направления очевидна, хотя в статье рассмотрены лишь некоторые аспекты антропогенного воздействия на водные ресурсы. Проблема выявления роли антропогенных факторов в изменениях водных ресурсов — одна из ключевых в гидрологии. Пока она далека от сколько-нибудь исчерпывающего решения. Полученные оценки, в том числе представленные в данной работе, требуют дальнейшего совершенствования и развития, тем более, что время вносит в них свои коррективы. Однако представляется, что содержание данной статьи характеризует специфику и масштабы воздействия на водные ресурсы основных антропогенных факторов на различных территориальных уровнях.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 15-05-04207), Программы Президиума РАН “Пространственное

развитие России в XXI веке: природа, общество и их взаимодействие” и ОНЗ 10.

Acknowledgements. The study is supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 15-05-04207), Presidium of the Russian Academy of Sciences Programm for basic research “Spatial development of Russia in the 21st century: nature, society and their interrelations”, and Department of the Earth Sciences of RAS Programm no. 10.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шаранов В.А. Водохранилища. М.: Мысль, 1987. 325 с.
2. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / Отв. ред. Н.И. Коронкевич, И.С. Зайцева. М.: Наука, 2003. 367 с.
3. Булавко А.Г., Логинова Н.И. Основы комплексной оценки динамики испарения сельскохозяйственных культур и интенсификации земледелия // Тр. IV Всесоюз. гидрол. съезда. Т. 2. Л.: Гидрометеиздат, 1976. С. 337–344.
4. Вендров С.Л. Проблемы преобразования речных систем СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 208 с.
5. Водные ресурсы России и их использование. СПб.: Государственный гидрологический ин-т, 2008. 600 с.
6. Водный баланс СССР и его преобразование / Под ред. М.И. Львовича. М.: Наука, 1969. 338 с.
7. Водогрецкий В.Е. Влияние агролесомелиораций на годовой сток. Методика исследований и расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 184 с.
8. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 548 с.
9. Гельмерсен Ф., Вильд Г. Донесения комиссии, рассматривавшей записку Г. Векса об уменьшении количества воды в источниках и реках. “Зап. АН”. XXVII, 1876.
10. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милукова И.П., Ка-шутина Е.А., Барабанова Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Ч. 2. Бассейны рек Волги и Дона. М.: МАКС Пресс, 2014. 214 с.
11. Герасимов И.П. Советская конструктивная география. М.: Наука, 1976. 208 с.
12. Глушков В.Г. Вопросы теории и методы гидрологических исследований. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 416 с.
13. Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное изд-е. СПб.: Гидрометеиздат.

14. Грин А. М. Динамика водного баланса Центрально-Черноземного района. М.: Наука. 1965. 148 с.
15. Данилов-Данильян В. И., Хранович И. Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования. М.: Научный мир, 2010. 230 с.
16. Зубенко Л. И. Испарение на континентах. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 264 с.
17. Келлер Р. Воды и водный баланс суши. М.: Прогресс, 1965. 435 с.
18. Клиге Р. К. Глобальные изменения природных условий и воздействие на них гелиокосмических факторов // Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т. 5. Человек и три окружающие его среды. М.: "Янус-К", 2013. С. 19–51.
19. Коронкевич Н. И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 205 с.
20. Коронкевич Н. И., Мельник К. С. Антропогенные воздействия на сток реки Москвы. М.: МАКС Пресс, 2015. 168 с.
21. Коронкевич Н. И., Барабанова Е. А., Бибикова Т. С., Зайцева И. С. Россия на водохозяйственной карте мира // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 1. С. 7–18.
22. Котляков В. М., Лосев К. С., Ананичева М. Д. Сравнение нарушенности экосистем России и других стран Европы // Изв. РАН. Сер. геогр. 1998. № 2. С. 18–29.
23. Крестовский О. И. Влияние вырубок и восстановления лесов на водность рек. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 119 с.
24. Львович М. И. Человек и воды. М.: Географгиз, 1963. 568 с.
25. Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 448 с.
26. Львович М. И. Вода и жизнь: Водные ресурсы, их преобразование в охрана. М.: Мысль, 1986. 254 с.
27. Марш Г. Человек и природа или о влиянии человека на изменение физико-географических условий природы. СПб., 1866. 587 с.
28. Никаноров А. М. Научные основы мониторинга качества вод. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 576 с.
29. Новиков С. М., Гончарова Ж. С. Прогноз изменений водных ресурсов крупных рек СССР под влиянием осушительных мелиораций // Тр. ГГИ. 1978. Вып. 255. С. 54–68.
30. Оппоков Е. В. Вопрос об обмелении рек в его современном и прошлом состоянии. Краткий гидрологический очерк, с некоторыми данными для Днепра и Волги // Сельское хозяйство и лесоводство. СПб., 1900.
31. Соколов А. А., Чеботарев А. И. Очерки развития гидрологии в СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 311 с.
32. Справочник по гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 392 с.
33. Уайт Г. География, ресурсы и окружающая среда. М.: Прогресс, 1990. 544 с.
34. Федосеев И. А. Развитие гидрологии суши в России. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 302 с.
35. Федосеев И. А. История изучения основных проблем гидросферы. М.: Наука, 1973. 208 с.
36. Шикломанов И. А. Антропогенные изменения водности рек. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 304 с.
37. Шикломанов И. А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 334 с.
38. Шикломанов И. А., Маркова О. Л. Проблемы водобеспечения и переброски речного стока в мире. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 294 с.
39. Эдельштейн К. К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.
40. Hannah L., Lohse D., Hutchinson Ch., Carr J. I., and Lanckerani A. A preliminary inventory of human disturbance of world ecosystems // Ambio. 1994. № 4–5. P. 246–251.

REFERENCES

1. Avakjan A. B., Saltankin V. P., Sharapov V. A. *Vodohranilishha* (Reservoirs) Moscow: Mysl' Publ., 1987. 325 p.
2. *Antropogennyye vozdeistviya na vodnye resursy Rossii i soprodel'nykh gosudarstv v kontse XX stoletiya* (Anthropogenic Impact on Water Resources of Russia and Neighboring Countries at the End of the 21st Century). Moscow: Nauka Publ., 2003. 367 p.
3. Bulavko A. G., Loginova N. I. Basics of a comprehensive assessment of the crops evaporation dynamics and intensification of agriculture, in *Tr. IV Vsesojuz. gidrol. s'ezda* (Proceedings of the IV All-union hydrological congress). Vol. 2. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976. pp. 337–344. (In Russ.).
4. Vendrov S. L. *Problemy preobrazovaniya rechnykh sistem SSSR* (Problems of the USSR river systems transformation). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1979. 208 p.
5. *Vodnye resursy Rossii i ikh ispol'zovanie* (Water resources of Russia and their use). St. Petersburg: Gos. gidrolog. institut Publ., 2008. 600 p.
6. *Vodnyi balans SSSR i ego preobrazovanie* (Water balance of the USSR and its transformation). Moscow: Nauka Publ., 1969. 338 p.
7. Vodogretskii V. E. *Vliyanie agro-leso-melioratsii na godovoi stok. Metodika issledovaniy i raschety* (Silvicultural reclamation impact on the annual runoff. Research methods and calculations). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1979. 184 p.
8. Voskresenskii K. P. *Norma i izmenchivost' godovogo stoka rek Sovetskogo Soyuza* (Normal annual runoff and flow variability of the Soviet Union rivers). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1962. 548 p.
9. Gel'mersen F., Vil'd G. Reports of the Commission, which considers the note on water reduction in springs and rivers by G. Wex. *Zap. AN* (Proceedings of Academy of Sciences), XXVII, 1876.

10. Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Kashutina E.A., Barabanova E.A. *Sovremennye i sisenarnye izmeneniya rechnogo stoka v basseinakh krupneishikh rek Rossii. Chast' 2. Basseiny rek Volgi i Dona* (Contemporary and scenario river runoff changes in the largest river basins of Russia. Part 2: The Volga and Don River basins). Moscow: MAKSS Press Publ., 2014. 214 p.
11. Gerasimov I. P. *Sovetskaya konstruktivnaya geografiya* (Soviet constructive geography). Moscow: Nauka Publ., 1976. 208 p.
12. Glushkov V.G. *Voprosy teorii i metody gidrologicheskikh issledovaniy* (Theory and methods of hydrological studies). Moscow, 1961. 416 p.
13. Gosudarstvennyi vodnyi kadastr. Resursy poverhnostnykh i podzemnykh vod, ikh ispol'zovanie i kachestvo. Ezhegodnoe izdanie (State water cadastre. Surface and groundwater resources, water use and quality. Annual publication). St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ.
14. Grin A. M. *Dinamika vodnogo balansa Central'no-Chernozemnogo raiona* (The dynamics of the water balance of the Central Chernozem Area). Moscow: Nauka Publ., 1965. 148 p.
15. Danilov-Danilyan V.I., Hranovich I.L. *Upravlenie vodnymi resursami. Soglasovanie strategii vodopol'zovaniya* (Water management. Matching water management strategies). Moscow: Nauchnyi mir Publ., 2010. 230 p.
16. Zubenok L. I. *Isparenie na kontinentakh* (Evaporation on the continents). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1976. 264 p.
17. Keller R. *Vody i vodnyi balans sushi* (Waters and water balance of Earth land). Moscow: Progress Publ., 1965. 435 p.
18. Klige R.K. Global changes of natural conditions and the impact heliocosmic factors, in *Atlas vremennykh variatsii prirodnnykh, antropogennykh i social'nykh protsessov. T. 5. Chelovek i tri okruzhayushhie ego sredy* (Atlas of time variations of natural, human, and social processes. Vol. 5. A man and three components of his environment). Moscow: Janus-K Publ., 2013, pp. 19–51. (In Russ.).
19. Koronkevich N.I. *Vodnyi balans Russkoi ravniny i ego antropogennye izmeneniya* (The water balance of the Russian Plain and its anthropogenic changers). Moscow, Nauka Publ., 1990. 205 p.
20. Koronkevich N.I., Mel'nik K. S. *Antropogennye vozdeystviya na stok reki Moskvy* (Anthropogenic Impacts on the Flow of the Moscow-river). Moscow: MAKSS Press Publ., 2015. 168 p.
21. Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Bibikova T. S., Zaitseva I. S. Russia on the water world map. *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2014, no. 1, pp. 7–18. (In Russ.).
22. Kotlyakov V.M., Losev K. S., Ananicheva M. D. Ecological imbalance comparison of the Russian and other European countries ecosystems. *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1998, no. 2, pp. 18–29. (In Russ.).
23. Krestovskii O. I. *Vliyaniye vyrubok i vosstanovleniya lesov na vodnost' rek* (Influence of wood-felling and forest renewal on water content of the rivers). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1986. 119 p.
24. L'vovich M. I. *Chelovek i vody* (A man and waters). Moscow: Geografiz Publ., 1963. 568 p.
25. L'vovich M. I. *Mirovye vodnye resursy i ikh budushchee* (World water resources and their future). Moscow: Mysl' Publ., 1974. 448 p.
26. L'vovich M. I. *Voda i zhizn': Vodnye resursy, ikh preobrazovanie i okhrana* (Water and life: Water resources, their transformation and protection). Moscow: Mysl' Publ., 1986. 254 p.
27. Marsh G. *Chelovek i priroda ili o vliyaniy cheloveka na izmenenie fiziko-geograficheskikh uslovii prirody* (The man and the nature or about human influence on the change of physiographic conditions of the nature). St. Petersburg, 1866. 587 p.
28. Nikanorov A. M. *Nauchnye osnovy monitoringa kachestva vod* (Scientific basis of water quality monitoring). St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 2005. 576 p.
29. Novikov S.M., Goncharova Zh. S. The forecast of water resources changes in the large rivers of the USSR under the influence of drying melioration. *Trudy GGI* (Proceedings of the SHI), 1978, no. 255, pp. 54–68. (In Russ.).
30. Oppokov E. V. Rivers shallowing issue in its current and historic state. A short hydrological sketch, with some data on Dnieper and Volga, in *Sel'skoe hozjajstvo i lesovodstvo* (Agriculture and Forestry). St. Petersburg., 1900. (In Russ.).
31. Sokolov A.A., Chebotarev A. I., *Ocherki razvitiya gidrologii v SSSR* (Sketches of hydrology development in the USSR). Leningrad: Gidrometeoizdat Pub., 1970. 311 p.
32. *Spravochnik po gidrokhimii* (Reference book on hydrochemistry). Leningrad: Gidrometeoizdat Pub., 1989. 392 p.
33. White G. *Geography, Resources and Environment*. University of Chicago Press, 1986. 486 p.
34. Fedoseev I. A. *Razvitie gidrologii sushi v Rossii* (Development of hydrology of Earth land in Russia). Moscow, 1960. 302 p.
35. Fedoseev I. A. *Istoriya izucheniya osnovnykh problem gidrosfery* (History of studying of the main problems of the hydrosphere). Moscow: Nauka Publ., 1973. 208 p.
36. Shiklomanov I. A. *Antropogennye izmeneniya vodnosti rek* (Anthropogenic changes of water content of the rivers). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1979. 304 p.
37. Shiklomanov I. A. *Vliyaniye hozyaistvennoi deyatel'nosti na rechnoi stok* (Influence of economic activity on a river runoff). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1989. 334 p.
38. Shiklomanov I. A., Markova O. L. *Problemy vodoobespecheniya i perebroski rechnogo stoka v mire* (Problems of water supply and water diversion in the world). Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1987. 294 p.
39. Eedel'shtejn K. K. *Vodohranilishha Rossii: ekologicheskie problemy, puti ikh resheniya* (Reservoirs of Russia: environmental problems, ways of their decision). M.: GEOS Publ., 1998. 277 p.
40. Hannah L., Lohse D., Hutchinson Ch., Carr J. I., and Lankerani A. A preliminary inventory of human disturbance of world ecosystems. *Ambio*, 1994, no. 4–5, pp. 246–251.