

УДК 556.53, 556.55

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕК И ВОДОЕМОВ РОССИИ И АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НИХ

© 2021 г. В. А. Румянцев^а, Н. И. Коронкевич^{б, *}, А. В. Измайлова^{а, **}, А. Г. Георгиади^б,
И. С. Зайцева^б, Е. А. Барабанова^б, В. Г. Драккова^а, Н. Ю. Корнеев^а

^аИнститут озераведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

^бИнститут географии РАН, Москва, Россия

*e-mail: hydro-igras@yandex.ru

**e-mail: ianna64@mail.ru

Поступила в редакцию 15.05.2020 г.

После доработки 25.08.2020 г.

Принята к публикации 30.10.2020 г.

В статье приводится комплексная оценка водных ресурсов России, учитывающая речной сток, а также воды озер и водохранилищ, свидетельствующая о том, что при общей их большой величине они весьма неравномерно распределены по территории и во времени, как и их использование. Дана оценка водных ресурсов и удельной водообеспеченности по субъектам Российской Федерации. Проанализированы изменения водных ресурсов за последние десятилетия, происходящие под влиянием антропогенных факторов, и эффективность их использования. Выявлено существенное уменьшение водопотребления по сравнению с 1990 г., когда оно было наибольшим. Рассмотрено загрязнение речных и озерных вод. Показано, что антропогенная нагрузка на водные ресурсы России в целом ниже средних мировых показателей, по ряду показателей использования воды и состояния водных ресурсов ситуация лучше. Выявлено значительное уменьшение удельного водопотребления по отношению к ВВП. Однако в России все еще велики непроизводительные расходы воды, загрязнены многие реки и водоемы. Гидроэкологическая и водохозяйственная ситуация неблагоприятна в ряде районов, особенно на Северном Кавказе, в низовьях Волги и Дона. Дана сценарная оценка возможного водопотребления на уровень 2030–2035 гг., сочетающая сценарии экономического развития и удельного водопотребления. Намечены пути минимизации негативных последствий антропогенного воздействия на водные ресурсы.

Ключевые слова: водные ресурсы России, озерные экосистемы, речной сток, водопотребление, сточные воды, безвозвратный расход, водообеспеченность, эффективность водопользования

DOI: 10.31857/S258755662101012X

ВВЕДЕНИЕ

Основным видом водных ресурсов традиционно считается речной сток, характеризующийся быстрой возобновляемостью. Но значительным источником водных ресурсов могут служить и статические запасы подземных и поверхностных вод. Известно, что интенсивное использование статических запасов, особенно тех, объемы которых невелики, неизбежно приводит к их истощению и неблагоприятным экологическим последствиям, тем большим, чем дольше период их возобновления. В то же время по мере интенсификации хозяйственной деятельности необходимость использования статических запасов пресной воды и прежде всего наиболее доступных из них, заключенных как в естественных водоемах (озерах), так и в созданных человеком (водохранилищах), нарастает. В результате к настоящему времени наряду с речным стоком воды озер и водохранилищ

занимают важное место в водообеспечении многих территорий. Водные ресурсы подвергаются антропогенному воздействию, интенсивность которого в ряде регионов превышает скорость их возобновления. Очень важно, что антропогенное воздействие на водные ресурсы сопровождается загрязнением водных объектов, делающим часто невозможным их использование даже при больших запасах воды. Количественное и качественное истощение природных вод обычно сопровождается негативными изменениями водных и околотоводных экосистем. В рамках настоящей статьи предложен комплексный анализ водных ресурсов рек и водоемов с учетом их количественных и качественных изменений, произошедших в последние десятилетия, и намечены пути минимизации негативных последствий, обусловленных воздействием антропогенных факторов на водную среду.

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕК И ВОДОЕМОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Средние многолетние общие ресурсы речного стока России составляют 4260 км^3 в год, изменяясь от $3760 \text{ км}^3/\text{год}$ в 1954 г. до $4710 \text{ км}^3/\text{год}$ в 1974 г. [21], из которых около $200 \text{ км}^3/\text{год}$ формируется за пределами России. Таким образом, Россия, на долю которой приходится около 11% мировых общих ресурсов речного стока, занимает второе место в мире, уступая лишь Бразилии [22]. Наряду с быстро возобновляемыми водными ресурсами, еще 26745 км^3 пресной воды содержится в озерах и водохранилищах, из которых в озерах — 25855 км^3 , что составляет более четверти от общих мировых запасов пресных озерных вод (91000 км^3), если ориентироваться на приближенную оценку, опубликованную в [25]. Однако водные ресурсы России весьма неравномерно распределены по территории и во времени и в основном не соответствуют распределению населения и экономики. На рис. 1 приведены карты удельной (на одного человека) водообеспеченности по субъектам Российской Федерации, рассчитанной по данным о возобновляемых водных ресурсах и о запасах вод в озерах и водохранилищах.

В настоящее время удельная водообеспеченность ресурсами речного стока в среднем по стране составляет около 28 тыс. $\text{м}^3/\text{чел.}$ в год, что почти в 5 раз превышает среднюю по миру. Если ориентироваться на градацию удельной водообеспеченности, разработанную И.А. Шикломановым и О.Л. Марковой [23], она в России “очень высокая”. На каждого жителя приходится также ~ 176 тыс. м^3 озерных вод. Однако высокими значениями удельной водообеспеченности характеризуются прежде всего мало заселенные северные регионы страны. В то же время в регионах с низкой и средней водообеспеченностью речным стоком (с учетом как местного, так и транзитного) проживает почти 60% населения России, в том числе около 20% — в регионах, где водообеспеченность “очень низкая” и “катастрофически низкая”. Большая часть регионов, в той или иной мере испытывающих водный дефицит, относится к зоне недостаточного увлажнения, однако и ряд регионов зоны достаточного увлажнения также его испытывают. Регионами с катастрофически низкой (до 1 тыс. $\text{м}^3/\text{чел.}$) удельной водообеспеченностью (см. рис. 1) являются Республика Крым и Севастополь, а также Москва и Московская область, с очень низкой (1–2 тыс. $\text{м}^3/\text{чел.}$) — Ставропольский край и Белгородская область. Еще в 13 субъектах Федерации, расположенных в южной части Европейской территории страны (ЕТС) и на юге Урала, удельная водообеспечен-

ность низкая (2–5 тыс. $\text{м}^3/\text{чел.}$). Большинство регионов с низкой и средней водообеспеченностью обладают значительными запасами воды, содержащейся в искусственных водоемах, а ряд из них имеет и значительные запасы озерных вод. Согласно [14], в озерах, расположенных в зоне недостаточного увлажнения в регионах, характеризующихся пониженной водообеспеченностью, суммарно содержится 37 км^3 воды, в том числе 20 км^3 пресной, в водохранилищах — еще 113 км^3 . В зоне достаточного увлажнения в озерах регионов с пониженной водообеспеченностью заключено 2.4 км^3 пресной воды, в водохранилищах — 4.5 км^3 .

Наблюдаемый в ряде регионов дефицит водных ресурсов усиливается и за счет их временной вариативности. Для приведенной выше оценки водообеспеченности были использованы данные по средним за многолетний период значениям стока. Однако необходимо учитывать изменчивость стока как в многолетнем, так и во внутригодовом разрезе, в маловодные периоды водообеспеченность становится существенно ниже приведенной выше. На рис. 2 представлена динамика ресурсов речного стока России в целом и ее федеральных округов (ФО), а также ЕТС и Азиатской территории страны (АТС) в начале XXI в. (в связи с изменением границ за рассматриваемый период между Южным и Северо-Кавказским ФО по ним представлены суммарные данные).

Анализ изменения суммарных значений годового стока рек и удельной водообеспеченности населения в начале XXI в. и их сравнение с данными за период исчисления нормы стока (1930–1980 гг.) свидетельствует, что в последние годы практически по всем федеральным округам была характерна более высокая водообеспеченность. Для России в среднем это превышение составило 7%. Наибольшая прибавка в величине стока пришлась на 2001–2008 гг., тогда как в 2009–2016 гг. наблюдалось некоторое снижение стока. Отметим, что на величину удельной водообеспеченности оказало влияние и снижение в этот период численности населения в ряде регионов страны.

Поскольку пополнение озер в основном происходит за счет речного стока, смена многоводных периодов на маловодные по речному стоку вызывает снижение водных запасов. Однако в целом озера, особенно крупные, в силу своей инерционности медленнее реагируют на изменение увлажненности, что позволяет им при переходе к маловодной фазе в течение какого-то времени удерживать значительные запасы воды.

Необходимо отметить, что около 2/3 годового стока рек России приходится на сравнительно короткий период весеннего половодья, а основная

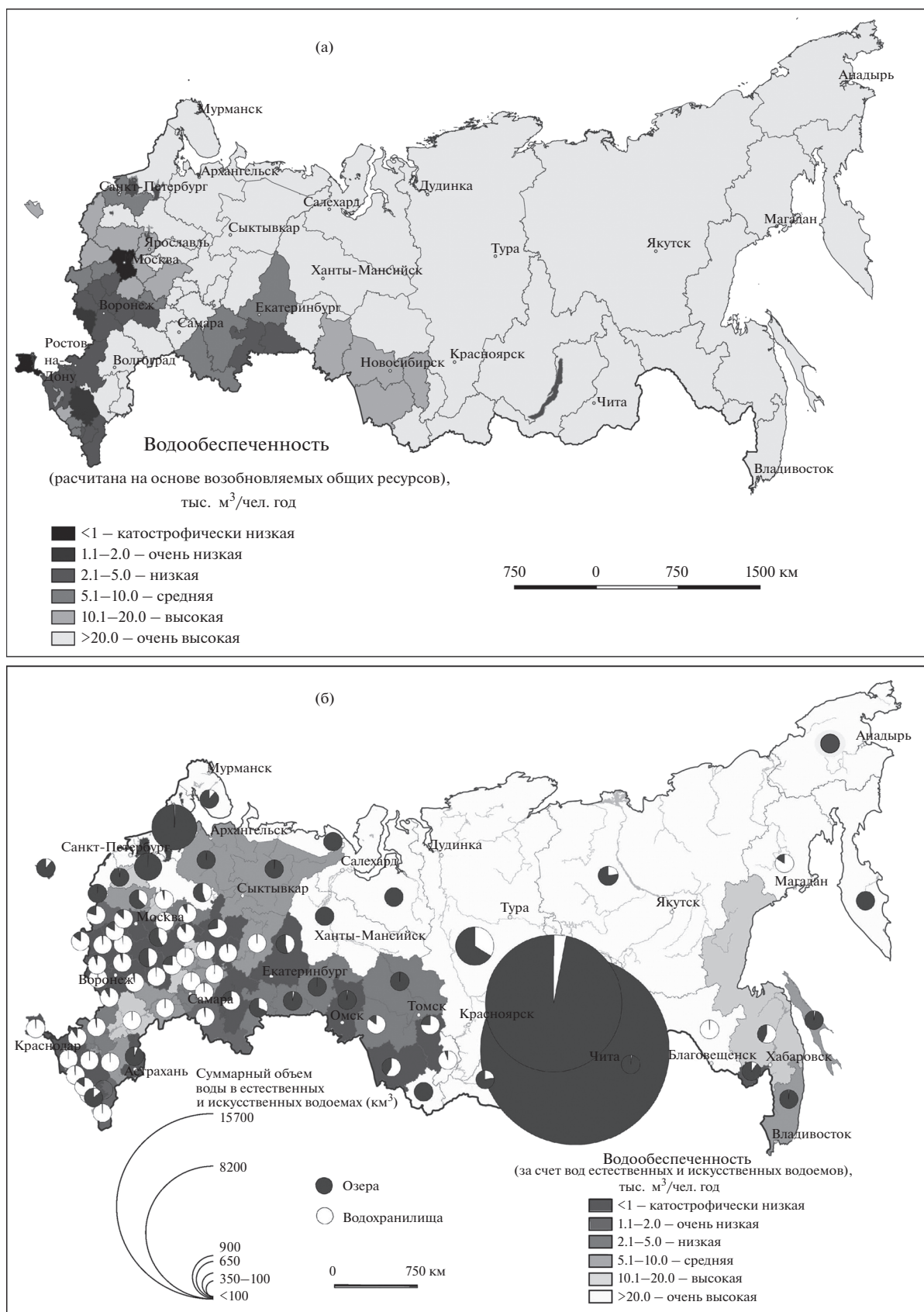


Рис. 1. Удельная водообеспеченность по субъектам Российской Федерации: (а) – за счет ресурсов речных вод (общие ресурсы, с учетом притока); (б) – за счет ресурсов вод озера и водохранилищ.

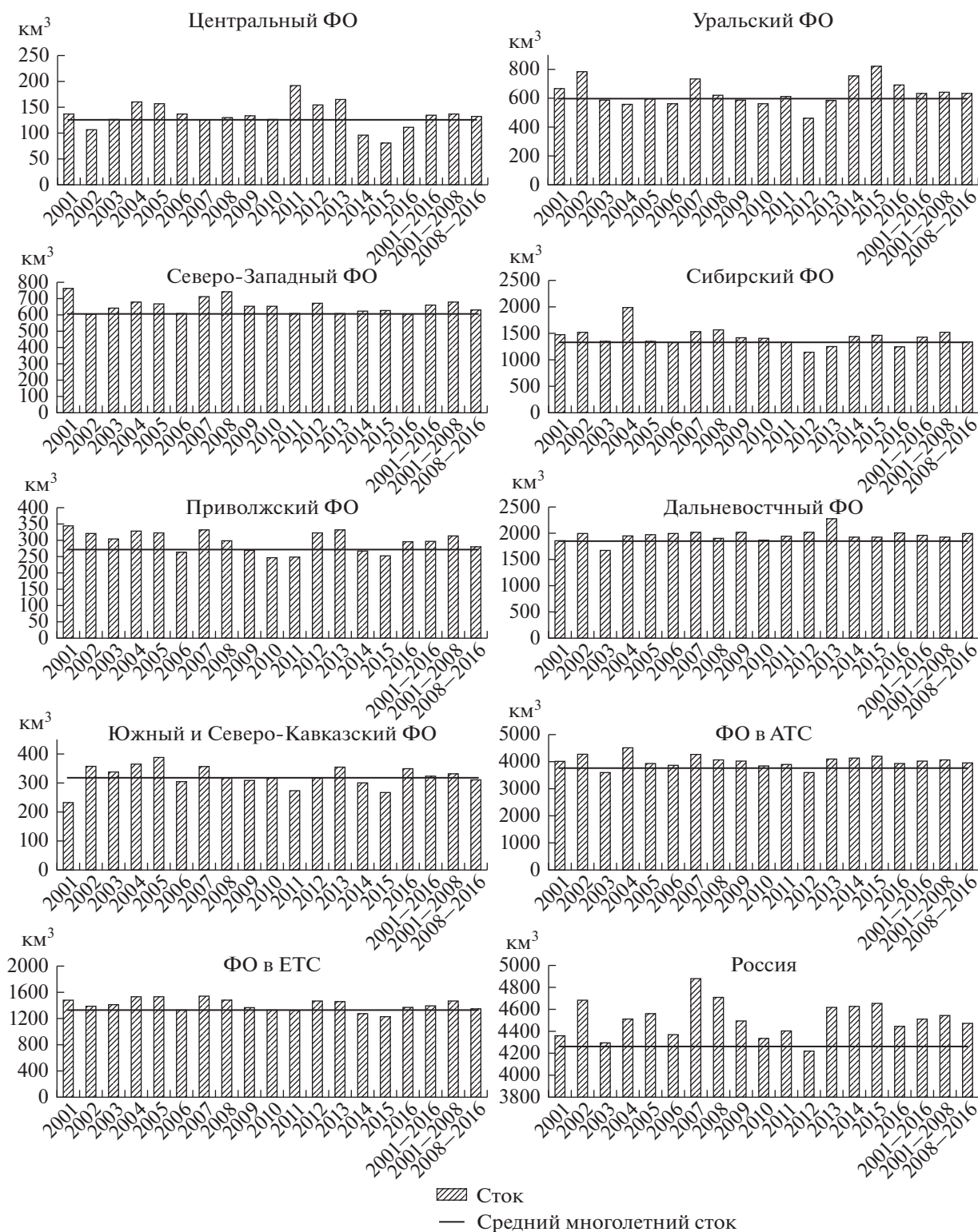


Рис. 2. Динамика ресурсов речного стока России и федеральных округов в начале XXI в.

потребность в воде наблюдается в меженный период, прежде всего — в период летне-осенней межени. Одним из наиболее опасных проявлений неравномерного внутригодового распределения

стока являются наводнения, особенно на Дальнем Востоке и Кавказе. Хотя их опасность на территории России в целом не так велика, как во многих других регионах мира, например в Юго-

Восточной Азии [11]. Частичным решением проблемы неравномерного распределения во времени речного стока является искусственное зарегулирование стока.

АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ

Гидротехническое воздействие на величину водных ресурсов и их режим

В нашей стране гидротехническое строительство, особенно создание водохранилищ, актуально, учитывая, что по ресурсам устойчивого стока подземного происхождения территория России уступает среднемировым показателям почти в 1.8 раза. К настоящему времени в России создано более 2200 водохранилищ объемом свыше 1 млн м³ каждое. Как указывалось в [22], полезный объем всех водохранилищ позволяет регулировать более 7% полного годового речного стока и свыше 12% стока половодья. Однако из-за несовершенства гидрометеорологических прогнозов, а зачастую и изменения режима попусков из водохранилищ процент реального зарегулирования меньше. Годовой речной сток потенциально наиболее зарегулирован в Приволжском (около 30%) и Центральном (около 18%) ФО. В Южном, Северо-Кавказском и Сибирском ФО величина регулирования близка к 9%, в Дальневосточном — 3.3%, Северо-Западном — 2.4%. Меньше всего зарегулирован сток в Уральском ФО — 0.5%.

В мертвом объеме водохранилищ России законсервировано более 500 км³ воды, из которых 60% приходится на водохранилища Сибирского и Дальневосточного ФО. Влияние мертвого объема на сток сказывается в основном в годы заполнения водохранилищ, то есть главным образом оно имело место в середине XX в. Потери воды на дополнительное испарение с поверхности водохранилищ России объемом более 1 млн м³ суммарно составляют около 11 км³/год, причем более половины этого объема приходится на водохранилища Волжско-Камского каскада [4].

Еще одним видом гидротехнического воздействия на водные ресурсы является переброска речного стока. По данным [8], в России ежегодно перебрасывается около 17 км³. Наиболее известна переброска около 2 км³/год по каналу им. Москвы из Ивановского водохранилища на Волге в бассейн р. Москвы.

ВОДОЗАБОР

В отличие от гидротехнического строительства, влияние которого на водные ресурсы сравнительно мало изменилось в последние десятилетия, водозабор резко изменился в сторону уменьшения в основном в связи с кризисными явлениями в экономике после распада СССР, перестройкой ее структуры в сторону менее затратного использова-

ния воды. На рис. 3 и в табл. 1 и 2 представлена динамика водозабора, сточных вод и безвозвратного расхода (рассчитываемого по разнице водозабора и объема сточных вод) за период от наибольшего водопотребления до последних лет. Данные для построения рисунка и таблиц почерпнуты из статистических справочников [6–8]. Заметим, что с начала 1960-х годов, когда начался систематизированный учет использования воды, до середины 1970-х годов наблюдался быстрый рост водопотребления, а затем оно было довольно стабильным с некоторой тенденцией роста до 1990 г. [2]. На рис. 3 и в табл. 1 и 2 приведены данные по водопотреблению с учетом подземных вод. Использование ресурсов подземных вод уменьшает водозабор из поверхностных водных объектов в 20 субъектах РФ на половину и больше. В то же время использование подземных вод, как представляется, сравнительно мало сказывается на реальной величине общего безвозвратного изъятия и уменьшения речного стока, поскольку изъятие подземных вод способствует усилению оттока вод рек и водоемов в подземные горизонты. С другой стороны, при определении безвозвратных изъятий не учитывается, что значительная часть сточных вод попадает в водные объекты в подогретом состоянии, увеличивая расход воды на испарение.

Из рис. 3 видно, что по сравнению с 1990 г. водозабор к 2017 г. снизился в России в 1.7 раза, безвозвратный расход — в 1.4 раза, объем сточных вод — почти в 2 раза. Быстрее всего это снижение происходило в 1990-е годы, а в начале XXI в. замедлилось. Наибольшее снижение произошло в производственном секторе и в орошаемом земледелии. Наибольшим в 2009–2016 гг. оно было в Дальневосточном ФО — до 55% от уровня 1990 г., наименьшим — в Уральском ФО, до 85% (см. табл. 2). Объем сточных вод больше всего снизился в Южном и Северо-Кавказском ФО (до 41%), а меньше всего — в Уральском ФО (до 94%). Уменьшение безвозвратного расхода оказалось наибольшим в Приволжском ФО (до 40%), а наименьшим — в Центральном — до 80% от уровня 1990 г. (см. табл. 2).

По отношению к средним многолетним ресурсам речного стока наибольший водозабор и сброс сточных вод в 2009–2016 гг. имел место в Центральном ФО, наименьший — в Дальневосточном (см. табл. 2). Наибольшая доля безвозвратного расхода — в Южном и Северо-Кавказском ФО, а наименьшая — в Дальневосточном. В европейской части страны водопотребление по отношению к средней многолетней величине речного стока заметно выше, чем в азиатской. По существу, эта разница еще больше, учитывая существенное увеличение в последние годы общих ресурсов речного стока в азиатской части по сравнению со средними многолетними значениями.

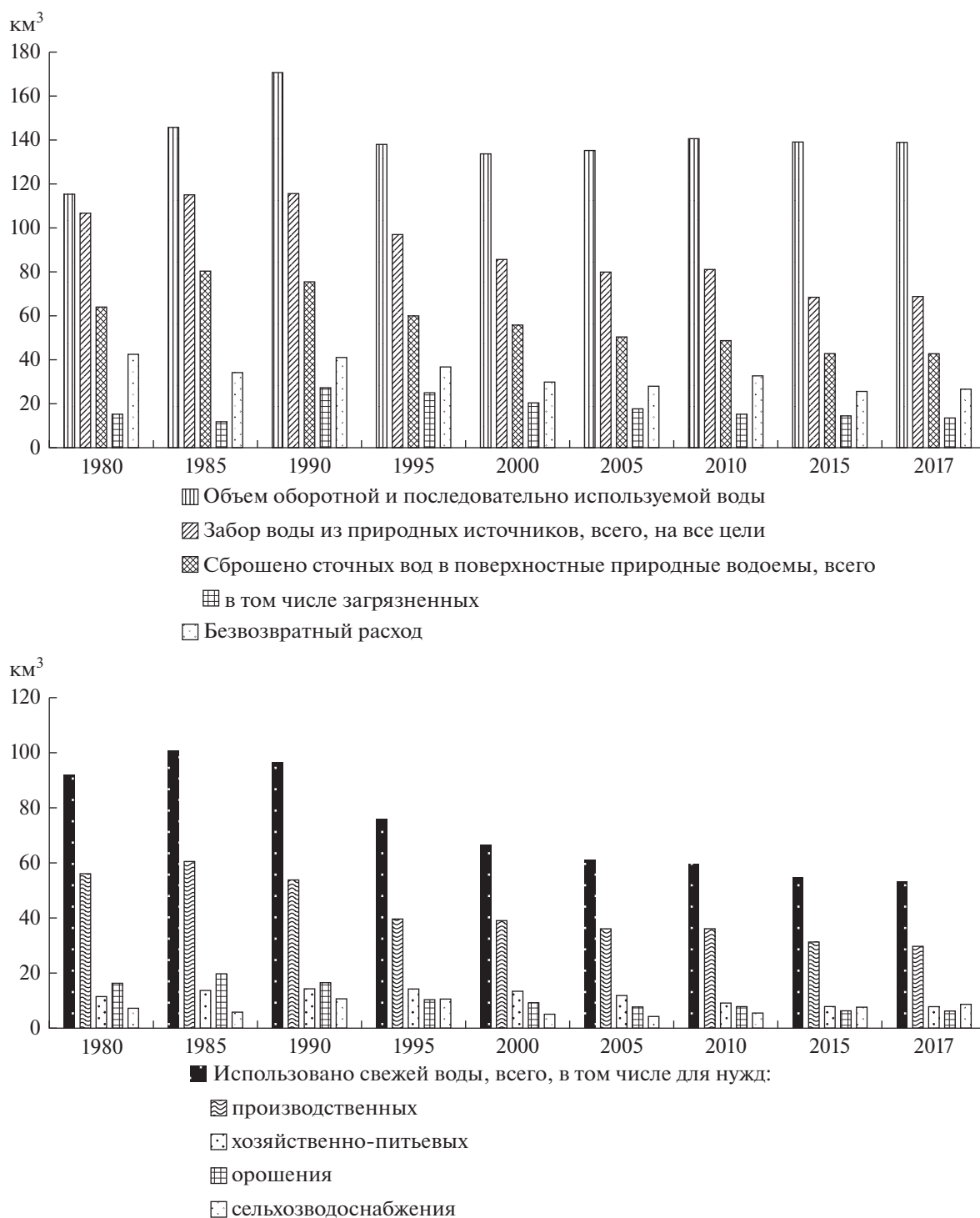


Рис. 3. Динамика использования водных ресурсов России в 1980–2017 гг.

ОБЩЕЕ АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Помимо гидротехнического воздействия и водозабора, на водные ресурсы оказывают влияние и другие факторы — такие, как агротехнические

мероприятия на водосборах, урбанизация, лесное хозяйство, рекреация и пр. В данной работе влияние этих факторов не рассматривается, исходя из того, что согласно [15] они часто “взаимокомпенсируются”. Однако этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Таблица 1. Изменение водозабора (1), безвозвратного расхода (2) и сброса сточных вод (3) в федеральных округах России в начале XXI в.

Федеральный округ	2001–2016 гг.				2001–2008 гг.				2009–2016 гг.			
	показатель, млн м ³	доля от общего, %	в сравнении с 1990 г.*, %	показатель, млн м ³	доля от общего, %	в сравнении с 1990 г.*, %	показатель, млн м ³	доля от общего, %	показатель, млн м ³	доля от общего, %	в сравнении с 1990 г.*, %	показатель, млн м ³
Центральный	1	13079	17.0	66.7	13733	16.9	70.1	12424	17.1	63.4	12424	17.1
	2	4431	15.8	79.4	4388	15.2	78.7	4474	16.5	80.2	4474	16.5
	3	8648	17.7	61.7	9345	17.9	66.7	7950	17.5	56.7	7950	17.5
Северо-Западный	1	11790	15.3	78.4	12434	15.3	82.7	11146	15.4	74.1	11146	15.4
	2	517	1.8	63.2	661	2.3	80.8	373	1.4	45.6	373	1.4
	3	11273	23.1	79.2	11773	22.5	82.8	10773	23.7	75.7	10773	23.7
Южный и Северо-Кавказский**	1	24783	32.2	61.7	26036	32.1	64.8	23531	32.4	58.5	23531	32.4
	2	16102	57.5	77.2	16606	57.7	79.6	15599	57.4	74.8	15599	57.4
	3	8681	17.8	44.9	9430	18.0	48.8	7932	17.5	41.0	7932	17.5
Приволжский	1	10583	13.8	61.2	11426	14.1	66.1	9740	13.4	56.3	9740	13.4
	2	2594	9.3	42.9	2763	9.6	45.7	2425	8.9	40.1	2425	8.9
	3	7989	16.3	71.1	8663	16.5	77.1	7315	16.1	65.1	7315	16.1
Уральский	1	4891	6.4	85.0	4890	6.0	85.0	4892	6.7	85.0	4892	6.7
	2	1755	6.3	69.5	1657	5.8	65.6	1853	6.8	73.3	1853	6.8
	3	3136	6.4	97.2	3233	6.2	100.2	3039	6.7	94.2	3039	6.7
Сибирский	1	9561	12.4	65.8	10429	12.9	71.7	8693	12.0	59.8	8693	12.0
	2	1951	7.0	50.1	2138	7.4	54.9	1764	6.5	45.3	1764	6.5
	3	7610	15.6	71.5	8291	15.8	77.9	6929	15.3	65.1	6929	15.3
Дальневосточный	1	2121	2.8	57.2	2198	2.7	59.3	2044	2.8	55.2	2044	2.8
	2	612	2.2	51.0	583	2.0	48.6	642	2.4	53.5	642	2.4
	3	1509	3.1	60.2	1615	3.1	64.5	1402	3.1	56.0	1402	3.1
Россия	1	76853	100.0	66.2	81147	100.0	69.9	72559	100.0	62.5	72559	100.0
	2	27987	100.0	68.4	28797	100.0	70.4	27176	100.0	66.4	27176	100.0
	3	48866	100.0	65.0	52350	100.0	69.6	45383	100.0	60.4	45383	100.0

Примечание. * Данные за 1990 г. для федеральных округов рассчитаны по субъектам РФ, входящим в них по состоянию на 2020 г.; ** суммарные данные по Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам в связи с изменением их границ в рассматриваемый период.

Таблица 2. Отношение показателей водопотребления России и федеральных округов в 1990 г. и в начале XXI в. к ресурсам среднего многолетнего речного стока, %

Федеральный округ	Показатели водопотребления	1990 г.*	2001–2016 гг.	2001–2008 гг.	2009–2016 гг.
Центральный	Водозабор	15.6	9.8	10.2	9.4
	Сброс сточных вод	11.1	6.5	7.0	6.0
	Безвозвратный расход	4.5	3.3	3.3	3.4
Северо-Западный	Водозабор	2.5	1.8	1.8	1.8
	Сброс сточных вод	2.3	1.7	1.7	1.7
	Безвозвратный расход	0.2	0.1	0.1	0.1
Южный и Северо-Кавказский**	Водозабор	12.6	7.7	7.9	7.6
	Сброс сточных вод	6.1	2.7	2.8	2.6
	Безвозвратный расход	6.5	5.0	5.1	5.0
Приволжский	Водозабор	6.4	3.6	3.6	3.5
	Сброс сточных вод	4.1	2.7	2.8	2.6
	Безвозвратный расход	2.3	0.9	0.8	0.9
Уральский	Водозабор	1.0	0.8	0.8	0.8
	Сброс сточных вод	0.5	0.5	0.5	0.5
	Безвозвратный расход	0.5	0.3	0.3	0.3
Сибирский	Водозабор	1.1	0.7	0.7	0.7
	Сброс сточных вод	0.8	0.5	0.5	0.5
	Безвозвратный расход	0.3	0.2	0.2	0.2
Дальневосточный	Водозабор	0.2	0.1	0.1	0.1
	Сброс сточных вод	0.1	0.1	0.1	0.1
	Безвозвратный расход	0.1	>0.1	>0.1	>0.1
ФО в сумме, в том числе:	Водозабор	2.7	1.7	1.8	1.6
	Сброс сточных вод	1.8	1.1	1.2	1.0
	безвозвратный расход	0.9	0.6	0.6	0.6
ЕТС	Водозабор	7.0	4.3	4.4	4.2
	Сброс сточных вод	4.4	2.6	2.7	2.5
	Безвозвратный расход	2.6	1.7	1.7	1.7
АТС	Водозабор	0.6	0.4	0.4	0.4
	Сброс сточных вод	0.4	0.3	0.3	0.3
	Безвозвратный расход	0.2	0.1	0.1	0.1

Примечание. * Данные за 1990 г. для федеральных округов рассчитаны по субъектам РФ, входящим в них по состоянию на 2020 г.; ** суммарные данные по Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам в связи с изменением их границ в рассматриваемый период.

На современном этапе в России в результате водозабора и строительства водохранилищ величина среднего многолетнего стока уменьшается на величину менее 1% [22]. Однако такое уменьшение оценивается в 5.5% в Южном и Северо-Кавказском ФО, 6.4% — в Приволжском ФО, 5.3% — в бассейне Волги и 12.3% — в бассейне Дона. В маловодные годы водохозяйственная и гидроэкологическая ситуации обостряются, поскольку доля уменьшения стока резко возрастает. Так, по отношению к диапазону изменений стока за 2003–2015 гг. среднее антропогенное измене-

ние стока на уровне 2015 г. составляет в Центральном округе более 5%, в Южном и Северо-Кавказском — почти 12%, в бассейне Дона — около 20%. Заметим, что средние значения для федеральных округов не дают полного представления о водохозяйственной и гидроэкологической ситуациях в регионах. Например, в Ростовской области складывается очень напряженная ситуация.

Снижение притока в озера вследствие его разбора на хозяйственные нужды приводит к нарушению водного баланса, обмелению небольших водоемов и снижению грунтовых вод. Как пока-

Таблица 3. Кратность разбавления сточных вод ресурсами речного стока, раз

Федеральный округ, река	1990 г.*	2001–2016 гг.	2001–2008 гг.	2008–2016 гг.
Центральный	9	14	13	15
Северо-Западный	43	54	52	56
Южный и Северо-Кавказский**	15	35	32	38
Приволжский	24	34	31	37
Уральский	184	190	184	196
Сибирский	124	173	159	190
Дальневосточный	737	1225	1144	1317
р. Северная Двина	98	168	149	193
р. Печора	270	385	355	420
р. Дон	3	7	6	7
р. Волга	10	16	14	18
р. Кубань	1	2	1	2
р. Терек	3	14	9	27
р. Обь	51	59	55	65
р. Енисей	125	251	226	281
р. Лена	1971	2211	2043	2410
р. Амур	433	483	420	568
Россия	56	87	81	93
ЕТС	22	36	33	38
АТС	230	307	286	331

Примечание. * Данные за 1990 г. для федеральных округов рассчитаны по субъектам РФ, входящим в них по состоянию на 2020 г.; ** суммарные данные по Южному и Северо-Кавказскому федеральным округам в связи с изменением их границ в рассматриваемый период.

зало сравнение данных по современным площадям озер России с предшествующими оценками, в том числе с данными [22], в некоторых регионах за последние полстолетия произошло снижение площади естественных водоемов. В центральной и южной частях Европейской России исчезло до 20% и более малых водоемов. Снижение озерного фонда наиболее выражено в районах активного гидростроительства, являющихся и районами наиболее значимого антропогенного воздействия на природу.

Наряду с количественными изменениями водных ресурсов, происходит и снижение их качественных характеристик, связанное со сбросами в водоемы и водотоки сточных вод. При этом опасность представляют не только загрязненные сточные воды, но и так называемые условно чистые. В России, как следует из рис. 3, к 2017 г. по сравнению с 1990 г. объем сточных вод снизился на 57% – до 42.6 км³/год, из них загрязненных – до 13.6 км³/год (32%). Согласно табл. 2, на уровне 1990 г. доля сточных вод в речном стоке была наибольшей в Центральном ФО (11%), в начале XXI в. лидерство округа сохранилось, хотя доля сточных вод снизилась до 6%.

Еще одним показателем загрязнения водоемов и водотоков может служить кратность разбавления сточных вод речным стоком, представленная в табл. 3. Наименьшая кратность разбавления сточных вод – в Центральном, Южном, Северо-Кавказском, а также в Приволжском ФО. Наименьшая кратность разбавления сточных вод среди крупных рек России характерна для Дона, Кубани, Терека, Волги. Гораздо более благополучной выглядит ситуация для северных европейских, сибирских и дальневосточных рек. Однако, если судить по данным непосредственного определения качества воды (табл. 4), они также загрязнены из-за недостаточной очистки сточных вод, влияния диффузного загрязнения (практически не учитываемого статистикой) и судоходства, а также относительно невысокой самоочищающей способности водоемов и рек в северных регионах.

В отличие от речных вод, характеризующихся быстрой возобновляемостью, озера аккумулируют поступающее в них загрязнение. Антропогенная активность вызывает ускорение процессов эвтрофирования, заиления и ацидификации озерных экосистем, приводит к токсическому загрязнению вод. В свою очередь все эти процессы ведут к изменению водных сообществ, чаще всего в сто-

Таблица 4. Характеристика качества воды основных рек России*

Река	Качество воды
Восточный склон территории России:	
Амур	От условно чистой до грязной
Реки Камчатки	От условно чистой до слабо загрязненной
Реки Сахалина	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Южный склон территории России:	
Урал	От слабо загрязненной до загрязненной
Волга	От загрязненной до экстремально грязной
Ока	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Москва	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Терек	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Дон	От загрязненной до экстремально грязной
Кубань	От слабо загрязненной до грязной
Днепр	От слабо загрязненной до грязной
Западный склон территории России:	
Нева	От слабо загрязненной до загрязненной
Северный склон территории России:	
Северная Двина	От слабо загрязненной до грязной
Печора	От слабо загрязненной до грязной
Реки Кольского полуострова	От загрязненной до экстремально грязной
Обь	От слабо загрязненной до экстремально грязной
Енисей	Загрязненная
Лена	От условно чистой до грязной

Примечание. * По [20].

рону их упрощения. Как указывалось в [22], на экологическом состоянии крупнейших водоемов, характеризующихся повышенной буферной способностью и обладающих значительной емкостью, прежде всего, сказываются антропогенное эвтрофирование и токсическое загрязнение, тогда как для малых, средних, а также крупных мелководных озер опасны все процессы.

Оценка изменений озерных экосистем была проведена для всех регионов России [13]. В ее основу положен анализ современных лимнологических данных о функционировании озерных экосистем в разных природных условиях и их реакции на антропогенную нагрузку. Экологические проблемы особенно резко выражены в водоемах Центрального, Приволжского и Южного ФО, характеризующихся наибольшей заселенностью и хозяйственной освоенностью территории и обладающих небольшим фондом естественных водоемов. Большинство водоемов центра и юга ЕТС испытывает проблемы, связанные с эвтрофированием и токсическим загрязнением. Для многих водоемов Приволжского и Южного ФО характерны также высокие скорости заиливания.

Снижение речного притока приводит как к исчезновению небольших озер, так и к преобразованиям достаточно крупных, в том числе лагун и лиманов Черноморского и Азовского побережий. В условиях недостаточного увлажнения, характерного для большей части Южного и Северо-Кавказского ФО, обмеление сопровождается ростом солености воды и ухудшением ее качества. В последние десятилетия значительное снижение качества воды происходит не только в озерах центра и юга ЕТС, но и в водоемах ранее благополучных регионов, таких как Архангельская область, Ненецкий АО, Республика Коми и запад Сибири.

Существенные изменения в связи с длительной антропогенной нагрузкой произошли в экосистемах ряда озер среднего и южного Урала, Западной и Восточной Сибири. Арктические озера характеризуются малой устойчивостью к загрязнениям.

Суммарная оценка качества вод [12], проведенная для всех крупнейших водоемов страны, свидетельствует, что доля олиготрофных вод в больших озерах с начала XX в. по настоящее время сократилась более чем на 4%, а вод 1 класса качества — на 5%. Основная масса озерных вод стра-

ны (>95%) сконцентрирована в нескольких крупнейших глубоководных водоемах, в которых загрязнение пока затрагивает лишь прибрежную зону. Только в оз. Байкал сосредоточен 91% озерных вод России. Экологическое состояние многих крупных речных водохранилищ несравнимо хуже.

В озерах и водохранилищах Центрального, Приволжского, Южного и Северо-Кавказского ФО практически отсутствуют воды, которые можно было бы характеризовать как условно-чистые. Большинство из них наполняют воды 3 и 4, а в ряде случаев и 5 класса качества. Так, доля вод 5 класса качества в водоемах Северо-Кавказского ФО составляет ~11%. Мезотрофные воды доминируют в озерах и водохранилищах Центрального и Приволжского ФО, эвтрофные – Южного и Северо-Кавказского ФО. Доля гипертрофных вод невелика, наибольшая она в водоемах Южного ФО (~9%).

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ И ПУТИ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ

Под эффективным в данной статье понимается экономное, экологичное, соответствующее передовым технологиям использование водных и связанных с ними земельных и других ресурсов. Конечно, эти технологии должны учитывать природные и хозяйственные особенности каждого региона. Эффективность использования водных ресурсов можно оценивать по-разному, в том числе по размерам душевого водопотребления, расхода воды на единицу производимой продукции, на единицу площади орошаемых земель и др. Начиная с работ Н.Ф. Глазовского [5], в

России получила распространение оценка эффективности использования воды по показателю водоемкости, рассчитываемому как отношение использованной воды (в м³) к величине регионального валового продукта (в долларах или в рублях). Необходимо отметить, что СССР сильно отставал от ведущих стран мира по данному показателю, расходуя слишком много воды на единицу ВВП. Как уже было отмечено [22], этот показатель не лишен недостатков, в частности, он не учитывает специфики природных условий и связанной с ними структуры водопотребления. Он заведомо больше в странах, в структуре водопотребления которых основное место принадлежит орошаемому земледелию, и, соответственно, меньше в странах, в экономике которых преобладают машиностроение или торговля. Необходимо отметить, что в СССР одну из ведущих ролей в водопотреблении играло как раз орошаемое земледелие, прежде всего за счет его широкого развития в южных республиках. В России расходование воды в орошаемом земледелии не столь велико, поэтому ее место в рейтинге стран по удельному водопотреблению существенно выше, чем было у СССР. Изменения в структуре водопотребления России после распада СССР произошли в сторону преобладания менее водоемких производств. Скорость снижения водопотребления стала опережать падение валового продукта, и удельное водопотребление в расчете на единицу ВВП (ВРП) стало снижаться. Показатель общего удельного водопотребления, рассчитываемого по отношению расхода воды к величине ВВП по паритету покупательной способности (ППС) в долларах (рис. 4), по данным Международного валютного фонда (МВФ), к 2017 г. снизился в 5 раз по сравнению с 2000 г., а по данным Всемирного банка

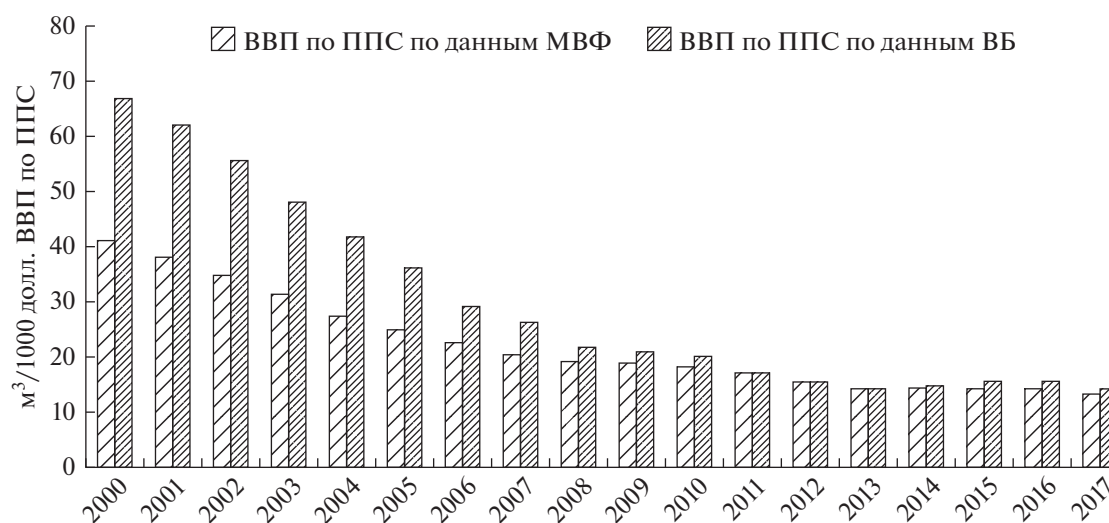


Рис. 4. Динамика удельного общего водопотребления в России (м³/1000 долл. ВВП по ППС) по оценкам МВФ и ВБ.

(ВБ) — приблизительно в 3 раза. На 1000 долл. ВВП в последние годы в России воды расходуется в 1.4 раза меньше, чем, например, в США, в два раза меньше, чем в мире в целом [19, 24].

Наименьшее удельное водопотребление отмечается в Центральном ФО с развитой промышленностью и сферой услуг — $0.43 \text{ м}^3/1000 \text{ руб. ВРП}$, а наибольший — в Северо-Кавказском ФО (5.8), где велика доля орошаемого земледелия. Как указывалось [22], Россия достигла высоких показателей во внедрении оборотного водоснабжения в промышленности, до 70–80% используемой воды приходится на оборотные системы водоснабжения. Несмотря на ряд лучших (по сравнению с мировыми) показателей использования воды, во многом обусловленных северным расположением и соответствующей структурой водопользования, использование водных ресурсов в России нельзя в целом признать высокоэффективным, хотя бы из-за того, что более 10% забранной воды теряется на пути к потребителю, из-за загрязнения водных ресурсов, наличия острых водохозяйственных и гидроэкологических проблем в ряде регионов страны, а также из-за больших изъятий земельных ресурсов при гидротехническом строительстве.

На Россию, занимающую 13% территории суши, приходится 16% площади водохранилищ мира, то есть затопление земель при их создании в среднем в 1.2–1.3 раза превысило общемировые показатели. Если сравнить площадь затопления, приходящуюся на 1 км^3 полного и полезного объемов, то в России она составляет около 60 и 138 км^2 соответственно, тогда как для мира в целом — 56 и 90 км^2 .

Конечно, в настоящее время создание новых крупных водохранилищ на равнинных территориях практически исключено, оно будет происходить в горных районах, где удельное затопление земель невелико. В равнинных же условиях перспективно дальнейшее строительство малых водохранилищ и прудов. В помощь им в регулировании стока можно рекомендовать правильную организацию водосбора с разумным чередованием лесных и безлесных участков, проведение агролесомелиоративных мероприятий по задержанию на полях поверхностного стока. Вместе с тем, спуск ранее созданных на равнине водохранилищ, таких как водохранилища Волжско-Камского каскада, Цимлянское, к чему призывают некоторые исследователи, нецелесообразен, что хорошо показал еще А.Б. Авакян [1].

Значительные возможности дальнейшего повышения эффективности использования водных ресурсов в орошении кроются в широком применении капельного и внутрипочвенного орошения, как это уже сейчас практикуется во многих хозяйствах Астраханской области.

Ранее нами уже публиковались [22] данные вариантного прогноза водопотребления на уровне 2030–2035 гг. в федеральных округах, сочетающие сценарии экономического развития и удельного водопотребления. Их результаты представлены на рис. 5. Рассматривались следующие сценарии экономического развития: максимальное развитие экономики (при росте промышленного производства в предстоящие 10–15 лет на 4% ежегодно, хозяйственно-бытового сектора на 10% к концу расчетного периода; сельскохозяйственного водоснабжения и орошаемого земледелия, а также прочих нужд — на 3% ежегодно) при существующем водопотреблении; умеренное развитие экономики (при росте промышленного производства на 2%, хозяйственно-бытового сектора — на 3% к концу расчетного периода, сельскохозяйственного водоснабжения и орошаемого земледелия, а также прочих нужд — на 1% ежегодно) при максимальном снижении водопотребления (удельное водопотребление снижается к 2030–2035 гг. в промышленности в 1.5 раза, в хозяйственно-бытовом секторе — на 20%, в сельскохозяйственном водоснабжении, орошении и на прочие нужды — в 1.3 раза); экстраполяционный вариант, исходящий из современных тенденций водопотребления. Очевидны гидроэкологические преимущества сценария, подразумевающего умеренное развитие экономики при максимальном снижении удельного водопотребления.

Важнейшим показателем эффективности использования водных ресурсов является уровень их загрязнения. В этой связи необходимо постоянно совершенствовать системы очистки сточных вод. При этом следует также учесть запатрирование новых технологий очистки по сравнению с появлением новых загрязняющих веществ. Также необходимо критично отнестись к практике ориентирования на самоочищающую способность рек и водоемов. Даже очищенные сточные воды нуждаются в дальнейшем многократном разбавлении чистой водой, объемов которой часто недостаточно.

Уже с конца XX в. стало очевидно [17, 18], что наиболее радикальным средством борьбы с загрязнением вод промышленными сточными водами является максимально возможный переход на замкнутые циклы водоснабжения без сброса сточных вод в водные объекты и безводные технологии. Данный путь решения экологических проблем является дорогостоящим, но он представляется наиболее перспективным. Борьба с диффузным загрязнением (прежде всего сельскохозяйственные стоки) включает проведение системы агротехнических и лесомелиоративных мероприятий на водосборах, что требует меньших денежных, но значительных трудовых вложений. К снижению диффузного выноса биогенов также приводит переработка навоза на установках по

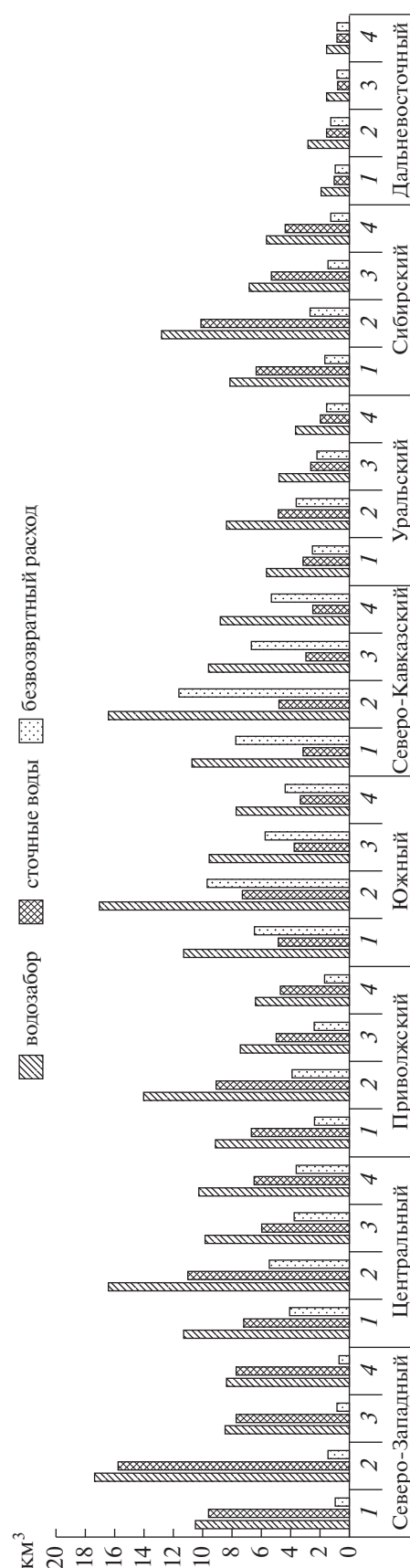


Рис. 5. Сценарии возможного водопотребления в федеральных округах России на уровне 2030–2035 гг. Условные обозначения: 1 – современный водозабор; 2 – максимальное развитие экономики при существующем удельном водопотреблении; 3 – умеренное развитие экономики при максимальном снижении удельного водопотребления; 4 – экстраполяционный вариант.

производству биогаза. Целый ряд мер по повышению эффективности использования водных ресурсов содержится в работах [3, 9, 10, 16].

Необходимы и дополнительные меры для поддержания экологического здоровья озерных экосистем. При этом если экологическое состояние крупнейших озер уже давно является объектом пристального внимания, то внимание к малым водоемам крайне недостаточное. Актуально усилить внимание к экологическому состоянию озер, расположенных в регионах с наибольшей плотностью населения. Количество озер, уже получивших охранный статус, могло бы быть расширено. Для сохранения озер и улучшения их состояния требуются регулярные мониторинговые работы, проводимые на всех водоемах, получающих охранной статус, которые в настоящее время фактически не проводятся. Для получения дополнительного финансирования таких работ может быть учтен европейский опыт платных услуг, предоставляемых на большинстве водоемов, имеющих рекреационный интерес. Владелец права на предоставление таких услуг, во-первых, должен будет нести ответственность за поддержание водоема на должном экологическом уровне, во-вторых, при строгом контроле его деятельности он будет заинтересован в разработке мер по его оздоровлению.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совместное рассмотрение ресурсов рек, озер и водохранилищ показывает, что Россия располагает очень большими суммарными запасами воды. Однако они, как и их использование, крайне неравномерно распределены по территории и во времени.

Созданные в России водохранилища позволяют регулировать более 7% годового речного стока и свыше 12% стока половодья. Переброски стока сравнительно невелики. Водозабор в России на различные нужды составил в 2009–2016 гг. в среднем около 73 км³/год, безвозвратный расход – 27 км³/год, а сброс сточных вод в реки и водоемы – немногим более 45 км³/год, что составляет несколько более 60% наибольших их объемов на уровне 1990 г. Совокупное уменьшение стока в результате водозабора и влияния водохранилищ оценивается менее чем в 1% величины среднего многолетнего стока России. Однако в ряде речных бассейнов, особенно в южной части европейской территории страны, это уменьшение значительно выше.

Главную угрозу для водных объектов представляет их загрязнение сточными водами и стоком, поступающим с водосборов. Загрязнены воды большинства крупных рек России и многих водоемов, хотя крупнейшие озера (Байкал, Ладож-

ское, Онежское) остаются пока относительно чистыми.

Наиболее напряженная водохозяйственная и гидроэкологическая ситуация складывается на Северном Кавказе, в устьевых частях Волги и Дона, в Крыму.

Показатель общего удельного водопотребления, рассчитываемый по отношению расхода воды к величине ВВП, снизился к 2017 г. по сравнению с 2000 г. в 3–5 раз (по разным оценкам). Однако использование водных ресурсов в России все еще нельзя считать эффективным из-за большого объема непроизводительных ее расходов, загрязнения многих рек и водоемов, неблагоприятной гидроэкологической и водохозяйственной ситуацией в целом ряде регионов.

Вместе с тем, как показывают и сценарные расчеты на уровень 2030–2035 гг., существует реальная возможность исправить существующую ситуацию за счет улучшения очистки сточных вод, более широкого внедрения систем оборотного водопользования, перехода к маловодным и безводным технологиям и др. Наряду с разработкой технических решений необходимо также совершенствование системы гидрологического мониторинга, юридических и правовых мер по охране водного элемента окружающей среды, повышение уровня гидроэкологических знаний населения, особенно лиц, принимающих решения.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИНОЗ РАН по темам № 0154-2018-0004 и № 0154-2014-0005 (оценка водных ресурсов водоемов), Государственного задания ИГРАН № 0148-2019-0007 (оценка водных ресурсов речного стока) и при поддержке РФФИ грант № 18-05-00479 (анализ антропогенного воздействия на водные ресурсы)

FUNDING

The work was carried out within the framework of the state-ordered research themes of the Institute of Limnology RAS (no. 0154-2018-0004, no. 0154-2014-0005), the Institute of Geography RAS (no. 0148-2019-0007), and with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-05-00479).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б. Народнохозяйственные и экологические последствия спуска водохранилищ // Гидротехническое строительство. 1991. № 8. С. 1–8.
2. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия. М.: Наука, 2003. 368 с.
3. Болгов М.В., Демин А.П. Водохозяйственные и экологические проблемы Нижней Волги и пути их решения // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 2. С. 211–220.
4. Водные ресурсы России и их использование / ред. И.А. Шикломанов. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
5. Глазовский Н.Ф. Глобальные закономерности распределения ресурсоемкости экономики // Изв. РАН. Сер. геогр. 1992. № 3. С. 12–22.
6. Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 г.”. М.: НИИ-Природа, 2017. 650 с.
7. Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 г.”. М.: НИИ-Природа, 2018. 660 с.
8. Государственный доклад “О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 г.”. М.: НИИ-Природа, 2019. 290 с.
9. Данилов-Данильян В.И. Водные ресурсы России: состояние, использование, охрана, проблемы управления // Экономика. Налоги. Право. 2019. Т. 12. № 5. С. 18–31.
10. Данилов-Данильян В.И., Веницианов Е.В., Аджиенко Г.В., Козлова М.А. Оценка современных подходов к управлению качеством поверхностных вод и их охране // Вестн. РАН. 2019. Т. 89. № 12. С. 1248–1259.
11. Добровольский С.Г., Истомина М.Н. Наводнения мира. М.: ГЕОС, 2006. 225 с.
12. Дракובה В.Г., Измайлова А.В. Оценка изменения состояния вод крупнейших озер и водохранилищ Российской Федерации // География и природные ресурсы. 2014. № 4. С. 22–29.
13. Измайлова А.В. Озера России. Закономерности распределения, ресурсный потенциал. СПб.: Папирус, 2018. 288 с.
14. Измайлова А.В. Удельная водообеспеченность и озерный фонд регионов водного дефицита // Водное хозяйство России. 2019. № 5. С. 6–24.
15. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Георгиади А.Г., Долгов С.В., Зайцева И.С., Кашутин Е.А., Мельник К.С. Гидрология антропогенного направления: становление, методы, результаты // Изв. РАН. Сер. геогр. 2017а. № 2. С. 8–23.
16. Косолапов А.Е., Матвеева Л.Г. Управление эффективностью водообеспечения региональной системы // Региональная экономика. Юг России. 2018. № 4. С. 170–181.
17. Ласкорин Б.Н., Громов Б.В., Цыганков А.П., Сенин В.Н. Проблемы развития безотходных производств. М.: Стройиздат, 1981. 207 с.
18. Львович М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974. 448 с.
19. Мировой Атлас Данных. Мировая и региональная статистика, национальные данные, карты и рейтинги. <http://knoema.ru/atlas>
20. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2017. 216 с.
21. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. (Ежегодное издание) 2016 г. М.: ООО “РПЦ Офорт”, 2017. 164 с.

22. Румянцев В.А., Коронкевич Н.И., Измайлова А.В., Георгиади А.Г., Зайцева И.С., Барабанова Е.А., Долгов С.В., Корнеенкова Н.Ю. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и пути минимизации их негативных последствий // Эколого-географические проблемы перехода к зеленой экономике. Минск: СтройМедиаПроект, 2019. С. 193–209.
23. Шикломанов И.А., Маркова О.Л. Проблемы водных ресурсов и перебросок стока в мире. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 196 с.
24. FAO: AQUASTAT database. www.fao.org/nr/water
25. World Water Resources at the Beginning of 21st Century / Shiklomanov I.A., Rodda J.C. (Ed.). Cambridge Univ. Press, 2003. 450 p.

Water Resources of Rivers, Lakes and Reservoirs of Russia and Anthropogenic Impacts on Them

V. A. Rumyantsev¹, N. I. Koronkevich^{2, *}, A. V. Izmailova^{1, **}, A. G. Georgiadi², I. S. Zaitseva²,
E. A. Barabanova², V. G. Drabkova¹, and N. Yu. Korneenkova¹

¹*Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

²*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

*e-mail: hydro-igras@yandex.ru

**e-mail: ianna64@mail.ru

The article provides a comprehensive assessment of the water resources of Russia, considering the river runoff, as well as the waters of lakes and reservoirs. The assessment indicates that, with their total large quantity, they are very unevenly distributed and used over the territory and in time. Water resources for the federal subjects of the Russia are estimated. Maps of specific water availability for the federal subjects have been drawn, areas with low water availability have been identified. The recent changes occurring with water resources under the influence of anthropogenic factors and the effectiveness of their modern use are analyzed. A significant decrease in water consumption has been revealed to date compared to 1990, when it was the highest. The pollution of river and lake waters is considered. It is shown that the anthropogenic load on Russia's water resources is generally lower than the global average, and a number of indicators of water use and water resources condition is better. A significant decrease in specific water consumption in relation to GDP in recent years has been revealed. However, in Russia there are still large volumes of unproductive water consumption, many rivers and water bodies are polluted. The hydroecological and water management situation is unfavorable in a number of regions, especially in the North Caucasus, in the lower reaches of the Volga and Don rivers. A scenario assessment of possible water consumption in the federal districts of Russia at the level of 2030–2035, combining scenarios of economic development and specific water consumption, is given. It is shown that the most acceptable scenario is one that assumes moderate economic development and a further decrease in specific water consumption. Ways to minimize the negative consequences of anthropogenic impact on water resources are outlined.

Keywords: water resources of Russia, lake ecosystems, river runoff, water use, wastewater, water consumption, water availability, water use efficiency

REFERENCES

1. Avakyan A.B. Economic and environmental consequences of reservoir discharge. *Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo*, 1991, no. 8, pp. 1–8. (In Russ.).
2. *Antropogennyye vozdeystviya na vodnye resursy Rossii i so-predel'nykh gosudarstv v kontse XX stoletiya* [Anthropogenic Impacts on Water Resources of Russia and Neighboring Countries at the End of the 20th Century]. Moscow: Nauka Publ., 2003. 368 p.
3. Bolgov M.V., Demin A.P. Water-management and environmental problems of the Lower Volga and ways to their solution. *Water Resour.*, 2018, vol. 45, pp. 297–305. doi 10.1134/S0097807818020033
4. *Vodnye resursy Rossii i ikh ispol'zovanie* [Water Resources of Russia and their Use]. Shiklomanov I.A., Ed. St. Petersburg: GGI Publ., 2008. 600 p.
5. Glazovskii N.F. Global patterns of distribution of resource intensity on the economy. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1992, no. 3, pp. 12–22. (In Russ.).
6. *Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2016* [State Report on “The State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2016”]. Moscow: NIA-Priroda Publ., 2016. 650 p.
7. *Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2017* [State Report on “The State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2017”]. Moscow: NIA-Priroda Publ., 2018. 660 p.
8. *Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchei sredy Rossiiskoi Federatsii v 2018* [State Report on the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2018”]. Moscow: NIA-Priroda Publ., 2019. 290 p.

9. Danilov-Danilyan V.I. Water resources of Russia: state, use, protection, management problems. *Ekonomika. Nalogi. Pravo*. 2019, vol. 12, no. 5, pp. 18–31. (In Russ.).
10. Danilov-Danilyan V.I., Venitsianov E.V., Adzhienko G.V., Kozlova M.A. Assessment of modern approaches to surface water quality management and protection. *Vestn. Ross. Akad. Nauk*, 2019, vol. 89, no. 12, pp. 1248–1259. (In Russ.).
11. Dobrovolskii S.G., Istomina M.N. *Navodneniya mira* [Floods of the World]. Moscow: GEOS Publ., 2006. 225 p.
12. Drabkova V.G., Izmailova A.V. Change in water condition of major lakes and reservoirs of Russia. *Geogr. Nat. Resour.*, 2014, vol. 35, pp. 319–325. doi 10.1134/S1875372814040039
13. Izmailova A.V. *Ozera Rossii: zakonomernosti raspredeleniya, resursnyi potentsial* [Lakes of Russia. Patterns of Distribution, Resource Potential]. St. Petersburg: Papyrus Publ., 2018. 288 p.
14. Izmailova A.V. Specific water availability and lake fund of water scarcity regions. *Vodn. Khozyaistvo Rossii: Probl., Tekhnol., Upravlenie*, 2019, no. 5, pp. 6–24. (In Russ.).
15. Koronkevich N.I., Barabanova E.A., Georgiadi A.G., Dolgov S.V., Zaitseva I.C., Kashutina E.A., Melnik K.S. Hydrology of the anthropogenic direction: formation, methods, results. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2017, no. 2, pp. 8–23. (In Russ.).
16. Kosolapov A.E., Matveeva L.G. Management of the efficiency of water supply of the regional system. *Reg. Ekon. Yug Rossii*, 2018, no. 4, pp. 170–181. (In Russ.).
17. Laskorin B.N., Gromov B.V., Tsyganov A.P., Senin V.N. *Problemy razvitiya bezotkhodnykh proizvodstv* [Problems of Development of Non-Waste Production]. Moscow: Stroiizdat Publ., 1981. 207 p.
18. L'vovich M.I. *Mirovye vodnye resursy i ikh budushchee* [World Water Resources and Their Future]. Moscow: Mysl' Publ., 1974. 448 p.
19. World Data Atlas. World and Regional Statistics, National Data, Maps, and Ratings. Available at: <http://knoema.ru/atlas> (accessed: 08.11.2020).
20. *Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchei sredy v Rossiskoi Federatsii* [Overview of the State and Environmental Pollution in the Russian Federation]. Moscow: Rosgidromet, 2017. 216 p.
21. *Resursy poverkhnostnykh i podzemnykh vod, ikh ispolzovanie i kachestvo. (Ezhegodnoe izdanie) 2016* [Resources of Surface and Groundwaters, Their Use and Quality. (Annual Edition) 2016]. Moscow: RPTs Ofort Publ., 2017. 164 p.
22. Rumyantsev V.A., Koronkevich N.I., Izmailova A.V., Georgiadi A.G., Zaitseva I.C., Barabanova E.A., Dolgov S.V., Korneenkova N.Yu. Anthropogenic impacts on Russia's water resources and ways to minimize their negative consequences. In *Ekologo-geograficheskie Problemy Perekhoda k Zelenoi Ekonomike* [Ecological and Geographical Problems of the Transition to Green Economy]. Minsk: StroiMediaProekt Publ., 2019, pp. 193–209. (In Russ.).
23. Shiklomanov I.A., Markova O.L. *Problemy vodnykh resursov i perebrosok stoka v mire* [Water Resources Problems and the Diversion of Runoff in the World]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1987. 196 p.
24. AQUASTAT – FAO's Global Information System on Water and Agriculture. FAO, 2020. Available at: <http://www.fao.org/aquastat/en/> (accessed: 08.11.2020).
25. *World Water Resources at the Beginning of the 21st Century*. Shiklomanov I.A., Rodda J.C., Eds. Cambridge University Press, 2003. 450 p.