

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В МИРЕ И НА КОНТИНЕНТАХ, ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ГОДОВОЙ РЕЧНОЙ СТОК

© 2022 г. Н. И. Коронкевич^{а,*}, Е. А. Барабанова^{а,**}, И. С. Зайцева^{а,***}

^аИнститут географии РАН, Москва, Россия

*E-mail: koronkevich@igras.ru

**E-mail: barabanova@igras.ru

***E-mail: zaitseva@igras.ru

Поступила в редакцию 22.07.2021 г.

После доработки 25.08.2021 г.

Принята к публикации 07.11.2021 г.

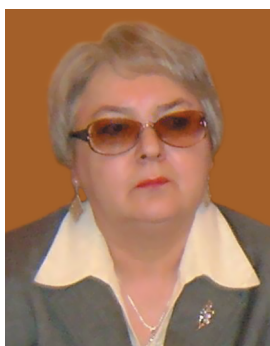
На основе двух прогнозных сценариев водопотребления на 2010 и 2025 гг. “условного” и “устойчивого развития”, подготовленных сотрудниками Государственного гидрологического института в начале текущего столетия, данных Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН авторами статьи рассчитано современное полное (водозабор) и безвозвратное водопотребление по отдельным континентам (частям света) и миру в целом. Рассмотрено водопотребление в сельском хозяйстве, промышленности, коммунальном секторе. Учтено дополнительное испарение с акваторий водохранилищ. Определено среднее годовое изменение полного и безвозвратного водопотребления за 2000–2017 гг., с его учётом дана оценка предполагаемого водопотребления в 2021 г. и изменения годового речного стока в результате безвозвратного изъятия воды. Определён объём сточных и возвратных вод и их разбавление ресурсами речного стока. Выявлена преобладающая роль Азии в мировом водопотреблении, главным образом за счёт использования воды в сельском хозяйстве, в основном в орошаемом земледелии. Также показано, что в мире в целом, а особенно в Азии, Европе и Северной Америке, невелика кратность разбавления сточных и возвратных вод речным стоком, что служит косвенным показателем загрязнения рек и водоёмов.

Ключевые слова: полное и безвозвратное водопотребление, сельское хозяйство, коммунальный сектор, промышленность, водохранилища, изменение речного стока, объём сточных и возвратных вод и их разбавление, мир, континенты.

DOI: 10.31857/S0869587322030057

Оценке водопотребления в регионах мира посвящено большое число публикаций. Однако лишь в малой их части рассматривается ситуация в мире в целом и на континентах (частях света), а если и рассматривается [1–9 и др.], то, как прави-

ло, за давние годы, причём с большим расхождением в методике получения итоговых результатов и оценках за одни и те же периоды, часто без учёта безвозвратного водопотребления (безвозвратно-го расхода воды). Между тем его оценка очень



КОРОНКЕВИЧ Николай Иванович – доктор географических наук, главный научный сотрудник Института географии РАН. БАРАБАНОВА Елена Алексеевна – кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории гидрологии Института географии РАН. ЗАЙЦЕВА Ирина Сергеевна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории гидрологии Института географии РАН.

важна для суждения о влиянии водопотребления на речной сток. Поясним, что безвозвратное водопотребление — это часть полного водопотребления (водозабора), которая после использования воды не возвращается в водные источники, уменьшая величину водных ресурсов, основную часть которых составляет речной сток. В полном водопотреблении доля безвозвратного колеблется в широких пределах в зависимости от вида и эффективности использования воды и природных условий. Так, при орошении земель она составляет в среднем 60–80%, в коммунальном секторе — 10–15%, в промышленности — 5–15%. В южных районах с большим дефицитом влажности доля безвозвратного водопотребления выше, чем в северных районах. Часть водозабора, которая возвращается в реки после использования (сточные воды промышленных предприятий и коммунального сектора, возвратные воды с орошаемых земель), оказывается одной из главных причин загрязнения рек и водоёмов.

Величины водопотребления, приводимые в указанных выше литературных источниках, базируются в значительной мере на статистических данных по отдельным странам, публикуемых в ежегодных отчётах международных организаций [10, 11], а также на данных AQUASTAT — глобальной информационной системы [12]. Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) по водным ресурсам и использованию воды. Система предоставляет свободный доступ более чем к 180 показателям и индикаторам по каждой стране с 1960 по 2017 г. Однако в сведениях по водопотреблению, базирующихся на данных ФАО, как правило, не учитываются безвозвратный её расход, потери от дополнительного испарения с акватории водохранилищ. Тем не менее эти сведения могут служить ориентиром при оценке достоверности обобщений и прогнозов водопотребления. Мы использовали их для проверки расчётов при анализе двух детальных сценариев водопотребления на 2010 и 2025 гг., выполненных в Государственном гидрологическом институте (ГГИ) [13]. Цель нашего исследования состояла в том, чтобы на основе этих двух сценариев, а также данных ФАО определить величину полного и безвозвратного водопотребления в мире и на континентах по состоянию на 2021 г., оценить изменение речного стока, долю сточных вод в нём и кратность их разбавления.

Каковы же особенности прогнозов, подготовленных сотрудниками ГГИ? Первый, так называемый условный сценарий (УС), предполагает развитие водопотребления по модели предшествующих десятилетий. Второй, сценарий устойчивого развития (СУР), предусматривает существенное повышение эффективности водопотребления, более экономное использование водных ресурсов. В обоих сценариях оценивается водопотреб-

ление в основных секторах экономики — сельском и коммунальном хозяйстве, промышленности, учитываются дополнительные потери воды на испарение с акваторий водохранилищ.

Оценка современного, на уровне 2021 г., водопотребления на континентах и в мире в целом выполнена нами в два этапа. Вначале были определены средние сценарные значения на 2010 и 2025 гг. (варианты 1 и 2), предположительно соответствующие водопотреблению на уровне 2017 г., и из двух вариантов вычислено среднее значение (вариант 3). При сопоставлении полученных результатов с данными ФАО за 2017 г. выявлялся наиболее достоверный вариант расчётов. Затем, уже с учётом величины полного и безвозвратного водопотребления, по существу, фактического в 2000 г. [13] и рассчитанного на 2017 г. по наиболее достоверному варианту, мы определили его среднегодовое изменение за период 2000–2017 гг. Допустив, что эта величина останется приблизительно той же и после 2017 г., рассчитали объём полного и безвозвратного водопотребления в последующие годы, в данном случае на уровне 2021 г.

Сопоставляя объём рассчитанного безвозвратного расхода воды с объёмом ресурсов речного стока (среднего, а также в маловодные годы), приведённом в работе [13], мы оценивали изменение современного годового речного стока в результате безвозвратных изъятий воды. По разнице полного и безвозвратного изъятия воды определялся объём сточных и возвратных вод, а при сопоставлении этого объёма с величиной речного стока (за вычетом безвозвратных изъятий) — кратность разбавления сточных и возвратных вод речным стоком, как ориентировочный показатель качества воды в реках и водоёмах.

Данные за 2000 г. и результаты расчётов ориентировочного полного и безвозвратного водопотребления за 2017 г. на континентах и в мире в целом представлены в таблицах 1 и 2. В таблице 3 приведены показатели водопотребления в 2017 г. (база данных AQUASTAT [12]). Сразу же отметим, что мировое водопотребление без учёта дополнительных потерь воды за счёт испарения с акваторий водохранилищ, по которым нет сведений в указанной базе, по первому варианту представляется завышенным, по второму — заниженным, тогда как результаты расчётов по третьему варианту наиболее достоверны. Так, полное водопотребление в мире по варианту 3 (без водохранилищ) составляет 4157 км³/год, а по данным ФАО — 4003 км³/год. Близки соответствующие значения и для большинства континентов — Азии, включая азиатскую часть России (2620 и 2655 км³/год), Северной Америки (639 и 604 км³/год), Африки (263 и 236 км³/год), Южной Америки (196 и 212 км³/год), Австралии и Океании (29 и 22 км³/год). Лишь для

Таблица 1. Водопотребление в мире по секторам экономики, км³/год

Сектор	Водопотребление	2000 г.	Условный сценарий, 2017 г. (вариант 1)	Сценарий устойчивого развития, 2017 г. (вариант 2)	Среднее из условного сценария и сценария устойчивого развития, 2017 г. (вариант 3)
Сельское хозяйство	Полное	2605	3003	2591	2797
	Безвозвратное	1834	2119	1830	1974
Коммунальное хозяйство	Полное	384	539	439	489
	Безвозвратное	52.8	67.4	62	64.7
Промышленность	Полное	776	1039	702	871
	Безвозвратное	87.9	143	105	124
Водоохранилища	Полное и безвозвратное	208	252	216	234
Всего	Полное	3973	4833	3948	4391
	Безвозвратное	2182	2581	2213	2397

Европы, включая европейскую часть России, различия весьма существенны (450 и 274 км³/год), в основном из-за сельского хозяйства. Данные по Европе различаются ещё больше, если ориентироваться на первый вариант расчётов. При расчётах по второму варианту расхождение несколько меньше, хотя также весьма значительно. Столь же существенное расхождение оценок отмечается и для 2000 г., за который, казалось бы, в источниках приводятся фактические данные [12–14].

Возвращаясь к мировому водопотреблению, отметим, что, помимо сходства величин полного водопотребления в основных секторах экономики по варианту 3 и данным ФАО, близка и рассчитанная по этим источникам структура полного водопотребления (рис. 1, 2). Это даёт основания считать третий вариант расчётов наиболее достоверным в оценке водопотребления на уровне 2017 г. Структура мирового водопотребления с учётом дополнительного испарения с акваторий водоохранилищ меняется незначительно. Незначительно её изменение и для большинства континентов, кроме Африки, где это испарение относительно велико (см. рис. 1, табл. 1).

Судя по основному, третьему варианту расчётов, как полное, так и безвозвратное мировое водопотребление к 2017 г. по сравнению с 2000 г. возросло почти на 11%, достигнув соответственно почти 4400 и более 2300 км³/год (см. табл. 1). Отметим, что в России за это время полное водопотребление снизилось с 85.9 до 68.9 км³/год, а без-

возвратное с 30.6 до 26.3 км³/год [15]. Рост водопотребления в мире обусловлен, главным образом, увеличением водопотребления в сельском хозяйстве (см. табл. 1). Так, при среднем изменении полного мирового водопотребления за указанный период на 24.6 км³/год, а безвозвратного на 12.6 км³/год в сельском хозяйстве произошёл рост на 11.3 и 8.2 км³/год соответственно, в коммунальном секторе – на 6.2 и 0.7 км³/год, промышленности – на 5.6 и 2.1 км³/год. Дополнительные потери на испарение за счёт создания новых водоохранилищ составили 1.5 км³/год.

Прирост мирового водопотребления произошёл в основном за счёт Азии (20.8 км³/год по полному водопотреблению и 9.1 км³/год по безвозвратному). В Африке соответствующее увеличение составило 3.3 и 1.3 км³/год, Южной Америке – 2.0 и 0.6, Европе – 0.16 и 1.5, Австралии и Океании – около 0.1 и 0.1 км³/год. В Северной Америке полное водопотребление снизилось на 1.9 км³/год при незначительном росте безвозвратного водопотребления на 0.13 км³/год.

Допуская, что среднее годовое водопотребление в мире и на континентах за 2000–2017 гг. сохранилось и в последующие после 2017-го годы, находим, что в 2021 г. оно составит величины, представленные в таблицах 4 и 5. То есть полное мировое водопотребление достигает почти 4500 км³/год, а безвозвратное 2450 км³/год. Структура мирового водопотребления 2017 г.

Таблица 2. Водопотребление по континентам, км³/год

Сектор	Водопотребление	Условный сценарий, 2017 г. (вариант 1)	Сценарий устойчивого развития, 2017 г. (вариант 2)	Среднее из условного сценария и сценария устойчивого развития, 2017 г. (вариант 3)
Европа				
Сельское хозяйство	Полное	205	163	184
	Безвозвратное	168	134	151
Коммунальное хозяйство	Полное	77	62	69
	Безвозвратное	10	9	9
Промышленность	Полное	249	144	196
	Безвозвратное	51	41	46
Водохранилища	Полное и безвозвратное	17	16	16
Всего	Полное	547	385	466
	Безвозвратное	245	200	222
Азия				
Сельское хозяйство	Полное	2175	1897	2036
	Безвозвратное	1542	1341	1442
Коммунальное хозяйство	Полное	269	211	240
	Безвозвратное	32	30	31
Промышленность	Полное	396	293	344
	Безвозвратное	61	37	49
Водохранилища	Полное и безвозвратное	100	82	91
Всего	Полное	2941	2482	2711
	Безвозвратное	1735	1490	1612
Африка				
Сельское хозяйство	Полное	170	142	156
	Безвозвратное	126	105	116
Коммунальное хозяйство	Полное	48	46	47
	Безвозвратное	5	7	6
Промышленность	Полное	16	22	19
	Безвозвратное	2	3	3
Водохранилища	Полное и безвозвратное	72	64	68
Всего	Полное	306	276	291
	Безвозвратное	206	179	192
Северная Америка				
Сельское хозяйство	Полное	304	268	286
	Безвозвратное	193	167	180
Коммунальное хозяйство	Полное	108	79	94
	Безвозвратное	14	11	12

Таблица 2. Окончание

Сектор	Водопотребление	Условный сценарий, 2017 г. (вариант 1)	Сценарий устойчивого развития, 2017 г. (вариант 2)	Среднее из условного сценария и сценария устойчивого развития, 2017 г. (вариант 3)
Промышленность	Полное	316	199	257
	Безвозвратное	20	18	19
Водохранилища	Полное и безвозвратное	36	32	34
Всего	Полное	765	581	673
	Безвозвратное	262	229	245
Южная Америка				
Сельское хозяйство	Полное	111	102	107
	Безвозвратное	77	70	73
Коммунальное хозяйство	Полное	51	37	44
	Безвозвратное	х	5	6
Промышленность	Полное	52	40	46
	Безвозвратное	8	6	7
Водохранилища	Полное и безвозвратное	23	17	20
Всего	Полное	237	196	216
	Безвозвратное	113	98	106
Австралия и Океания				
Сельское хозяйство	Полное	18	16	17
	Безвозвратное	14	12	13
Коммунальное хозяйство	Полное	4	3	4
	Безвозвратное	1	1	1
Промышленность	Полное	10	5	7
	Безвозвратное	1	1	1
Водохранилища	Полное и безвозвратное	6	5	5
Всего	Полное	38	30	34
	Безвозвратное	21	19	20

Таблица 3. Водопотребление в 2017 г., по данным ФАО, км³/год

Сектор	Европа	Азия	Африка	Северная Америка	Южная Америка	Австралия и Океания	Мир в целом
Сельское хозяйство	83.5	2172	186	268	150	13.8	2873
Коммунальное хозяйство	56.9	247	34.4	84.9	37.6	4.5	465
Промышленность	134	236	15.8	251	24.0	4.0	665
Всего	274	2655	236	604	212	22.0	4003

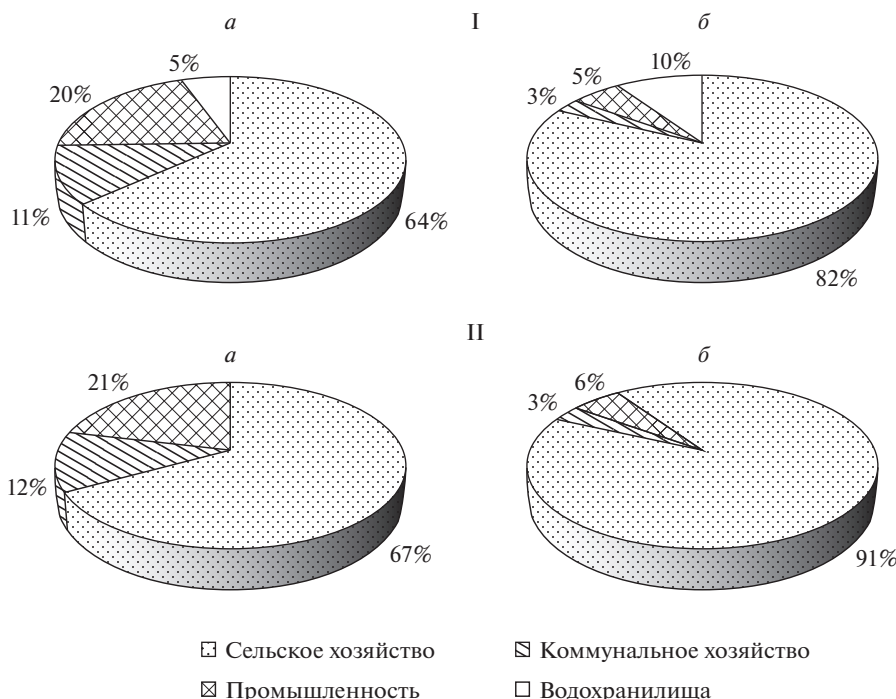


Рис. 1. Структура полного (а) и безвозвратного (б) водопотребления в мире на уровне 2017 г. по третьему варианту расчётов с учётом (I) и без учёта (II) водохранилищ

практически не меняется и в 2021 г. (см. рис 1а, 1б и табл. 4). Наибольший вклад в современное мировое водопотребление вносит азиатский континент – более 60% по полному водопотреблению и около 70% по безвозвратному. Остальные континенты значительно ему уступают (см. табл. 5).

С учётом данных ГГИ за 1900–2000 гг. нами составлен график изменения водопотребления вплоть до 2021 г., свидетельствующий о нарастании мирового водопотребления на протяжении XX–XXI вв. (рис. 3).

Сопоставление величины безвозвратного водопотребления с величиной среднего многолетнего речного стока и стока маловодного года (по

данным [13]) позволяет сделать вывод о сравнительно небольшом его влиянии на сток как в мире, так и на отдельных континентах (табл. 6), хотя в абсолютном измерении, в км³/год, мировое безвозвратное изъятие воды почти в 10 раз превосходит средний годовой сток Волги и почти в 100 раз – Дона. Наиболее велико безвозвратное изъятие воды в Азии (12–14% от величины речного стока), за счёт, главным образом, орошаемого земледелия. Меньше всего такое соотношение в Южной Америке, Австралии и Океании (порядка 1%). Можно полагать, что влияние безвозвратного водопотребления выражается в соответствующем уменьшении речного стока, а влияние других факторов соответствующего уменьшения или увеличения данных величин взаимно компенсируется. С одной стороны, следует иметь в виду, что часть воды забирается не из рек, а из подземных горизонтов и морей. Какая-то часть безвозвратного изъятия воды учитывается при расчёте норм стока. С другой стороны, часть сточных вод в коммунальном секторе и промышленности, а особенно в энергетике сбрасывается в водные объекты в подогретом состоянии и способствует увеличению безвозвратных потерь воды за счёт дополнительного испарения. В районах интенсивного водозабора из подземных горизонтов усиливается инфильтрация речных вод. Правомочность выполненной оценки изменения речного стока при водопотреблении нуждается в специальном исследовании. Гораздо более суще-

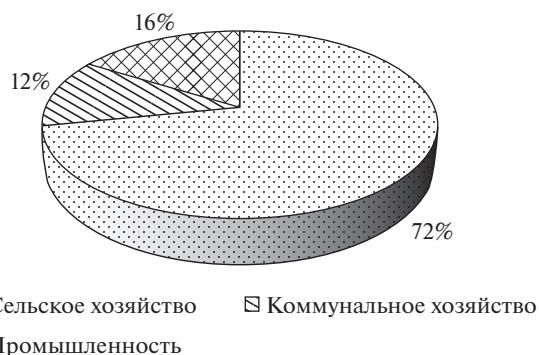


Рис. 2. Структура водопотребления в 2017 г. по данным ФАО

Таблица 4. Структура мирового водопотребления на уровне 2021 г.

Сектор	Водопотребление			
	полное		безвозвратное	
	км ³	%	км ³	%
Сельское хозяйство	2842	63.4	2007	82.0
Коммунальное хозяйство	514	11.4	68	2.8
Промышленность	893	19.9	132	5.4
Водохранилища	240	5.3	240	9.8
Всего	4489	100	2447	100

Таблица 5. Водопотребление и объём сточных и возвратных вод на уровне 2021 г.

Регионы	Водопотребление				Объём сточных и возвратных вод	
	полное		безвозвратное			
	км ³	%	км ³	%	км ³	%
Европа	466	10.4	228	9.3	238	11.7
Азия	2796	62.2	1648	67.4	1148	56.2
Африка	304	6.8	197	8.1	107	5.2
Северная Америка	665	14.8	246	10.0	419	20.5
Южная Америка	224	5.0	108	4.4	116	5.7
Австралия и Океания	34	0.8	20	0.8	14	0.7
Мир в целом	4489	100	2448	100	2042	100

ственный влияние на состояние рек и водоёмов, качество их воды оказывает сброс сточных и возвратных вод, хотя их доля в речном стоке тоже невелика (см. табл. 5, 6). Их разбавление речными водами явно недостаточно, особенно в Азии, Европе и Северной Америке (рис. 4).

Подведём итог. В ходе исследования нами выполнены расчёты полного и безвозвратного водопотребления и объёма сточных вод на уровне 2021 г. Как уже упоминалось, полное мировое водопотребление, судя по полученным данным, со-

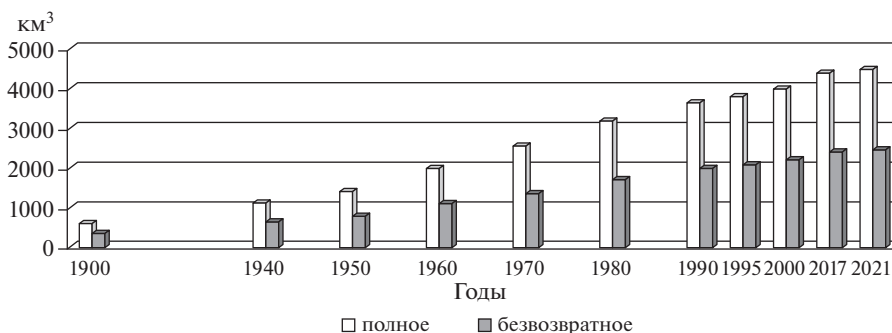
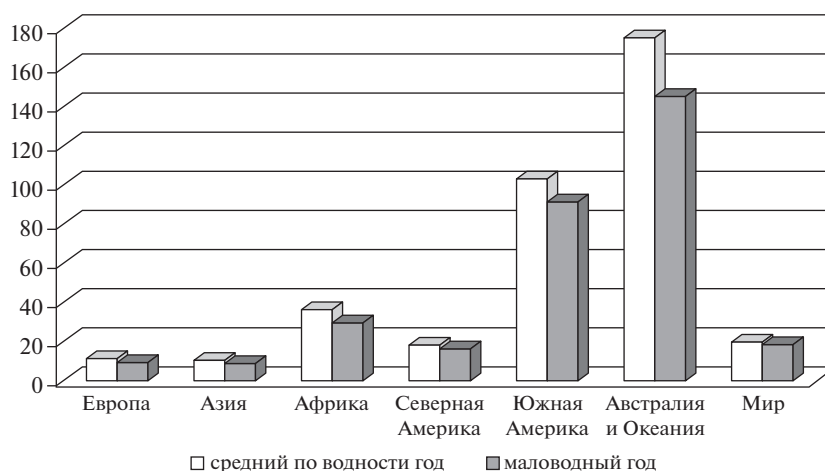
**Рис. 3.** Динамика мирового водопотребления

Таблица 6. Соотношение безвозвратного водопотребления и речного стока и доля сточных и возвратных вод в речном стоке, 2021 г.

Регион	Сток, км ³		Отношение безвозвратного водопотребления к величине речного стока, %		Доля сточных и возвратных вод в речном стоке, %	
	средний многолетний	в маловодный год	среднее многолетнее	в маловодный год	средняя многолетняя	в маловодный год
Европа	2900	2441	7.9	9.4	9.1	11.0
Азия	13510	11879	12.2	13.9	9.2	10.7
Африка	4050	3340	4.9	5.9	2.6	3.1
Северная Америка	7890	7042	3.1	3.5	5.6	6.3
Южная Америка	12030	10690	0.9	1	0.9	1.0
Австралия и Океания	2404	1999	0.9	1	0.6	0.7
Мир в целом	42780	39900	5.7	6.1	4.9	5.3

ставляет около 4500 км³/год, безвозвратное – 2450 км³/год, то есть 55% от полного. По сравнению с 2000 г. полное водопотребление возрастало в среднем на 24 км³/год, а безвозвратное на 12.6 км³/год. Объём сточных и возвратных вод превысил 2000 км³/год. Ресурсами речного стока (без безвозвратных изъятий) они разбавляются примерно в 20 раз, что явно недостаточно для сохранения высокого качества природных вод. Соотношение безвозвратного расхода и ресурсов речного стока оценивается величиной порядка 6%. По-видимому, не больше и уменьшение речного стока. Более 60% полного и свыше 80% безвозвратного водопотребления приходится на сельское хозяйство, доля коммунального хозяйства составляет, соответственно, чуть более 11 и около 3%, промышленности – около 20 и чуть бо-

лее 5%, а дополнительного испарения с акваторий водохранилищ – 5 и около 10%. Основной объём полного водопотребления (62%), безвозвратного (67%) и объёма сточных и возвратных вод (56%) приходится на Азию, наименьший – на Австралию и Океанию (менее 1%). Азия также характеризуется наибольшим соотношением безвозвратного расхода и величины речного стока с соответствующим его уменьшением – на 12% для среднего по водности года и на 14% для маловодного, а Южная Америка и Австралия – наименьшим соотношением тех же показателей (менее 1%). Разбавление сточных и возвратных вод в средних многолетних условиях наибольшее в Австралии и Океании, главным образом за счёт Океании, и в Южной Америке – соответственно, 175 и более 100 раз. Гораздо меньше разбавляются сточные и возвратные воды в Азии (10 раз), Евро-

**Рис. 4.** Кратность разбавления сточных и возвратных вод в средний по водности и маловодный год (на уровне 2021 г.)

пе (11 раз) и Северной Америке (18 раз). Ещё меньше кратность разбавления в маловодные годы, что косвенно свидетельствует о значительном загрязнении воды в этих трёх регионах.

Необходимо подчеркнуть, что представленные в статье цифровые выкладки характеризуют гидроэкологическую ситуацию для мира и континентов в целом. В отдельных регионах и странах она может кардинально отличаться от приведённых средних показателей.

Выполненные расчёты носят ориентировочный характер и, видимо, будут уточняться по мере поступления новых данных, особенно в отношении оценок современного уменьшения речного стока. Эти расчёты не учитывают климатических трансформаций, изменение стока под влиянием косвенных воздействий на него неорошаемого земледелия, лесного хозяйства, урбанизации территории, что требует специальных исследований.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119021990093-8 (FMGE-2019-0007).

ЛИТЕРАТУРА

1. Калинин Г.П. Проблемы глобальной гидрологии. Л.: Гидрометеоздат, 1968.
2. Львович М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М.: Мысль, 1974.
3. Falkenmark M., Lindth G. How can we cope with the water resources situation by the year 2015 & // *Ambio*. 1974. № 3 (3–4). P. 114–121.
4. Шикломанов И.А. Исследование водных ресурсов суши: итоги, проблемы, перспективы. Л.: Гидрометеоздат, 1988.
5. Andressian V.P. Forecasting water requirements for the beginning of the 21st century: A World-Scale Study. Paris: UNESCO, 1994.
6. Margat J. Water use in the world: present and future. Contribution au Project M-1–3 du Programme Hydrologique International. Paris: PHI-IV/UNESCO, 1994.
7. Rodda J.C. Guessing or assessment of the world's water resources? // *J. Chart. Inst. Water Mgmt*. 1995. № 9. P. 360–368.
8. World Water Resources at the Beginning of the 21st Century / Eds. A. Shikiomanov and J. Rodda. UNESCO, Cambridge University Press, 2003.
9. Голиков А.П., Казакова Н.А. География мирового водопотребления: состояние, динамика, перспективы // *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: Міжнародні відносини. Економіка. Країнознавство. Туризм*. 2018. Вип. 8. С. 17–25.
10. WWAP (UNESCO World Water Assessment Programme). 2019. The United Nations World Water Development Report 2019: Leaving No One Behind. Paris: UNESCO.
11. United Nations, The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water. Paris: UNESCO.
12. FAO: AQUASTAT. database www.fao.org/aquastat/en/
13. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: Государственный гидрологический институт, 2008.
14. Shiklomanov I.A., Balonishnikova J.A. World water use and water availability: trends, scenarios, consequences // *IAHS Publ*. 2003. № 281. P. 358–364.
15. Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2018 году. Статистический сборник / Под ред. Н.Г. Рыбальского, В.А. Омеляненко. М.: НИИ-Природа, 2019.