

УДК 556.01

## ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НАПРЯЖЕННОСТЬ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ РОССИИ

© 2021 г. А. Г. Георгиади<sup>а</sup>, \*, Н. И. Коронкевич<sup>а</sup>, Е. А. Барабанова<sup>а</sup>, К. С. Мельник<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия

\*e-mail: georgiadi@igras.ru

Поступила в редакцию 11.12.2020 г.

После доработки 27.02.2021 г.

Принята к публикации 03.03.2021 г.

Рассмотрены водный баланс, водные ресурсы и гидроэкологическое состояние территории административных областей и речных бассейнов в Центральном федеральном округе России – регионе с одной из самых высоких антропогенных нагрузок на водный элемент окружающей среды. Оценены как местные водные ресурсы, так и общие с учетом стока, поступающего с соседних территорий, а также экологический и свободный сток, который может быть использован без существенного ущерба для водных экосистем. Определена величина стока как в среднем многолетнем аспекте, так и в маловодные годы 75 и 95% обеспеченности. Показано, что величина нормы стока за период с конца XIX в. по 1960 г. заметно ниже, чем нормы стока за 1930–1980 гг. Оценено влияние на величину стока гидротехнических преобразований и забора воды на различные хозяйственные нужды. Выявлено существенное снижение водозабора после 1985 г. Оценена водноэкологическая напряженность региона с учетом таких показателей, как индекс водного стресса, кратность разбавления сточных вод, безвозвратный расход воды, качество речных вод. Показано, что наиболее напряженная гидроэкологическая ситуация складывается в Московской области, в бассейнах рр. Клязьмы и Москвы, особенно ниже г. Москвы.

*Ключевые слова:* речные бассейны, водный баланс, средний многолетний сток, экологический сток, свободный сток, сток в маловодные годы, антропогенные изменения, количество и качество водных ресурсов, водноэкологическая напряженность, Центральный федеральный округ

DOI: 10.31857/S2587556621030079

### ВВЕДЕНИЕ

Трудно переоценить роль Центрального федерального округа (ЦФО) в жизни нашей страны. При этом антропогенная нагрузка на его природу одна из самых высоких. Занимая 3.8% площади России, его население составляет 39.4 млн чел. (26.9% населения страны, 2020 г.). Среди других округов он занимает первое место по величине производимого валового продукта. Каковы же его водные ресурсы, состояние водного элемента окружающей среды? Данному вопросу посвящено большое число исследований, включая и те, в которых оценка состояния водных ресурсов давалась в составе оценок по более крупным территориям. Это работы справочного характера (Водные..., 1967; Государственный водный..., 2019; Ресурсы..., 1979 и др.), монографии, в которых рассматриваются различные гидрологические аспекты данного региона (Болгов и др., 2005; Водные..., 2008; Водный..., 1969; Воскресенский, 1962; Георгиади и др., 2014; Джамалов и др., 2017; Дмитриева, 2015; Коронкевич, Мельник, 2015), а также большое число статей. Но большинство из

них выполнено или довольно давно, или отражает состояние водных ресурсов лишь отдельных частей ЦФО, учитывает только количество или качество водных ресурсов, не учитывает величину экологического и свободного стока. Оценка современной водно-экологической напряженности в регионе и факторов ее формирования остается недостаточно освещенной. Цель данной статьи – восполнить этот пробел.

### ОЦЕНКА ВОДНОГО БАЛАНСА И РЕСУРСОВ РЕЧНОГО СТОКА

Из работ по оценке ресурсов речного стока особо выделим представленную в (Водные..., 1967) балансовую оценку местных водных ресурсов административных областей, входящих в состав ЦФО (табл. 1), характеризующую ситуацию за период с конца XIX в. по 1960 г. В табл. 2 дан средний многолетний общий (с учетом притока с соседних территорий) сток за этот период, а также за период 1930–1980 гг., принятый в качестве нормы стока в последних работах Государствен-

**Таблица 1.** Местный водный баланс областей ЦФО за период с конца XIX в. по 1960 г.

Область	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>	Осадки		Сток						Испарение		Коэффициент стока
				суммарный		поверхностный		подземный				
		мм	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	мм	км <sup>3</sup>	
Белгородская	27.1	620	16.8	101	2.73	82	2.21	19	0.52	519	14.1	0.16
Брянская	34.9	720	25.1	159	5.54	121	4.21	38	1.33	561	19.6	0.22
Владимирская	29.0	694	20.1	151	4.38	94	2.73	57	1.65	543	15.7	0.22
Воронежская	52.4	600	31.4	72	3.75	53	2.77	19	0.98	528	27.6	0.12
Ивановская	23.9	716	17.1	173	4.13	119	2.84	54	1.29	543	13.0	0.24
Калужская	29.0	702	21.0	176	5.26	110	3.29	66	1.97	526	15.7	0.25
Костромская	60.2	747	45.0	236	14.3	184	11.1	52	3.13	511	30.8	0.32
Курская	29.8	675	20.1	130	3.88	109	3.25	21	0.63	545	16.2	0.19
Липецкая	24.1	630	15.2	106	2.55	47	1.12	59	1.43	524	12.6	0.17
Московская	47.0	680	32.0	188	8.82	128	6.0	60	2.82	492	23.2	0.28
Орловская	24.7	687	17.0	140	3.47	90	2.23	50	1.24	547	13.5	0.2
Рязанская	39.6	583	23.1	136	5.39	85	3.37	51	2.02	447	17.7	0.23
Смоленская	49.8	750	37.4	215	10.7	145	7.21	70	3.49	535	26.7	0.29
Тамбовская	34.3	625	21.4	110	3.78	84	2.89	25	0.89	515	17.6	0.18
Тверская	84.2	737	62.1	222	18.7	162	13.6	60	5.05	515	43.4	0.3
Тульская	25.7	636	16.3	165	4.23	95	2.43	70	1.8	471	12.1	0.26
Ярославская	36.3	733	26.6	225	8.16	185	6.71	40	1.45	508	18.4	0.31
ЦФО*	652	687	448	168	109.7	119	78.0	49	31.7	519	338.3	0.24

*Примечание:* в ЦФО объединены данные по Центральному и Центрально-Черноземному экономическим районам.

ного гидрологического института, в частности в (Водные..., 2008; Государственный водный..., 2019). При этом суммарный общий сток в ЦФО в табл. 2 не равен сумме общего стока отдельных областей, так как не учитывает речной водообмен между этими областями, а учитывает лишь сток, притекающий к границам ЦФО. Сток в годы 75 и 95% обеспеченности пересчитан нами для периода 1930–1980 гг. на основании данных, приведенных в (Водные..., 1967) для периода с конца XIX в. по 1960 г. Отметим, что сток за второй из указанных периодов практически повсеместно ниже, чем за первый период, в среднем для ЦФО на 6.5%. Возможно, одной из причин этого стало большее антропогенное воздействие во второй период. Интересны оценки водного баланса за другие периоды. Так, согласно (Водные..., 2008), за период 1936–1980 гг. осадки составили 709 мм, сток – 160 мм, испарение – 549 мм, а за 1985–2003 гг. соответственно 756, 173, 593 мм. Водообеспеченность населения рассчитана по его современной численности и среднему многолетнему стоку за 1930–1980 гг. Так называемые экологический и свободный сток, приведенные в табл. 2, рассчитаны нами исходя из величины

нормы стока и стока 75 и 95% обеспеченности за этот период.

Имеются разные трактовки экологического и свободного стока и предложены различные методы их оценки (Дубинина и др., 2015; Маркин, 2005; Фашевский..., 1989; Smakhtin et al., 2004). Под экологическим стоком понимается минимальный экологически допустимый объем речного стока, необходимый водным экосистемам для сохранения состояния устойчивого функционирования. Согласно (Владимиров, Имамов, 1994), экологически допустимый сток должен учитывать объем воды, необходимый для нормального развития гидробионтов; выполнение рекой ее природных функций; внутригодовую изменчивость стока; изменчивость стока по годам. Под свободным стоком (допустимыми изъятиями), следовательно, понимается сток, который можно использовать для различных хозяйственных нужд без большого вреда для водных экосистем.

В статье для ориентировочных оценок экологического стока используется метод пропорционального стока, предложенный В.В. Шабановым (Маркин, 2005), в соответствии с которым экологический сток определяется с помощью эмпирических переходных коэффициентов для стока

Таблица 2. Средние многолетние ресурсы речного стока, водообеспеченность населения стоком, экологический и свободный сток

Область	Общий сток, конец XIX в. – 1960 г., км <sup>3</sup> /год	Общий сток, 1930–1980 гг., км <sup>3</sup> /год			Водообеспеченность населения стоком, тыс. м <sup>3</sup> /чел.			Общий экологический сток, 1930–1980 гг., км <sup>3</sup> /год			Общий свободный сток, 1930–1980 гг., км <sup>3</sup> /год		
		средний	75%	95%	средний	75%	95%	средний	75%	95%	средний	75%	95%
Белгородская	3.0	2.7	2.0	1.4	1.7	1.3	0.9	1.9	1.6	1.2	0.8	0.4	0.2
Брянская	7.7	7.3	5.9	4.4	6.1	4.9	3.7	5.1	4.7	4.0	2.2	1.2	0.4
Владимирская	37.7	35.2	29.3	22.9	26.8	21.6	16.8	24.6	23.5	20.6	10.6	5.8	2.3
Воронежская	14.0	13.7	11.3	7.0	5.8	4.8	3.0	9.6	9.0	6.3	4.1	2.3	0.7
Ивановская	58.5	57.3	47.2	36.5	57.3	47.2	36.5	40.1	37.8	32.9	17.2	9.4	3.6
Калужская	11.8	11.3	9.3	7.1	11.3	9.3	7.1	7.9	7.4	6.4	3.4	1.9	0.7
Костромская	53.8	53.4	45.5	34.9	84.7	72.2	55.5	37.4	36.4	31.4	16	9.1	3.5
Курская	4.3	3.9	3.0	2.1	3.4	2.7	1.9	2.7	2.4	1.9	1.2	0.6	0.2
Липецкая	6.4	6.3	4.6	3.7	5.5	4.0	3.2	4.4	3.7	3.3	1.9	0.9	0.4
Московская	20.3	18	14.6	11.1	0.9	0.7	0.5	12.6	11.7	10.0	5.4	2.9	1.1
Орловская	4.3	4.1	3.1	2.2	5.6	4.2	3.0	2.9	2.5	2.0	1.2	0.6	0.2
Рязанская	28.2	25.7	21.5	16.9	2.3	19.4	15.2	18.0	17.2	15.2	7.7	4.3	1.7
Смоленская	15.0	13.7	11.0	8.1	1.5	11.8	8.7	9.6	8.8	7.3	4.1	2.2	0.8
Тамбовская	4.2	4.1	2.9	1.8	4.1	2.9	1.8	2.9	2.3	1.6	1.2	0.6	0.2
Тверская	27.6	21.1	17.1	13.0	21	14.3	10.8	14.8	13.7	11.7	6.3	3.4	1.3
Тульская	11.4	10.6	8.6	6.4	7.2	5.8	4.4	7.4	6.9	5.8	3.2	1.7	0.6
Ярославская	38.8	35.8	29.5	22.9	28	23.6	18.3	25.1	23.6	20.6	10.7	5.9	2.3
ЦФО	134.9	126.1	100.1	73.4	3.2	2.5	1.9	88.3	80.1	66.0	37.8	20	7.4

разной обеспеченности. Для среднегодовых значений стока переходный коэффициент принимался равным 0.7 (Маркин, 2005). Для маловодных лет допускается некоторое снижение величины экологического стока с поправочными коэффициентами 0.8 и 0.9 к среднему многолетнему экологическому стоку соответственно 75 и 95% обеспеченности.

Если исходить из данных о местном водном балансе, то, как видно из табл. 1, количество осадков в ЦФО изменяется от 583 мм в Рязанской области до 750 в Смоленской, составляя в среднем 687 мм. Слой суммарного местного стока изменяется от 72 мм в Воронежской области до 236 в Костромской при среднем значении для ЦФО 168 мм. Наименьший коэффициент стока (0.12) — в Воронежской области, а самый высокий — в Костромской (0.32), средний для ЦФО — 0.24. По слою осадков ЦФО в 1.2 раза превосходит средний показатель по России (571 мм по (Водные..., 1967)), а по слою суммарного стока уступает среднему показателю для России (235 мм) в 1.6 раза. Еще больше разница в коэффициенте стока — в 1.7 не в пользу ЦФО. В то же время величина подземного стока, не требующего регулирования, в ЦФО составляет 49 мм или 31.7 км<sup>3</sup>/год, то есть 29% против 20–23% в среднем для России (Водные..., 1967; Водный..., 1969) от величины суммарного стока. Доля поверхностного стока, характеризующего в основном сток половодья и паводков, в ЦФО ниже, чем в России, 71 и 77–80% соответственно. Общие же ресурсы речного стока (с учетом притока с соседних территорий) в ЦФО на четверть выше ресурсов местного стока, формирующегося в его пределах. В (Государственный водный..., 2019) даются запасы подземных вод. Прогнозные их ресурсы оцениваются в 27 км<sup>3</sup>/год, а разведанные эксплуатационные запасы в 10.2 км<sup>3</sup>/год, однако значительная их часть дренируется реками и учитывается при оценке величин подземного стока.

Обеспеченность населения ЦФО общими ресурсами стока значительно ниже, чем в среднем по России. Если сопоставить норму речного стока за 1930–1980 гг. (см. табл. 2) с современной численностью населения (на начало 2020 г.), то оказывается, что в ЦФО обеспеченность населения ресурсами общего стока (3.2 тыс. м<sup>3</sup>/чел.) ниже общероссийской (28.6 тыс. м<sup>3</sup>/чел.) почти в 9 раз. Особенно она низка в Московской области (0.9 тыс. м<sup>3</sup>/чел.). Вместе с тем она выше общероссийской в Костромской и Ивановской областях за счет притока волжских вод.

При принятой системе расчета общий экологический сток пропорционален величине суммарного стока, он составляет в среднем 88.3 км<sup>3</sup>/год. Он несколько ниже стока 75% обеспеченности и выше стока 95% обеспеченности, представленных в

табл. 2. Экологический сток 75% обеспеченности также ниже стока той же обеспеченности, а вот экологический сток 95% обеспеченности оказывается во многих случаях выше общего стока этой обеспеченности, то есть ресурсы свободного стока в год 95% обеспеченности отсутствуют.

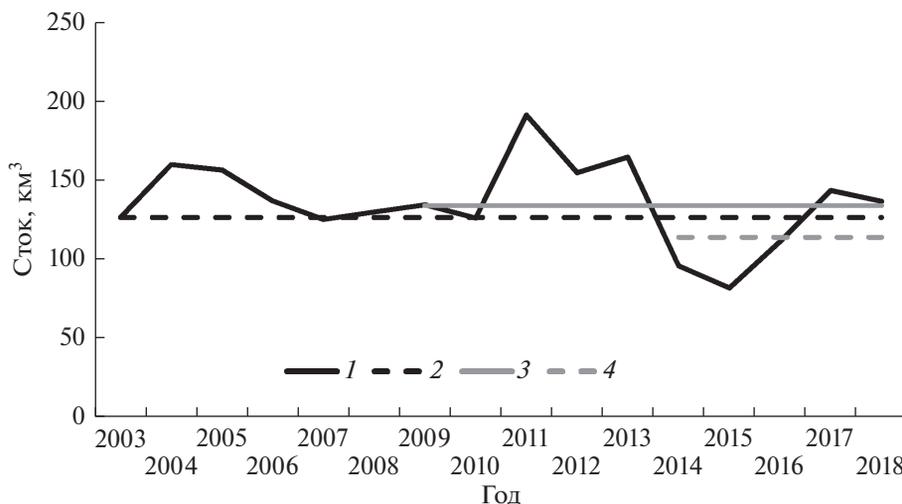
На рис. 1 показано изменение общего речного стока в ЦФО с 2003 г. (времени образования федеральных округов) по 2018 г. Отчетливо видны два периода трехлетнего повышения водности (2004–2006 и 2011–2013 гг.), а также один трехлетний период пониженной водности (2014–2016 гг.). Сток десятилетия 2009–2018 гг. (133.6 км<sup>3</sup>/год) был выше нормы и близок по среднему его значению к норме с конца XIX в. по 1960 г., а сток последнего пятилетия (113.4 км<sup>3</sup>/год) существенно ниже средних многолетних значений. В целом близкая картина колебаний стока за 2003–2018 гг. наблюдается и в отдельных областях, что видно из рис. 2, на котором показаны эти колебания для пяти областей (Брянской, Тверской, Рязанской, Воронежской и Тульской), расположенных соответственно в западной, северной, восточной, южной и центральной частях ЦФО. При колебаниях общего стока следует отметить довольно устойчивую тенденцию изменения его структуры на значительной части южного склона Русской равнины — снижение его поверхностной и увеличение подземной составляющей, что показано в целом ряде работ, в частности в (Джамалов и др., 2017; Дмитриева, 2015). В целом это благоприятный фактор для решения водных проблем ЦФО, хотя имеются и негативные последствия, среди которых уменьшение обводненности нерестилищ.

В табл. 3 представлены средние многолетние ресурсы суммарного, экологического и свободного стока ряда речных бассейнов в пределах ЦФО. Изменение их гидрологических характеристик во времени в целом соответствует тому, что имеет место в административных областях, в пределах которых они находятся.

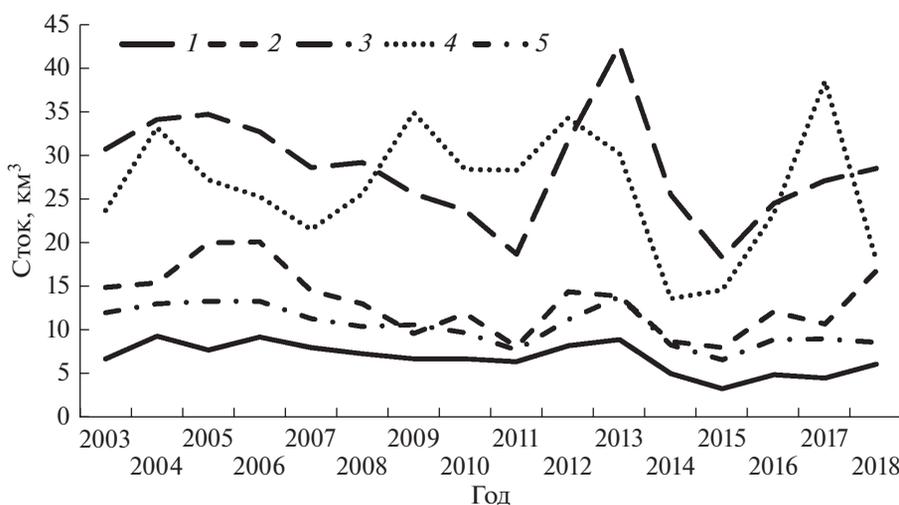
## ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СТОКА

Особенно заметны антропогенные гидрологические изменения, в первую очередь сезонные, обусловленные созданием водохранилищ. Из анализа данных<sup>1</sup> следует, что созданные к настоящему времени водохранилища объемом свыше 0.1 км<sup>3</sup> каждое позволяют за счет использования

<sup>1</sup> Использованы: Государственный доклад “О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году”. М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.; Каталог водохранилища СССР / ред. С.К. Лазарева. М.: Изд-во ОРСНТДММ Ин-та “Союзгипроводхоз”, 1988. 276 с.; Научно-популярная энциклопедия “Вода России” (<https://water-ru/>).



**Рис. 1.** Динамика общего стока в ЦФО: (1) – годовой сток; (2) – средний многолетний; (3) – средний за 2009–2018 гг.; (4) – средний за 2014–2018 гг.



**Рис. 2.** Динамика общего стока по областям: (1) – Брянская, (2) – Воронежская, (3) – Рязанская, (4) – Тверская, (5) – Тульская.

их полезного объема увеличить ресурсы местного устойчивого стока этого региона почти в 1.7 раза и регулировать 14–17% среднего многолетнего общего речного стока, который приведен в табл. 2 и 3. Наиболее существенную роль при этом играет Рыбинское водохранилище на Волге, на которое приходится почти 80% общего полезного объема водохранилищ ЦФО. Потери воды на дополнительное испарение с акватории водохранилищ намного меньше возможного увеличения устойчивого во времени стока. Если принять величину среднего годового дефицита испарения с учетом преобладающего распределения площадей водохранилищ в размере 60 мм по (Зубенко, 1976), то, умножив ее на общую площадь водохранилищ, получаем сумму дополнительных потерь воды на испарение  $0.36 \text{ км}^3/\text{год}$ .

Значительная роль в гидротехническом преобразовании стока принадлежит его переброске. Начиная с середины 1930-х годов из Иваньковского водохранилища в р. Москву по каналу им. Москвы перебрасывалось в отдельные годы более  $2 \text{ км}^3$  воды. В последнее время объем перебрасываемой воды снизился до  $1.5\text{--}1.6 \text{ км}^3/\text{год}$ . Практически не осуществляется в последнее время переброска стока по построенной Вазузской системе.

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

В табл. 4 даны величины водозабора, сброса сточных вод по (Водные..., 2010, 2019), а также безвозвратного расхода воды, определенного нами по разнице водозабора и общего объема сточ-

**Таблица 3.** Общий средний многолетний, экологический и свободный сток в речных бассейнах, км<sup>3</sup>

Река – створ	Средний многолетний сток*	Экологический сток	Свободный сток
Днепр – Смоленск	3.0	2.1	0.9
Дон – Лиски	7.8	5.5	2.3
Дон – Казанская	10.1	7.1	3.0
Хопер – Новохоперск	3.4	2.3	1.0
Волга – Ржев	2.9	2.0	0.9
Ока – Калуга	8.8	6.2	2.6
Ока – Муром	26.2	18.3	7.9
Ока – Горбатов	36.3	25.4	10.9
Москва – Звенигород	1.0	0.7	0.3
Клязьма – Владимир	2.6	1.8	0.8

*Примечание.* \* Данные приведены по (Государственный водный..., 2019).

ных вод, в областях ЦФО за 1990 г., когда наблюдался один из наибольших водозаборов, и за 2018 г., характеризующий водопотребление в последнее время. По показателям водопотребления выделяется Московская область<sup>2</sup>, на нее приходится 33.6% водозабора в ЦФО, 34.7% общего объема сточных вод, 52.8% загрязненных сточных вод, 30.9% безвозвратного расхода воды в 1990 г. и соответственно 37.5, 34.5, 59.7, 42.1% в 2018 г. То есть налицо заметное увеличение в последние годы доли загрязненных сточных вод и безвозвратного расхода воды. Наименьшее водопотребление имеет место в Орловской области.

Водозабор в ЦФО составил в 2018 г. 15.9% от водозабора в России. По сравнению с 1990 г. он к 2018 г. снизился повсеместно, в целом по ЦФО в 1.8 раза, объем сточных вод в 2.1 раза, объем загрязненных сточных вод в 1.9 раза, безвозвратный расход в 1.3 раза. Из общего объема водозабора в 2018 г. 78% приходилось на поверхностные водные объекты и 22% – на подземные источники. Динамика изменения водопотребления в ЦФО приведена на рис. 3.

По сравнению с 1985 г. снижение водопотребления в настоящее время еще больше, чем в сравнении с 1990 г.

Аналогичная картина в целом имеет место и в рассматриваемых речных бассейнах (табл. 5). Вместе с тем, в ряде створов отмечается безвозвратный расход со знаком минус, то есть увеличение стока, особенно заметное в створах Оки после впадения р. Москвы. В случае с Окой это объясняется в основном переброской стока в приток Оки р. Москву части волжских вод. Забор воды при этом фиксируется из Волги, а сброс сточных вод – в бассейнах рр. Москвы и Оки. Кроме того, в бассейне р. Москвы большую роль в увеличении

стока играют урбанизированные территории, часть стока с которых включается в состав сточных вод, а также отбор воды из не дренируемых реками запасов подземных вод (Коронкевич и др., 2020). Видимо, гидрологическим влиянием урбанизированных площадей и отбором подземных вод в районе Воронежа объясняется и увеличение стока Дона в створе ст. Казанская в 2018 г. В других районах и речных бассейнах эти факторы также отчасти компенсируют уменьшение стока в результате безвозвратных изъятий воды в процессе ее использования. Оценка гидрологической роли этих факторов, как и роли лесного хозяйства, агролесомелиорации в ЦФО требуют специального исследования. Возвращаясь к увеличению стока Дона в створе ст. Казанская в 2018 г., заметим, что в этом году главное влияние на его увеличение оказали климатические факторы. В итоге сток Дона в 2018 г. был значительно выше среднего многолетнего.

### ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НАПРЯЖЕННОСТЬ

Под водно-экологической (гидроэкологической) напряженностью мы понимаем степень использования водных ресурсов и их загрязнения. Водно-экологическая напряженность в ЦФО представлена в табл. 6–8 и на рис. 4–6. К настоящему времени водно-экологическая напряженность снизилась по сравнению с 1990 г. практически по всем показателям. Отношение водозабора к среднему многолетнему общему стоку в целом для ЦФО снизилось более чем в 1.7 раза. Наибольшее снижение произошло в Ивановской области (более 4 раз), а из рассматриваемых речных бассейнов – в бассейне Хопра и Волги у Ржева (в 5 раз). В бассейне Клязьмы водозабор несколько повысился. Наибольшее отношение водозабора к общему речному стоку в последнее время от-

<sup>2</sup> Здесь и далее имеется в виду Московская область вместе с Москвой.

**Таблица 4.** Использование воды по областям ЦФО, млн м<sup>3</sup>/год

Область	Год	Водозабор	Сброшено сточных вод в поверхностные природные водоемы		Безвозвратный расход
			всего	загрязненных	
Белгородская	1990	520.9	202.8	117.5	318.1
	2018	321.5	132.2	70.5	189.3
Брянская	1990	283.3	165.6	125.9	117.7
	2018	101.2	59.8	53.8	41.4
Владимирская	1990	424.4	351.8	252.8	72.6
	2018	154.0	101.5	98.6	52.5
Воронежская	1990	1202.8	881.8	142.6	321.1
	2018	405.5	233.4	118.8	172.1
Ивановская	1990	501.4	400.0	304.6	101.4
	2018	124.8	86.8	60.5	38.0
Калужская	1990	224.5	157.3	127.9	67.2
	2018	129.7	80.2	71.5	49.4
Костромская	1990	2686.2	2629.8	81.0	56.4
	2018	1820.4	1818.8	33.9	1.6
Курская	1990	437.0	204.6	55.5	232.4
	2018	225.2	93.6	11.6	131.6
Липецкая	1990	514.3	233.8	140.4	280.5
	2018	193.0	80.7	69.3	112.3
Московская*	1990	6590.0	4868.5	3092.8	1721.4
	2018	4056.6	2274.3	1810.8	1782.4
Орловская	1990	174.4	110.9	72.8	63.5
	2018	82.4	56.9	56.6	25.4
Рязанская	1990	314.6	211.1	67.8	103.5
	2018	173.1	121.9	74.5	51.2
Смоленская	1990	516.5	229.2	135.1	287.3
	2018	145.1	62.2	54.4	82.9
Тамбовская	1990	315.9	140.7	111.4	175.2
	2018	110.2	52.4	44.7	57.9
Тверская	1990	3524.5	2197.3	168.3	1327.3
	2018	2283.2	1007.9	73.6	1275.4
Тульская	1990	881.3	614.0	455.3	267.3
	2018	293.6	161.4	156.0	132.2
Ярославская	1990	482.7	418.0	406.3	64.6
	2018	210.0	175.0	173.6	35.0
ЦФО	1990	19594.5	14017.1	5858.0	5577.4
	2018	10829.4	6598.9	3032.6	4230.5

*Примечание.* \* Включая Москву.

мечается в Московской области, оно в 2.6 раза превышает этот показатель в ЦФО в целом. Из речных бассейнов выделяется бассейн Клязьмы, где это отношение несколько превышает показатель для Московской области.

Очень важно, что современное отношение водозабора к величине свободного стока, предлагаемого в (Маркин, 2005) в качестве индекса стрес-

са для водных ресурсов, практически повсеместно ниже 100%, составляя в среднем для ЦФО менее 30%. Однако эту величину нужно охарактеризовать как высоко стрессовую. Еще более напряженная ситуация в Белгородской области и особенно в Московской, а из речных бассейнов – в бассейне р. Клязьмы (см. рис. 4, табл. 6). Так обстоит дело со средним многолетним стоком. Если

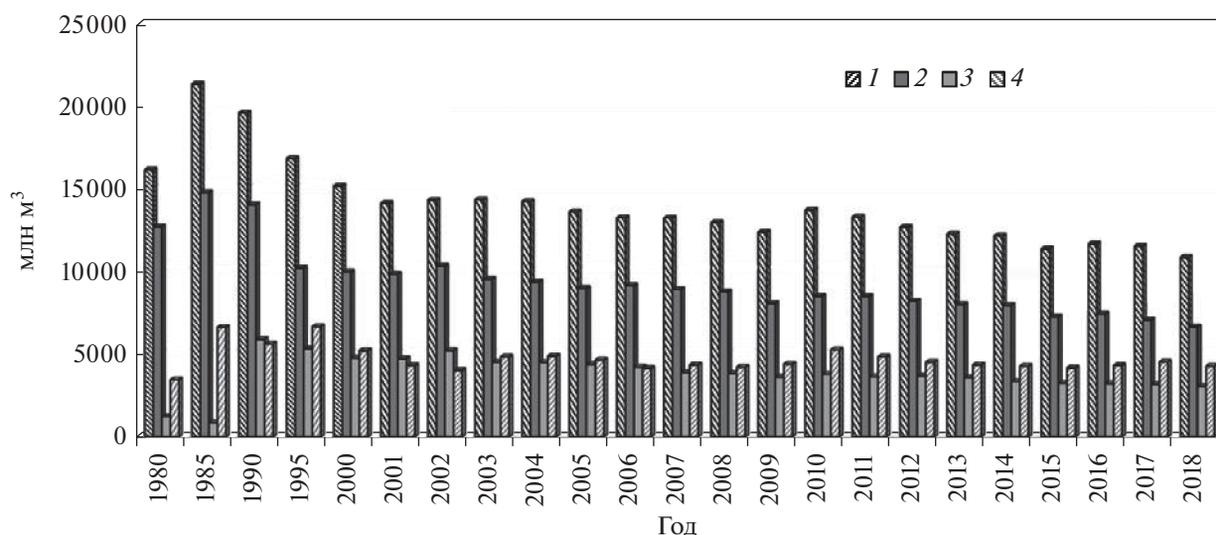


Рис. 3. Динамика показателей использования воды в ЦФО: (1) – водозабор, (2) – сточные воды, (3) – загрязненные сточные воды, (4) – безвозвратный расход.

же брать маловодные годы и отнести водозабор к среднему многолетнему экологическому и свободному стоку, то индекс стресса возрастает для ЦФО в среднем более чем в 1.2 раза в год 75% обеспеченности и в 1.6 раза в год 95% обеспечен-

ности. При сравнении водозабора с экологическим и свободным стоком в маловодные годы ситуация выглядит гораздо более напряженной. В табл. 6 дано такое сопоставление для лет 75% обеспеченности. В ней не представлено такое со-

Таблица 5. Использование воды по речным бассейнам, км<sup>3</sup>/год

Река – створ	Год	Водозабор	Сброшено сточных вод		Безвозвратный расход
			всего	без очистки	
Днепр – Смоленск	1990	0.234	0.232		0.002
	2018	0.066	0.022	0.001	0.044
Дон – Лиски	1990	1.755	1.193		0.562
	2018	0.594	0.352	0.005	0.242
Дон – Казанская	1990	1.96	1.233		0.727
	2018	0.652	0.731	0.01	-0.079
Хопер – Новохоперск	1990	0.199	0.055		0.144
	2018	0.042	0.026	0.001	0.016
Волга – Ржев	1990	0.014	0.014		0
	2018	0.004	0.002	0	0.002
Ока – Калуга	1990	0.824	0.73		0.094
	2018	0.314	0.217	0.008	0.097
Ока – Муром	1990	5.504	6.472		-0.968
	2018	2.444	3.369	0.112	-0.925
Ока – Горбатов	1990	6.518	7.557		-1.039
	2018	3.345	6.977	0.228	-3.632
Москва – Звенигород	1990	0.045	0.027		0.018
	2018	0.012	0.007	0	0.005
Клязьма – Владимир	1990	0.608	0.431		0.177
	2018	0.656	0.261	0.007	0.395

Таблица 6. Отношение показателей использования воды к общему речному, экологическому и свободному стоку за 1930–1980 гг. в областях ЦФО

Область	Год	Отношение водозабора к среднему многолетнему стоку, %		Отношение водозабора к экологическому стоку, %		Отношение водозабора к свободному стоку, %		Отношение безвозвратного расхода к стоку, %			
		среднему	95%	среднему	95%	среднему	95%	среднему	95%		
Белгородская	1990	19.3	27.6	32.8	42.9	64.3	131.3	260.5	11.8	16.0	23.6
	2018	11.9	17.0	20.2	26.4	39.6	80.9	160.5	7.0	9.5	14.0
Брянская	1990	3.9	5.5	6.0	7.1	12.9	24.1	64.1	1.6	2.0	2.7
	2018	1.4	2.0	2.1	2.5	4.6	8.6	22.8	0.6	0.7	0.9
Владимирская	1990	1.2	1.7	1.8	2.1	4.0	7.3	18.6	0.2	0.2	0.3
	2018	0.4	0.6	0.7	0.7	1.5	2.7	6.7	0.1	0.2	0.2
Воронежская	1990	8.8	12.5	13.4	19.2	29.3	53.4	172.6	2.3	2.9	4.6
	2018	3.0	4.2	4.5	6.5	9.9	18.0	58.1	1.3	1.5	2.5
Ивановская	1990	0.9	1.3	1.3	1.5	2.9	5.3	13.9	0.2	0.2	0.3
	2018	0.2	0.3	0.3	0.4	0.7	1.3	3.5	0.1	0.1	0.1
Калужская	1990	2.0	2.8	3.0	3.5	6.6	12.1	31.5	0.6	0.7	0.9
	2018	1.2	1.6	1.8	2.0	3.8	7.0	18.3	0.4	0.5	0.7
Костромская	1990	5.0	7.2	7.4	8.5	16.8	29.5	76.9	0.1	0.1	0.2
	2018	3.4	4.9	5.0	5.8	11.4	20.0	52.1	0.0	0.0	0.0
Курская	1990	11.2	16.0	18.3	22.9	37.4	73.1	206.0	6.0	7.8	11.0
	2018	5.8	8.2	9.4	11.8	19.2	37.6	106.1	3.4	4.4	6.2
Липецкая	1990	8.2	11.7	14.0	15.4	27.2	56.2	139.0	4.5	6.1	7.6
	2018	3.1	4.4	5.3	5.8	10.2	21.1	52.2	1.8	2.5	3.0
Московская*	1990	36.6	52.3	56.3	66.1	122.0	225.2	594.6	9.6	11.8	15.5
	2018	22.5	32.2	34.7	40.7	75.1	138.6	366.0	9.6	11.8	15.6
Орловская	1990	4.3	6.1	7.0	8.9	14.2	28.1	80.4	1.5	2.0	2.9
	2018	2.0	2.9	3.3	4.2	6.7	13.2	37.8	0.6	0.8	1.2
Рязанская	1990	1.2	1.7	1.8	2.1	4.1	7.3	18.7	0.4	0.5	0.6
	2018	0.7	1.0	1.0	1.1	2.2	4.0	10.3	0.2	0.2	0.3
Смоленская	1990	3.8	5.4	5.9	7.1	12.6	23.6	63.7	2.1	2.6	3.5
	2018	1.1	1.5	1.7	2.0	3.5	6.6	17.9	0.6	0.8	1.0
Тамбовская	1990	7.7	11.0	13.8	19.3	25.7	55.2	173.7	4.3	6.1	9.6
	2018	2.7	3.8	4.8	6.7	8.9	19.2	60.5	1.4	2.0	3.2
Тверская	1990	16.7	23.9	25.7	30.1	55.7	102.9	271.2	6.3	7.8	10.2
	2018	10.8	15.5	16.7	19.5	36.1	66.7	175.7	6.0	7.4	9.8
Тульская	1990	8.3	11.9	12.9	15.2	27.7	51.5	136.8	2.5	3.1	4.1
	2018	2.8	4.0	4.3	5.1	9.2	17.2	45.6	1.2	1.5	2.1
Ярославская	1990	1.3	1.9	2.0	2.3	4.5	8.2	21.1	0.2	0.2	0.3
	2018	0.6	0.8	0.9	1.0	2.0	3.6	9.2	0.1	0.1	0.2
ЦФО	1990	15.5	22.2	24.5	29.7	51.8	97.9	264.8	4.4	5.6	7.6
	2018	8.6	12.3	13.5	16.4	28.6	54.1	146.3	3.4	4.2	5.8

Примечание. \* Включая Москву.

Таблица 7. Кратность разбавления сточных вод в ЦФО

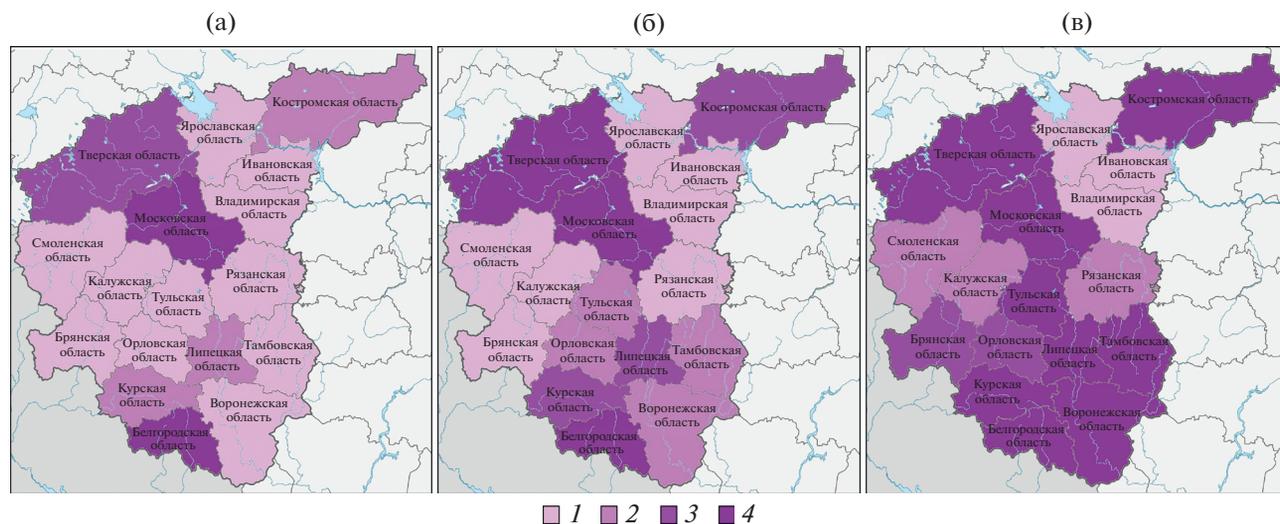
Область	Год	Кратность разбавления					
		всех сточных вод			загрязненных сточных вод		
		средним многолетним стоком	стоком 75% обеспеченности	стоком 95% обеспеченности	средним многолетним стоком	стоком 75% обеспеченности	стоком 95% обеспеченности
Белгородская	1990	13	10	7	23	17	11
	2018	20	15	10	38	28	19
Брянская	1990	44	36	27	58	47	35
	2018	122	98	74	136	110	82
Владимир- ская	1990	100	83	65	139	116	90
	2018	347	289	225	357	297	232
Воронежская	1990	16	13	8	96	79	49
	2018	59	48	30	115	95	59
Ивановская	1990	143	118	91	188	155	120
	2018	660	544	421	947	780	604
Калужская	1990	72	59	45	88	72	56
	2018	141	116	89	158	130	100
Костромская	1990	20	17	13	660	562	432
	2018	29	25	19	1575	1341	1030
Курская	1990	19	15	10	70	54	38
	2018	42	32	23	337	258	183
Липецкая	1990	27	20	16	45	33	26
	2018	78	57	46	91	66	53
Московская*	1990	4	3	2	6	5	4
	2018	8	6	5	10	8	6
Орловская	1990	37	28	20	56	43	30
	2018	72	54	38	72	55	38
Рязанская	1990	122	102	80	379	317	249
	2018	211	176	138	345	289	226
Смоленская	1990	60	48	35	101	81	60
	2018	220	176	130	252	201	149
Тамбовская	1990	29	20	13	37	26	16
	2018	78	55	35	92	64	41
Тверская	1990	10	8	6	125	102	77
	2018	21	17	13	287	233	177
Тульская	1990	17	14	10	23	19	14
	2018	66	53	40	68	55	41
Ярославская	1990	86	71	55	88	73	56
	2018	205	169	131	206	170	132
ЦФО	1990	9	7	5	22	17	13
	2018	19	15	11	42	33	24

Примечание. \* Включая Москву.

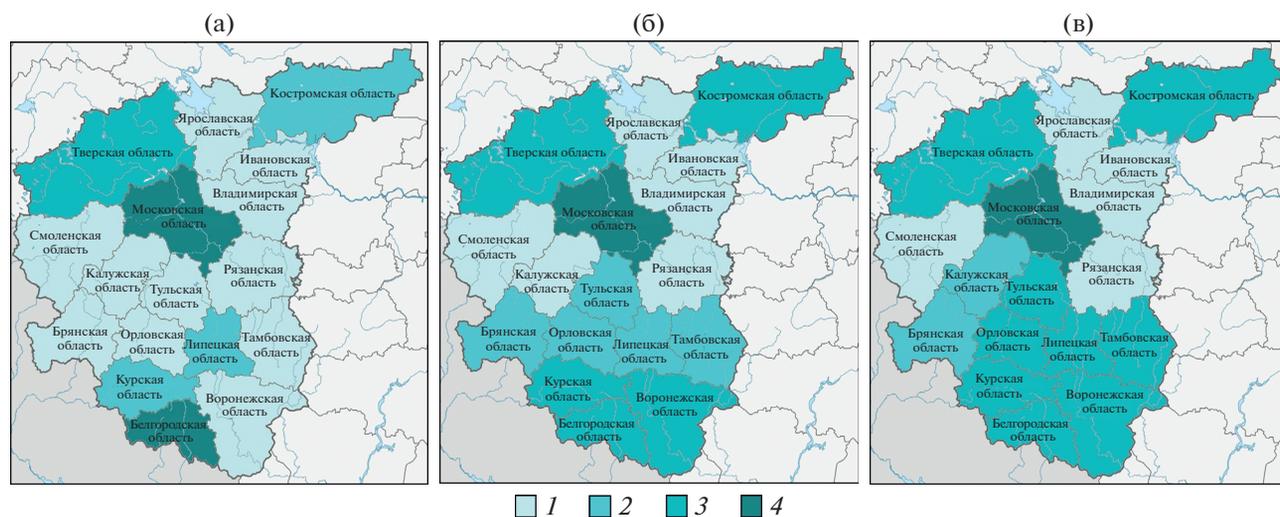
Таблица 8. Характеристика водно-экологической напряженности в речных бассейнах ЦФО

Река – створ	Год	Отношение водозабора к среднему многолетнему стоку, %	Отношение водозабора к экологическому стоку, %	Отношение водозабора к свободному стоку, %	Отношение безвозвратного расхода к среднему многолетнему стоку*, %	Кратность разбавления сточных вод, раз	
						всех сточных вод	загрязненных сточных вод
Днепр – Смоленск	1990	7.8	11.1	26.0	0.07	13	н.д.
	2018	2.2	3.1	7.3	1.47	136	3000
Дон – Лиски	1990	22.5	31.9	76.3	7.21	7	н.д.
	2018	7.6	10.8	25.8	3.10	22	1560
Дон – Казанская	1990	19.4	27.6	65.3	7.20	8	н.д.
	2018	6.5	9.2	21.7	-0.78	14	2020
Хопер – Ново-хоперск	1990	5.9	8.7	19.9	4.24	62	н.д.
	2018	1.2	1.8	4.2	0.47	131	3400
Волга – Ржев	1990	0.5	0.7	1.6	0.00	207	н.д.
	2018	0.1	0.2	0.4	0.07	1450	н.д.
Ока – Калуга	1990	9.4	13.3	31.7	1.07	12	н.д.
	2018	3.6	5.1	12.1	1.10	41	1760
Ока – Муром	1990	21.0	30.1	69.7	-3.69	4	н.д.
	2018	9.3	13.4	30.9	-3.53	8	252
Ока – Горбатов	1990	18.0	25.7	59.8	-2.86	5	н.д.
	2018	9.2	13.2	30.7	-10.01	5	313
Москва – Звенигород	1990	4.5	6.4	15.0	1.80	37	н.д.
	2018	1.2	1.7	4.0	0.50	143	н.д.
Клязьма – Владимир	1990	23.4	33.8	76.0	6.81	6	н.д.
	2018	25.2	36.4	82.0	15.19	10	371

Примечание. \* Знак “минус” означает увеличение стока.



**Рис. 4.** Водно-экологический стресс. Отношение водозабора к свободному стоку: к общему среднему многолетнему (а), к стоку 75% (б) и 95% (в) обеспеченности. Индекс стресса, %: 1 – низкий (<10), 2 – средний (10–20), 3 – высокий (20–40), 4 – очень высокий (40–80).



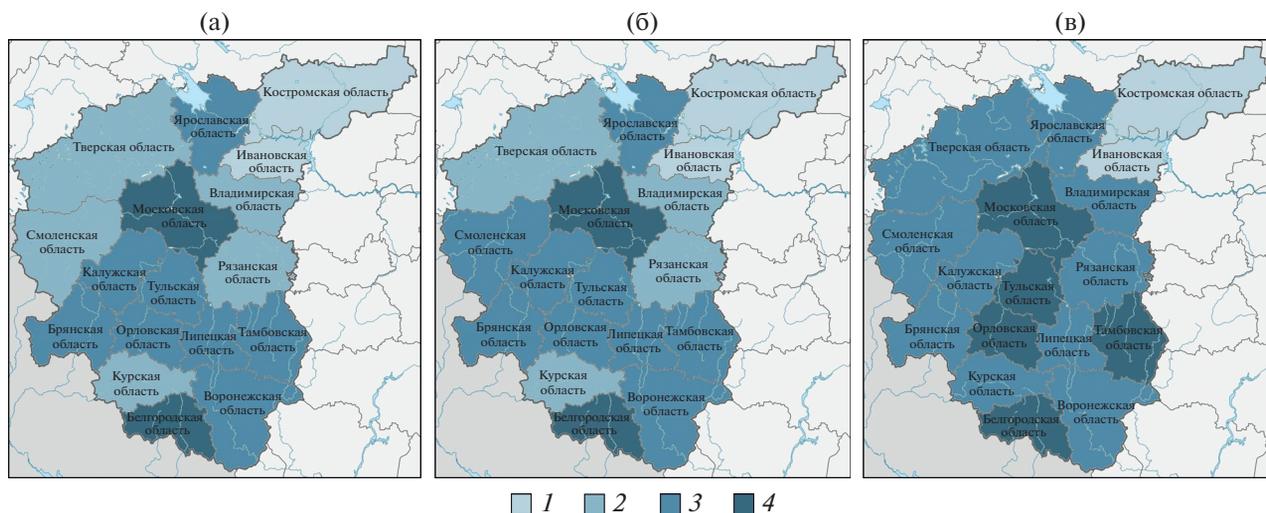
**Рис. 5.** Кратность разбавления сточных вод, раз: (а) средним многолетним стоком за 1930–1980 гг.; (б) стоком 75% обеспеченности; (в) стоком 95% обеспеченности. 1 – высокая (>100), 2 – средняя (100–50), 3 – низкая (50–10), 4 – очень низкая (<10).

поставление для лет 95% обеспеченности, поскольку свободный сток, как указано выше, в большинстве случаев отсутствует. Для отдельных областей и речных бассейнов ситуация еще более напряженная.

Как видно из табл. 6 и 8, сравнительно невелико безвозвратное изъятие водных ресурсов, следовательно, и уменьшение стока, оно составляет в среднем для ЦФО немногим более 3% общего стока, а с учетом указанной выше величины дополнительного испарения с акватории водохранилищ – около 4%. Для отдельных же речных бассейнов отмечается даже увеличение стока,

обусловленное указанными выше причинами. По-видимому, представленные величины изменения стока могут несколько трансформироваться под влиянием климатических факторов и воздействия других видов хозяйственной деятельности, но это, как сказано выше, требует дальнейших исследований.

Выше рассматривалась гидроэкологическая ситуация в количественном аспекте. Конечно, она не может быть полной без учета качества вод. Один из косвенных показателей качества водных ресурсов – кратность разбавления сточных вод, особенно загрязненных. Как видно из табл. 7,



**Рис. 6.** Кратность разбавления загрязненных сточных вод, раз: (а) средним многолетним стоком за 1930–1980 гг.; (б) стоком 75% обеспеченности; (в) стоком 95% обеспеченности. 1 – очень высокая (>500); 2 – высокая (250–500); 3 – средняя (50–250); 4 – низкая (<50).

кратность разбавления тех и других возросла в ЦФО к 2018 г. в среднем примерно вдвое по сравнению с 1990 г. Тем не менее она остается явно недостаточной, особенно в Московской области, в низовьях Оки. Ситуация резко ухудшается в маловодные годы. К районам со средней и низкой кратностью разбавления загрязненных сточных вод можно отнести большую часть ЦФО (рис. 5, 6; см. табл. 7, 8). Следует отметить, что кратность разбавления сточных вод – это весьма приблизительный показатель качества воды. Даже большая кратность их разбавления не гарантирует высокое качество воды в водных объектах, в том числе и потому, что при этом не учитываются загрязнения, поступающие с диффузным стоком с водосборов, которые могут превосходить объем загрязнений, поступающих со сточными водами. То есть в действительности ситуация более острая, чем дает оценка по разбавлению сточных вод. Более точно качество речных вод можно определить по результатам непосредственного его определения.

Данные Росгидромета<sup>3</sup> по состоянию и загрязнению окружающей среды в Российской Федерации показывают, что, если оперировать классами качества воды, то большинство субъектов РФ в пределах ЦФО укладывается в последние годы в диапазон II–III классов (“слабо загрязненная” и “загрязненная”). Лишь Московская область выделяется в негативную сторону – большинство ее вод относится к IV классу (“грязная”). По данным (Государственный доклад..., 2019), ситуация с отдельными речными бассейнами следующая.

<sup>3</sup> Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации. М.: Росгидромет (ежегодное издание).

Вода в Верхневолжских водохранилищах в последние годы оценивалась как “загрязненная”, а качество воды их притоков варьирует от “загрязненной” до “грязной”. Как “грязные” характеризуются воды бассейнов рек на территории Московской области – Ламы, Дубны, Сестры, Куньи. Вода верхней Оки от г. Орла до г. Алексина оценивается как “загрязненная”. Ниже по течению реки класс качества воды меняется от “загрязненной” до “грязной”. В притоках Оки преобладают “грязные” воды. Наиболее загрязненными притоками верхнего течения Оки являются водные объекты Тульской области – рр. Упа, Воронья, Мышега. Качество воды р. Москвы изменяется от “загрязненной” в верхнем течении до “грязной” в черте г. Москвы ниже Бабьегородской плотины и от Бесединского моста МКАД в черте г. Москвы до устья. Как “грязные”, а местами как “экстремально грязные” оцениваются воды р. Клязьма. Качество воды р. Дон в пределах ЦФО в течение ряда лет колеблется от “слабо загрязненной” до “грязной”.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Центральный федеральный округ – регион высокой антропогенной нагрузки на водные ресурсы, которые сравнительно невелики даже с учетом притока речных вод с соседних территорий. Округ располагает 3% общероссийского стока при том, что на него приходится в настоящее время около 16% водозабора России на различные хозяйственные нужды. Вследствие этого наблюдается большая водно-экологическая напряженность, несмотря на то, что по сравнению с

1990 г. водозабор снизился почти в 2 раза. Отношение водозабора к свободному стоку (индекс стресса) на уровне 2018 г. составило в среднем по водности год около 30%, в маловодный год 75% обеспеченности превысило 50%, а в год 95% обеспеченности свободного стока практически не оставалось. В большей части областей в пределах округа вода в реках и водоемах в последние годы относится ко II и III классу загрязненности (“слабо загрязненная” и “загрязненная”). Особенно напряженная гидроэкологическая ситуация складывается в Московской области. Индекс стресса здесь в 2018 г. превысил 75% для средних по водности лет, а в маловодные годы 75 и 95% обеспеченности в 2.2 и почти в 6 раз превысил величину свободного стока, что в несколько раз больше соответствующего значения для ЦФО в целом. Кратность разбавления загрязненных сточных вод в Московской области в 7 раз ниже, чем в ЦФО в целом. По качеству большинство вод Московской области характеризуется IV классом (“грязные”). Из отдельных рек особенно загрязненной является р. Клязьма, воды которой характеризуются как “грязные”, а местами как “экстремально грязные”. Некоторая тенденция снижения гидроэкологической напряженности в последние годы все же наблюдается, во всяком случае, в сравнении с тем, что имело место почти 30 лет назад.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных по проекту РНФ № 20-17-00209. Оценка водных ресурсов региона получена в рамках государственного задания № 0148-2019-0007/AAAA-A19-119021990093-8.

#### FUNDING

The work is based on the materials of studies supported by the Russian Science Foundation, project no. 20-17-00209. The region's water resources estimates were carried out within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography RAS no. 0148-2019-0007/AAAA-A19-119021990093-8.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Болгов М.В., Мишон Н.И., Сенцова Н.И.* Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения / отв. ред. А.Е. Асарин. М.: Наука, 2005. 318 с.
- Владимиров А.М., Имамов Ф.А.* Принцип оценки экологического стока рек // Вопросы экологии и гидрологические расчеты: Сб. науч. тр. (межведомственный). СПб.: Изд. РГГМИ, 1994. Вып. 116. С. 4–7.
- Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2009 году: Стат. сб. / под ред. Н.Г. Рыбальского и А.Д. Думнова. М.: НИА-Природа, 2010. 372 с.
- Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2018 году: Стат. сб. / под ред. Н.Г. Рыбальского, В.А. Омеляненко. М.: НИА-Природа, 2019. 274 с.
- Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 199 с.
- Водные ресурсы России и их использование / под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: Гос. гидрол. ин-т, 2008. 600 с.
- Водный баланс СССР и его преобразование / под ред. М.И. Львовича. М.: Наука, 1969. 338 с.
- Воскресенский К.П.* Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеиздат, 1962. 548 с.
- Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милукова И.П., Кашутина 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.
- Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. 2018 год. СПб.: 2019. 153 с.
- Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л.* Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. М.: ГЕОС, 2017. 205 с.
- Дмитриева В.А.* Водные ресурсы Воронежской области в условиях меняющегося климата и хозяйственной деятельности. Воронеж: Изд. дом ВГУ, 2015. 192 с.
- Дубинина В.Г., Никитина О.И., Марков М.Л.* Методические подходы к определению объемов допустимого безвозвратного изъятия стока из слабоизученных малых рек // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 4. С. 80–97.
- Зубенок Л.И.* Испарение на континентах. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 264 с.
- Коронкевич Н.И., Кашутина Е.А., Мельник К.С., Лукьянов К.В.* Современные гидрологические изменения в бассейне реки Москва // Метеорология и гидрология. 2020. № 8. С. 22–28.
- Коронкевич Н.И., Мельник К.С.* Антропогенные воздействия на сток реки Москвы. М.: Макс Пресс, 2015. 168 с.
- Маркин В.Н.* Определение экологически допустимого воздействия на малые реки // Мелиорация и водное хозяйство. 2005. № 4. С. 8–11.
- Ресурсы поверхностных вод. Основные гидрологические характеристики (за 1970–1975 гг. и весь период наблюдений). Т. 10. Верхне-Волжский район. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 480 с.
- Фацевский Б.В.* Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока. Минск: БелНИИНТИ, 1989. 52 с.
- Smakhtin V., Revenga C., Döll P.* Taking into account environmental water requirements in global-scale water resources assessments // Comprehensive Assessment Res. Rep. 2. Colombo, Sri Lanka: Comprehensive Assessment Secretariat. 2004.

## Water Resources and Water-Ecological Stress in the Central Federal District of Russia

A. G. Georgiadi<sup>1</sup>\*, N. I. Koronkevich<sup>1</sup>, E. A. Barabanova<sup>1</sup>, and K. S. Melnik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

\*e-mail: georgiadi@igras.ru

The water balance, water resources, and the hydroecological state of the territory of federal subjects (oblasts) and river basins in the Central Federal District of Russia, a region with one of the highest anthropogenic loads on the water element of the environment, are considered. Both local and total (including transboundary water flow) water resources taking into account the runoff coming from neighboring territories, were assessed. The ecological and available for use (total minus ecological) runoff, which can be used without significant damage to aquatic ecosystems, were assessed too. The amount of runoff was determined both in the average long-term aspect and in the low-water years, 75 and 95% probabilities of exceeding. It is shown that the annual normal flow for the period of the end of the 19th century–1960 is much lower than that for 1930–1980. The influence of hydrotechnical transformations and water intake for various economic needs on the amount of runoff is estimated. A significant decrease in water withdrawal after 1985 was revealed. The water-ecological stress in the region was estimated by such indicators as the water stress index, the frequency rate of wastewater dilution, irretrievable water consumption, and water quality. It is shown that the utmost hydroecological stress is observed in the Moscow Oblast, in the basins of Klyazma and Moskva rivers, especially in the Moskva River below Moscow.

**Keywords:** oblasts, river basins, water balance, average long-term runoff, ecological and available for use runoff, low-water years runoff, anthropogenic changes, water resources quantity and quality, water-ecological stress

### REFERENCES

- Bolgov M.V., Mishon N.I., Sentsova N.I. *Sovremennyye problemy otsenki vodnykh resursov i vodoobespecheniya* [Modern Problems of Assessing Water Resources and Water Supply]. Asarin A.E., Ed. Moscow: Nauka Publ., 2005. 318 p.
- Dzhamalov R.G., Kireeva M.B., Kosolapov A.E., Frolova N.L. *Vodnye resursy basseina Dona i ikh ekologicheskoe sostoyanie* [Water Resources of the Don Basin and Their Ecological State]. Moscow: GEOS Publ., 2017. 205 p.
- Dmitrieva V.A. *Vodnye resursy Voronezhskoi oblasti v usloviyakh menyayushchikhsya klimata i khozyaystvennoi deyatel'nosti* [Water Resources of the Voronezh Region under Changing Climate and Economic Activity]. Voronezh: Voronezh. Gos. Univ., 2015. 192 p.
- Dubinina V.G., Nikitina O.I., Markov M.L. Methodological approaches to determining the amounts of permissible irrevocable removal of runoff from poorly studied small rivers. *Vodnoe Khozyaystvo Rossii: Problemy, Tekhnologii, Upravlenie*, 2015, no. 4, pp. 80–97. (In Russ.).
- Fashchevskii B.V. *Ekologicheskoe obosnovanie dopustimoi stepeni regulirovaniya rechnogo stoka* [Ecological Rationale for the Acceptable Degree of the River Flow Regulation]. Minsk: BelNIINTI, 1989. 52 p.
- Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Kashutina E.A., Barabanova E.A. *Sovremennyye i stsenarnyye izmeneniya rechnogo stoka v basseynakh krupneishikh rek Rossii* [Modern and Scenario Changes in the River Flow in the Basins of the Largest Rivers in Russia]. Vol. 2: *Basseiny rek Volgi i Dona* [Basins of the Volga and Don Rivers]. Moscow: MAKS Press Publ., 2014. 214 p.
- Koronkevich N.I., Kashutina E.A., Mel'nik K.S., Luk'yanov K.V. Modern hydrological changes in the Moskva river basin. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2020, vol. 45, no. 8, pp. 533–537. doi 10.3103/S1068373920080026
- Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. *Antropogennyye vozdeistviya na stok reki Moskvy* [Anthropogenic Impact on the Flow of the Moscow River]. Moscow: Maks Press Publ., 2015. 168 p.
- Markin V.N. Determination of environmentally acceptable impact on small rivers. *Melioratsiya i Vodnoe Khozyaystvo*, 2005, no. 4, pp. 8–11. (In Russ.).
- Resursy povekrhnostnykh vod. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1970-1975 gg. i ves' period nablyudenii)* [Surface Water Resources. Main Hydrological Characteristics (for 1970–1975 and the Entire Observation Period)]. Vol. 10: *Verkhne-Volzhsii raion* [Upper-Volga Region]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1979. 480 p.
- Smakhtin V., Revenga C., Döll P. *Taking Into Account Environmental Water Requirements in Global-scale Water Resources Assessments*. Comprehensive Assessment Research Report 2. Colombo, Sri Lanka: Comprehensive Assessment Secretariat, 2004. 24 p.
- State Water Cadaster. *Surface and Groundwater Resources, Their Use and Quality*, 2018. St. Petersburg: Rosgidromet, 2019. 153 p. (In Russ.).
- Vladimirov A.M., Imamov F.A. The principle of assessing the ecological flow of rivers. In *Voprosy ekologii i gidrologicheskie raschety. Sb. nauchn. tr. (mezhdovedomstvennyy)* [Problems of Ecology and Hydrological Calculations. Collection of Sci. Papers (Interdepartmental)]. St. Petersburg: RGGMI Publ, 1994. vol. 116, pp. 4–7. (In Russ.).
- Vodnye resursy i vodnoe khozyaystvo Rossii v 2009 godu (Statisticheskii sbornik)* [Water Resources and Water

- Management of Russia in 2009 (Data Book)]. Rybal'skii N.G., Dumnov A.D., Eds. Moscow: NIA-Priroda Publ., 2010. 372 p.
- Vodnye resursy i vodnoe khozyaistvo Rossii v 2018 godu (Statisticheskii sbornik)* [Water Resources and Water Management of Russia in 2018 (Data Book)]. Rybal'skii N.G., Omel'yanenko V.A., Eds. Moscow: NIA-Priroda Publ., 2019. 274 p.
- Vodnye resursy i vodnyi balans territorii Sovetskogo Soyuza* [Water Resources and Water Balance on the Territory of the Soviet Union]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1967. 199 p.
- 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.
- Vodnyi balans SSSR i ego preobrazovanie* [Water Balance of the USSR and Its Transformation]. L'vovich M.I., Ed. Moscow: Nauka Publ., 1969. 338 p.
- Voskresenskii K.P. *Norma i izmenchivost' godovogo stoka rek Sovetskogo Soyuza* [Rate and Variability of the Annual Flow of Rivers in the Soviet Union]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1962. 548 p.
- Zubenok L.I. *Isparenie na kontinentakh* [Evaporation on Continents]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1976. 264 p.