

УДК 502/504:556.11

Г. Х. ИСМАЙЛОВ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

В. М. ФЕДОРОВ

Учреждение Российской академии наук «Институт водных проблем»

ПРОГНОЗ СОСТОЯНИЯ ПРЕСНОВОДНЫХ РЕСУРСОВ РОССИИ В СВЯЗИ С ГЛОБАЛЬНЫМИ И РЕГИОНАЛЬНЫМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ*

Дана оценка состоянию ресурсов пресных вод России и ее регионов для первой половины XXI века в условиях стационарности (квазистационарности) речного стока. Представлены сценарии возможного изменения климата.

Водные ресурсы, речной сток, элементы водного баланса, водобеспеченность регионов России, характерные тренды, сценарии климата.

The paper assesses the state of freshwater resources of Russia and its regions for the first half of the twenty-first century under the conditions of river flow stationarity (quasi-stationarity) and scenarios of possible climate change.

Water resources, river flow, water balance elements, water supply of Russian regions, specific trends, climate scenarios.

Вторая половина XX века, особенно с последней его четверти, характеризуется резким потеплением климата – 1990-е годы были самым теплым десятилетием за период инструментальных наблюдений. Основной причиной такого изменения климата многими исследователями считается антропогенная эмиссия парниковых газов и аэрозолей, которая будет, по их мнению, только увеличиваться на протяжении XXI века. Расчеты с помощью наиболее совершенных моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) на основе специально разработанных сценариев антропогенной эмиссии парниковых газов в атмосферу Земли дают повышение средней глобальной температуры приземного воздуха к 2100 году в пределах от 1,4 до 5,8 °С. Это примерно в 2–10 раз больше средней величины потепле-

ния, наблюдающегося в течение XX века.

Альтернативой концепциям стационарности и квазистационарности (цикличности) колебания климата и элементов водного баланса суши (ЭВБ) является концепция антропогенно-обусловленного глобального потепления климата. Изменение климата, в свою очередь, приведет и к изменению теплового и водного балансов суши и, как следствие, к нарушению статистической (квазистатистической) устойчивости характеристик ресурсов пресных вод России и ее регионов, выявленной при ретроспективном анализе их временных рядов.

Авторами рассмотрены следующие варианты:

1) неизменность климата XXI века в сравнении с климатом XX века;

2) сохранение выявленных трендов и на протяжении первой половины XXI века. При этом приняты во внимание

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 12-05-00193а).

тренды, выявленные для 30-летних средних норм годового стока местных рек;

3) смены характера выявленных трендов на протяжении первой половины XXI века;

4) антропогенно-обусловленное глобальное потепление климата.

Исходя из рассмотренных концепций и соответствующих им методических подходов, осуществлена оценка естественных водных ресурсов, которыми будет располагать Россия в первой половине

XXI века [1, 2]. В таблице 1 приведены средние многолетние естественные ресурсы речного стока, формирующегося в пределах федеральных округов (местный сток) в условиях неизменности климата. Как видно из этих данных, пределы возможного изменения средних за многолетие естественных ресурсов речного стока во всех федеральных округах и в целом по России в границах 95%-го доверительного интервала не превышают $\pm 10\%$ от их средних норм, свойственных XX веку.

Таблица 1

Средние многолетние естественные ресурсы местного речного стока, формирующегося в пределах федеральных округов Российской Федерации для первой половины XXI века в условиях неизменности климата, км³/год

Федеральный округ	Период					
	1930–2005 годы			1930–2020 годы	1930–2040 годы	1930–2060 годы
	$R_{ср.}$	C_v	σ_{Rep}	$R_{ср.} \pm \alpha\sigma_{Rep}$	$R_{ср.} \pm \alpha\sigma_{Rep}$	$R_{ср.} \pm \alpha\sigma_{Rep}$
Северо-Западный	554	0,09	6,0	554 ± 12	554 ± 14	554 ± 16
Центральный	108	0,20	3,0	108 ± 6,0	108 ± 7,0	108 ± 7,0
Приволжский	173	0,21	4,0	173 ± 8,0	173 ± 9,0	173 ± 10
Южный	28	0,35	1,0	28 ± 2,0	28 ± 2,0	28 ± 2,0
Северо-Кавказский	25	0,18	0,6	25 ± 1,0	25 ± 1,0	25 ± 1,0
Уральский	385	0,18	9,0	385 ± 18	385 ± 20	385 ± 22
Сибирский	1277	0,08	13,0	1277 ± 26	1277 ± 29	1277 ± 31
Дальневосточный	1566	0,08	16,0	1566 ± 33	1566 ± 36	1566 ± 38
Российская Федерация	4118	0,06	31,0	4118 ± 63	4118 ± 70	4118 ± 74

Как видно из данных таблицы 1, ресурсы речного стока Южного округа при $C_v = 0,35$ могут составить в среднем за многолетие 26...30 км³ в год, т. е. их изменение возможно в пределах $\pm 7\%$. Ресурсы стока Центрального округа ($C_v = 0,20$) могут составлять 101...115 км³ в год ($\pm 6,5\%$), а Приволжского – 163...183 км³ в год ($\pm 5,8\%$). В соответствии с такими относительно незначительными возможными изменениями среднемноголетнего годового стока вряд ли стоит ожидать значительных отклонений по сравнению с современным стоком и в стоке экстремальных по водности лет. Так, например, в Южном округе возможный сток в маловодный год 95%-й обеспеченности составит около 8, в Центральном – около 61, а в Приволжском – около 94 км³/год (имеется в виду меньшая из возможных оценок среднемноголетнего годового стока).

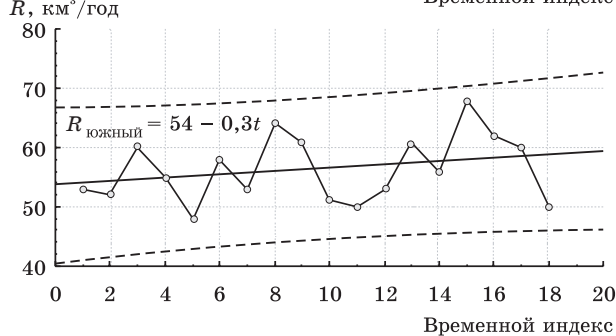
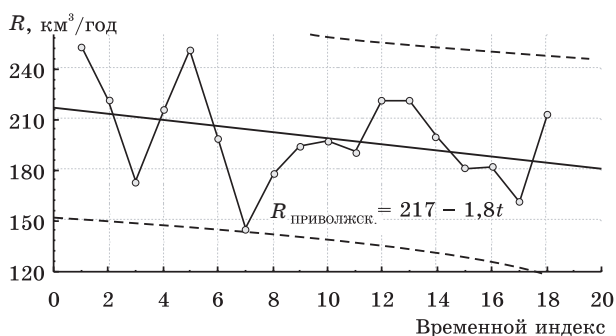
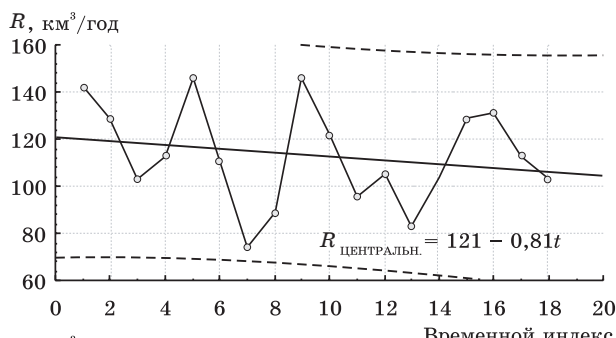
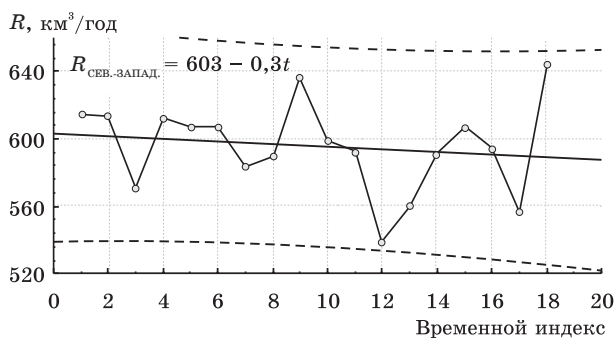
Таким образом, в рамках концепции неизменности климата XXI века в сравне-

нии с климатом XX века возможные изменения ресурсов речного стока в первой половине наступившего века находятся в пределах возможных ошибок определения его статистических параметров.

Анализ данных Государственного водного кадастра за период 1990–2009 годов ($n = 20$ лет) показывает, что ресурсы местного стока за последние 20 лет во всех округах и по России в целом превышают их среднемноголетние (1930–2005 годы, $n = 76$ лет) значения. Так, в целом по России среднемноголетний годовой сток местных рек составляет 4118 км³/год, а за последние 20 лет – 4303 км³/год, т. е. на 5% выше нормы. По отдельным федеральным округам эти изменения доходят до 10...15% (Северо-Западный, Уральский и Приволжский). При общем увеличении местного стока за последние 20 лет характер линейного тренда различается по округам. Так, положительный тренд характерен как в целом для России, так и для Южного,

Уральского, Сибирского и Дальневосточного федеральных округов, а отрицатель-

ный – для Северо-Западного, Центрального и Приволжского округов (рисунок).



Изменчивость естественного местного речного стока федеральных округов Российской Федерации

Как один из возможных вариантов изменения ресурсов местного стока рассмотрен вариант сохранения выявленных трендов на протяжении первой половины XXI века. Во внимание принимались тренды, выявленные для 30-летних средних

значений годового стока местных рек. В таблице 2 приведены уравнения линейного тренда и значения среднего 30-летнего естественного годового стока местных рек федеральных округов для первой половины XXI века, полученные экстраполяцией трендов.

Таблица 2
Средний 30-летний естественный годовой сток местных рек федеральных округов России в первой половине XXI века, км³/год

Федеральный округ	Уравнение тренда	Годы		
		2001–2030 ($t_{cp} = 75,5$)	2031–2060 ($t_{cp} = 105,5$)	2001–2060 ($t_{cp} = 90,5$)
Северо-Западный	$R_{cp}^{(30)} = 0,87t_{cp} + 528$	594	620	607
Центральный	$R_{cp}^{(30)} = 0,31t_{cp} + 104$	127	137	132
Приволжский	$R_{cp}^{(30)} = 0,60t_{cp} + 155$	200	218	209
Южный	$R_{cp}^{(30)} = 0,07t_{cp} + 51$	56	58	57
Уральский	$R_{cp}^{(30)} = 0,60t_{cp} + 367$	412	430	421
Сибирский	$R_{cp}^{(30)} = 0,27t_{cp} + 1238$	1258	1266	1262
Дальневосточный	$R_{cp}^{(30)} = 0,67t_{cp} + 1546$	1596	1617	1607
Российская Федерация в целом	$R_{cp}^{(30)} = 0,13t_{cp} + 3992$	4002	4006	4004

Как следует из данных этой таблицы, при сохранении выявленных тенденций, свойственных XX веку, водные ресурсы местного стока в целом для территории Российской Федерации увеличиваются на 5...8 % по отношению к их норме (см. табл. 1).

Разумеется, опираться на оценки, полученные в результате экстраполяции выявленных трендов, можно лишь в случае подтверждения их и в XXI веке, поскольку

существует большая вероятность изменения как характера, так и интенсивности изменения годового стока из-за свойственных ему циклических колебаний. Подтверждением этому, в частности, служит изменение характера тренда ежегодных величин стока на европейской части территории России (Северо-Западный, Центральный и Приволжский округа) (см. рисунок). Вполне вероятно, что такая смена знака тренда произойдет и в

азиатской части территории России. В связи с этим была осуществлена оценка средних 30-летних величин естественного годового

стока местных рек в первой половине XXI века и для случая смены характера тренда (табл. 3).

Таблица 3
Средний 30-летний естественный годовой сток местных рек федеральных округов России в первой половине XXI века при смене характера тренда, км³/год

Федеральный округ	Годы			
	1971–2000	2001–2030	2031–2060	2001–2060
Северо-Западный	567	541	515	528
Центральный	110	106	102	104
Приволжский	182	164	146	155
Южный	54	56	54	55
Уральский	394	412	394	403
Сибирский	1296	1334	1296	1315
Дальневосточный	1576	1596	1576	1586
Российская Федерация в целом	4180	4209	4085	4147

В качестве основной причины современных изменений ресурсов местного стока большинство исследователей считает изменение глобального и, как следствие, регионального климата. В результате увеличились годовые суммы осадков (в большей степени за летне-осенний период и в меньшей за зимний) на фоне повышения средней годовой температуры воздуха (в основном за счет повышения температуры холодного периода), участились зимние оттепели, промерзаемость почвы уменьшилась, а влажность почвогрунтов зоны активного водообмена увеличилась. Из-за повышения количества осадков теплого периода увлажнение почвогрунтов в летне-осенний период возросло. Все это привело к увеличению подземного стока в реки и, как следствие, к возрастанию меженного и годового стоков рек.

Для оценки влияния антропогенных

факторов на изменение климата, теплового и водного баланса на территории федеральных округов России в первой половине XXI века авторы использовали сценарии A₂ и B₁ [3]. В этих сценариях изменение климата связано с антропогенным воздействием на него за счет увеличения выбросов парниковых газов в атмосферу Земли. В результате оценка климатических условий будущего базируется прежде всего на оценке будущего развития экономики и роста населения планеты. Следовательно, сценарии A₂ и B₁ различаются увеличением концентрации выбросов парниковых газов и аэрозолей в атмосферу. В качестве базисного периода, характеризующего водный баланс территории федеральных округов России, принят период 1990–2009 годов (n = 20 лет). В таблицах 4 и 5 приведены

Таблица 4
Элементы годового водного баланса за 2011–2030 годы для сценариев A₂ и B₁ изменения глобального климата, мм/год

Федеральный округ	Сценарий A ₂			Сценарий B ₁		
	P	R	E	P	R	E
Северо-Западный	713	364	349	726	368	358
Центральный	727	177	550	734	179	555
Приволжский	638	200	438	645	199	446
Южный	617	98	519	624	100	524
Уральский	578	243	335	569	238	331
Сибирский	563	284	279	550	280	270
Дальневосточный	538	262	276	538	262	276
Российская Федерация в целом	571	264	307	569	259	310

Таблица 5
Элементы годового водного баланса за 2031–2050 годы для сценариев A₂ и B₁ изменения глобального климата, мм/год

Федеральный округ	Сценарий A ₂			Сценарий B ₁		
	P	R	E	P	R	E
Северо-Западный	737	373	364	745	378	367
Центральный	741	183	558	743	184	559
Приволжский	652	204	448	654	207	447
Южный	631	102	529	633	105	528
Уральский	597	253	344	588	246	342
Сибирский	557	287	270	562	286	276
Дальневосточный	554	269	285	544	266	278
Российская Федерация в целом	581	267	314	579	266	313

среднемноголетние значения элементов годового водного баланса территории для федеральных округов и России в целом (расчетные периоды первой половины XXI века), полученные исходя из принятых сценариев возможного изменения климата.

Анализ таблиц 4 и 5 позволяет сделать вывод о том, что в первой половине XXI века нет оснований ожидать каких-либо значительных изменений ресурсов местного речного стока в результате принятия гипотезы антропогенного изменения (потепления) климата как России, так и по ее федеральным округам, поскольку крайние оценки изменений стока находятся в пределах от +1,2 до +10,5 %, т. е. в диапазоне естественной изменчивости годового стока рек России. В ближайшей перспективе (в случае сохранения тенденции изменения климата) наиболее вероятно незначительное (в пределах 1...5 %) увеличение естественных ресурсов местного стока во всех федеральных округах России.

Выводы

Оценки стока, полученные в соответствии с принятыми сценариями изменения климата в XXI веке в результате антропогенного увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере, позволяют говорить о повышении степени водообеспеченности всех федеральных округов, хотя и в этом случае даже крайние оценки не превышают 10...15 %.

В реальных условиях антропогенного воздействия полученные оценки естественных ресурсов стока будут определяться степенью использования водных ресурсов в том или ином федеральном округе России.

1. Исмаилов Г. Х., Федоров В. М. Межгодовая изменчивость и взаимосвязь элементов водного баланса бассейна реки Волги // Водные ресурсы. – Т. 35. – 2008. – № 3. – С. 1–18.

2. Исмаилов Г. Х., Федоров В. М. Оценка и прогноз элементов водного баланса бассейна реки Волги: сб. докладов Международной научно-практической конференции (7–11 декабря 2010 года). – М.: Изд-во РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2011. – С. 170–176.

3. Водные ресурсы России и их использование; под ред. проф. И. А. Шикломанова. – СПб.: ГГИ, 2008. – 600 с.

Материал поступил в редакцию 21.04.11.

Исмаилов Габил Худуш оглы, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Гидрология, метеорология и регулирование стока»

Тел. 8 (499) 976-23-68

E-mail: Ism37@mail.ru

Федоров Владимир Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

УДК 502/504:628.171:556.3.01

С. Н. КАРАМБИРОВ, Л. Б. БЕКИШЕВА, С. А. ТРИКОЗЮК

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Московский государственный университет природообустройства»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ РИСКА

Рассмотрены вопросы проектирования систем водоснабжения с учетом рисков на основе имитационного моделирования.

Риск, водоснабжение, имитационное моделирование.

Questions of water supply systems designing are considered taking into consideration risks on the basis of simulation.

Risk, water supply, simulation.

Понятие риска обычно интерпретируется как возможность получения неже-

лательного результата. Это связано с отсутствием полной информации, наличием