

УДК 502/504:551.585

Г. Х. ИСМАЙЛОВ, Н. В. МУРАЩЕНКОВА

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТОКА РЕКИ ВОЛГИ В ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XXI ВЕКА С УЧЕТОМ ВОЗМОЖНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В статье рассматривается оценка изменения среднемноголетнего стока р. Волги в первой половине XXI века. Для этого авторами используется разработанная ими вероятностная методика оценки речного стока и результаты сценариев климатических моделей общей циркуляции атмосферы и океана. С целью использования результатов моделей общей циркуляции атмосферы и океана авторы предлагают систему уравнений связи речного стока от определяющих его климатических факторов. Используя результаты сценариев климатических моделей СМIP 3 для начала первой половины XXI века (2011–2030 гг.) и для середины первой половины XXI века (2041–2060 гг.), а также разработанные авторами уравнения связи речного стока с его определяющими климатическими факторами, получены среднемноголетние значения речного стока по отдельным водохозяйственным районам бассейна р. Волги и бассейну в целом. По данным исследований основанных на вариантных расчетах прогнозных методик среднемноголетнее значение стока бассейна р. Волги в целом изменяется для периода 2011–2030 гг. от 5 до 10 %, а для периода 2041–2060 гг. – от 6 до 14 %. Эти результаты сопоставимы с данными других исследователей. Аналогичные результаты были получены в результате обобщения материалов по шести крупным рекам, в том числе и для бассейна р. Волги. Так, например, для р. Волги на период 2011–2030 гг. по одному из сценариев прогнозируется изменение стока от –2 до +5 %.

Речной сток, стационарность, квазистационарность, нестационарность, изменение климата.

The article discusses the assessment of changes in mean annual flow of the Volga River in the first half of the XXI century. To do this, the authors used the developed by them probabilistic method of estimating the flow and the scenarios results of climate models of the general circulation of the atmosphere and ocean. In order to use the results of the general circulation models of the atmosphere and ocean the authors propose a system of equations of river flow connection with the defining climatic factors. Using the scenarios results of the climate models СMIP 3 for the beginning of the first half of the XXI century (2011–2030) and for the middle of the first half of the XXI century (2041–2060.) as well as developed by the authors the equation of the connection of the river flow with its defining climatic factors there are obtained mean annual flow values for individual water management districts of the Volga river basin and the basin in whole. According to the investigation data based on the variant calculations of forecasting methods the average long-term value of the Volga river basin runoff changes in whole for the period 2011–2030 from 5 to 10 %, and for the period 2041–2060 from 6 to 14 %. These results can be compared with the data of other researches. The analogical results were obtained as a result of generalization of materials on six large rivers including for the basin of the Volga river. Thus, for example, for the Volga river for the period 2011–2030 according to one of the scenarios flow changing is planned from –2 to +5%.

River flow, stationarity, quasi-stationarity, non-stationarity, climate change.

Изменение климата является непрерывным процессом, подтверждающимся историей существования Земли. Сегодня на повестку дня ставится задача определения насколько велики эти изменения и как эти изменения отразятся на процессах, происходящих в окружающей среде, и в том числе на количественных изменениях элементов водного баланса (ЭВБ) речных бассейнов, регионов, а также на изменения соотношений ЭВБ. В связи с этим в настоящей работе излагаются основные результаты оценки изменения основных элементов водного баланса (атмосферные осадки, речной сток, суммарное испарение с поверхности суши, изменение влагозапасов) на предстоящий период первой половины XXI века. При этом на данном этапе исследований в основном рассматривается изменение среднесуточного значения речного стока (норма стока) в зависимости от определяющих его климатических факторов. Весь комплекс исследований осуществлен применительно к речному бассейну Волги и его отдельных частных водосборов. Основанием для данного исследования служит следующая концепция. Заблаговременная оценка изменения климата с позиции рационального использования и охраны природных ресурсов, в том числе водных, может обеспечить разумное и выгодное использование меняющихся характеристик климата. Речной сток относится к климатически обусловленным возобновляемым водным ресурсам. Поэтому изменение режима речного стока влияет не только на возможность его использования в качестве источников водоснабжения, но и на сохранение (или на нарушение) экологического равновесия водотоков и водоемов. Например, сокращение весеннего половодья или увеличение меженного стока в условиях меняющегося климата может привести к целому ряду позитивных (или негативных) последствий. В современных условиях природопользования физически обоснованный прогноз динамики ЭВБ и оценка изменений природообразующих функций водных ресурсов в настоящее время приобретает все более острый социально-экономический характер. Ситуация усугубляется и в связи с возрастанием антропогенных воздействий на окружающую среду, растущим водопотреблением, существенной сезон-

ной неравномерностью речного стока и ухудшением показателей качества воды.

В соответствии с вышеизложенным нами выдвигаются две концепции оценки возможных изменений речного стока, как следствие, оценки состояния поверхностных вод в будущем. Согласно первой концепции в основе формирования речного стока лежит представление о его стохастической природе. Это предопределило вероятностное описание закономерностей изменчивости речного стока во времени и пространстве с использованием наблюдаемых временных рядов. При этом выявленные закономерности распространялись и на будущее. Такой подход подразумевает стационарность и квазистационарность процессов формирования речного стока и, как следствие, возможность вероятностного предвидения его характера и параметров в обозримом будущем (период прогнозирования, как правило, исчисляется несколькими десятилетиями). Альтернативой концепциям стационарности и квазистационарности (цикличности) колебания климата и ЭВБ суши в настоящее время выступает концепция антропогенно-обусловленного глобального потепления климата. Это объясняется тем, что изменения климатических условий неизбежно приведут, а возможно уже и привели к изменениям гидрологических характеристик в различных речных бассейнах и регионах, в частности притока речных вод к основным гидроузлам крупных рек России, в том числе к гидроузлам Волжско-Камского каскада водохранилищ.

Принятие соответствующих концепций изменения речного стока в будущем предопределяет и выбор методов оценки этих изменений. Так, концепция стационарности климата и процессов гидрологического цикла предопределяет использование вероятностно-статистических методов. Принятие же концепции нестационарности приводит к необходимости выявления однонаправленных тенденций (трендов) во временных рядах речного стока и определяющих его климатических и антропогенных факторов с последующей экстраполяцией детерминированной составляющей временного ряда, а также к установлению функциональных связей между факторами воздействия и характером отклика.

При прогнозировании элементов водного баланса речного бассейна в качестве одного из основных допущений предполагается физическая и статистическая однородность (неоднородность) и стационарность (нестационарность) многолетних колебаний основных составляющих водного баланса за достаточно продолжительный период времени. Рассматриваются достаточно длительные многолетние колебания основных ЭВБ бассейна р. Волги за период 1914/1915–2000/2001 гг. ($n = 87$ лет). Результаты исследования показали, что при уровне значимости 5 % подавляющее число рядов ЭВБ бассейна р. Волги являются стационарными (таблица 1). Нестационарность выявлена во временных рядах межлетнего речного стока и годового и межлетнего суммарного испарения в бассейне Средней Волги.

Для бассейна р. Волги в целом неоднородность средних значений установлена для ряда годовых атмосферных осадков, речного стока и суммарного испарения, а также для стока и суммарного испарения межлетнего периода. Кроме того неоднородность средних значений выявлена для температуры воздуха холодного периода и года в целом. В отношении дисперсий временных рядов годовых и сезонных элементов водного баланса бассейна р. Волги выполняется условие однородности. Отметим, что для бассейна Средней Волги при однородности средних значений годовых и сезонных атмосферных осадках, наблюдается неоднородность средних значений годового и межлетнего стока и суммарного испарения. Неоднородность дисперсий выявлена для годового суммарного испарения, а также дисперсий межлетнего стока и суммарного испарения. Интересная картина выявлена в отношении бассейна р. Камы. Средние значения рядов годовых атмосферных осадков и речного стока неоднородны, также неоднородны средние значения атмосферных осадков и стока межлетнего периода. Дисперсии этих элементов для годового и сезонного суммарного испарения неоднородны, тогда как для остальных элементов выполняется условие однородности.

В настоящей работе приводятся результаты расчетов будущих изменений климата в бассейне р. Волги с помощью ансамбля из 16 глобальных моделей общей циркуляции атмосферы и океана

(МОЦАО) третьего поколения (CMIP 3) для сценариев роста парниковых газов и аэрозоля SRES B1, A1B и A2. Изменение климата рассматривалось для первой половины XXI века, а именно для начала первой половины XXI века (2011–2030 гг.) и для середины первой половины XXI века (2041–2060 гг.), осредненные за 20 лет по отношению к базовому периоду 1914/15–2000/2001 гг. Кроме того также были использованы результаты расчетов будущих изменений климата в бассейне р. Волги с помощью моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) пятого поколения (CMIP 5) для сценариев роста парниковых газов и аэрозоля RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5.

Для оценки изменения среднемноголетнего стока бассейна р. Волги использованы уравнения связи речного стока от определяющих его климатических факторов (атмосферные осадки P , температура воздуха T , температура подстилающей поверхности \bar{T} суммарное испарение E) имеющих следующий вид:

а) Бассейн Верхней Волги:

$$R\Gamma_i = 0,483P\Gamma_i - 34,658\bar{T}\Gamma_i; \quad (1)$$

$$R\Gamma_i = 0,368P\Gamma_i - 6,569T\Gamma_i; \quad (2)$$

$$R\Gamma_i = 0,635P\Gamma_i - 0,455E\Gamma_i; \quad (3)$$

$$R\Gamma_i = 0,329P\Gamma_i + 0,325E\Gamma_i - 48,709\bar{T}\Gamma_i; \quad (4)$$

$$R\Gamma_i = 0,576(P\Gamma_i - E\Gamma_i) + 97; \quad (5)$$

б) Бассейн Средней Волги:

$$R\Gamma_i = 0,364P\Gamma_i - 17,966T\Gamma_i; \quad (6)$$

$$R\Gamma_i = 0,232P\Gamma_i + 2,163T\Gamma_i; \quad (7)$$

$$R\Gamma_i = 0,411P\Gamma_i - 0,225E\Gamma_i; \quad (8)$$

$$R\Gamma_i = 0,297P\Gamma_i + 0,146E\Gamma_i - 24,047\bar{T}\Gamma_i; \quad (9)$$

$$R\Gamma_i = 0,332(P\Gamma_i - E\Gamma_i) + 110; \quad (10)$$

в) Бассейн р. Камы:

$$R\Gamma_i = 0,491P\Gamma_i - 34,504\bar{T}\Gamma_i; \quad (11)$$

$$R\Gamma_i = 0,376P\Gamma_i - 5,745T\Gamma_i; \quad (12)$$

$$R\Gamma_i = 0,577P\Gamma_i - 0,339E\Gamma_i; \quad (13)$$

$$R\Gamma_i = 0,399P\Gamma_i + 0,218E\Gamma_i - 46,51\bar{T}\Gamma_i; \quad (14)$$

$$R\Gamma_i = 0,474(P\Gamma_i - E\Gamma_i) + 133; \quad (15)$$

в) Бассейн р. Волги в целом (г. Волгограда):

$$R\Gamma_i = 0,395P\Gamma_i - 21,08\bar{T}\Gamma_i; \quad (16)$$

$$R\Gamma_i = 0,280P\Gamma_i + 0,522T\Gamma_i; \quad (17)$$

$$R\Gamma_i = 0,619P\Gamma_i - 0,473E\Gamma_i; \quad (18)$$

$$R\Gamma_i = 0,279P\Gamma_i + 0,213E\Gamma_i - 27,529\bar{T}\Gamma_i; \quad (19)$$

$$R\Gamma_i = 0,564(P\Gamma_i - E\Gamma_i) + 82,57. \quad (20)$$

Используя результаты сценариев

Оценка стационарности средних значений и дисперсий временных рядов годовых и сезонных ЭВБ бассейна р. Волги

ЭВБ	Период	Критерий Стьюдента			Критерий Фишера		
		t	t_{α}	Вывод	F	F_{α}	Вывод
Бассейн р. Волги в целом (до г. Волгограда)							
РГ	1914/15–1977/78 гг. 1978/79–2000/2001 гг.	-1,99	1,66	неоднородны	1,09	1,88	однородны
РГ	1914/15–1977/78 гг. 1978/79–2000/2001 гг.	-3,74	1,66	неоднородны	1,35	1,88	однородны
ЕГ	1914/15–1961/62 гг. 1962/63–2000/2001 гг.	4,11	1,66	неоднородны	1,42	1,68	однородны
РВ	1914/15–1977/78 гг. 1978/79–2000/2001 гг.	1,5	1,66	однородны	1,1	1,88	однородны
РВ	1914/15–1941/42 гг. 1942/43–2000/2001 гг.	0,34	1,66	однородны	1,5	1,67	однородны
ЕВ	1914/15–1946/47 гг. 1947/48–2000/2001 гг.	0,41	1,66	однородны	1,35	1,66	однородны
РМ	1914/15–1977/78 гг. 1978/79–2000/2001 гг.	-1,63	1,66	однородны	1,48	1,88	однородны
РМ	1914/15–1977/78 гг. 1978/79–2000/2001 гг.	-4,98	1,66	неоднородны	1,36	1,88	однородны
ЕМ	1914/15–1959/60 гг. 1960/61–2000/2001 гг.	2,39	1,66	неоднородны	1,33	1,67	однородны
Ттепл	1901/02–1938/39 гг. 1939/40–2002/2003 гг.	-1,38	1,66	однородны	1,03	1,60	однородны
Тхол	1901/02–1964/65 гг. 1965/66–2002/2003 гг.	-3,12	1,66	неоднородны	1,15	1,66	однородны
Тгод	1901/02–1964/65 гг. 1965/66–2002/2003 гг.	-3,08	1,66	неоднородны	1,61	1,66	однородны
Бассейн Верхней Волги							
РГ	1914/15–1949/50 гг. 1950/51–2000/2001 гг.	0,30	1,66	однородны	1,09	1,66	однородны
РГ	1914/15–1949/50 гг. 1950/51–2000/2001 гг.	-1,08	1,66	однородны	1,04	1,66	однородны
ЕГ	1914/15–1972/73 гг. 1973/74–2000/2001 гг.	0,54	1,66	однородны	1,44	1,79	однородны
РВ	1914/15–1953/54 гг. 1954/55–2000/2001 гг.	0,18	1,66	однородны	1,97	1,66	неоднородны
РВ	1914/15–1954/55 гг. 1955/56–2000/2001 гг.	0,82	1,66	однородны	1,21	1,66	однородны
ЕВ	1914/15–1958/59 гг. 1959/60–2000/2001 гг.	-0,88	1,66	однородны	1,57	1,67	однородны
РМ	1914/15–1951/52 гг. 1952/53–2000/2001 гг.	-0,32	1,66	однородны	1,13	1,66	однородны
РМ	1914/15–1951/52 гг. 1952/53–2000/2001 гг.	-1,15	1,66	однородны	1,28	1,66	однородны
ЕМ	1914/15–1940/41 гг. 1941/42–2000/2001 гг.	2,26	1,66	неоднородны	1,95	1,68	неоднородны
Бассейн Средней Волги							
РГ	1914/15–1950/51 гг. 1951/52–2000/2001 гг.	-0,26	1,66	однородны	1,05	1,66	однородны
РГ	1914/15–1977/78 гг. 1978/79–2000/2001 гг.	-4,53	1,66	неоднородны	1,33	1,88	однородны
ЕГ	1914/15–1961/62 гг. 1962/63–2000/2001 гг.	6,51	1,66	неоднородны	2,17	1,68	неоднородны
РВ	1914/15–1954/55 гг. 1955/56–2000/2001 гг.	0,29	1,66	однородны	1,32	1,66	однородны
РВ	1914/15–1954/55 гг. 1955/56–2000/2001 гг.	-0,84	1,66	однородны	1,06	1,66	однородны
ЕВ	1914/15–1969/70 гг. 1970/71–2000/2001 гг.	-0,21	1,66	однородны	1,26	1,75	однородны
РМ	1914/15–1951/52 гг. 1952/53–2000/2001 гг.	-0,66	1,66	однородны	1,12	1,65	однородны
РМ	1914/15–1977/78 гг. 1978/79–2000/2001 гг.	-9,26	1,66	неоднородны	2,19	1,86	неоднородны
ЕМ	1914/15–1964/65 гг. 1965/66–2000/2001 гг.	8,09	1,66	неоднородны	2,41	1,70	неоднородны

Примечание: РГ – годовые атмосферные осадки, РГ – годовой сток, ЕГ – годовое суммарное испарение, РВ, РВ, ЕВ – соответственно атмосферные осадки, сток и суммарное испарение за период весеннего половодья, РМ, РМ, ЕМ – соответственно атмосферные осадки, сток и суммарное испарение за период межени, Ттепл, Тхол, Тгод – соответственно температура воздуха теплый, холодный периоды и год в целом.

климатических моделей СМIP 3 в первой половине XXI века, а также разработанные авторами уравнения связи речного стока с его определяющими климатическими факторами, получены среднемноголетние значения суммарного испарения с

поверхности суши и норма речного стока по отдельным водохозяйственным районам бассейна р. Волги и бассейну в целом (таблица 2). При этом следует отметить, что среднемноголетнее суммарное испарение с поверхности суши получено по эмпирическим зависимостям с учетом разности среднемноголетней температуры воздуха и температуры подстилающей поверхности \bar{T} . Для бассейна Верхней Волги по сценарию А2 среднемноголетнее суммарное испарение составляет 475 мм (109 км³/год), т. е. увеличивается на 17 мм (3,89 км³/год) по отношению к базовому периоду (E=458 мм). По сценариям А1В и В1 среднемноголетнее суммарное испарение изменяется от 473 (108 км³/год) до 475 мм (109 км³/год), что

свидетельствует о его близких значениях по всем трем сценариям. Среднемноголетний сток бассейна Верхней Волги изменяется для начала первой половины XXI века от 225 мм (51,5 км³/год) до 238 мм (54,5 км³/год) при базовом значении стока 229 мм (52,4 км³/год). А для середины первой половины XXI века изменения нормы стока и суммарного испарения также имеет небольшое изменение и составляет соответственно от 237 мм (54,3 км³/год) до 243 мм (55,6 км³/год) и от 473 мм (108,3 км³/год) до 477 мм (109,2 км³/год). Как видно из приведенных данных для бассейна Верхней Волги резкого изменения нормы стока и суммарного испарения не наблюдается по рассматриваемым сценариям (таблица 2).

Таблица 2

Оценка изменения средних за 20-летие ЭВБ бассейна р. Волги в первой половине XXI века с использованием 16 климатических моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) 3-го поколения (CMIP3)

Сценарий SRES A2				Сценарий SRES A1B				Сценарий SRES B1							
2011–2030 гг.				2041–2060 гг.				2011–2030 гг.				2041–2060 гг.			
T, °C	P, мм	E, мм	R, мм	T, °C	P, мм	E, мм	R, мм	T, °C	P, мм	E, мм	R, мм	T, °C	P, мм	E, мм	R, мм
Бассейн Верхней Волги															
4,41	701	475	229	5,81	721	473	243	4,61	694	475	225	6,11	722	474	242
Бассейн Средней Волги															
4,76	699	475	180	6,26	719	476	188	4,86	699	475	180	6,56	727	479	191
Бассейн р. Камы															
2,68	728	468	261	4,48	755	467	277	2,78	721	469	257	4,78	776	466	290
Бассейн р. Волги в целом															
4,26	687	475	200	5,79	705	477	210	4,38	683	475	198	6,08	715	477	217

Для бассейна р. Камы в зависимости от сценариев для начала первой половины XXI века норма стока колеблется от 257 мм (95,3 км³/год) до 261 мм (96,8 км³/год), при базовом значении нормы стока 253 мм (93,9 км³/год). А норма суммарного испарения колеблется от 468 мм (173,6 км³/год) до 470 мм (174,4 км³/год), при базовом значении 441 мм (163,6 км³/год). Для середины первой половины XXI века изменение нормы

стока в зависимости от рассматриваемых сценариев колеблется от 277 мм (102,8 км³/год) до 290 мм (107,6 км³/год), а изменение нормы суммарного испарения составляет от 422 мм (156,6 км³/год) до 467 мм (173,2 км³/год). Как видно из этих данных для середины первой половины XXI века норма стока р. Камы по сравнению с современным значением стока увеличивается от 24 мм (9 км³/год) до 37 мм (13,7 км³/год).

В таблице 3 приводятся оценочные результаты изменения среднемноголетних значений речного стока для начала первой половины XXI века (2011–2030 гг.) и для середины первой половины

XXI века (2041–2060 гг.) по сценариям А2, А1В и В1 в бассейне р. Волги, используя уравнения связи речного стока от определяющих его климатических факторов (1)–(20).

Таблица 3
Оценка изменения речного стока бассейна р. Волги в первой половине XXI века (на основе результатов моделей СМIP3)

Сценарий SRES A2										Сценарий SRES A1B									
2011–2030 гг.					2041–2060 гг.					2011–2030 гг.					2041–2060 гг.				
Бассейн Верхней Волги (норма стока за базовый период – 229 мм/год (52,4 км ³ /год))																			
Уравнения					Уравнения					Уравнения					Уравнения				
(30)	(31)	(32)	(33)	(34)	(30)	(31)	(32)	(33)	(34)	(30)	(31)	(32)	(33)	(34)	(30)	(31)	(32)	(33)	(34)
Слой стока, мм/год																			
223	229	229	223	227	236	227	243	234	240	217	225	225	217	223	236	225	242	234	240
Бассейн Средней Волги (норма стока за базовый период – 166 мм/год (101,3 км ³ /год))																			
Уравнения					Уравнения					Уравнения					Уравнения				
(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)	(35)	(36)	(37)	(38)	(39)
Слой стока, мм/год																			
194	172	180	196	184	203	180	188	204	190	194	173	180	196	184	207	183	191	208	192
Бассейн р. Камы (норма стока за базовый период – 253 мм/год (93,9 км ³ /год))																			
Уравнения					Уравнения					Уравнения					Уравнения				
(40)	(41)	(42)	(43)	(44)	(40)	(41)	(42)	(43)	(44)	(40)	(41)	(42)	(43)	(44)	(40)	(41)	(42)	(43)	(44)
Слой стока, мм/год																			
254	258	261	253	256	272	258	277	271	270	248	255	257	248	252	288	264	290	286	280
Бассейн р. Волги в целом (норма стока за базовый период – 190 мм/год (258,4 км ³ /год))																			
Уравнения					Уравнения					Уравнения					Уравнения				
(45)	(46)	(47)	(48)	(49)	(45)	(46)	(47)	(48)	(49)	(45)	(46)	(47)	(48)	(49)	(45)	(46)	(47)	(48)	(49)
Слой стока, мм/год																			
199	195	200	198	202	207	200	210	205	211	196	194	198	196	200	213	203	217	210	217

Как видно из таблицы 3 при использовании данных сценария А2 для начала первой половины XXI века (2011–2030 гг.) среднемноголетние значения речного стока бассейна Верхней Волги изменяется от 223 мм (51,1 км³/год) до 229 мм (52,4 км³/год), а для середины первой половины XXI века (2041–2060 гг.) норма стока изменится от 227 мм (52,0 км³/год) до 240 мм (55,0 км³/год). При использовании данных сценария А1В в начале первой половине XXI века норма стока бассейна Верхней Волги изменяется от 217 мм (49,7 км³/год) до 225 мм (51,5 км³/год), а для середины первой половины

XXI века – норма стока изменится от 225 мм (51,5 км³/год) до 242 мм (55,4 км³/год). Аналогичный порядок изменения стока выявляется и при использовании сценария В1 для бассейна Верхней Волги (базовый сток Верхней Волги составляет 229 мм/год).

Анализируя данные по стоку применительно к бассейнам Средней Волги и р. Камы для самого «жесткого» сценария А2 установили, что норма стока по отношению к базовому периоду в начале первой половине XXI века увеличивается соответственно на 30 мм/год (18,3 км³/год) и 8 мм/год (3,0 км³/

год), а для середины первой половины XXI века – соответственно на 38 мм/год (23,2 км³/год) и 24 мм/год (8,9 км³/год). В отношении самого «мягкого» сценария В1 получили, что среднемноголетнее значение стока бассейнов Средней Волги и Камы в начале первой половине XXI века изменятся соответственно на 33 мм (20,1 км³/год) и 4 мм (1,5 км³/год), и для середины первой половины XXI века норма стока увеличится соответственно на 34 мм (20,7 км³/год) и 36 мм (13,4 км³/год).

Годовой сток бассейна р. Волги в целом (до г. Волгограда) в начале первой половины XXI века (2011-2030 гг.) изменяется от 198 мм до 202 мм для самого «жесткого» сценария А2, а для более «мягкого» сценария А1В годовой сток р. Волги изменяется от 194 мм и до 200 мм. Для середины первой половины XXI века (2041–2060 гг.) для самого «жесткого» сценария А2 норма годового стока р. Волги изменяется от 200 мм до 211 мм.

Заключение

По данным наших исследований, основанных на вариантных расчетах прогнозных методик среднемноголетнее значение стока бассейна р. Волги в целом изменяется для периода 2011–2030 гг. от 5 до 10 %, а для периода 2041–2060 гг. – от 6 до 14 %. А для такого частного водосбора, как бассейн р. Камы эти изменения составляют в пределах от 2 до 9 % для периода 2011–2030 гг., и от 10 до 15 % для периода 2041–2060 гг. Если эти результаты сопоставить с данными других авторов, то они не противоречат

результатам этих исследований. Так, например, исследователями ГГИ* установлено, что для будущих изменений годового стока на ближайшие 10–15 лет (с использованием водобалансовой модели) для водосборов средних рек, расположенных в различных физико-географических зонах, нет оснований ожидать каких-либо значительных изменений водных ресурсов этих рек в результате антропогенного потепления климата. Аналогичные результаты были получены в результате обобщения материалов по шести крупным рекам, в том числе и для бассейна р. Волги. Так, например, для р. Волги на период 2011–2030 гг. по сценарию А 2 прогнозируется изменение стока от –2 до +5 %.

Материал поступил в редакцию 29.01.2015.

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

Тел. 8(499) 976-23-68

E-mail: gabil-1937@mail.ru

Муращенкова Наталья Владимировна, кандидат технических наук, доцент кафедры « Гидрологии, гидрогеологии и регулирования стока»

Тел. 8 (495) 976-17-45

E-mail: splain75@mail.ru

* Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И. А. Шикломанова. – С.-Пб.: Гос. гидрол. ин-т, 2008. – 600 с.