

## 05.23.00 Строительство и архитектура

УДК 502/504:551.583:556.5

**Г.Х. ИСМАЙЛОВ, Н.В. МУРАЩЕНКОВА**

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

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГНОЗА ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАССИВА ДАННЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

*Рассмотрена оценка изменения элементов водного баланса бассейна реки Волги в целом до г. Волгограда и его частных водосборов в первой половине XXI в. Прогноз изменения статистических характеристик элементов водного баланса (ЭВБ) речного бассейна Волги основан на использовании пяти массивов гидрометеорологических данных за многолетний период 1914/1915-2010/2011 гг. Проведено сравнение величин условно-естественного годового испарения и при антропогенном воздействии, что позволило оценить масштабы этого воздействия. Для осуществления прогноза изменения статистических параметров ЭВБ речного бассейна исходим из трех концепций, включающих в себя концепцию стационарности, квазистационарности и нестационарности гидрометеорологических процессов. При прогнозировании элементов водного баланса приоритетным для нас являлись изменение глобального климата и его влияние на региональный климат, который в свою очередь влияет на водные ресурсы бассейна реки Волги. Среднемноголетнее значение годового стока бассейна р. Волги в целом (до г. Волгограда) в начале первой половины XXI в. (2011-2030 гг.) изменится от 198 мм до 202 мм для самого «жесткого» сценария А2. Для более «мягкого» сценария А1В норма годового стока р. Волги изменится от 194 мм до 200 мм, при норме стока за базовый период (1914/15-2010/11 гг.) составит 190 мм/год (258 км<sup>3</sup>/год). Для середины первой половины XXI в. (2041-2060 гг.) в случае самого «жесткого» сценария А2 норма годового стока р. Волги изменяется от 200 мм до 211 мм.*

*Элементы водного баланса, речной сток, речной бассейн, стационарность, нестационарность, изменение климата, климатические модели.*

**Введение.** Бассейн Волги, расположенный в центре европейской части России, имеет огромное значение для развития экономики всей страны. Водные ресурсы Волжского бассейна, составляющие всего около 5% водных ресурсов всей России, несут на себе огромную антропогенную нагрузку из-за большой заселенности и высокого экономического потенциала этого региона [1].

Происходящее в последнее время изменение глобального климата проявилось и в этом речном бассейне [2, 3].

Изменение климата является непрерывным процессом, подтверждающимся историей существования Земли. Сегодня на повестку дня ставится задача определения того, насколько велики эти изменения и как они отразятся на процессах, происходящих в окружающей среде, в том числе

на количественных изменениях элементов водного баланса (ЭВБ) речных бассейнов, регионов, а также на изменениях соотношений ЭВБ.

Анализ гидрометеорологических наблюдений в бассейне р. Волги за период XX в. Показал, насколько эти изменения затронули данный бассейн [4]. Нами было проведено сравнение величин годового испарения в «естественных» условиях и при антропогенном воздействии, что позволило оценить масштабы этого воздействия. В таблице 1 приведены средние за 10 лет значения условно-естественного и антропогенно-измененного испарения за 1935/1936-2000/2001 годы. Как видим, начиная с 1930-х гг. прошлого столетия наблюдается непрерывное превышение испарения в условиях антропогенного воздействия над условно-есте-

ственным испарением, которое достигает максимума в середине 1980-х гг. (23 мм/год, или 31 км<sup>3</sup>/год). Затем наступает период уменьшения их разности вследствие спада промышленного производства и ороша-

емого земледелия. В результате к началу XXI в. различие в величинах испарения снижается до 5 мм/год (7 км<sup>3</sup>/год), т.е. почти в 5 раз по сравнению с различием в середине 1980-х гг.

Таблица 1

**Изменение испарения в бассейне р. Волги до г. Волгограда под влиянием антропогенного воздействия, мм/год**

Годы	Испарение		
	условно-естественное, E <sub>уе</sub>	в условиях антропогенного воздействия, E <sub>хд</sub>	$\Delta E = E_{хд} - E_{уе}$
1935/1936-1944/1945	467	472	5
1945/1946-1954/1955	452	465	13
1955/1956-1964/1965	466	482	16
1965/1966-1974/1975	450	468	18
1975/1976-1984/1985	454	477	23
1985/1986-1994/1995	444	451	7
1995/1996-2000/2001	446	451	5
Среднее	455	468	13

Это свидетельствует о том, что современный водный баланс бассейна р. Волги формируется под преобладающим влиянием природных, прежде всего – климатических факторов. Поэтому оценка ЭВБ на ближайшие годы во многом будет определяться тем, какие изменения претерпит климат в бассейне. Влияние же антропогенных факторов при продолжающейся стагнации экономики на этом фоне будет незначительным, по крайней мере – для количественной оценки ресурсов речного стока. Следовательно, климат является основным фактором формирования ЭВБ бассейна р. Волги, и прежде всего – её водных ресурсов (поверхностных и подземных). Соответственно при прогнозировании элементов водного баланса (ЭВБ) для нас приоритетом являлись изменение глобального климата и его влияние на региональный климат, а это в свою очередь влияет на водные ресурсы бассейна р. Волги.

Таким образом, оценка изменения статистических характеристик динамических рядов ЭВБ является необходимым условием для принятия стратегических эколого-экономических решений XXI века. Так, 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.

**Материалы и методы исследований.**

Водные ресурсы в целом количественно вы-

ражаются функциями параметров климатической системы. Поэтому решение задачи по оценке (прогнозу) межгодовой и сезонной изменчивости ЭВБ речного бассейна должно базироваться на двух принципах. Во-первых, это описание возможных изменений глобального и регионального климата; во-вторых – использование физически обоснованной, поддающейся верификации зависимости речного стока от климатических факторов. Таким образом, становится очевидным, что одной из основных задач гидрологической науки XXI века является оценка возможных изменений речного стока от определяющих его факторов климатической системы.

Для осуществления прогноза изменения статистических характеристик элементов водного баланса речного бассейна Волги были использованы пять массивов гидрометеорологических данных, из которых массив данных сезонной и годовой температуры воздуха и суммарных атмосферных осадков был создан по результатам данных наблюдений на сети гидрометеорологических станций. Массив речного стока боковой приточности для 11 частных водосборов водохранилищ Волжско-Камского каскада и по бассейну р. Волги до г. Волгограда в целом использован по данным ОАО «Институт Гидропроект» за период 1914/1915-2010/2011 гг. И, наконец, данные суммарного испарения с поверхности их частных водосборов и изменение бассейновых влагозапасов при нали-

ции массивов величин годовых и сезонных значений атмосферных осадков и речного стока за многолетний период определены по специальной методике, разработанной авторами и отраженной в работе [4].

Для осуществления прогноза изменения статистических параметров ЭВБ речного бассейна исходим из трех концепций, включающих в себя концепцию стационарности (первая гипотеза), квазистационарности (вторая гипотеза) и нестационарности (третья гипотеза).

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 процессов формирования речного стока и, как следствие, возможность вероятностного предвидения его характера и параметров в обозримом будущем (период прогнозирования, как правило, исчисляется несколькими десятилетиями). Следовательно, в условиях стационарности гидрологических процессов оценка изменения статистических параметров ЭВБ оценивается вероятностно-статистическим методом.

Вероятностно-статистическая оценка изменения ЭВБ исходит из предположений о стационарности полученных временных рядов ЭВБ как бассейна в целом, так и отдельных частных его водосборов. При этом оценка средних имеет вид:

$$\bar{X}_{n+\tau} = \bar{X}_n \pm t_p K \sigma_{\bar{X}_n}, \quad (1)$$

где  $\bar{X}$  – среднееголетнее значение ЭВБ;  $n$  – продолжительность исходного временного ряда;  $\tau$  – продолжительность перспективного отрезка времени;  $\sigma_{\bar{X}_n}$  – оценка среднеквадратичной ошибки среднего исходного временного ряда;  $t_p$  – критерий достоверности Стьюдента для уровня вероятности  $p$ ;  $K$  – коэффициент уменьшения точности оценки в зависимости от продолжительности перспективного периода  $\tau$  [5].

Оценка погрешности определения среднего находится с учетом коэффициента автокорреляции в исходном временном ряду:

$$\sigma_{\bar{X}_n} = \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1+r(1)}{1-r(1)}}, \quad (2)$$

где  $\sigma_X$  – стандарт отклонения годовых величин ЭВБ для исходного ряда продолжительностью  $n$  лет.

Согласно второй гипотезе квазистационарность гидрологических процессов приводит к необходимости выявления циклов в колебаниях климатических и гидрологических характеристик и однопавленных тенденций (трендов), свойственных отдельным фазам (подъема и спада) этих циклов, а также к установлению функциональных (корреляционных) связей между факторами внешнего воздействия (климатическими, антропогенными) и характером отклика (речным стоком).

Нестационарность (третья гипотеза) временных рядов ЭВБ речного бассейна формулируется следующим образом: по имеющейся информации о колебаниях ЭВБХ требуется оценить будущее значение ЭВБУ, стохастически связанной с  $X$ , т.е.  $X$  и  $Y$  имеют некоторое совместное распределение  $L(X, Y)$ . Исходным условием для решения поставленной задачи являются наблюдаемые ряды средних годовых и сезонных ЭВБ для характерных частных водосборов речного бассейна, привязанные во времени.

**Результаты.** В настоящей работе прогнозная оценка изменения ЭВБ речного бассейна осуществлена по различным вариантам. Согласно первому варианту исследования выполнена оценка изменения ЭВБ бассейна р. Волги до г. Волгограда вероятностно-статистическим методом. Как следует из таблицы 2, за период 1914/1915-2060/2061 гг. ( $n = 147$  лет) возможный диапазон изменения среднееголетней величины атмосферных осадков составляет от 688 до 642 мм/год. В результате для первой половины XXI в. (период с 2001/2002-2060/2061 гг.,  $n = 60$  лет) возможное изменение годовых осадков составит от 721 до 608 мм/год.

В таблице 2 приведена оценка возможного изменения среднееголетних величин ЭВБ бассейна р. Волги до г. Волгограда для  $\tau = 20, 40$  и  $60$  лет,  $t_{0,95} = 1,98$  и  $K = 1,02$  ( $\tau = 20$  лет),  $1,13$  ( $\tau = 40$  лет) и  $1,20$  ( $\tau = 60$  лет) в соответствии с рекомендациями [5].

Аналогично для речного стока диапазон изменения составляет 206-176 мм/год, или для периода 2001/2002-2060/2061 гг. – от 227 до 154 мм/год; для испарения – соответственно 486...462 и 503...444 мм/год, а для изменения бассейновых влагозапасов –  $\pm 14$  мм/год.

Таблица 2

**Оценка среднемноголетних годовых  
условно-естественных величин ЭВБ бассейна р. Волги  
для первой половины XXI в. в условиях неизменности климата, мм/год**

ЭВБ	Период			
	1914/1915- 2000/2001 гг. $X \pm t_{95} \sigma_{\bar{X}}$	1914/1915- 2020/2021 гг. $X \pm t_{95} K \sigma_{\bar{X}}$	1914/1915- 2040/2041 гг. $X \pm t_{95} K \sigma_{\bar{X}}$	1914/1915- 2060/2061 гг. $X \pm t_{95} K \sigma_{\bar{X}}$
Осадки, $\bar{D}$	665±19	665±20	665±21	665±23
Сток, $\bar{R}$	191±12	191±13	191±14	191±15
Испарение, $\bar{E}$	474±10	474±10	474±11	474±12
Изменение влагозапасов, $\bar{\Delta V}$	0±12	0±12	0±14	0±14

Второй вариант исследования включает в себя предположение о квазистационарном развитии гидрометеорологических процессов. Как известно, Всемирная метеорологическая организация (ВМО) в качестве периодов, характеризующихся относительной стационарностью климатических условий, рекомендует использовать 30-летние отрезки времени. В связи с этим была рассмотрена динамика средних 30-летних значений годового условно-естественного

стока р. Волги – г. Волгоград за период 1881/1882-2000/2001 гг. (табл. 3).

Как видим, рассматриваемый период характеризуется положительным линейным трендом средних 30-летних величин годового стока, описываемым уравнением вида:

$$R_{cp}^{(30)} = 0,20t_{cp}^{(30)} + 177, \quad R^2 = 0,83 \quad (3)$$

где  $t_{cp}^{(30)}$  – средний временной индекс последовательных 30-леток, равный соответственно 15,5, 45,5, 75,5, 105,5 и 60,5.

Таблица 3

**Средний 30-летний естественный годовой сток р. Волги у г. Волгограда  
за 1881/1882-2000/2001 гг., мм/год**

Средний 30-летний сток	30-летки				1881/1882- 2000/2001 гг.
	1881/1882- 1910/1911 гг.	1911/1912- 1940/1941 гг.	1941/1942- 1970/1971 гг.	1971/1972- 2000/2001 гг.	
$R_{cp}^{(30)}$	183	183	189	201	189
$k_{cp}^{(30)}$	0,97	0,97	1,00	1,06	1,00

Предположим, что выявленный тренд сохранится и в первой половине XXI в. В результате получим следующие оценки средних 30-летних величин годового стока (табл. 4). Как видим, в целом за первую половину XXI в. среднемноголетний сток р. Волги составит 207 мм/год (282 куб. км/год),

т.е. увеличится на 18 мм/год (25 куб. км/год) по отношению к среднему стоку за период наблюдений (1881/1882-2000/2001 гг.). В целом же за период 1881/1882-2060/2061 гг. (N = 180 лет) средний годовой сток составит 195 мм/год (265 куб. км/год), т.е. увеличится на 6 мм/год (8 куб. км/год).

Таблица 4

**Средний 30-летний естественный годовой сток р. Волги  
в первой половине XXI в., мм/год**

Средний сток за 30-лет	30-летки		2001/2002-2060/2061
	2001/2002-2030/2031	2031/2032-2060/2061	
$R_{cp}$	204	210	207

Допустим в качестве альтернативы такому увеличению стока р. Волги в первой половине XXI в., что выявленный положитель-

ный тренд 30-летних средних годового стока после 2000 г. сменится отрицательным трендом с интенсивностью снижения стока, рав-

ной его интенсивности в случае положительного тренда (6 мм за 30 лет). Тогда для первых двух 30-леток XXI в. средний сток составит 192 и 186 мм/год (261 и 253 куб. км/год), а средний сток за 2001/2002-2060/2061 гг. – 189 мм/год (257 куб. км/год). Таким образом, в целом за период 1881/1882-2060/2061 гг. среднемноголетний годовой естественный сток будет равен стоку, наблюдавшемуся на всем протяжении XX в., т.е. в этом случае о существенном изменении климата в бассейне р. Волги говорить не приходится. Будут иметь место свойственные ему циклические колебания – чередование фаз потепления и похолодания разной интенсивности. Так ли это будет в действительности, покажут данные метеорологических и гидрологических наблюдений в первые десятилетия XXI в.

Третий вариант исследования направлен на использование результатов сценариев климатических моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО). В настоящее время для оценки возможных изменений глобального и, как следствие, регионального климата в XXI в. для различных сценариев антропогенного увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере широко используются модели МОЦАО. С учетом вышеизложенного нами были проанализированы и сопоставлены возможные варианты изменения ЭВБ, полученные по вышеуказанным методам (вероятностно-статистическому, осредненных значений ЭВБ) за 30-летний период и результатам сценарием различных климатических моделей СМIP 3 и СМIP 5 [3]. С этой целью рассмотрены и использованы результаты ансамбля из 16 глобальных моделей МОЦАО 3-го поколения (СМIP-IPCC, 2007) для сценариев роста парниковых газов и аэрозоля SRESB1, A1B и A2.

В качестве сценариев выброса парниковых газов рассматривались варианты A2, A1B и B1. Сценарное семейство A1 содержит описание будущего мира, характеризующегося быстрым экономическим ростом и увеличением населения Земли, показатели которого достигают пиковых значений в середине XXI в. а с последующим уменьшением, а также быстрым внедрением новых и более эффективных технологий. По сценарию A2 развитие мира проходит при сохранении местной самобытности и опоры на собственные природные ресурсы, а также при постоянном росте общей численности населения в мире. Экономическое развитие имеет региональную направленность, а экономиче-

ский рост в расчете на душу населения и технологические изменения более фрагментарны и происходят медленнее по сравнению с другими основными сюжетными группами. В результате такого развития ожидается значительное увеличение концентрации основных парниковых газов в атмосфере. Сценарий B1 содержит описание движущегося в одном направлении мира с таким же, как и в сюжетной линии A1, глобальным населением, которое достигает максимальной численности к середине XXI в., а затем уменьшается, однако при быстрых изменениях в экономических структурах в направлении сервисной и информационной экономики с уменьшением материальной интенсивности и внедрением экологически чистых и ресурсосберегающих технологий. В настоящее время A2 рассматривается как самый «жесткий», A1B – как промежуточный, B1 – как «мягкий» сценарии.

Годовой сток бассейна р. Волги в целом (до г. Волгограда) в начале первой половины XXI в. (2011-2030 гг.) изменяется от 198 мм до 202 мм для самого «жесткого» сценария A2, а для более «мягкого» сценария A1B годовой сток р. Волги изменяется от 194 мм до 200 мм. Для середины первой половины XXI в. сток р. Волги изменяется от 200 мм до 211 мм.

Как следует из таблицы 5, при использовании данных сценария A2 для начала первой половины XXI в. (2011-2030 гг.) среднемноголетнее значение речного стока бассейна верхней Волги составит 229 мм (52 км<sup>3</sup>/год), а для середины первой половины XXI в. (2041-2060 гг.) норма стока изменится до 243 мм (56 км<sup>3</sup>/год). При использовании данных промежуточного сценария A1B в начале первой половине XXI в. норма стока бассейна верхней Волги изменяется до 225 мм (51 км<sup>3</sup>/год), а для середины первой половины XXI века – норма стока составит 242 мм (55 км<sup>3</sup>/год) при базовом значении стока 229 мм (52 км<sup>3</sup>/год).

Анализируя данные по стоку, приведенные в таблице 5, применительно к бассейну р. Камы для самого «жесткого» сценария A2, мы установили, что норма стока по отношению к базовому периоду в начале первой половины XXI в. увеличивается соответственно на 8 мм/год (3,0 км<sup>3</sup>/год), а для середины первой половины XXI в. – соответственно на 24 мм/год (8,9 км<sup>3</sup>/год). В отношении самого «мягкого» сценария B1 получено, что среднемноголетнее значение стока

бассейна Камы в начале первой половины XXI в. Изменится до 4 мм (1,5 км<sup>3</sup>/год), для середины первой половины XXI в. норма стока увеличится до 36 мм (13,4 км<sup>3</sup>/год).

Проведенные исследования по оценке изменения речного стока бассейна р. Волги с использованием различных вариантов прогнозирования показали, что норма стока бас-

сейна р. Волги в целом за период 2011-2030 гг. может изменяться от 176 до 204 мм/год по вероятностно-статистическому методу; от 198 до 205 мм/год – по уравнениям зависимости речного стока от климатических факторов с использованием результатов сценариев климатических моделей; 207 мм/год – по методу тенденций (трендов) (табл. 5).

Таблица 5

**Оценка изменения речного стока бассейна р. Волги в первой половине XXI в. различными методами (в числителе – мм/год, в знаменателе – км<sup>3</sup>/год)**

Период	Метод тенденций (трендов)	Вероятностно-статистический метод	Климатические модели 3-го поколения (CMIP 3)			Климатические модели 5-го поколения (CMIP 5)		
			Сценарии			Сценарии		
			A2	A1B	B1	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
<b>Бассейн р. Волги в целом (до г. Волгограда)</b> (норма стока за базовый период – 190 мм/год (258,4 км <sup>3</sup> /год))								
2011-2030 гг.	<u>207</u>	<u>176-204</u>	<u>200</u>	<u>198</u>	<u>202</u>	<u>202</u>	<u>202</u>	<u>205</u>
	281	239-277	272	269	275	275	275	279
2041-2060 гг.	<u>214</u>	<u>174-206</u>	<u>210</u>	<u>217</u>	<u>208</u>	<u>214</u>	<u>202</u>	<u>217</u>
	291	237-280	289	295	283	291	275	295
<b>Бассейн Верхней Волги</b> (норма стока за базовый период – 229 мм/год (52,4 км <sup>3</sup> /год))								
2011-2030 гг.	<u>246</u>	<u>210-248</u>	<u>229</u>	<u>225</u>	<u>238</u>	<u>229</u>	<u>238</u>	<u>238</u>
	56	48-57	52	51	54	52	54	54
2041-2060 гг.	<u>255</u>	<u>207-251</u>	<u>243</u>	<u>242</u>	<u>237</u>	<u>246</u>	<u>251</u>	<u>245</u>
	58	47-58	56	55	54	56	58	56
<b>Бассейн р. Камы</b> (норма стока за базовый период – 253 мм/год (93,9 км <sup>3</sup> /год))								
2011-2030 гг.	<u>277</u>	<u>231-275</u>	<u>261</u>	<u>257</u>	<u>257</u>	<u>261</u>	<u>261</u>	<u>265</u>
	103	86-102	97	95	95	97	97	98
2041-2060 гг.	<u>288</u>	<u>229-277</u>	<u>277</u>	<u>290</u>	<u>289</u>	<u>278</u>	<u>282</u>	<u>290</u>
	107	85-103	103	108	107	103	105	108

За период 2041-2060 гг. норма стока р. Волги изменится от 174 до 206 мм/год по вероятностно-статистическому методу; от 202 до 217 мм/год – по уравнениям зависимости речного стока от климатических факторов с использованием результатов сценариев климатических моделей; 214 мм/год – по методу тенденций (трендов) норма стока бассейна р. Волги за базовый период (1914/15-2010/11 гг.), 190 мм/год (258 км<sup>3</sup>/год). Как следует из этих результатов, для периода 2011-2030 гг. норма стока может повышаться на 17 мм/год (23 км<sup>3</sup>/год), но может и понижаться на 14 мм/год (19 км<sup>3</sup>/год), а для периода 2041-2060 гг. рост нормы стока составит 27 мм/год (36 км<sup>3</sup>/год) (табл. 5).

**Выводы**

По данным результатов 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%, 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., от 10 до 15% – для периода 2041-2060 гг. Если эти результаты сопоставить с данными других авторов, то они не противоречат результатам этих исследований. 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, для р. Волги на период 2011-2030 гг. по сценарию A2 прогнозируется изменение стока от –2 до +5%.

**Библиографический список**

1. Смирнов Н.П., Малинин В.Н. Водный баланс атмосферы как гидрологическая задача. Л.: Изд-во ЛГУ, 1988. 197 с.

2. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: Гос. гидр. ин-т, 2008. 600 с.

3. Изменение климата и водные ресурсы: Технический документ Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Женева, 2008. 228 с.

4. Исмаилов Г.Х., Муращенко Н.В. К теории и методологии формирования элементов водного баланса речного бассейна в условиях меняющегося климата // Экология. Экономика. Информатика: Сборник статей: В 2-х т. Т. 1: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Вып. 1. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 615-623.

5. Семёнов С.М. Гидрогеологические прогнозы в системе мониторинга подземных вод / Отв. ред. В.С. Ковалевский. М.: Наука, 2005.

Материал поступил в редакцию 06.03.2017 г.

**Сведения об авторах**

**Исмаилов Габил Худуш оглы**, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Гидрология, гидрогеология и регулирование стока», ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19; тел.: 8(499) 976-23-68; e-mail: gabil-1937@mail.ru

**Муращенко Наталья Владимировна**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидрология, гидрогеология и регулирование стока», ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Прянишникова, 19; тел.: 8(499) 976-23-68; e-mail: splain75@mail.ru

**G.KH. ISMAIYLOV, N.V. MURASCHENKOVA**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian State Agrarian University named after S.A. Timiryazev», Moscow

**FORECAST SIMULATION OF WATER BALANCE ELEMENTS USING DATA ARRAY OF METEOROLOGICAL OBSERVATIONS**

*There is considered an assessment of changes of water balance elements of the Volga River Basin as a whole up to the city of Volgograd and its private basins in the first half of the XXI century. The changes forecast of statistical characteristics of the water balance elements (EWB) of the Volga river basin is based on five meteorological data for a multi-year period of 1914/1915-2010/2011 years. There is fulfilled a comparison of values of the conditional – natural annual evaporation and under anthropogenic impact which allowed us to estimate the extent of this impact. Forecasting changes of statistical parameters EWB of the river basin is based on three concepts including the concept of stationary, quasi-stationary and non-stationary of hydro meteorological processes. When forecasting water balance elements the priority was given to global climate changing and its impact on the regional climate which in its turn affects the water resources of the Volga River basin. The average value of the annual runoff of the Volga River basin as a whole (up to the city of Volgograd) at the beginning of the first half of the XXI century (2011-2030 years) will change from 198 mm to 202 mm for the most «hard» A2 scenario. For a «softer» scenario A1B the norm of annual runoff of the Volga River will change from 194 mm to 200 mm, at the flow norm in the basic period (1914-15-2010-11 years) will be 190 mm/year (258 км<sup>3</sup>/year). For the middle of the first half of the XXI century (2041-2060 years) in case of the most «severe» scenario A2 the norm of annual runoff of the Volga river will change from 200 mm to 211 mm.*

*Elements of water balance, river flow, river basin, stationary, non-stationary, climate change, climate models.*

**References**

1. Smirnov N.P., Malinin V.N. Vodny balance atmosfery kak hydrologicheskaya zadacha. L.: Izd-vo LGU, 1988. 197 s.

2. Vodnye resursy Rossii i ih ispoljzovanie / Pod reda. I.A. Shiklomaniva. SPb.: Gos. hydrol. in-t, 2008. 600 s.

3. Izmenenie klimata i vodnye resursy: Tehnichesky document Mezhpriavitelstvennoj gruppy ekspertov po izmeneniyu klimata (MGEIK). Zheneva, 2008. 228 s.

4. Ismaiyllov G. Kh., Murashchenko N.V. K teorii i metodologii formirovaniya elementov vodnogo balanca rechnogo bas-

seina v usloviyah menyayushchegosya klimata // *Ecologiya. Ekonomika. Informatika: Sbornik statej: V 2-h t. T. 1: Sistemy analiz I modelirovanie ekonomicheskikh I ekologicheskikh system. Vyp. 1. Rostov n/D: Izd-vo YUNTS RAN, 2016. S. 615-623.*

**5. Semenov S.M.** *Hydrogeologicheskie prognozy v sisteme monitoring podzemnyh vod / Otv. red. V.S. Kovalevsky. M.: Nauka, 2005.*

The material was received at the editorial office  
06.03.2017

#### Information about the authors

**Ismailylov Gabil Khudush ogly**, doctor of technical sciences, professor, head of the chair «Hydrology, hydrogeology and flow regulation», FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19; tel.: 8(499) 976-23-68; e-mail: gabil-1937@mail.ru

**Murashchenkova Natalja Vladimirovna**, candidate of technical sciences, associate professor, head of the chair «Hydrology, hydrogeology and flow regulation», FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Pryanishnikova, 19; tel.: 8(499) 976-23-68; e-mail: splain75@mail.ru

УДК 502/504:621.65.02

**Э.Е. НАЗАРКИН, В.В. СУШКО, О.Н. ПОМЕРАНЦЕВ**

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

## РЕГУЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА ПУТЕМ ПОДАЧИ ВОЗДУХА ВО ВСАСЫВАЮЩИЙ ТРУБОПРОВОД

*Целью данного исследования являлось изучение способа регулирования работы центробежного насоса путем изменения параметров всасывающего трубопровода посредством впуска воздуха для повышения энергоэффективности работы насосных установок. Был проведен сравнительный анализ существующих способов регулирования работы центробежных насосов. Отмечено, что вследствие недостаточной изученности метод регулирования центробежного насоса впуском воздуха во всасывающий трубопровод не получил распространения на практике несмотря на такие серьезные достоинства, как простота эксплуатации, минимальные затраты по установке и обслуживанию оборудования. По разработанной методике были проведены опытные исследования данного метода регулирования в лабораторных условиях. Результаты исследований для различных условий регулирования доз впускаемого воздуха были математически обработаны на основе теорий о центробежных насосах с использованием компьютерных программ. На основе этого анализа и обобщения полученных данных сделаны следующие выводы: регулирование центробежных насосов пуском воздуха не требует больших затрат на установку и эксплуатацию оборудования; производить регулирование работы центробежного насоса можно в пределах рекомендованной зоны, обусловленной снижением коэффициента полезного действия не более чем на 8% от максимального; регулирование в границах рекомендуемой зоны, определяемой кавитационным запасом, не приводит к возникновению кавитации. Данный способ регулирования в границах рекомендованной зоны позволяет регулировать напор в больших пределах: от 25 м<sup>3</sup>/ч до 30 м<sup>3</sup>/ч – при минимальной потере КПД.*

*Регулирование работы центробежного насоса, энергоэффективность, энергетические параметры, коэффициент полезного действия, впуск воздуха, кавитационный запас.*

**Введение.** С развитием и укрупнением систем водоснабжения, а также с изменением режима работы насосных станций возникает необходимость регулирования подачи насосных агрегатов, так как они являются крупнейшими потребителями электроэнергии. В современном насосостроении актуальным является направление в совер-

шенствовании существующих и разработке новых способов регулирования работы насосов. [1].

В настоящее время во многих отраслях экономики используются насосные установки с центробежными насосами. Повышение энергоэффективности их работы – актуальная проблема на современном этапе разви-