

16. **Jutro, P. R.** Biological diversity, ecology, and global climate change [Text] / P. R. Jutro // Environ Health Perspect. — 1991. — Dec. 96. — P. 167–170.

17. **Patz, J. A.** Global climate change and emerging infectious diseases [Text] / J. A. Patz, P. R. Epstein, T. A. Burke, A. Balbus // JM.JAMA. — 1996. — № 275(3). — P. 217–223.

18. **Vorosmarty, C. J.** Global water resources: vulnerability from climate change and population growth [Text] / C. J. Vorosmarty, P. Green, J. Salisbury, R. B. Lammers // Sci. 2000. — V. 289. — № 5477. — P. 284–288.

19. **Шойгу, С. К.** Изменения климата и чрезвычайные ситуации на территории России [Текст] / С. К. Шойгу // Всемирная конференция по изменению климата : тез. докл. — М., 2003. — С. 68–69.

20. Медико-экологические проблемы Аральского кризиса [Текст]; под ред. В. П. Сергеева, С. А. Беэра, Л. И. Эльпинера. — М. : ВИНТИ, 1993. — 101 с.

Материал поступил в редакцию 10.12.08.

Эльпинер Леонид Ицкович, доктор медицинских наук, профессор, академик Российской экологической академии, главный научный сотрудник

Тел. 8 (495) 330-01-06

E-mail: elpiner@rambler.ru

УДК 502/504:556. 16

М. В. БОЛГОВ, В. М. ФЕДОРОВ

Институт водных проблем РАН

Г. Х. ИСМАЙЛОВ

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

ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ МАЛОВОДНЫХ ПЕРИОДОВ В БАССЕЙНЕ ВОЛГИ*

Рассмотрены условия формирования годового стока маловодных лет в бассейне Волги с целью обоснования структуры и параметров комплекса мероприятий по рационализации водопользования и охране водных ресурсов. Установлено, что атмосферные осадки и испарение в различных их сочетаниях являются основными природными факторами, определяющими маловодность года.

Атмосферные осадки, годовой сток, испарение, маловодье, межгодовая изменчивость, статистические параметры, расчетная обеспеченность.

Conditions of formation of an annual drain of shallow years in pool are considered Volga with the purpose of a substantiation of structure and parameters of a complex of actions on rationalization of water use and protection of water resources. It is established, that atmospheric precipitation and evaporation in their various combinations are the basic natural factors defining lack of water resources of year.

Atmospheric precipitation, annual drain, evaporation, water resources, interannual variability, statistical parameters, settlement security.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ. Грант 07-05-00121а.

При разработке стратегии рационального водопользования большое значение имеет оценка возможного изменения естественного увлажнения территории речного бассейна и, как следствие, изменения речного стока в ближайшей перспективе. Это особенно важно применительно к формированию группировок маловодных лет. Прежде всего были рассмотрены особенности многолетней динамики естественной увлажненности бассейна реки Волги атмосферными осадками. На основе имеющихся архивов осадков для административных областей России были получены величины осадков для холодного (с ноября предшествующего по март текущего года) и теплого (с апреля по октябрь) периодов и для года в целом (с ноября предшествующего по октябрь текущего года) сначала для частных водосборов (водосборы водохранилищ Волжско-Камского каскада), а затем и в целом по бассейну Волги (период 1891/92–2000/01 гг., $n = 110$ лет). Использование в качестве стокообразующего фактора осадков холодного периода, а не величин максимальных сне-

гозапасов обусловлено сложностью достоверного определения снеготазпасов для столь крупных бассейнов. Средние по бассейну осадки подсчитывались с учетом доли площади той или иной области в общей площади бассейна (частного водосбора), т.е. как средневзвешенные величины осадков.

При характеристике естественной увлажненности бассейна (по осадкам) представляется целесообразным не оставлять без внимания и осадки в диапазоне обеспеченности от 50 до 75 %. Как известно, среднемноголетняя величина (норма) определяется с погрешностью σ_p , зависящей от стандарта σ и числа лет наблюдений. В качестве приближенной оценки наибольшей ошибки определения среднестатистического значения (нормы) можно принять $2\sigma_p$. Тогда среднемноголетние осадки за период наблюдений будут равны $P_{cp} \pm 2\sigma_p$. Следовательно, к числу маловодных по осадкам будут относиться годы, величина осадков которых менее $P_{cp} - 2\sigma_p$. Применительно к бассейну Волги при $\sigma = 71$ мм/год и $n = 110$ лет погрешность определения нормы годовых осадков равна 7 мм/год,

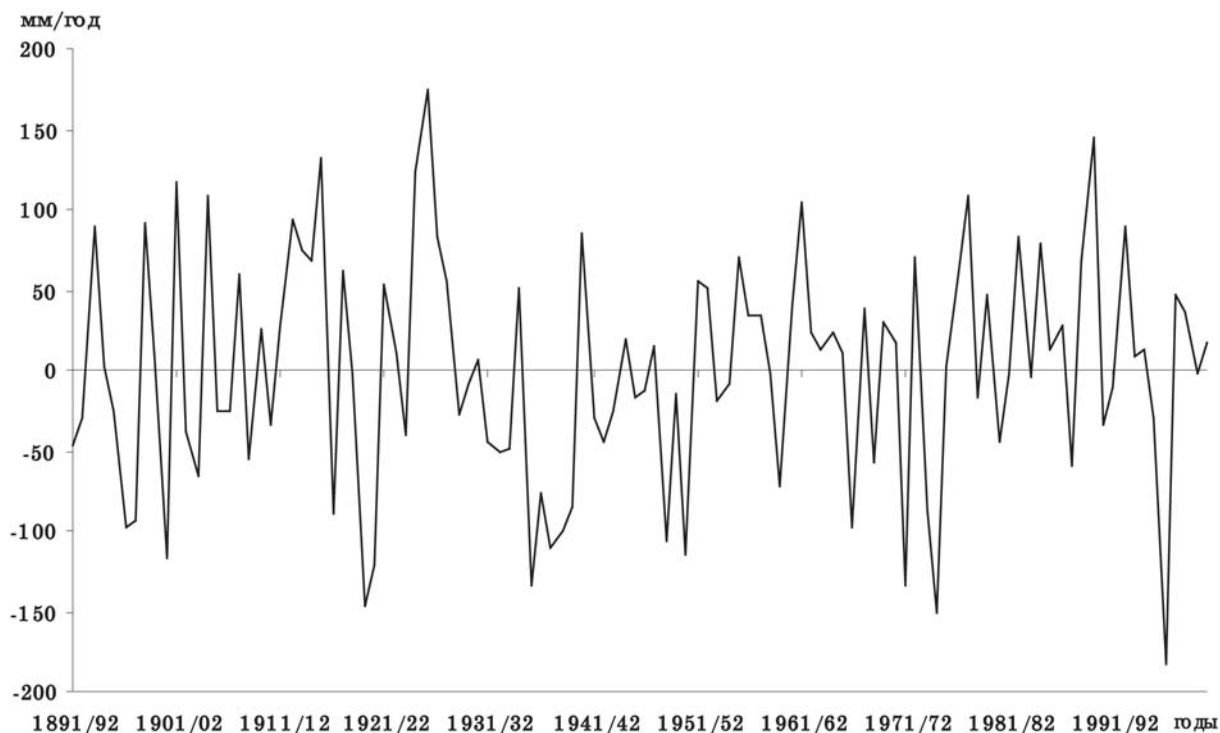


Рис. 1. Динамика аномалий годовых атмосферных осадков в бассейне Волги за 1891/92–2000/01 годы

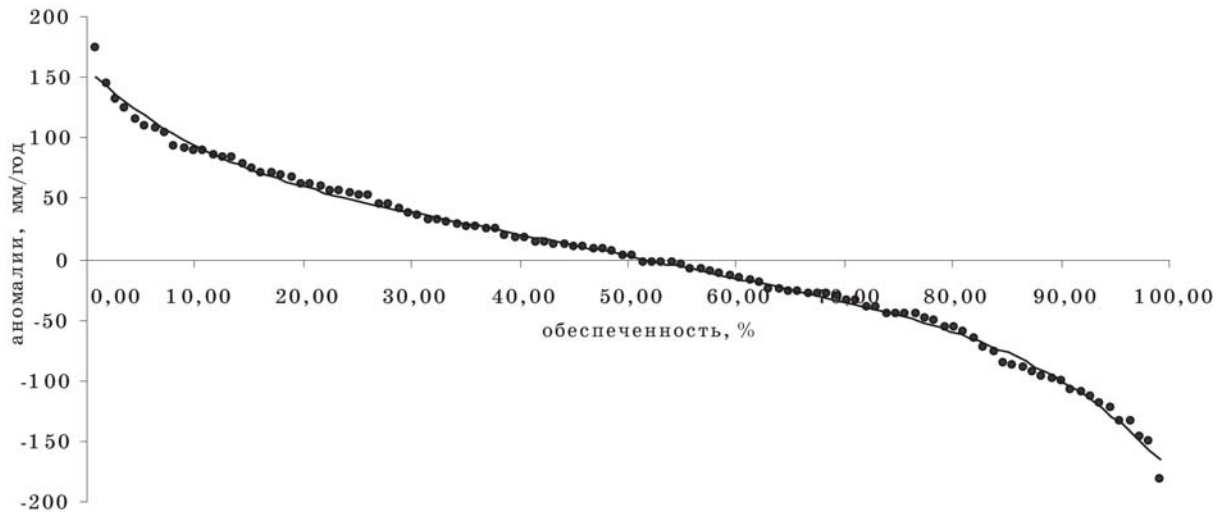


Рис. 2. Эмпирическая кривая обеспеченности аномалий годовых атмосферных осадков в бассейне Волги за 1891/92–2000/01 годы

т. е. $2\sigma_p = -14$ мм/год. Таким образом, к маловодным по условиям естественной увлажненности относятся годы, для которых аномалия годовых осадков (отклонение от нормы) составляет менее -14 мм/год. По эмпирической кривой обеспеченности аномалий годовых осадков им соответствует диапазон обеспеченности от 60 до 99 %.

На рис. 1 и 2 приведена динамика аномалий годовых атмосферных осадков в бассейне реки Волги за период 1891/92–2000/01 гг. и эмпирическая кривая их обеспеченности.

Как видно, из 110 лет маловодные по осадкам 44 года (40 %), из которых экстремальными (катастрофическими) по условиям увлажненности ($P \geq 90$ %) являются 12 лет (1896/97, 1900/01, 1919/20, 1920/21, 1935/36, 1937/38, 1938/39, 1948/49, 1950/51, 1971/72, 1974/75 и 1996/97). Для этих лет аномалия годовых осадков изменялась от 100 до 180 мм/год: $K = 0,84 \dots 0,72$, где K — модульный коэффициент.

Из этих же рисунков видно, что помимо отдельных лет, маловодных по осадкам, выделяются группы, охватывающие от двух до десяти лет:

двухлетки — 1891/92–1892/93, 1902/03–1903/04, 1905/06–1906/07, 1919/20–1920/21, 1945/46–1946/47,

1973/74–1974/1975, 1990/91–1991/92 и 1995/96–1996/97 гг.;

трехлетки — 1895/96–1897/98, 1931/32–1933/34, 1941/42–1943/44, 1948/49–1950/51 гг.;

пятилетка — 1935/36–1939/40 гг.

Кроме этих группировок, можно выделить наиболее длительный 20-летний период — маловодный по условиям естественной увлажненности — с 1931/32 по 1950/51 гг., в котором лишь четыре года 1934/35, 1940/41, 1944/45 и 1947/48 гг. ненамного превышали среднемноголетние осадки. Об экстремальности этого периода свидетельствует и тот факт, что в половине его лет обеспеченность годовых осадков находилась в диапазоне обеспеченности от 70 до 96 %. Такая ситуация с естественным увлажнением и привела сначала к экстремальному снижению годового стока Волги, а затем, как следствие, к длительному падению уровня Каспийского моря. В подтверждение этого вывода целесообразно оценить степень взаимосвязи стока (условно-естественного) и атмосферных осадков в этот период. Коэффициент их корреляции оказался положительным и достаточно высоким ($r_{RP} = 0,57$), однако это меньше, чем для всего рассматриваемого 110-летнего периода ($r_{RP} = 0,66$).

Помимо осадков на формирование годового стока в подобные маловодные периоды оказывает влияние и такой элемент водного баланса, как суммарное испарение. Оказывается, что если корреляция осадков и испарения для этого маловодного периода положительная ($r_{PE} = 0,40$), то для стока она отрицательная ($r_{RE} = -0,46$). Зависимость условно-естественного годового стока реки Волги

$$R_i = 0,517P_i - 0,916E_i + 271, \text{ мм/год, (1)}$$

где R_i — сток; P_i — осадки; E_i — испарение, мм/год,

несмотря на относительно невысокие значения взаимной корреляции, оказалась весьма значимой ($r^2 = 0,91$).

Естественно, встает вопрос о возможности ее использования при оценке стока маловодных лет. Установлено, что уравнение (1) вполне адекватно отражает условия формирования годового стока маловодных лет в целом для всего рассматриваемого периода. Так, для 1974/75 г. — одного из самых маловодных (по осадкам) годовых сток по уравнению равен 126 мм/год ($171 \text{ км}^3/\text{год}$), а восстановленный условно-естественный сток составил 125 мм/год ($170 \text{ км}^3/\text{год}$). Для маловодного 1995/96 г. — соответственно 135 мм/год ($184 \text{ км}^3/\text{год}$) и 138 мм/год ($187 \text{ км}^3/\text{год}$).

Уместно отметить, что оценка годового стока по разности годовых осадков и испарения, как это обычно принято в моделях глобального климата, может привести к существенным ошибкам. Например, для этих же лет разность осадков и испарения составляет соответственно 53 и 62 мм/год.

Таким образом, для оценки годового условно-естественного стока Волги маловодных (по осадкам) лет в створе города Волгограда для возможных сценариев изменения климата в ее бассейне в первом приближении представленное уравнение может быть использовано. Для этого следует располагать данными о количестве выпавших осадков и испарении. Такую информацию можно оценить по результатам прогно-

ных расчетов по моделям общей циркуляции атмосферы (МОЦА) и океана (МОЦАО). Однако имеющиеся электронные архивы данных по результатам валидации (реанализа) такого рода моделей для условий современного климата, например, NCEP/NCAR, ECMWF, JAEGER, GPCP, для бассейна Волги представляют весьма различающиеся данные — и по годовым осадкам, и по испарению (осадки — от 418 до 798 мм/год, испарения — от 258 до 628 мм/год в среднем за многолетие) [1, 2]. Последнее и к прогнозным данным заставляет относиться с известной долей осторожности.

Наряду с анализом атмосферных осадков был осуществлен анализ закономерностей динамики годового стока реки Волги у города Волгограда за рассматриваемый 110-летний период. До 1935 г. условия изменения стока Волги определялись природными факторами, т. е. характером увлажнения территории, режимом испарения, изменением влагозапасов в почвогрунтах. Начиная с 1935 г. на изменение водности существенное влияние стала оказывать хозяйственная деятельность человека. В 30–70-х гг. прошлого столетия в долинах рек Волги и Камы был построен Волжско-Камский каскад водохранилищ, осуществляющий сезонное регулирование речного стока, резко выросли заборы воды из рек на хозяйственные нужды. В результате режим стока рек Волги и Камы был нарушен, гидрологические наблюдения на этих водных объектах не в полной мере стали отражать условия развития природных процессов.

Анализ многолетней изменчивости водности Волги показал, что в хронологическом изменении ее стока отмечается последовательное чередование периодов различной водности. Так, период от начала наблюдений до 1889 г. характеризовался повышенной водностью. В 1890–1929 гг. водность реки находилась на уровне средней. В период с 1930 по 1977 г. в волжском бассейне наблюдалось затяжное маловодье.

В 1978–2004 гг. вновь наступила фаза повышенной водности. Статистические параметры годового стока Волги у города Волгограда, вычисленные по различным периодам наблюдений, приведены в табл. 1, в табл. 2 — годовой сток маловодных лет различной обеспеченности. Внутри выделенных периодов режим водности Волги также не отличается устойчивостью. Он характеризуется чередованием группировок лет с пониженным, средним и повышенным стоком. Рассмотрение полной и частной автокорреляционных функций годового стока Волги свидетельствует о наличии относительно высокой связи стока смежных лет ($r[1] = 0,44$), поэтому наиболее час-

то встречаются группы, состоящие из двух и трех лет. Внутри этих групп, как правило, и находятся годы с исключительно низкой и с очень высокой водностью. Самыми маловодными за имеющийся период наблюдений были 1921, 1937 и 1975 гг. с величиной стока 163, 159 и 170 км³ соответственно. Наиболее многоводными в этот период были 1926, 1990 и 1977 гг. Величина стока за эти годы составляла 391, 378 и 375 км³ соответственно. Значительно реже встречаются затяжные группировки с повышенным и пониженным стоком, включающие 5 лет и более. Среди этих группировок особо выделяется очень глубокое маловодье 1930–1945 гг.

Таблица 1
Статистические параметры годового стока реки Волги у Волгограда в различные периоды наблюдений

Период наблюдений	Число лет наблюдений N	Средний годовой сток $W_{\text{ср}}, \text{км}^3$	Коэффициент вариации C_v	Коэффициент асимметрии C_s	Коэффициент автокорреляции $r(1)$
1890–1929	40	264	0,18	0,20	0,38
1930–1977	48	241	0,16	0,00	0,38
1978–2004	27	284	0,14	0,00	0,17
1877–2004	128	263	0,18	0,10	0,46

Таблица 2
Годовой сток реки Волги у Волгограда в маловодные годы различной обеспеченности

Характеристика	Среднегодовое количество сток	Обеспеченность года, %					
		75	80	85	90	95	99
Годовой сток, км ³	263	232	226	213	201	181	159

Таблица 3
Статистические параметры осредненного по скользящим n -леткам стока Волги у города Волгограда

Число лет в n -летке	Средний сток за n -летку, км ³	Коэффициент вариации	Коэффициент асимметрии	Коэффициент автокорреляции
1	263	0,18	0,10	0,44
2	263	0,15	0,30	0,68
3	263	0,13	0,30	0,81
5	263	0,11	0,20	0,88
7	263	0,10	0,20	0,91
10	263	0,08	0,20	0,94
30	263	0,04	0,10	0,93

Характеристика изменчивости n -летних объемов стока реки Волги у города Волгограда приведена в табл. 3.

В табл. 4 приведены объемы годового стока Волги для маловодных n -леток ($P \geq 75\%$, где P — обеспеченность стока).

Средний годовой сток Волги у города Волгограда для маловодных n -леток, км³

Число лет в n -летке	Сток обеспеченностью P , %					
	75	80	85	90	95	99
2	236	232	224	214	191	166
3	242	236	233	220	205	171
5	244	240	235	227	216	178
7	249	242	238	234	210	187
10	253	249	244	238	211	202
30	250	248	248	244	241	239

При решении задач рационального использования водных ресурсов в бассейне Волги нужно учитывать возможность наступления не только отдельных исключительно маловодных лет, но и серий лет с низким стоком.

Выводы

Причиной появления стока маловодных лет является такое соотношение ресурсов тепла и влаги, когда минимальные значения атмосферных осадков сочетаются с максимальными значениями радиационного баланса. Атмосферные осадки и испарение в различных их сочетаниях являются основными природными факторами, определяющими маловодность года. Проведенные исследования, кроме того, показывают, что разработка рекомендаций по управлению водными ресурсами в условиях маловодья должна базироваться не только на анализе закономерностей динамики одного лишь речного стока, но потребует и анализа закономерностей формирования остальных элементов водного баланса (осадки, испарение, изменение бассейновых влагозапасов) в маловодные годы (сезоны, месяцы).

Установлено, что оценка годового стока маловодных лет для различных сценариев изменения глобального климата по разности осадков и испарения

может привести к существенным ошибкам (до 40...50 %). Более приемлемой является оценка стока по эмпирическим зависимостям, учитывающим взаимосвязь стока с осадками и испарением или с эффективными осадками (разность осадков и испарения).

Список литературы

1. **Кислов, А. В.** Моделирование климатических условий Восточно-Европейской равнины и вариации стока реки Волги в эпоху позднеплейстоценного похолодания [Текст] / А. В. Кислов, П. А. Торопов // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2006 — № 2. — С. 13–17.

2. **Исмайылов, Г. Х.** Межгодовая изменчивость и взаимосвязь элементов водного баланса бассейна реки Волги [Текст] / Г. Х. Исмайылов, В. М. Федоров // Водные ресурсы. — Т. 35. — № 3. — С. 1–18.

Материал поступил в редакцию 21.03.08.

Болгов Михаил Васильевич, доктор технических наук, зав. лабораторией

Тел. 8 (499) 135-04-67

E-mail: bolgovmv@mail.ru

Исмайылов Габил Худуш оглы, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой гидрологии, метеорологии и регулирования стока

Тел. 8 (495) 976-23-68

E-mail: Ism37@mail.ru

Федоров Владимир Михайлович, старший научный сотрудник

Тел. 8 (499) 135-04-06