

фических терминов. – М.: Советская энциклопедия, 1968. – 437 с.

5. Советский энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1982. – 1600 с.

6. Анахаев К. Н., Гегиев К. А., Таов А. М. Изучение и охрана природного объекта «Чегемские водопады»: отчет по НИР. – Нальчик: ФГУ «Каббалководресурсы», 2001. – 210 с.

7. Анахаев К. Н. Таов А. М. Памятники природы Кабардино-Балкарии – бесценное достояние республики // Биосфера и человек: проблемы взаимодействия: материалы 6-ой Международной научно-практической конференции. – Пенза,

2002. – С. 108–112.

8. Гизатулина А. Н. География Кабардино-Балкарии. – Нальчик: Эльбрус, 1971. – 117 с.

Материал поступил в редакцию 03.04.14.
Анахаев Кошкинбай Назирович, доктор технических наук, профессор, заместитель директора по селевой проблематике
Тел. 8 (8662) 40-10-34

E-mail: anaha13@mail.ru

Жангоразов Курманбий Гитчиевич, заместитель директора, инженер-гидротехник

Тел. 8 (8662) 40-52-36

E-mail: irbis1961@bk.ru

УДК 502/504:556.51

М. А. СМЕРНОВА, А. В. ПЕРМИНОВ

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

ОЦЕНКА БОКОВОГО ПРИТОКА К ГИДРОУЗЛАМ ВЕРХНЕВОЛЖСКОЙ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ

В статье рассматривается пространственно-временная изменчивость бокового притока к водохранилищам Верхневолжской водохозяйственной системы. Анализируются колебания годовых значений бокового притока к водохранилищам за период наблюдений с 1914/15 по 2010/2011 годы. Получены выборочные оценки среднего, дисперсии, коэффициентов вариации, асимметрии и автокорреляции. Отмечается последовательное чередование периодов разной степени водности. По методу компоновки построены расчетные гидрографы 5 и 75% обеспеченности, различия которых объясняются удаленностью гидроузлов друг от друга. Естественный режим в бассейне характеризуется малой водностью в период летней, зимней межени и осенними дождевыми паводками в октябре и ноябре. Выявлены стохастические свойства, установлены связи внутри временных рядов притока в бассейн Верхней Волги и между ними.

Бассейн Верхней Волги, водохранилище, боковой приток, гидрограф притока, частный водосбор, статистические параметры.

The article considers spatio-temporal variability of the side inflow to water reservoirs of the Upper Volga water economic system. There are analyzed fluctuations of annual values of the side inflow to water reservoirs for the period of observations from 1914/15 to 2010/2011. There are obtained assessments of the average, dispersion, variation coefficients, asymmetry and autocorrelation. The successive interchanging of periods of different degree of water content is marked. Design hydrographs of 5 and 75% provision are built according to the assembly method, the differences of which are explained by the remoteness of hydraulic unite from each other. The natural regime in the basin is characterized by small water content in the period of summer, winter low water and autumn rain floods in October and November. Stochastic properties are revealed, connections inside time series of the inflow into the Upper Volga basin and between them are established.

The Upper Volga basin, water reservoir, side inflow, inflow hydrograph, private catchment area, statistical parameters.

При разработке эффективных методов управления водными ресурсами Верхневолжской водохозяйственной системы необходимо оценить боковой приток к гидроузлам, входящим в ее состав. Анализ закономерностей изменчивости притока к водохранилищам каскада выполнен по данным о боковом притоке за период 1914/1915–2010/2011 гг. ($n = 97$ лет), полученным в ФГУП «Центр Регистра и Кадастра». В качестве объектов оценки, по которым обобщалась информация о водном режиме рек, выбраны частные водосборы Ивановского, Угличского, Рыбинского, Горьковского и Чебоксарского водохранилищ. Для Ивановского водохранилища учитывался ход годовых значений общего притока, включающий боковой приток в водохранилище и незарегулированный приток по руслу реки из вышележащих водохранилищ. Данные о боковом притоке устанавливались по годовым, сезонным, месячным и частично декадным интервалам времени. Годовой интервал включал период с апреля по март (IV–III), весенний – с апреля по июнь (IV–VI), летне-осенний – с июля по ноябрь (VII–XI), зимний – с декабря по март (XII–III).

На начальном этапе исследований проведена оценка многолетней изменчивости притока к рассматриваемым водохранилищам по построенным сокращенным интегральным кривым колебаний годовых значений бокового притока к водохранилищам Верхневолжской водохозяйственной системы (рис. 1). Анализ графиков показал, что в хронологическом изменении стока бассейна Верхней Волги отмечается последовательное чередование периодов разной степени водности: в 1914–1929 гг. наблюдалась повышенная водность, в 1930–1976 гг. – затяжное маловодье, в 1977–2010 гг. – многоводная фаза.

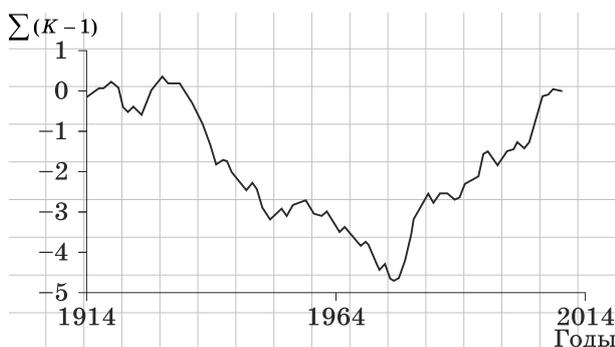


Рис. 1. Сокращенная интегральная кривая Верхней Волги за период 1914/15–2010/2011 годов

Внутри выделенных периодов режим бокового притока к водохранилищам Верхней Волги также неустойчивый, характеризовался чередованием групп лет с пониженным, средним и повышенным стоком. Из анализа этих периодов следует, что хронологический ход притока к гидроузлам Верхневолжского каскада не является точно синхронным, а сами временные ряды имеют много общих свойств: совпадение экстремальных лет и точек перегиба на интегральных кривых многолетнего изменения притока.

На следующем этапе исследований рассмотрены закономерности пространственно-временной изменчивости притока к Верхневолжской водохозяйственной системе. Для выявления стохастических свойств временных рядов оценивали статистические параметры сезонного и годового притока в водохранилища. Эти параметры характеризуют вероятностные закономерности распределения соответствующих величин бокового притока [1].

Для приближенного описания основных свойств рядов наблюдений, рассматриваемых в качестве случайных выборок из генеральных совокупностей, в практике гидрологических расчетов используют математическое ожидание, дисперсию, коэффициент вариации, коэффициент асимметрии и коэффициент автокорреляции [2]. Значения этих параметров приведены в таблице 1.

Анализ данных таблицы 1 показал, что наибольшие объемы весеннего, летне-осеннего, зимнего и годового притока в бассейне Верхней Волги поступали в Чебоксарское водохранилище и составили 29,7, 13,7, 9,0 и 52,4 км³ соответственно. Самая низкая среднемноголетняя величина бокового притока наблюдалась в Угличском водохранилище и составила 2,3, 0,9, 0,6 и 3,8 км³ соответственно за те же периоды.

Параметры изменчивости, а также асимметричности распределения сезонного (весеннего, летне-осеннего и зимнего) и годового притока имели различные значения. Это можно объяснить неоднородностью условий формирования поверхностных вод в бассейне Верхней Волги. Коэффициенты автокорреляции составили от –0,1 для Угличского водохранилища до 0,6 для Чебоксарского водохранилища.

Для общей оценки пространственных изменений годового стока в бассейне Верхней Волги были составлены таблицы 2 и 3, показывающие период наступления

экстремумов в ходе формирования бокового притока к водохранилищам [3]. Для каждого водохранилища выбирали пять самых

маловодных и пять самых многоводных лет и анализировали частоту совпадений таких экстремумов в рядах притока.

Таблица 1
Статистические параметры сезонных и годовых значений бокового притока в водохранилища Верхневолжского каскада

Водохранилище	Период	Средний приток W , км ³	Дисперсия σ_w^2 , км ³	Коэффициент вариации C_v	Коэффициент асимметрии C_s	Коэффициент автокорреляции $r[1]$
Иваньковское	весна	4,84	2,4	0,32	0,64	0,15
	лето-осень	2,40	2,0	0,59	1,18	0,15
	зима	1,52	1,0	0,66	1,33	0,3
	год	8,77	5,9	0,28	0,55	0,27
Угличское	весна	2,26	0,6	0,34	0,68	-0,11
	лето-осень	0,93	0,5	0,73	1,45	0,30
	зима	0,58	0,2	0,85	1,70	0,43
	год	3,77	1,6	0,33	0,66	0,40
Рыбинское	весна	10,07	9,0	0,30	0,59	0,19
	лето-осень	4,24	6,6	0,61	1,21	0,09
	зима	2,27	1,9	0,60	1,21	0,12
	год	16,58	23,4	0,29	0,58	0,30
Горьковское	весна	11,64	10,1	0,27	0,55	0,15
	лето-осень	5,19	8,2	0,55	1,10	0,34
	зима	2,17	1,3	0,52	1,05	0,30
	год	19,00	24,9	0,26	0,53	0,47
Чебоксарское	весна	29,68	70,6	0,28	0,57	0,07
	лето-осень	13,69	22,6	0,35	0,69	0,32
	зима	9,01	13,5	0,41	0,82	0,62
	год	52,39	155,8	0,24	0,48	0,42

Таблица 2
Годовой приток к водохранилищам Верхневолжского каскада в самые маловодные годы

Водохранилище	Год наблюдений значение притока, км ³				
	1921	2002	1939	1938	1964
Иваньковское	2,78	4,22	4,48	4,60	4,61
Угличское	1,24	1,48	1,58	2,83	1,93
Рыбинское	6,42	7,41	7,60	7,97	8,79
Горьковское	6,62	9,60	10,00	10,07	10,53
Чебоксарское	27,73	30,79	32,95	33,77	33,93

Таблица 3
Годовой приток к водохранилищам Верхневолжского каскада в самые многоводные годы

Водохранилище	Год наблюдений значение притока, км ³				
	1953	2009	1980	1916	1962
Иваньковское	13,29	12,90	12,82	12,59	12,52
Угличское	8,48	8,28	8,28	5,79	5,64
Рыбинское	30,21	27,94	27,52	27,35	26,65
Горьковское	32,52	30,23	28,53	28,47	27,70
Чебоксарское	85,84	83,99	81,90	80,82	78,80

Особенно низкий и высокий боковой приток к водохранилищам каскада обычно наблюдался в одни и те же годы. Например крайне маловодный 1921 г. был отмечен на четырех частных водосборах, очень маловодные 1975, 1939, 2002 гг. – на трех, очень многоводные 1916 и 1994 гг. – на трех. Учитывая эти особенности, можно сделать вывод, что в Верхневолжском бассейне зонами формирова-

ния очень низкого и очень высокого стока обычно охватывались довольно большие территории.

Для исследования степени связи рядов бокового притока на частных водосборах применяли корреляционный анализ. Построена матрица взаимной корреляции временных рядов наблюдений за притоком в рассматриваемые водохранилища (табл. 4).

Таблица 4
Матрица взаимной корреляции годовых значений бокового притока к водохранилищам Верхневолжского каскада

Водохранилища	Иваньковское	Угличское	Рыбинское	Горьковское	Чебоксарское
Иваньковское	1,00	0,75	0,59	0,58	0,57
Угличское		1,00	0,56	0,61	0,50
Рыбинское			1,00	0,66	0,38
Горьковское				1,00	0,57
Чебоксарское					1,00

Из данных таблицы 4 следует, что ряды годового притока во все водохранилища повсеместно имели положительную высокую корреляцию. Наибольшая связь характерна для ближайших водосборов, например, коэффициент корреляции между Иваньковским и Угличским водохранилищами равен 0,75. По мере удаления водосборов друг от друга коэффициенты корреляции плавно уменьшаются, например, коэффициент корреляции между Рыбинским и Чебоксарским водохранилищами достигает 0,38. Отсюда можно сделать вывод, что условия формирования поверхностных вод в Верхневолжском бассейне были не везде одинаковыми, а претерпели некоторые изменения.

После проведенных исследований по оценке пространственно-временной изменчивости годового стока пяти частных водосборов бассейна Верхней Волги для маловодных лет 75 % обеспеченности и многоводных лет 5 % обеспеченности были построены расчетные гидрографы притока к Иваньковскому, Угличскому, Рыбинскому, Горьковскому и Чебоксарскому водохранилищам методом компоновки. На рис. 2 и 3 приведены расчетные гидрографы для Чебоксарского гидроузла.

Гидрографы 75 % обеспеченности створов Иваньковского, Угличского, Рыбинского, Горьковского и Чебоксарского гидроузлов показали, что пик весеннего половодья наступал в апреле. В бассейне наблюдалась довольно устойчивая летне-осенняя и низкая зимняя межень. Гидрографы 5 % обеспеченности показали, что в створах Иваньковского, Угличского и Горьковского водохранилищ пик весеннего половодья наступал в апреле, Рыбинского и Чебоксарского – в мае. Это связано с удаленностью гидроузлов друг от друга. Естественный режим характеризуется малой водностью в

период летней, зимней межени и осенними дождевыми паводками в октябре и ноябре.

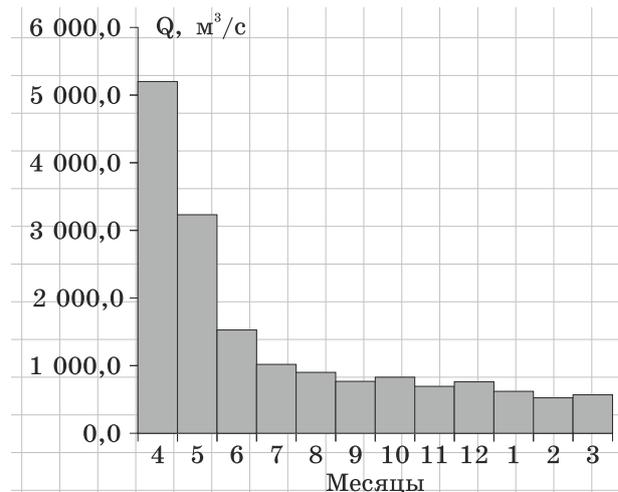


Рис. 2. Расчетный гидрограф 75 % обеспеченности в створе Чебоксарского гидроузла

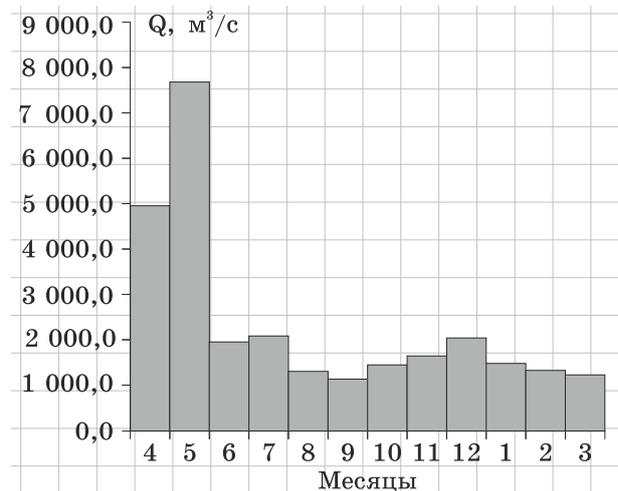


Рис. 3. Расчетный гидрограф 5 % обеспеченности в створе Чебоксарского гидроузла

Выводы

При оценке бокового притока к гидроузлам Верхневолжской водохозяйственной системы получены выборочные оценки среднего, дисперсии, коэффициентов вариации, асимметрии и автокорреляции. Выявлены стохастические свойства, установлены связи внутри временных рядов притока в бассейн Верхней Волги и между ними. Построены гидрографы притока к гидроузлам Верхневолжского каскада 5 % и 75 % обеспеченности.

1. Иванов Е. Г., Исмаилов Г. Х. Оценка влияния водности года на внутригодовое распределение стока в бассейне реки Волги: Роль природообустройства

- сельских территорий в обеспечении Волжско-Камского каскада // Природоустойчивого развития АПК: материалы бустройство. – 2009. – № 1. – С. 58–62. Международной научно-практической конференции. – М.: МГУП, 2007. – Ч. 1. – С. 237–241. *Материал поступил в редакцию 03.06.14.*
2. Практикум по инженерной гидрологии и регулированию стока: учеб. пособия / Е. Е. Овчаров, Н. Н. Захаровская [и др.]; под ред. Овчарова Е. Е. – М.: 2008. – 222 с.
3. **Иванов Е. Г., Исмаилов Г. Х.** Оценка пространственной и временной изменчивости притока к водохранилищам *Смирнова Марина Александровна, аспирантка*
Тел. 8-926-845-77-99
E-mail: smirnova.ma-smirnova@ya.ru
Перминов Алексей Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидрология, гидрогеология и регулирование стока»
Тел. 8-963-638-62-62
E-mail: alexperminov@gmail.com

УДК 502/504:556.3

О. А. ФЕДОТОВА, Н. В. МУРАЩЕНКОВА

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

ИЗМЕНЧИВОСТЬ СЕЗОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА БАСЕЙНА ВЕРХНЕЙ ВОЛГИ*

Приведены результаты анализа и оценки изменчивости элементов водного баланса за периоды весеннего половодья и межени по четырем частным водосборам бассейна Верхней Волги. Рассматривается динамика пространственно-временной изменчивости речного стока и таких определяющих его климатических факторов, как атмосферные осадки, суммарное испарение и изменение бассейновых запасов влаги. Для периода межени и года характерно увеличение речного стока соответственно на 56 мм / 96 лет и 30 мм / 96 лет, сток весеннего половодья снижается на 28 мм / 96 лет. При оценке значимости линейного тренда сезонных элементов водного баланса по методике И. И. Поляка и по коэффициенту корреляции R установлено, что большинство рядов являются стационарными. Выявленные закономерности изменчивости и степени взаимосвязи сезонных элементов водного баланса бассейна Верхней Волги, позволяют по сезонным величинам атмосферных осадков и испарения оценить сток в годы различной водности.

Бассейн Верхней Волги, элементы водного баланса, речной сток, атмосферные осадки, суммарное испарение, бассейновые запасы влаги, линейный тренд.

There are given results of the analysis and assessment of the changeability of water balance elements for periods of spring flood and low water on four private water catchments of the Upper Volga basin. There is considered the dynamics of spatio-temporal changeability of the river flow and such determinative its climatic factors as atmospheric precipitation, total evaporation and changing of basin moisture stocks. For the period of low water and a year increasing of the river flow is typical by 56 mm / 96 years and 30 mm / 96 years correspondingly, the flow of spring flood decreases by 28 mm / 96 years. When assessing the significance of the linear trend of seasonal elements of water balance according to the method of I. I. Polyak and correlation coefficient R it is established that major series are constant. The obtained regularities of variability and degree of interconnections of seasonal elements of the water balance of the Upper Volga basin allow assessing the flow in the years of different water content according to seasonal values of atmospheric precipitation and evaporation.

Basin of the Upper Volga, water balance elements, river flow, atmospheric precipitation, total evaporation, basin water stocks, linear trend.

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