

УДК502/504: 556.16

**Е. Г. ИВАНОВ**

Институт водных проблем РАН

**Г. Х. ИСМАЙЛОВ**

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

## **ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ И ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИТОКА К ВОДОХРАНИЛИЩАМ ВОЛЖСКО-КАМСКОГО КАСКАДА\***

*Дана оценка пространственной и временной изменчивости бокового притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада. Анализ особенностей протекания гидрологических процессов в бассейне Волги выполнен по агрегированным показателям, отображающим условия формирования поверхностных вод на 11 крупных частных водосборах, т. е. по показателям суммарного стока с этих водосборов. Характер колебаний годовых значений боковой приточности к каждому из рассматриваемых водохранилищ оценен по данным наблюдений за период 1914–2004 гг.*

*Волга, бассейн, водохранилище, боковой приток, временная изменчивость, пространственная изменчивость, связанность характеристик притока.*

*There is given an estimation of spatial and time changeability of the lateral inflow to water basins of the Volga — Kama cascade. The analysis of peculiarities of the hydrological processes behavior in the Volga basin is fulfilled according to the aggregated indicators which reflect the conditions of surface water formation on 11 large private water collecting basins i.e. in accordance with the indicators of the total drainage from these water basins. The character of fluctuations of annual values of the lateral inflow to each of the considered water basins is analyzed according to the observation data for the period of 1914 — 2004.*

*The Volga, basin, water basins, lateral inflow, time changeability, spatial changeability, coherence of inflow characteristics.*

Оценка пространственной и временной изменчивости притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада имеет большое практическое значение. Такая оценка необходима для выработки эффективных правил управления режимом работы всей водохозяйственной системы волжского бассейна и отдельных ее элементов, т. е. региональных водохозяйственных комплексов.

*Многолетние изменения притока.* Многолетние изменения притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада оценивали по данным годовых значений боковой приточности за период 1914–2004 гг. Эти данные, отображающие общие условия формирова-

ния стока на 11 частных водосборах волжского бассейна в последние несколько десятилетий, были получены в институте АО Гидропроект. Для Ивановского и Камского водохранилищ, расположенных в вершинах Волжско-Камского каскада, при оценках учитывался ход годовых значений не бокового, а общего притока, включающего боковой приток в водохранилище и сосредоточенный незарегулированный приток в него по руслу реки из вышележащей части водосбора, находящейся выше выклинивания подпора воды в водохранилище.

При анализе многолетнего хода стока в бассейне Волги необходимо учитывать следующие моменты. До 1935 г. условия изменения стока в пределах всего волжского бассейна определялись

\*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 07-05-00121а).

природными факторами, т. е. характером увлажнения территории, режимом испарения с ее поверхности и изменением влагозапасов в почвогрунтах. Начиная с 1935 г. на изменение водности Волги существенное влияние стала оказывать хозяйственная деятельность человека. В 30–70 гг. прошлого столетия в долинах рек Волги и Камы был сооружен Волжско-Камский каскад водохранилищ, осуществляющий сезонное регулирование речного стока, резко выросли заборы воды на хозяйственные нужды. В результате режим стока Волги и Камы был нарушен, гидрологические наблюдения на этих водных объектах не в полной мере стали отражать условия развития природных процессов. Что касается формирования бокового притока к участкам рек Волги и Камы, на которых были построены водохранилища, то этот процесс не претерпел особых изменений. Хозяйственная деятельность на частных водосборах если и повлияла на режим изменения бокового притока к созданным водохранилищам, то весьма незначительно. Поэтому данные по боковой приточности к водохранилищам Волжско-Камского каскада без особой корректировки могут использоваться в оценках.

Для оценки многолетних изменений притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада по указанным выше данным были построены разностные интегральные кривые колебаний годовых значений бокового притока к водохранилищам Верхней Волги, Средней Волги и Камы. Анализ этих графиков показал следующее. В хронологическом изменении стока на частных водосборах бассейна Волги (в хронологическом изменении бокового притока к водохранилищам) отмечалось последовательное чередование периодов различной водности. Так, период от начала наблюдений до 1929 г. характеризовался повышенной водностью. С 1930 по 1977 гг. в волжском бассейне наблюдалось затяжное маловодье. В 1978–2004 гг. на реках бассейна вновь наступила фаза по-

вышенной водности.

Внутри выделенных периодов режим боковой приточности к участкам рек Волги и Камы также не отличается высокой устойчивостью. Он характеризуется чередованием группировок лет с повышенной, средним и пониженным стоком. Наиболее часто встречаются группировки, состоящие из двух и трех лет. Внутри этих группировок, как правило, и находятся годы с исключительно низкой и очень высокой водностью, или приточностью. Самыми маловодными за имеющийся период наблюдений были 1921, 1937 и 1975 гг., наиболее многоводными — 1926, 1990 и 1994 гг. Как следует из материалов наблюдений, значительно реже встречаются затяжные группировки с повышенным и пониженным сроком, включающие 5 лет и более. Среди этих группировок особо выделяется очень глубокое маловодье 1930–1945 гг., захватившее большую часть бассейна Волги. Исключительно высокая водность периода 1957–1970 гг., проявляющаяся в боковой приточности к Воткинскому водохранилищу, в других частях бассейна Камы не была зафиксирована. Такое положение обуславливается не совсем точными расчетами бокового притока к Воткинскому водохранилищу в указанный период. Несколько отличается от других кривых изменения стока хронологический ход бокового притока к Волгоградскому водохранилищу. Это водохранилище находится в самой южной части бассейна Волги. Здесь, скорее всего, происходит некоторое изменение условий формирования поверхностных вод за счет проявления фактора недостаточности увлажнения территории.

В целом можно сказать, что хронологический ход боковой приточности к водохранилищам Волжско-Камского каскада не является строго синхронным, но имеет много общих черт — совпадений экстремальных лет и точек перегиба на интегральных кривых многолетнего изменения стока.

Анализ статистической структуры рядов годового бокового притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада также указывает на подобие характера протекания гидрологических

процессов в различных частях бассейна Волги (табл. 1).

*Пространственные изменения притока.* Оценка пространственных изменений бокового притока к водо-

**Таблица 1**

**Статистические параметры рядов годового бокового притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада**

Водохранилище	Средний годовой приток, км <sup>3</sup>	Коэффициент вариации	Коэффициент асимметрии	Коэффициент автокорреляции
Иваньковское	8,66	0,26	0,0	0,38
Угличское	3,74	0,32	0,6	0,39
Рыбинское	20,7	0,27	0,3	0,36
Горьковское	19,1	0,28	0,5	0,47
Чебоксарское	60,0	0,23	0,4	0,33
Куйбышевское	41,8	0,25	0,8	0,54
Саратовское	7,28	0,47	0,8	0,62
Волгоградское	2,95	0,65	0,9	0,17
Камское	54,0	0,20	0,0	0,40
Воткинское	3,45	0,50	0,7	0,50
Нижнекамское	36,8	0,29	0,8	0,49

охранилищам Волжско-Камского каскада включает:

оценку изменений абсолютных величин притока при переходе от одного водохранилища к другому;

оценку степени синхронности колебаний стока на частных водосборах бассейна Волги (оценку корреляции процессов притока к последовательно расположенным водохранилищам).

Общий характер изменения абсолютных величин бокового притока к водохранилищам при совместном рассмотрении последних может быть выявлен по средним показателям приточности (см. табл. 1). Из таблицы видно, что наибольшие объемы годового притока поступают в Чебоксарское, Камское и Куйбышевское водохранилища и составляют соответственно 60,0, 54,0 и 41,8 км<sup>3</sup>. Самый низкий приток формируется на частных водосборах Волгоградского, Воткинского и Угличского водохранилищ. Он равняется 2,95, 3,45 и 3,74 км<sup>3</sup> в год соответственно.

Для общей оценки пространственных изменений (синхронных колебаний) годового стока в пределах бассейна Волги были составлены таблицы, характеризующие время наступления

экстремумов в процессе формирования боковой приточности к водохранилищам. В качестве таких экстремумов рассматривали пять наиболее низких значений притока за период 1914–2004 гг. и пять наиболее высоких значений притока (табл. 2, 3). Далее анализировали частоту совпадений этих экстремумов в рядах приточности к разным водохранилищам. Анализ показал следующее.

Исключительно низкая и исключительно высокая боковая приточность к различным водохранилищам часто формируется в одни и те же годы. Так, очень маловодный 1921 г. был зафиксирован сразу на 7 частных водосборах, очень маловодный 1937 г. — на 6 частных водосборах и очень маловодный 1975 г. — тоже на 6 частных водосборах. В свою очередь, очень многоводный 1990 г. проявлялся на 6 частных водосборах, очень многоводный 1994 г. — на 5 частных водосборах и очень многоводный 1926 г. — на 4 частных водосборах. Все это указывает на то, что в бассейне Волги зонами формирования очень низкого и очень высокого стоков обычно охватываются достаточно обширные территории.

**Таблица 2**

**Наиболее низкие годовые значения бокового притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада**

Водохранилище	Значение притока, км <sup>3</sup> (верхняя строка) Год наблюдений (нижняя строка)				
	Иваньковское	3,31 1921	4,45 1964	4,57 1996	4,67 1939
Угличское	1,23 1921	1,47 2002	1,59 1975	1,79 1972	1,93 1964
Рыбинское	9,39 2002	9,84 1972	10,4 1973	10,4 1975	10,8 1921
Горьковское	7,52 1937	9,57 1921	9,98 1938	10,1 1975	10,6 1960
Чебоксарское	31,8 1921	36,8 1975	37,4 1949	38,1 1937	40,9 1939
Куйбышевское	20,9 1937	21,4 1921	22,0 1934	22,4 1936	23,1 1975
Саратовское	1,65 1933	1,84 1935	2,63 1944	2,73 1921	2,77 1937
Волгоградское	0,50 1935	0,53 1933	0,57 1925	0,60 1939	0,61 1984
Камское	30,0 1938	32,2 1936	35,8 1920	35,9 1937	36,3 1954
Воткинское	0,36 1952	0,59 1937	0,67 1954	0,68 1949	0,90 1950
Нижекамское	18,3 1935	19,4 1967	20,6 1975	21,9 1936	22,8 1955

**Таблица 3**

**Наиболее высокие годовые значения бокового притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада**

Водохранилище	Значение притока, км <sup>3</sup> (верхняя строка) Год наблюдений (нижняя строка)				
	Иваньковское	14,3 1990	13,2 1953	12,6 1916	12,2 1962
Угличское	8,16 1990	7,50 1989	5,78 1916	5,61 1994	5,56 1915
Рыбинское	37,3 1916	34,1 1935	32,1 1955	32,0 1928	30,8 1923
Горьковское	36,0 1990	32,4 1952	30,5 1986	30,2 1953	28,7 1998
Чебоксарское	98,1 1979	94,0 1980	90,9 1926	90,8 1994	87,3 1978
Куйбышевское	83,1 1991	79,0 1990	57,3 1994	57,2 1926	55,5 1957
Саратовское	17,8 1994	15,7 1990	15,0 1989	14,5 1992	14,5 1991
Волгоградское	7,85 1932	7,63 1917	7,62 1995	7,48 1957	6,87 1922
Камское	79,1 1994	75,7 1926	7,39 1914	73,4 1986	72,9 1990
Воткинское	8,41 1966	8,28 1970	7,38 1961	7,11 1968	6,98 1965
Нижекамское	74,8 1926	60,7 1927	60,5 1946	58,7 1979	55,6 1914

Далее оценка степени синхронности колебаний годового стока в бассейне Волги осуществлялась на основе рассмотрения степени связанности отдельных экстремальных величин притока, а всей совокупности членов

рядов боковой приточности к водохранилищам, т. е. на основе использования корреляционного анализа. Для этих целей была составлена корреляционная матрица годовых значений бокового притока к водохранилищам

Волжско-Камского каскада. Данная матрица представлена в табл. 4.

Как следует из приведенной таблицы, ряды годового стока, формиру-

ющегося на частных водосборах бассейна Волги, повсеместно имеют положительную корреляцию. Наибольшая связанность членов проявляется в ря-

**Таблица 4**

**Корреляционная матрица годовых значений бокового притока к водохранилищам Волжско-Камского каскада**

Водоохранилище	Иваньковское	Угличское	Рыбинское	Горьковское	Чебоксарское	Куйбышевское	Саратовское	Волгоградское	Камское	Воткинское	Нижекамское
Иваньковское	1,00	0,79	0,60	0,66	0,60	0,50	0,34	0,06	0,25	0,05	0,20
Угличское	0,79	1,00	0,61	0,71	0,53	0,52	0,44	0,14	0,28	0,02	0,20
Рыбинское	0,60	0,61	1,00	0,58	0,41	0,31	0,15	0,17	0,25	0,07	0,16
Горьковское	0,66	0,71	0,58	1,00	0,56	0,61	0,42	0,05	0,47	0,07	0,27
Чебоксарское	0,60	0,53	0,41	0,56	1,00	0,59	0,50	0,29	0,40	0,24	0,49
Куйбышевское	0,50	0,52	0,31	0,61	0,59	1,00	0,68	0,11	0,67	0,42	0,57
Саратовское	0,34	0,44	0,15	0,42	0,50	0,68	1,00	0,45	0,42	0,24	0,59
Волгоградское	0,06	0,14	0,17	0,05	0,29	0,11	0,45	1,00	0,02	0,09	0,34
Камское	0,25	0,28	0,25	0,47	0,40	0,67	0,42	0,02	1,00	0,34	0,66
Воткинское	0,05	0,02	0,07	0,07	0,24	0,42	0,24	0,09	0,34	1,00	0,35
Нижекамское	0,20	0,20	0,16	0,27	0,49	0,57	0,59	0,34	0,66	0,35	1,00

дах стока соседних водосборов, коэффициент корреляции между ними составляет 0,60...0,80. По мере удаления частных водосборов друг от друга корреляция в рядах годового стока постепенно снижается и между характеристиками наиболее удаленных водосборов падает — значение коэффициента корреляции составляет 0,20...0,10. Следовательно, условия формирования поверхностных вод в бассейне Волги не остаются всюду одинаковыми, а претерпевают определенные изменения. Такие изме-

нения вызываются сменой климатических условий на обширных пространствах данного бассейна.

Материалы поступили в редакцию 28.03.2008.

**Иванов Евгений Григорьевич**, канд. географ. наук, ст. науч. сотрудник

Тел. 8(499)135-04-0

E-mail: sentsova@yandex.ru

**Исмайлов Габил Худуш оглы**, доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой гидрологии, метеорологии и регулирования стока

Тел. 8 (495) 976-23-68

E-mail: Ism37@mail.ru