

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.535

ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ПЕРИОДА НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ЗИМНЕГО СТОКА РЕК¹

© 2011 г. В. Г. Калинин*, Н. А. Трофимов**

*Пермский государственный университет
614600 Пермь, ул. Букирева, 15

**Пермский государственный технический университет
614600 Пермь, Комсомольский просп., 29а

Поступила в редакцию 27.04.2009 г.

Предложена методика определения минимального репрезентативного периода наблюдений на гидрологических постах, необходимого для изучения закономерностей формирования зимнего стока на реках водосбора Воткинского водохранилища. На примере гидрологических постов с длительными рядами наблюдений путем разбиения их на временные интервалы и анализа полученных отклонений от средних многолетних значений доказано, что в качестве такого периода может быть принят ряд наблюдений продолжительностью 40 лет.

Ключевые слова: река, зимний сток, репрезентативный период, анализ рядов наблюдений.

При недостаточной изученности природы многолетних колебаний водного режима рек и невозможности их долгосрочного прогнозирования при проектировании различных объектов используется вероятностная оценка, основанная на законах математической статистики и математического моделирования, с помощью которой на основании одной или нескольких выборок делается вывод о генеральной совокупности [5]. Однако при этом выборки (периоды наблюдений) должны быть репрезентативными, т.е. достаточно хорошо представлять пропорции генеральной совокупности. Это особенно важно, поскольку имеющиеся ряды наблюдений редкой и ранней, а в настоящее время — резко сокращенной сети гидрологических постов имеют разную продолжительность и несовпадающие начала.

В работе выполнены исследования многолетних колебаний зимнего (с ноября по март) среднесезонного стока на примере рек водосбора Воткинского водохранилища.

Прежде всего необходимо отметить, что в результате статистического анализа однородности рядов годового стока рек бассейна Камы [7] антропогенное влияние на него не обнаружено. Специальные исследования влияния хозяйственной деятельности на зимний среднесезонный сток не проводились. Для рек водосбора Воткинского водохранилища наиболее существенный антропогенный фактор воздействия на их водный режим — регулирование

стока прудами, которые в основном распространены в южной его части. При этом пруды расположены, как правило, на малых реках с небольшими площадями водосбора и предназначены в основном для рыбохозяйственного и противопожарного использования [7].

На большинстве рек, где построены пруды, гидрологические посты отсутствуют или характеризуются короткими рядами наблюдений. Поэтому имеющиеся результаты генетических исследований зимнего режима стока рек не позволяют достоверно оценить роль антропогенного фактора в зимнем стоке рек. Можно лишь предположить, что влияние регулирования стока прудами возможно в большей степени на минимальный зимний сток, нежели на среднесезонный, вследствие того, что это — осредненный сток за весь зимний период с ноября по март.

Рассмотрим распределение количества стоковых постов на реках исследуемой территории по продолжительности их периодов наблюдений. При периоде наблюдений до пяти лет количество составляет 93, 6–9 лет — 11, 10–19 — 22, 20–29 — 14, 30–39 — 11, 40–49 — 9, 50–59 — 12, 60–69 — 8, 70 лет и более — 5.

Продолжительность периодов наблюдений до 5 лет имеют 50.2% постов, причем подавляющее большинство из них функционировало в течение 50–60-х гг. XX в. На долю постов с продолжительностью периодов наблюдений >30 лет приходится 24.3%, а с продолжительностью периодов наблюдений >40 лет — только 18.4% общего количества.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 07-05-01077).

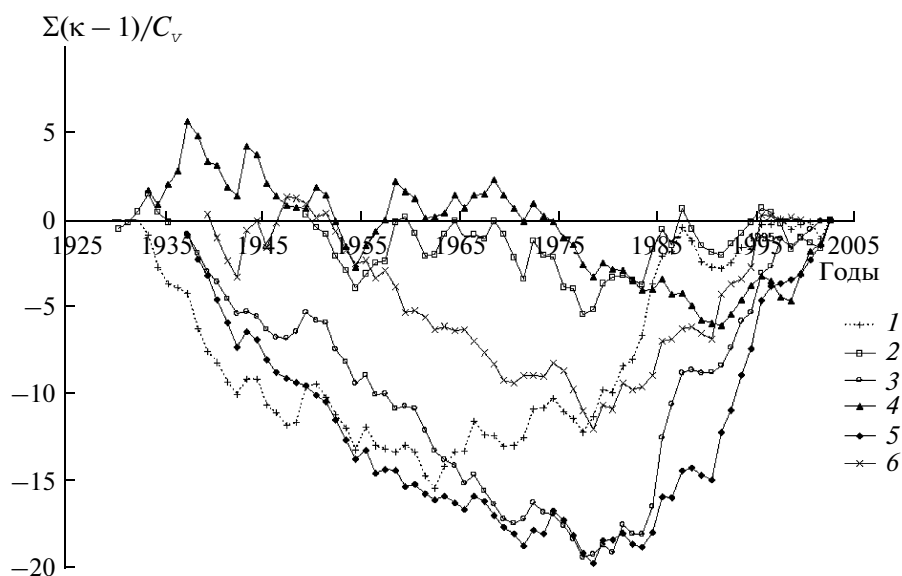


Рис. 1. Разностно-интегральные кривые зимнего среднесезонного стока на реках водосбора Воткинского водохранилища (здесь и на рис. 2 Кама–Гайны 1, Вишера–Рябинино 2, Иньва–Кудымкар 3, Усьва–Усьва 4, Сылва–Подкаменное 5, Чусовая–Староуткинск 6).

Следует отметить, что ряды наблюдений по многим постам начинались и заканчивались в разные годы. Так, до 1960 г. по разным причинам было закрыто 57 постов. В последующий период, до 1990 г., было закрыто еще 89 постов, а к концу 2000 г. функционировал только 31 пост. Из них на долю постов с продолжительностью периода наблюдений в 40 и более лет приходится 77.5%.

Таким образом, наличие большого количества постов с малой продолжительностью периодов наблюдений вызывает необходимость приведения их к многолетним репрезентативным периодам при решении различных гидрологических задач: определению расчетных гидрологических характеристик, корректности выявления групп рек с синхронными колебаниями при исследовании многолетних колебаний стока рек методами кластерного анализа и так далее.

Ряды с малой продолжительностью периодов наблюдений приводятся к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений пунктов рек-аналогов. При этом при выборе рек-аналогов должны учитываться определенные условия [1, 4]. Одно из этих условий – то, что “при выборе пунктов-аналогов необходимо учитывать как возможно большую продолжительность наблюдений в этих пунктах” [4]. Но это условие не определяет конкретное значение достаточной продолжительности наблюдений, которая должна быть репрезентативной.

В качестве одного из наиболее объективных способов выбора репрезентативного периода наблюдений используют разностно-интегральные кривые [1, 2], позволяющие выделять временные циклические колебания гидрологических характеристик,

причина которых, в основном – климатические факторы. При этом период наблюдений должен охватывать как минимум один полный цикл колебаний. На приводимых примерах разностно-интегральных кривых [1, 3] наблюдаются довольно четкие, однозначно трактуемые границы циклов. Последние, как отмечает А.М. Владимиров [1], имеют разную продолжительность и разный размах колебаний водности, т.е. на одних реках наблюдаются 11- и 22-летние, а на других – 17- и 34-летние циклы и так далее, что не позволяет выбрать единый расчетный период наблюдений для всех водомерных постов какой-либо территории.

Для решения этой задачи были выбраны 6 из 13 водомерных постов с периодом наблюдений не менее 60 лет: Кама–Гайны – 71 год, Вишера–Рябинино – 60, Иньва–Кудымкар и Сылва–Подкаменное – 66, Усьва–Усьва – 70 и Чусовая–Староуткинск – 61 год. Эти посты расположены в северной (Кама–Гайны и Вишера–Рябинино), средней (Иньва–Кудымкар и Усьва–Усьва) и южной (Сылва–Подкаменное и Чусовая–Староуткинск) частях водосбора, а также на равнинных и горных реках.

Для выбора репрезентативного периода наблюдений и определения продолжительности различных циклов вначале были построены разностно-интегральные кривые зимнего среднесезонного стока рек для рассматриваемых гидрологических постов (рис. 1), методика построения которых представлена в работах [1–3]. По оси ординат откладывались значения $\Sigma(\kappa - 1)/C_v$, где $\kappa = x_i/\bar{x}$, а x_i и \bar{x} – соответственно ежегодные значения зимнего среднесезонного стока в конкретном году и средние многолетние значения за весь период наблюдений;

C_v – коэффициент вариации (изменчивости) ряда наблюдений.

Характерная особенность рассматриваемых разностно-интегральных кривых – то, что для равнинных рек (Кама–Гайны, Иньва–Кудымкар, Сылта–Подкаменное) четко прослеживаются долговременные циклы продолжительностью 64 (р. Кама) и, по крайней мере, не менее 66 лет (реки Иньва и Сылта). В то время как для горных рек эта продолжительность колеблется в пределах от 38 (р. Вишера) до 49 (р. Чусовая) лет. Причем, на фоне этих долговременных циклов на всех разностно-интегральных кривых прослеживаются кратковременные циклы. Так, например, для поста Кама–Гайны можно выделить циклы продолжительностью 3, 5, 10, 15 лет и так далее.

При расчетах нормы стока репрезентативным будет считаться ряд, включающий 2, 4 цикла [1].

Таким образом, выявленные циклические колебания зимнего среднесезонного стока рек имеют разные размах и продолжительность, что на первый взгляд делает невозможным или, по крайней мере, весьма затруднительным выбор единого репрезентативного периода наблюдений.

Учитывая все вышеизложенное, проблему выбора репрезентативного периода наблюдений можно обозначить следующим образом: необходимо выбрать такой непрерывный период наблюдений, у которого отклонения средних значений стока рек незначительно отличались бы от среднесезонных значений и который имело бы большинство постов.

Для решения этой проблемы вначале был проведен анализ внутрирядной однородности рядов наблюдений, нарушение которой может вызываться естественной изменчивостью стока, хозяйственной деятельностью и объединением генетически неоднородных гидрологических характеристик в единую совокупность, что в свою очередь может привести к получению недопустимых значений гидрологических характеристик.

Как отмечается в работе [6], при недостаточности физического анализа выявления неоднородности рядов наблюдений по исследуемым гидрологическим постам и невозможности оценки значимого влияния изменения параметров распределения гидрологических характеристик под воздействием естественных или искусственных причин для оценки однородности используются статистические критерии.

В частности, при исследовании резко отклоняющихся экстремальных величин в ранжированной последовательности наибольшее применение получили критерии Диксона и Смирнова–Грэмса, которые обобщены для распределения Пирсона типа III с учетом асимметрии и автокорреляции между смежными членами последовательности [6]. Затем определялись средние многолетние значения среднесезонного зимнего стока рек и среднее квадратичное

отклонение значений среднесезонного стока рек от среднесезонного значения.

Расчеты проводились по методике, изложенной в работах [4, 6], результаты которых приведены в табл. 1. В ней применены следующие обозначения: N – продолжительность периода наблюдений на постах, \bar{Q} – средние многолетние значения среднесезонного зимнего стока рек, σ_Q – среднее квадратическое отклонение значений среднесезонного зимнего стока рек от среднего многолетнего значения, C_v – коэффициент вариации (изменчивости) ряда наблюдений, C_s – коэффициент асимметрии ряда наблюдений, r – коэффициент автокорреляции между смежными членами ряда наблюдений, D_{1N}, D_{2N}, \dots и D_{1J}, D_{2J}, \dots – статистики критериев Диксона соответственно для максимального и минимального членов ранжированной выборки (ряда наблюдений) с учетом асимметрии и автокорреляции, G_N и G_J – статистики критерия Смирнова–Грэмса соответственно для максимального и минимального членов ранжированной выборки с учетом асимметрии и автокорреляции, $\sigma_{\bar{Q}}$ – относительная средняя квадратическая погрешность среднего значения среднесезонного зимнего стока.

Критические значения статистик критериев Диксона и Смирнова–Грэмса определялись для уровня значимости $\alpha = 5\%$ (95%-ной доверительной вероятности).

Анализ табл. 1 показывает, что расчетные значения критериев Диксона и Смирнова–Грэмса не превышают критических и величины $\sigma_{\bar{Q}}$ не превышают 10% для всех постов. Следовательно, рассмотренные ряды наблюдений репрезентативные.

Далее рассматривалась возможность уменьшения продолжительности периода наблюдений, который оставался бы при этом репрезентативным. С этой целью исследуемые многолетние ряды наблюдений среднесезонного зимнего стока были разбиты на 25-, 30-, 35-летние и так далее периоды наблюдений (выборки) с однолетним шагом. Так, например, для поста Кама–Гайны проводились расчеты для периодов наблюдений: 1932–1956, 1933–1957, ..., 1978–2002 гг., т.е. всего для этого поста получилось 47 выборок с 25-летним периодом наблюдений. Для каждой выборки оценивалась их однородность по критериям Диксона и Смирнова–Грэмса при $\alpha = 5\%$ и определялось значение $\sigma_{\bar{Q}}$. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, выборки, которые относятся к репрезентативным, имеют продолжительность периода наблюдений от 30 (Вишера–Рябинино) до 50 лет (Иньва–Кудымкар). Репрезентативные выборки остальных постов имеют продолжительность периода наблюдений, равную 40 годам. Для поста Иньва–Кудымкар к репрезентативным выборкам с продолжительностью периода наблюдений, равной

Таблица 1. Расчетные и критические значения критериев Диксона, Смирнова–Грабса и относительной средней квадратической погрешности среднего значения среднесезонного зимнего стока на реках водосбора Воткинского водохранилища (числитель – расчетные значения критериев, знаменатель – критические)

Река–пост	N, лет	\bar{Q} , м ³ /с	σ_Q	C_v	C_s	r	Критерии для членов ранжированного ряда														$\sigma_{\bar{Q}}$, %
							Диксона							Смирнова–Грабса							
							максимального члена							минимального члена							
$D1_N$	$D2_N$	$D3_N$	$D4_N$	$D5_N$	$D1_I$	$D2_I$	$D3_I$	$D4_I$	$D5_I$	G_N	минимального члена	G_I									
Кама–Гайны	71	82.4	24.62	0.30	0.49	0.305	0.185/0.27	0.191/0.29	0.260/0.34	0.281/0.34	0.252/0.32	0.030/0.16	0.037/0.13	0.124/0.18	0.135/0.17	0.101/0.17	2.987/3.636	2.003/2.931	4.79		
Вишера–Рябино	60	171	40.18	0.24	0.42	0.006	0.006/0.28	0.007/0.29	0.350/0.36	0.330/0.34	0.061/0.18	0.061/0.15	0.068/0.18	0.069/0.20	0.067/0.17	1.600/3.518	0.520/2.480	3.01			
Усьва–Усьва	70	7.10	2.41	0.34	0.76	0.150	0.003/0.25	0.003/0.32	0.155/0.38	0.150/0.35	0.027/0.12	0.027/0.10	0.044/0.13	0.052/0.13	0.044/0.13	2.861/3.962	1.627/2.142	4.77			
Иньва–Кулымкар	66	3.41	1.38	0.41	1.29	0.478	0.318/0.34	0.337/0.36	0.397/0.42	0.375/0.42	0.056/0.08	0.062/0.07	0.073/0.08	0.088/0.09	0.057/0.07	3.987/4.416	1.530/1.708	8.14			
Сьлва–Подкаменное	66	68.1	21.88	0.32	0.83	0.450	0.008/0.27	0.009/0.32	0.176/0.40	0.175/0.39	0.003/0.11	0.003/0.09	0.010/0.12	0.012/0.08	0.010/0.12	2.783/3.951	1.411/2.102	6.49			
Чусовая–Староткинский	61	9.19	3.97	0.43	0.99	0.150	0.053/0.33	0.054/0.36	0.100/0.41	0.099/0.41	0.007/0.10	0.008/0.09	0.047/0.11	0.049/0.12	0.044/0.11	2.987/4.108	1.548/1.922	6.39			

Таблица 2. Результаты определения принадлежности выборки к репрезентативной

Река—пост	Продолжительность выборки, лет	Общее количество выборок	Принадлежность выборки к однородной по критериям				$\sigma_{\bar{q}}$	
			Диксона		Смирнова—Граббса		количество выборок с $\sigma_{\bar{q}} \leq 10\%$	% общего количества выборок
			количество выборок	% общего количества выборок	количество выборок	% общего количества выборок		
Кама—Гайны	25	47	36	76.6	47	100	45	95.7
	30	42	24	57.1	42	100	40	95.2
	35	37	26	70.3	37	100	37	100
	40	32	32	100	32	100	32	100
	45	27	27	100	27	100	27	100
	50	22	22	100	22	100	22	100
Вишера—Рябинино	25	36	33	91.7	36	100	36	100
	30	31	31	100	31	100	31	100
	35	26	26	100	26	100	26	100
	40	21	21	100	21	100	21	100
	45	16	16	100	16	100	16	100
	50	11	11	100	11	100	11	100
Усьва—Усьва	25	46	38	82.6	46	100	40	86.9
	30	41	36	87.2	41	100	37	90.2
	35	36	32	88.9	36	100	36	100
	40	31	31	100	31	100	31	100
	45	26	26	100	26	100	26	100
	50	21	21	100	21	100	21	100
Иньва—Кудымкар	25	42	42	100	42	100	36	85.7
	30	37	37	100	37	100	31	83.8
	35	32	24	75.0	32	100	26	81.3
	40	27	23	85.2	27	100	25	92.6
	45	22	18	81.8	22	100	20	90.9
	50	17	17	100	17	100	17	100
Сылва—Подкаменное	25	42	42	100	40	95.2	42	100
	30	37	37	100	37	100	33	89.2
	35	32	28	87.5	29	90.6	32	100
	40	27	27	100	27	100	27	100
	45	22	22	100	22	100	22	100
	50	17	17	100	17	100	17	100
Чусовая—Староуткинск	25	37	34	91.9	37	100	33	89.2
	30	32	29	90.6	32	100	30	93.8
	35	27	24	88.9	27	100	27	100
	40	22	22	100	22	100	22	100
	45	17	17	100	17	100	17	100
	50	12	12	100	12	100	12	100

40 годам, относятся 85.2% по критериям Диксона и 92.6% по $\sigma_{\bar{Q}}$. При этом для оставшихся выборок расчетные значения критерия Диксона превышают критические значения максимум на 5.5%, а относительная средняя квадратическая погрешность превышает допустимую на 0.94%.

Аналогичные расчеты проведены и для остальных 7 из 13 постов с продолжительностью не менее 60 лет. Результаты расчетов показали, что для этих постов выборки, относящиеся к репрезентативным, имеют продолжительность периода наблюдений, равную 40 годам.

Для оценки влияния выборок различной продолжительности периодов наблюдений на точность определения гидрологических характеристик рек вычислена средняя ошибка δ , %, определения средних значений расходов воды по всем выборкам $Q_{\text{ср.в}}$ от средних значений многолетних рядов наблюдений $Q_{\text{ср}}$ как отношение их разности к среднему значению многолетних рядов наблюдений, т.е.

$$\delta = (|Q_{\text{ср.в}} - Q_{\text{ср}}|/Q_{\text{ср}}) \times 100.$$

Результаты расчетов приведены на рис. 2. Здесь для всех постов наблюдается общая тенденция снижения ошибки в определении средних значений с увеличением продолжительности периодов наблюдений. Если ошибка, равная 10%, допустима, то за репрезентативный период наблюдений можно принять ряд с 25-летним периодом (посты Кама–Гайны, Усьва–Усьва и Вишера–Рябинино), с 30- (посты Сылва–Подкаменное и Чусовая–Староуткинск) и с 37-летним (пост Иньва–Кудымкар) периодами. Таким образом, при изучении закономерностей формирования зимнего стока на реках водосбора Воткинского водохранилища за минимальный репрезентативный период наблюдений пунктов-аналогов может быть принят период продолжительностью 40 лет.

ВЫВОДЫ

Анализ периодов наблюдений по гидрологическим постам на реках водосбора Воткинского водохранилища показал, что доля постов с продолжительностью периодов наблюдений >30 лет составляет 24.3%, а >40 лет – 18.4% общего количества пунктов наблюдений. Поэтому существует необходимость приводить ряды с малой продолжительностью периодов наблюдений к многолетнему периоду по рекам-аналогам.

Выбор единого репрезентативного периода наблюдений для разных рек по разностно-интегральным кривым затруднителен, поскольку выявленные циклические колебания зимнего среднесезонного

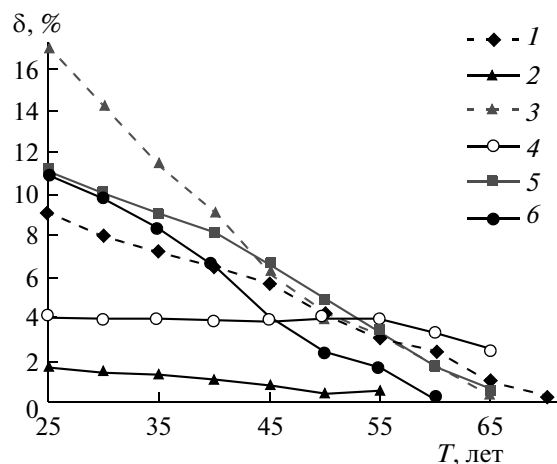


Рис. 2. Зависимость ошибки δ от продолжительности периодов наблюдений T .

стока рек имеют разные размах и продолжительность (для равнинных рек четко прослеживаются долговременные циклы продолжительностью 64–66, для горных рек 38–49 лет).

Предложена методика выбора наименьшего репрезентативного периода наблюдений путем расчета ошибки δ . Доказано, что при $\delta \leq 10\%$ за минимальный репрезентативный период наблюдений при изучении закономерностей формирования зимнего стока на реках водосбора Воткинского водохранилища может быть принят период продолжительностью 40 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимиров А.М.* Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 365 с.
2. *Воскресенский К.П.* Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 545 с.
3. *Горошков И.Ф.* Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 430 с.
4. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. М.: Госстрой России, 2004. 99 с.
5. Пространственно-временные колебания стока рек СССР / Под ред. Рождественского А.В. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 376 с.
6. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 78 с.
7. *Федотов С.А.* Влияние хозяйственной деятельности на водный режим рек Пермской области. Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Пермь: ПермГУ, 2000. 23 с.