

УДК 556.047(476)

А.А. Волчек, О.Н. Натарова

ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СЕЗОННОГО СТОКА ВОДЫ РЕК БЕЛАРУСИ

Выполнены исследования в области определения минимального репрезентативного периода наблюдений на гидрологических постах больших рек Беларуси, необходимого для изучения изменений их сезонного стока воды. Многолетние ряды наблюдений разделены на временные интервалы. Анализ полученных отклонений от средних многолетних значений для выбранных временных интервалов посредством определения критериев Диксона и Смирнова-Граббса позволил установить минимальный репрезентативный период наблюдений в 15 лет. Полученные результаты могут быть использованы для оценки колебаний как сезонного, так и годового стока воды рек Беларуси, а также продления расчетных гидрологических рядов к репрезентативным периодам.

Введение

При изучении внутригодового распределения стока воды, а также изменений, происходящих в нем с целью дальнейших прогнозов, необходимо, чтобы периоды наблюдений были репрезентативными. Это важно, поскольку в настоящее время количество гидрологических постов сокращено вследствие прекращения наблюдений на них.

В целом на территории Беларуси имело место 304 гидрологических поста, отнесенных к шести гидрологическим районам, характеризующихся общностью физико-географических условий. Распределение количества гидрологических постов на реках Беларуси по продолжительности периодов наблюдений на них представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение количества гидрологических постов на реках Беларуси

Период наблюдений, в годах	5	6-9	10-19	20-29	30-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90-99	100-109	110-119	120-129	130-139	140-149
Количество гидрологических постов	33	23	59	74	36	34	20	23	-	-	-	1	-	1	-	-
В процентах от общего количества постов	10,9	7,6	19,4	24,3	11,8	11,2	6,6	7,6	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0	0,3	0,0	0,0

Таким образом, на долю гидрологических постов с продолжительностью периодов наблюдений более 70 лет приходится менее 1%.

Наблюдения на гидрологических постах начинались и заканчивались в разные годы, а также прерывались на время войн. Так, на 204 гидрологических постах отмечен один перерыв в рядах наблюдений, на 66 – два перерыва, на 31 – три перерыва и на 3 – более четырех перерывов.

В связи с этим целью исследований является определение минимального репрезентативного периода наблюдений, необходимого для изучения закономерностей формирования сезонного стока воды на реках Беларуси.

Методика исследований и исходные данные

Для решения поставленной задачи выбраны крупные реки, с наиболее продолжительными рядами наблюдений за сезонным стоком, в том числе и реки, пересекающие несколько гидрологических районов. Данные реки характеризуются наличием действующих на них гидрологических постов и непрерывными наблюдениями на них в период с 1949 по 2009 гг., осуществляемыми республиканским гидрометеорологическим центром Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Многолетние ряды наблюдений разделены на три периода в соответствии с тремя формами атмосферной циркуляции по Г.Я. Вантенгейму – А.А. Гирсу: а) 1949 – 1970 гг. (смешанная меридиональная и восточная); б) 1971 – 1995 гг. (восточная); в) 1996 – 2009 гг. (западная).

Для оценки репрезентативности выбранных периодов наблюдений построены разностно-интегральные кривые сезонного стока воды, которые позволят выявить циклические колебания (циклы). Принцип их построения заключается в следующем. По оси ординат отложены значения $\Sigma(\kappa_i - 1)/C_v$, где $\kappa_i = Y_i/\bar{Y}$, а Y_i , \bar{Y} – ежегодные значения сезонного стока воды в конкретном году и средние многолетние значения за весь период наблюдений; C_v – коэффициент вариации ряда наблюдений [1, с. 143].

Для анализа внутрирядной однородности временных рядов использованы статистические критерии, а именно критерии Диксона и Смирнова-Граббса, обобщенные для распределения Пирсона III типа с учетом асимметрии и автокорреляции между смежными членами последовательности. Значения критериев рассчитаны для уровня значимости $\alpha=5\%$ (95%-ой доверительной вероятности) на основании эмпирических данных по формулам [2, с. 5–6]:

1) для максимального члена ранжированной последовательности (Y_N):

$$D1_N = \frac{Y_N - Y_{N-1}}{Y_N - Y_1}, \quad (1)$$

$$D2_N = \frac{Y_N - Y_{N-1}}{Y_N - Y_2}, \quad (2)$$

$$D3_N = \frac{Y_N - Y_{N-2}}{Y_N - Y_2}, \quad (3)$$

$$D4_N = \frac{Y_N - Y_{N-2}}{Y_N - Y_3}, \quad (4)$$

$$D5_N = \frac{Y_N - Y_{N-2}}{Y_N - Y_1}. \quad (5)$$

2) для минимального члена ранжированной выборки (Y_1):

$$D1_1 = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1 - Y_N}, \quad (6)$$

$$D2_1 = \frac{Y_1 - Y_2}{Y_1 - Y_{N-1}}, \quad (7)$$

$$D3_1 = \frac{Y_1 - Y_3}{Y_1 - Y_{N-1}}, \quad (8)$$

$$D4_1 = \frac{Y_1 - Y_3}{Y_1 - Y_{N-2}}, \quad (9)$$

$$D5_1 = \frac{Y_1 - Y_3}{Y_1 - Y_N}. \quad (10)$$

Значения критерия Смирнова-Граббса определены по формулам:

1) для максимального члена ранжированной последовательности (Y_N):

$$G_N = \frac{Y_N - \bar{Y}}{S}, \quad (11)$$

2) для минимального члена ранжированной последовательности (Y_1):

$$G_1 = \frac{\bar{Y} - Y_1}{S}, \quad (12)$$

где \bar{Y} и \bar{S} – среднее и среднее квадратическое отклонение анализируемой выработки.

Доказав, что периоды наблюдений являются репрезентативными, рассмотрена возможность их сокращения до минимального. В связи с этим выбранные периоды наблюдений разбиты на временные интервалы с шагом 5 лет. Для каждого временного интервала подсчитано количество выборок, однородность которых оценена по методике предложенной выше.

Для выявления влияния продолжительности минимального периода наблюдений на изменения сезонного стока воды вычислены средние ошибки (δ):

$$\delta = \left(\frac{|Y_{cp.в.} - Y_{cp.}|}{Y_{cp.}} \right) \cdot 100\%, \quad (13)$$

где $Y_{cp.в.}$ – среднее значение расхода воды выборки, м³/с;

$Y_{cp.}$ – среднее значение расхода воды за многолетний период, м³/с.

Анализ результатов исследований

Каждый вид сезонного стока воды в ту или иную форму атмосферной циркуляции характеризуется своими циклическими колебаниями, о чем свидетельствуют представленные на рисунках 1 – 2 разностно-интегральные кривые. Их анализ позволил установить:

- *смешанная меридиональная и восточная форма атмосферной циркуляции:*

а) долговременные циклы продолжительностью 15 лет, с едиными календарными границами 1949–1963 гг. для весеннего стока воды; б) 20 лет с едиными календарными границами 1951–1970 гг. для летне-осеннего стока воды; в) 16 лет с едиными календарными границами 1950–1965 гг. для зимнего стока воды;

- *восточная форма атмосферной циркуляции:* а) на соответствующих кривых весеннего стока воды отмечены долголетние циклы продолжительностью 20 лет с едиными календарными границами 1971–1990 гг.; б) летне-осеннего стока воды также 20 лет с календарными границами 1971–1990 гг.; в) зимнего стока воды – продолжительностью 23 года с едиными календарными границами 1971–1993 гг.;

- *западная форма атмосферной циркуляции:* а) кратковременные циклы продолжительностью 8 лет с единым календарным размахом с 1996 по 2003 гг. на кривых весеннего стока воды; б) кратковременные циклы продолжительностью 10 лет с едиными календарными границами 1996–2005 гг.; в) кратковременные циклы продолжительностью 6 лет с единым календарным размахом 1997–2003 гг.

Таким образом, вопрос о репрезентативности рядов наблюдений является особенно актуальным. В связи с этим выполнена оценка внутрирядной однородности периодов (на примере весеннего стока воды), результаты которой отражены в таблицах 2–4.

Их анализ позволил установить, что ряды наблюдений 1949–1970 гг., 1971–1995 гг., 1996–2009 гг. являются репрезентативными, т.к. расчетные значения критериев Диксона и Смирнова-Граббса меньше критических, а средние квадратические отклонения не превышают 20%.

С целью определения, насколько можно сократить каждый из рассматриваемых периодов наблюдений таким образом, чтобы они были репрезентативными, произведено следующее:

- многолетний период наблюдений весеннего стока воды (1949–1970 гг.) разбит на 15-, 20-, 22- периоды с однолетним шагом. Таким образом, получено 8 выборок для 15-ого периода, 3 – для 20-ого периода и 1 выборка – для 22-его периода на всех гидрологических постах (таблица 5);

- многолетний период наблюдений весеннего стока воды (1971–1995 гг.) разбит на 15-, 20-, 25- периоды. Шаг в один год. Как видно из таблицы 6, получено 11 выборок для 15-ого периода, 6 выборок – для 20-ого периода, 1 выборка – для 25-ого периода;

- многолетний ряд наблюдений весеннего стока воды (1996–2009 гг.) разбить на периоды не удалось, т.к. в целом период наблюдений представляет 14 лет. Поэтому в таблице 7 представлена только 1 выборка данного периода наблюдений.

Для каждой выборки оценивалась их однородность по методике, представленной выше.

Таблица 5 – Результаты определения принадлежности выборки к репрезентативной в смешанную меридиональную и восточную форму атмосферной циркуляции

Река-пост	Продолжительность выборки, лет	Общее количество выборок	Принадлежность выборки к однородной по критериям				σ_{ϱ}	
			Диксона		Смирнова-Граббса		количество выборок с $\sigma_{\varrho} \leq 20\%$	% общего количества выборок
			количество выборок	% общего количества выборок	количество выборок	% общего количества выборок		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зап. Двина – г. Витебск	15	8	8	100	8	100	8	100
	20	3	3	100	2	67	3	100
	22	1	1	100	1	100	1	100
Днепр – г. Жлобин	15	8	8	100	8	100	8	100
	20	3	3	100	3	100	3	100
	22	1	1	100	1	100	1	100
Березина – г. Бобруйск	15	8	4	50	8	100	8	100
	20	3	3	100	3	100	3	100
	22	1	1	100	1	100	1	100
Сож – г. Славгород	15	8	8	100	8	100	8	100
	20	3	3	100	3	100	3	100
	22	1	1	100	1	100	1	100
Припять – г. Мозырь	15	8	6	75	8	100	8	100
	20	3	3	100	3	100	3	100
	22	1	1	100	1	100	1	100
Неман – с. Белица	15	8	2	25	4	50	8	100
	20	3	3	100	3	100	3	100
	22	1	1	100	1	100	1	100

Таблица 6 – Результаты определения принадлежности выборки к репрезентативной в восточную форму атмосферной циркуляции

Река-пост	Продолжительность выборки, лет	Общее количество выборок	Принадлежность выборки к однородной по критериям				σ_Q	
			Диксона		Смирнова-Граббса		количество выборок с $\sigma_Q \leq 20\%$	% общего количества выборок
			количество выборок	% общего количества выборок	количество выборок	% общего количества выборок		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зап. Двина – г. Витебск	15	11	6	55	5	45	11	100
	20	6	3	50	3	50	6	100
	25	1	1	100	1	100	1	100
Днепр – г. Жлобин	15	11	5	45	8	73	11	100
	20	6	4	67	5	83	6	100
	25	1	1	100	1	100	1	100
Березина – г. Бобруйск	15	11	9	82	11	100	11	100
	20	6	4	67	6	100	6	100
	25	1	1	100	1	100	1	100
Сож – г. Славгород	15	11	6	55	10	91	11	100
	20	6	5	83	5	83	6	100
	25	1	1	100	1	100	1	100
Припять – г. Мозырь	15	11	6	55	9	82	11	100
	20	6	3	50	6	100	6	100
	25	1	1	100	1	100	1	100
Неман – с. Белица	15	11	8	73	10	91	11	100
	20	6	5	83	5	83	6	100
	25	1	1	100	1	100	1	100

Таблица 7 – Результаты определения принадлежности выборки к репрезентативной в западную форму атмосферной циркуляции

Река-пост	Продолжительность выборки, лет	Общее количество выборок	Принадлежность выборки к однородной по критериям				σ_Q	
			Диксона		Смирнова-Граббса		количество выборок с $\sigma_Q \leq 20\%$	% общего количества выборок
			количество выборок	% общего количества выборок	количество выборок	% общего количества выборок		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зап. Двина – г. Витебск	14	1	1	100	1	100	1	100
Днепр – г. Жлобин	14	1	1	100	1	100	1	100
Березина – г. Бобруйск	14	1	1	100	1	100	1	100
Сож – г. Славгород	14	1	1	100	1	100	1	100
Припять – г. Мозырь	14	1	1	100	1	100	1	100
Неман – с. Белица	14	1	1	100	1	100	1	100

Данные таблиц 5–7 дали возможность проанализировать каждый гидрологический пост в отдельности. Так, для гидрологического поста р. Западная Двина – г. Витебск

репрезентативными будут выборки 22 и 25 лет наблюдений. Выборки продолжительностью периодов наблюдений 15 и 20 лет условно репрезентативными, т.к. расчетные значения статистик критериев Диксона менее критических только на 50% выборок, а расчетные значения статистик критериев Смирнова-Граббса менее критических – на 45% выборок. Средние квадратические отклонения не превышают допустимого значения. Это имеет место в смешанную меридиональную и восточную форму атмосферной циркуляции. В восточную и западную формы атмосферной циркуляции репрезентативным будет считаться период наблюдений не менее 14 лет.

Для гидрологических створов р. Днепр – г. Жлобин и р. Березина – г. Бобруйск репрезентативными являются выборки, продолжительностью 20, 22, 25 лет. Выборки продолжительностью 15 лет условно репрезентативными, т.к.: а) в смешанную меридиональную и восточную форму атмосферной циркуляции для р. Днепр – г. Жлобин зафиксировано 45% выборок, репрезентативных по критериям Диксона, а в восточную и западную формы атмосферной циркуляции – 100%. По критериям Смирнова-Граббса более 73% выборок являются репрезентативными. Средняя квадратическая погрешность не превышает 20%. б) для р. Березина – г. Бобруйск к репрезентативным выборкам по критериям Диксона относятся 50%, по критериям Смирнова-Граббса – более 100%, а средние квадратические погрешности – не превышают допустимой.

Для гидрологического поста р. Припять – г. Мозырь выборки продолжительностью 14, 15, 20, 22, 25 лет являются репрезентативными и по критериям Диксона относятся к 55% в смешанную меридиональную форму атмосферной циркуляции, 75% в восточную форму атмосферной циркуляции, 100% – в западную форму атмосферной циркуляции (15-летние выборки); 100%, 50% соответственно для двух первых форм атмосферной циркуляции (20-летние); 100% для всех форм атмосферной циркуляции (22-летние, 25-летние). Все выборки по критериям Смирнова-Граббса репрезентативны 100%. Средние квадратические отклонения – не более 20%.

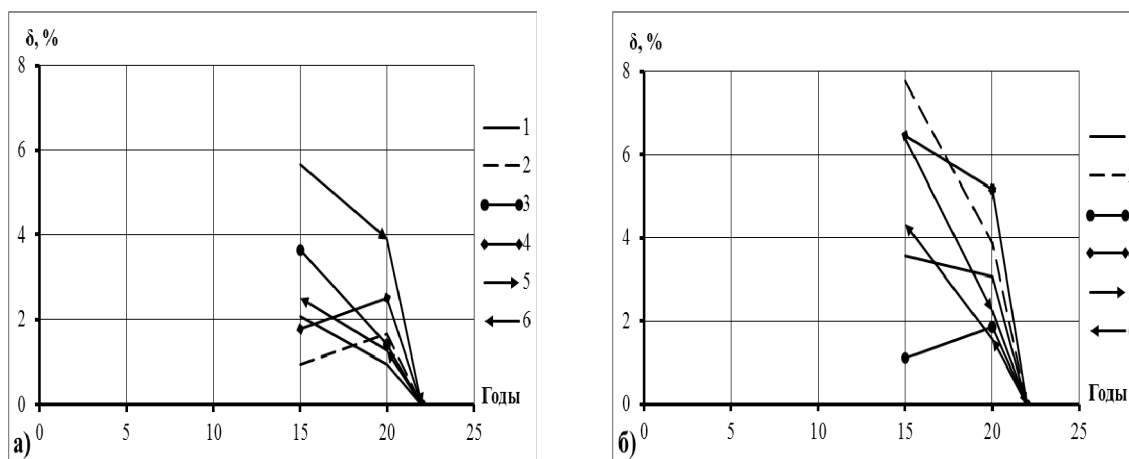
Для гидрологического поста р. Неман – с. Белица выборки продолжительностью 22, 25 лет являются репрезентативными по критериям Диксона и Граббса для всех форм атмосферной циркуляции (таблицы 5–7). Выборки, продолжительностью 20 лет также репрезентативны и относятся к 83% в смешанную меридиональную и восточную форму атмосферной циркуляции и 100% – в восточную форму атмосферной циркуляции по критериям Диксона и Смирнова-Граббса. За 15-летний период являются условно репрезентативным, т.к. в смешанную меридиональную и восточную форму атмосферной циркуляции отмечено репрезентативных 25% выборок по критериям Диксона и 50% по критериям Смирнова-Граббса, в восточную – 73%, 91% соответственно. Относительно средних квадратических отклонений, то для всех рассматриваемых выборок – в пределах допустимого значения.

Таким образом, в качестве минимального репрезентативного периода наблюдений можно принимать 15-летний.

Для выявления влияния продолжительности периода наблюдений на изменения весеннего стока воды определены средние ошибки, полученные значения которых не превышают допустимой, равной 10%. Для более наглядного отображения результаты расчетов изображены графически (рисунок 3). Зависимости ошибки от продолжительности периодов наблюдений представлены только для двух форм атмосферной циркуляции, ввиду того, что для западной формы атмосферной циркуляции получен только один период, продолжительностью 14 лет.

Как видно из представленного рисунка, для гидрологических постов р. Западная Двина – г. Витебск, р. Припять – г. Мозырь, р. Неман – с. Белица намечена тенденция уменьшения значений средней ошибки с ростом продолжительности периодов наблюдений. Для гидрологических постов р. Днепр – г. Жлобин, р. Сож – г. Славгород в смешан-

ную меридиональную и восточную форму атмосферной циркуляции отмечено увеличение значений средней ошибки с ростом продолжительности периода наблюдений от 15 до 20 лет, а далее зафиксирована тенденция уменьшения ее значений. Относительно восточной формы атмосферной циркуляции для указанных гидрологических постов намечена тенденция уменьшения значений средней ошибки при увеличении продолжительности периода наблюдений. Для гидрологического поста р. Березина – г. Бобруйск – ситуация «обратная».



1 – р. Западная Двина – г. Витебск, 2 – р. Днепр – г. Жлобин, 3 – р. Березина – г. Бобруйск,
4 – р. Сож – г. Славгород, 5 – р. Припять – г. Мозырь, 6 – р. Неман – с. Белица

Рисунок 3 – Зависимость ошибки (δ) от продолжительности периодов наблюдений (T) для: смешанной меридиональной и восточной формы атмосферной циркуляции (а); восточной формы атмосферной циркуляции (б)

Заключение

На территории Беларуси имеется достаточно большое количество гидрологических постов с малыми рядами наблюдений. Как правило, это малые реки, для оценки изменений которых во внутригодовом распределении стока воды необходимо привести их временные ряды наблюдений к многолетним с использованием рек-аналогов.

Согласно проведенным исследованиям минимальным репрезентативным периодом выступает ряд продолжительностью 15 лет. Средние ошибки, рассчитанные по представленной методике, для минимального репрезентативного периода при изучении весеннего стока воды крупных рек не превышают 10%.

Таким образом, для расчета внутригодового стока воды рек Беларуси минимальным периодом наблюдений является гидрологический ряд продолжительностью не менее 15 лет для получения достоверных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинин, В.Г. Оценка необходимой продолжительности периодов наблюдений при изучении зимнего стока рек / В.Г. Калинин, Н.А. Трофимов. – Санкт-Петербург : Гидрометеоздат, 2011. – Т. 38, №2. – 142 – 147 с.
2. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. – Л. : Гидрометеоздат, 1984. – 78 с.

***A.A. Volchak, O.N. Natarava* Evaluation of the Required Duration of Observations in Studying the Seasonal Runoff of Waters in Rivers of Belarus**

Studies in the field of determining the minimum representative period of observations at hydrologic posts of big rivers of Belarus necessary for studying changes in their seasonal runoff of waters have been carried out. The multi-year rows of research have been divided into time intervals. The analysis of obtained deviations from average values of many years for the selected time intervals, by means of determining the Dickson and Smirnov-Grabbs criteria, has allowed establishing the minimal representative period of observations of 15 years. The results obtained can be used for evaluating both the seasonal and the annual runoff of water in rivers of Belarus and for prolonging the estimated hydrologic rows for representative periods by means of rivers-analogs.