

<https://doi.org/10.47612/2079-3928-2023-1-27-40>  
УДК 556.13(476)

Поступила в редакцию 30.03.2023  
Received 30.03.2023

## КОЛЕБАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ РЕКИ ПРИПЯТЬ

А. А. Волчек, Д. А. Шпока

*Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь*

**Аннотация.** В статье изложены результаты исследования устойчивости выборочных оценок статистических параметров для различных отрезков исходного временного ряда максимальных уровней воды р. Припять – г. Мозырь за период с 1881 по 2020 г. Рассмотрены отрезки ряда, различающиеся степенью антропогенного воздействия на уровень воды и типом атмосферной циркуляции. Сделан вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике максимальных уровней воды Припяти у Мозыря, обусловленных как естественно-климатическими, так и антропогенными изменениями гидрологического цикла. Показано, что при анализе закономерностей многолетних колебаний максимальных уровней воды рек желательнее использовать методы теории случайных процессов в сочетании с анализом генезиса рассматриваемого процесса и определяющих его природно-хозяйственных факторов, прежде всего климатических.

**Ключевые слова:** уровень воды; весеннее половодье; гидрологический створ; тренды.

**Для цитирования.** Волчек А. А., Шпока Д. А. Колебания максимальных уровней воды реки Припять // Природопользование. – 2023. – № 1. – С. 27–40.

## MAXIMUM WATER LEVELS FLUCTUATIONS OF THE PRIPYAT RIVER

A. A. Volchak, D. A. Shpoka

*Brest State Technical University, Brest, Belarus*

**Abstract.** The article presents the study results of the stability of sample estimates of statistical parameters for various segments of the initial time series of the maximum water levels of the Pripyat River at the Mozyr station for the period from 1881 to 2020. The sections of the series differing in the degree of anthropogenic impact on the water level and the type of atmospheric circulation are considered. It is concluded that there are statistically significant changes in the dynamics of the maximum water levels of Pripyat River at the Mozyr station due to both natural-climatic and anthropogenic changes in the hydrological cycle. It is shown that when analyzing the patterns of long-term fluctuations of the maximum water levels of rivers, it is desirable to use the methods of the random processes theory in combination with the analysis of the considered process genesis and the natural and economic factors determining it, primarily climatic.

**Keywords:** water level; spring flood; hydrological section; trend.

**For citation.** Volchak A. A., Shpoka D. A. Maximum water levels fluctuations of the Pripyat River. *Nature Management*, 2023, no. 1, pp. 27–40.

**Введение.** Уровень воды в реке является важной гидрологической характеристикой и широко используется для решения различных теоретических и практических задач в гидрологии и водном хозяйстве. Особый интерес представляют максимальные уровни воды, которые необходимы для определения площади затопления и подтопления, параметров гидротехнических сооружений и т. д. Так, ежегодное затопление поймы благоприятно влияет на пойменные экосистемы, происходит увлажнение почв, формируются зоны нерестилищ, очищается прибрежная зона и т. п. Половодья довольно постоянны во времени, поэтому население прибрежных зон адаптировалось само и приспособило свою хозяйственную деятельность к этому явлению. Хуже дело обстоит, когда половодье переходит в наводнение, что приводит к экономическому ущербу и даже человеческим жертвам. Что касается естественных речных экосистем, то наводнения скорее надо рассматривать как механизм, способствующий их оздоровлению, так как выживают, как правило, более сильные представители флоры и фауны. При этом большой интерес представляет значение гидрологических характеристик в будущем, т. е. в период эксплуатации создаваемых водохозяйственных объектов. В настоящее время все практические методы гидрологических и водохозяйственных расчетов базируются на принятии гипотезы стационарности естественного процесса многолетних колебаний гидрологической величин, т. е. возможности переноса режимных характеристик, определенных в прошлом, в будущее в их неизменном виде. Хотя опыт проектирования и эксплуатации многочисленных гидротехнических и водохозяй-

ственных объектов показал допустимость данного приема, статистическая концепция описания многолетних колебаний уровней воды в реке в ее традиционной интерпретации не может быть признана перспективной при разработке методов прогнозирования уровня режима [1, 2]. Во-первых, предел предсказуемости стохастических моделей максимальных уровней воды на основе марковской последовательности первого порядка равен одному-двум годам при обеспеченности прогноза  $\leq 60\%$  [3]. Во-вторых, в результате возрастающей антропогенной нагрузки, глобальном изменении климата и других факторов могут измениться статистические параметры временных рядов.

Разработка многомерных эмпирико-статистических моделей с использованием уравнений множественной регрессии явилась дальнейшим развитием концепции случайности применительно к анализу и прогнозу значений временных корреляций максимальных уровней воды в многомерном пространстве вектора-предиктора, выявленных в предшествующий период с помощью уравнений множественной линейной регрессии, кусочно-линейных уравнений линейной регрессии, нейронных сетей и др. Определяются прогнозные значения максимальных уровней воды в реке. При этом необходимо доказательство возможности распространения выявленных зависимостей на прогнозируемый период и требуется прогноз самого вектора-предиктора, что является не менее сложной задачей, особенно для значительного периода [1, 2].

**Методы и данные исследования.** Одной из задач исследования являлась оценка стационарности временных рядов максимальных уровней воды рек с различной степенью антропогенной нагрузки. Для этих целей использован временной ряд максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь с координатами гидропоста 52.0527, 29.2451 и отметкой нуля водомерного поста в Балтийской системе высот 110,93 м. Припять, главная река Полесья, является средней по Европейским масштабам рекой черноморского бассейна, принадлежит к равнинному типу с преобладанием снегового питания. Длина Припяти – 761 км, площадь водосбора – 173,7 тыс. км<sup>2</sup>. Общее направление течения реки широтное – с запада на восток, что не характерно для рек Восточной Европы. Русло в истоке канализированное, на остальном протяжении извилистое, слабо меандрирующее, разветвленное, изобилует заливами и примыкающими староречьями [4, 5]. Припять – типичная трансграничная река Европы, протекающая по территории двух государств – Беларуси и Украины, и могущая служить полигоном для оценки различных изменений. Длина исследуемого временного ряда достигает 140 лет (с 1881 по 2020 г.), основную часть которого составляют результаты инструментальных наблюдений Республиканского гидрометеорологического центра за максимальными уровнями воды Припяти в створе Мозыря. Имеющиеся пропуски в рядах наблюдений за максимальными уровнями воды (1917 и 1942 г.) восстановлены в два этапа. На первом этапе общепринятыми методами гидрологической аналогии с использованием рек-аналогов восстановлены максимальные расходы воды [6–9], а на втором этапе по связи  $H_{\max} = f(Q_{\max})$ , полученной по наблюдаемым величинам, рассчитаны собственно максимальные уровни воды по зависимости

$$H_{\max}(t) = 179 \ln(Q_{\max}(t)) - 800. \quad (1)$$

Значение коэффициента корреляции при 136 совместных годах наблюдений составляет  $r = 0,97$ , что значительно больше критического значения, равного  $r_{кр} = 0,17$ .

Исходный временной ряд значений максимальных уровней воды разбит на два интервала: с 1881 по 1965 г. – период до начала массовых мелиораций, характеризующийся минимальным антропогенным воздействием и условно естественным водным режимом; с 1966 по 2020 г. – период антропогенных воздействий и потепления климата, который, в свою очередь, разбит на два интервала: 1966–1987 гг. – период массовых мелиораций и 1988–2020 гг. – период современных климатических изменений.

Методологической основой исследования являются научные положения о стохастической природе изменчивости уровня режима рек, что позволило использовать статистические методы анализа временных рядов. Системный анализ накопленной информации и сравнительно-географический метод позволили синтезировать наиболее важные закономерности временных колебаний максимальных уровней воды Припяти в створе Мозыря [10, 11].

Оценка однородности временного ряда максимальных уровней осуществлялась на основе генетического анализа условий формирования речного стока путем выявления причин, обуславливающих неоднородность исходных данных наблюдений.

Первичный анализ однородности гидрологических рядов рекомендуется проводить графическими методами, которые предусматривают построение суммарных (интегральных) кривых связей от времени [9]:

$$\sum_{t=1}^T H_{\max} = f(t), \quad (2)$$

где  $\sum_{t=1}^T H_{\max}$  – нарастающее значение максимальных уровней воды во времени;  $t$  – текущий год;

$T$  – период наблюдений.

Тенденцию колебаний максимальных уровней воды оценивали с использованием линейных трендов [10, 11]:

$$H_{\max}(t) = H_{\max}(0) \pm \Delta H_{\max} t, \quad (3)$$

где  $H_{\max}(t)$  – значение максимального уровня в расчетный год, см;  $H_{\max}(0)$  – значение максимального уровня в начальный момент времени, см;  $t$  – текущий год.

Статистическую однородность исследуемого временного ряда наблюдений относительно естественного уровня режима рек оценивали с помощью параметрических тестов, в частности различия в средних – с помощью критерия Стьюдента, а различия в характере колебаний уровня режима – используя критерий Фишера [10, 11]:

$$t = \frac{\bar{H}_{\max_1} - \bar{H}_{\max_2}}{\sqrt{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1n_2(n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}}, \quad (4)$$

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \quad (5)$$

где  $\bar{H}_{\max_1}$ ,  $\bar{H}_{\max_2}$  – выборочные средние максимальных уровней воды;  $\sigma_1^2$ ,  $\sigma_2^2$  – выборочные дисперсии;  $n_1$  и  $n_2$  – объемы выборок.

Полученное значение  $t$ -критерия Стьюдента и  $F$ -критерия Фишера сравнивали с их критическими значениями при заданном уровне значимости  $\alpha = 5\%$ . Если  $t > t_\alpha$ , принимается гипотеза статистического различия двух выборочных средних, а при  $F > F_\alpha$  – гипотеза статистического различия в колебаниях рассматриваемых рядов.

**Результаты и их обсуждение.** С использованием интегральной кривой (формула (1)) исследуемый ряд проверяли на однородность. Как показал анализ, исследуемый временной ряд наблюдений за максимальными уровнями воды является однородным (рис. 1), что позволяет использовать стандартные статистические методы.

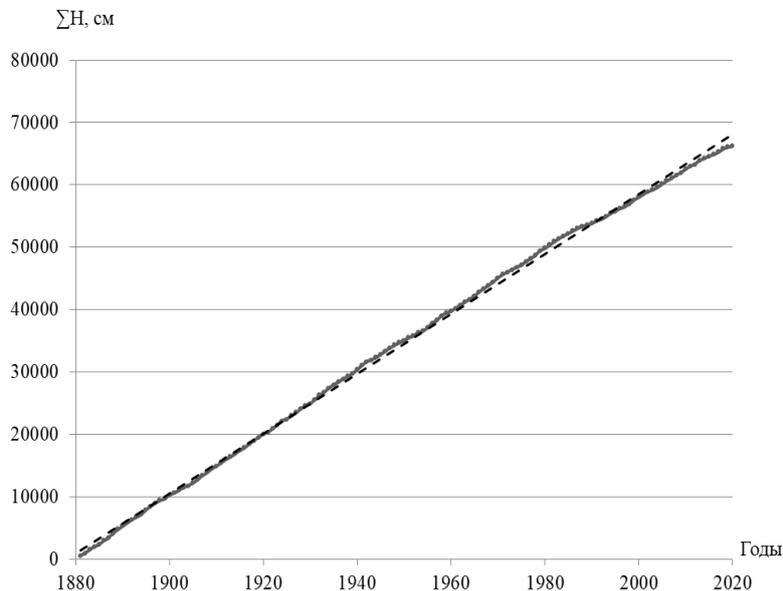


Рис. 1. Изменение нарастающей суммы максимальных уровней воды во времени р. Припять в створе г. Мозырь

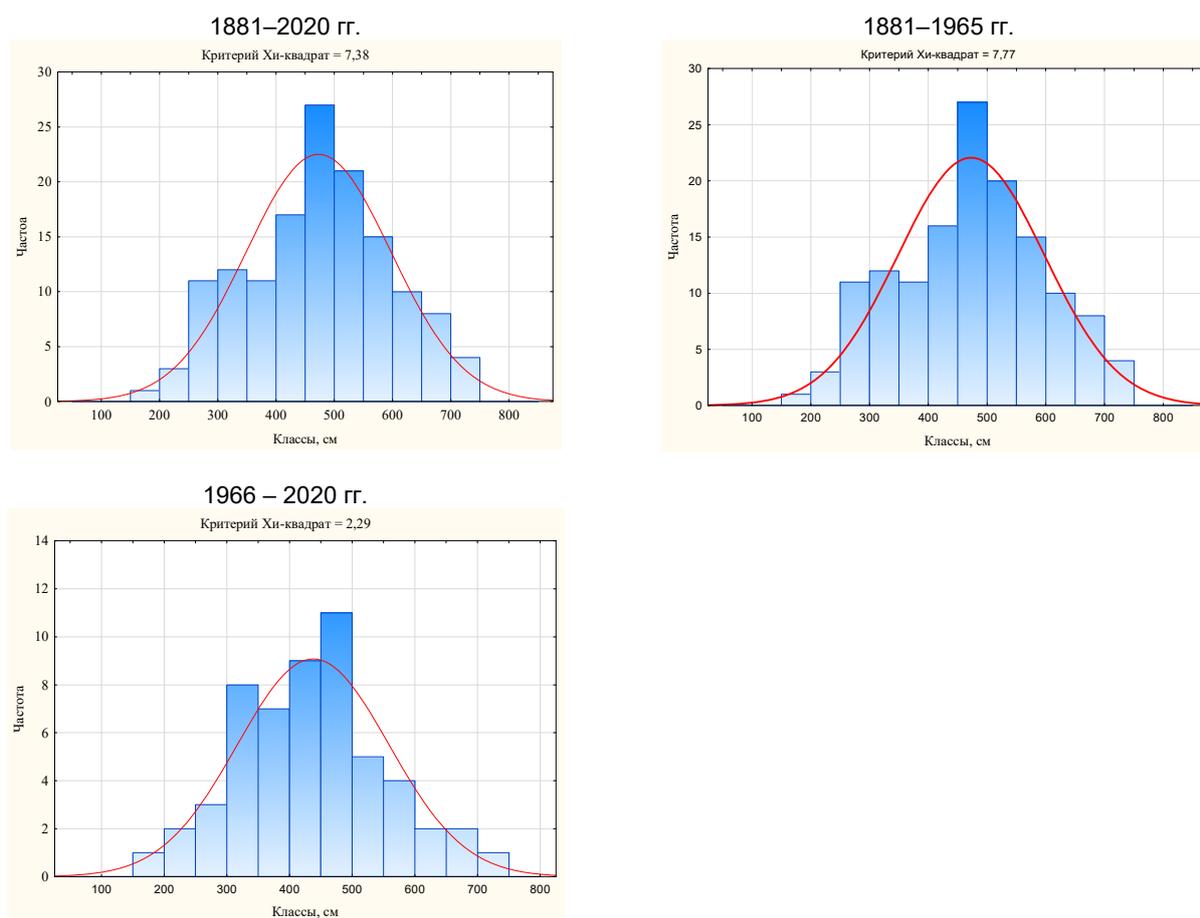
Fig. 1. Change in the increasing sum of the maximum water levels over time of the Pripjat River at the Mozyr station

В табл. 1 представлены выборочные оценки основных статистических параметров рассматриваемых временных рядов максимальных уровней воды за выделенные периоды. Эмпирическая кривая обеспеченности для всего рассматриваемого периода, а также для интервалов 1881–1965 гг. и 1966–2020 гг. соответствует нормальному распределению. Поскольку функция распределения вероятностей максимальных уровней воды при таких оценках параметров незначительно отличается от функции нормального распределения, применение параметрических критериев для проверки статистических гипотез можно считать допустимым. Гистограмма, построенная для годовых расходов воды, свидетельствует, что распределение близко к нормальному (рис. 2).

**Таблица 1. Основные статистические характеристики максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь**

**Table 1. Main statistical characteristics of the maximum water levels of the Pripyat River at the Mozyr station**

Период наблюдений, гг.	Количество лет наблюдений	Средний максимальный уровень, $\bar{H}_{\max}$ , см	Коэффициент		
			вариации $C_v$	асимметрии $C_s$	автокорреляции $r(1)$
1881–2020	140	473	0,26	–0,08	0,11
1881–1965	85	496	0,24	–0,23	–0,08
1966–2020	55	438	0,28	0,14	0,30
1966–1987	22	493	0,23	0,47	0,27
1988–2020	33	401	0,28	0,13	0,13



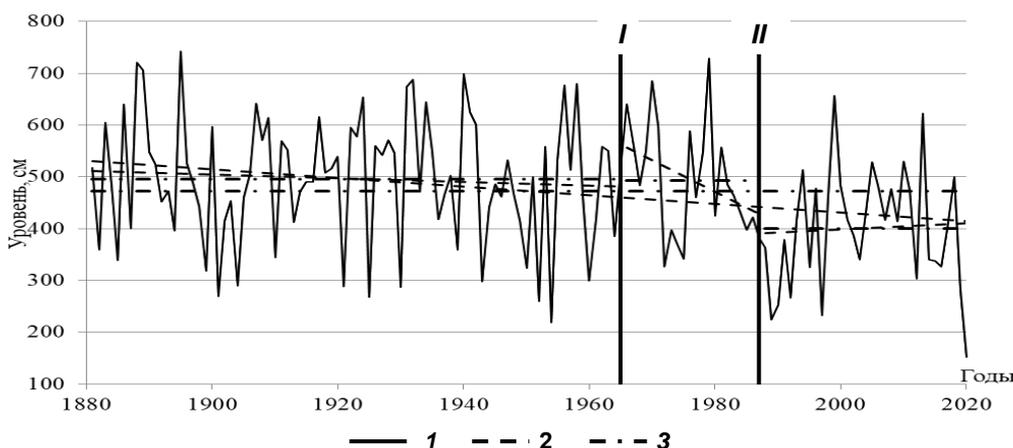
**Рис. 2. Гистограмма распределения максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь**

**Fig. 2. Histogram of the distribution of the maximum water levels of the Pripyat River at the Mozyr station**

Следует обратить внимание на повышенные значения максимальных уровней воды в период с 1966 по 1987 г. и пониженные значения коэффициентов вариации, которые вызваны крупномасштабными мелиорациями путем сгущения проводящей сети, что сократило время добегания воды к расчетному створу и росту максимальных уровней, в также сработкой запасов болотных вод. Снижение максимальных уровней в период с 1988 по 2022 г. вызвано зимним повышением температур, частыми оттепелями. Это приводит к инфильтрации воды в почву, что замедляет скорость добегания воды к замыкающему створу, распластанному гидрографу со срезкой пиков и снижению максимальных уровней. Кроме того, в настоящее время ряд мелиоративных систем частично или полностью перестал выполнять свои функции. Все это в совокупности привело к снижению максимальных расходов.

В целом имеет место расхождение значений параметров рассматриваемых интервалов, за исключением последнего (1988–2020 гг.), что позволяет условно считать их выборками из одной генеральной совокупности. Этот же вывод подтверждается результатами сравнения оценок выборочных средних и дисперсий этих интервалов с использованием критериев Стьюдента и Фишера, которые показали, что различия оценок этих параметров статистически значимы для естественного периода и периода антропогенных воздействий и климатических изменений. Таким образом, использование временного ряда максимальных уровней воды Припяти в створе Мозыря за период с 1881 по 1987 г. (до периода современного потепления) вполне корректно.

На рис. 3 представлен многолетний ход максимальных уровней воды рассматриваемой реки. Колебания уровней носят циклический характер с тенденцией уменьшения в последние годы. Для количественной оценки тенденций в колебаниях уровней использовали линейные тренды за рассматриваемые интервалы. В целом за рассматриваемый период наблюдается тенденция уменьшения максимальных уровней воды со скоростью  $-8,4$  см/10 лет. За период с 1881 по 1965 г. прослеживается также тенденция снижения со скоростью  $-3,6$  см/10 лет. Резкое снижение максимальных уровней происходило в период массовых мелиораций с середины 1960-х до 1990-х годов. В этот период скорость уменьшения максимальных расходов достигла  $61,2$  см/10 лет. Теперь, в период современного потепления, наблюдается некоторый рост со скоростью  $6,1$  см/10 лет (табл. 2).



**Рис. 3.** Многолетний ход максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь: 1 – многолетний максимальный уровень воды; 2 – линия тренда; 3 – средние максимальные уровни; вертикальные линии: I – год начала крупномасштабной мелиорации; II – год начала современного потепления

**Fig. 3.** The long-term course of the maximum water levels of the Pripyat River at the Mozyr station: 1 – long-term maximum water level; 2 – trend line; 3 – average maximum levels; vertical lines: I – of the beginning of large-scale reclamation; II – year of the beginning of modern warming

**Таблица 2.** Параметры моделей временного ряда максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь для различных интервалов

**Table 2.** Parameters of time series models of maximum water levels of the Pripyat River at the Mozyr station for various intervals

Параметр	Временной интервал, гг.				
	1881–2020	1881–1965	1966–2020	1966–1987	1988–2020
Линейные тренды – $H_{max}(t) = H_{max}(0) \pm \Delta H_{max}t$					
$\alpha = 10 \cdot \Delta H_{max}$ , см/10 лет	-8,4	-3,6	-26,7	-61,2	6,1
Коэффициент корреляции	<b>-0,27</b>	<b>-0,23</b>	<b>-0,35</b>	-0,36	0,05
Зависимости $H_{max}(t) = A \cdot \ln(Q_{max}(t)) - B$					
A	179	188	155	165	163
B	-800	-865	-634	-690	-703
Коэффициент корреляции	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>	<b>0,87</b>	<b>0,94</b>	<b>0,89</b>

Примечание. Статистически значимые значения выделены полужирным шрифтом.

**Анализ однородности рядов стока.** Рассмотрим устойчивость выборочных статистик (средних, коэффициентов вариации, коэффициентов автокорреляции) при изменении периодов осреднения применительно к максимальным уровням воды Припяти в створе Мозыря за 1881–2020 гг. ( $n = 140$  лет). При этом использовали пять версий исследуемого временного ряда: данные за весь период наблюдений, данные за период естественного режима, данные за период крупномасштабных мелиораций, за период современных климатических изменений и за период антропогенных воздействий и климатических изменений. В табл. 1 приведены основные статистические параметры этих интервалов исследуемого временного ряда, а в табл. 3 – матрица статистических критериев Стьюдента и Фишера, а также и их критические значения.

**Таблица 3. Статистические критерии (числитель) для различных интервалов временного ряда максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь и их критические значения (знаменатель)**

**Table 3. Statistical criteria (numerator) for various time series intervals of maximum water levels of the Pripyat River at the Mozyr station and their critical values (denominator)**

Временной период, гг.	Временной интервал, гг.					
	1966–2020		1966–1987		1988–2020	
	<i>t</i> -критерий для средних	<i>F</i> -критерий для дисперсий	<i>t</i> -критерий для средних	<i>F</i> -критерий для дисперсий	<i>t</i> -критерий для средних	<i>F</i> -критерий для дисперсий
1881–1965	<b>2,79/166</b>	1,02/1,49	0,12/1,69	1,18/1,89	<b>3,85/1,67</b>	1,13/1,68
1966–1987	–	–	–	–	<b>2,96/1,67</b>	1,05/2,02

Примечание. Статистически значимые значения выделены полужирным шрифтом.

Анализ средних значений годовых расходов воды для пяти рассматриваемых интервалов, на которые разбит исходный временной ряд, показывает, что при сравнении периода 1881–1965 гг. с периодами 1966–2020 гг., 1966–1987 гг. и 1988–2020 гг. есть основания отвергнуть нулевую гипотезу и различия в средних величинах признать существенными, в то же время для дисперсий для всех рассматриваемых интервалов нет оснований отвергать нулевую гипотезу. Таким образом, размах колебаний максимальных уровней воды Припяти можно считать однородным.

При изучении закономерностей многолетних колебаний уровня режима рек несомненный интерес представляет совместный анализ динамики максимальных уровней воды и обобщенных характеристик циркуляции атмосферы. В качестве последних обычно используется классификация Вангенгейма – Гирса, основанная на трех формах циркуляции *W* (западной), *E* (восточной) и *C* (меридиональной) [1]. Подробно этот вопрос для метеорологических рядов рассмотрен в монографии В. Ф. Логинова [13], где приведен их полный анализ. Поэтому в настоящей работе остановимся вкратце на связи максимальных уровней воды Припяти с типом атмосферной циркуляции. Как видно из табл. 4, диапазон изменения характеристик максимальных уровней воды весьма значителен и крайние его значения существенно больше (меньше) аналогичных значений для  $n$ -летних периодов исходного ряда.

**Таблица 4. Основные статистические параметры максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь**

**Table 4. The main statistical parameters of the maximum water levels of the Pripyat River at the Mozyr station**

Временной период, гг.	$n$ , лет	Тип атмосферной циркуляции	Статистический параметр						
			$H_{\text{ср}}$ , см	$C_v$	$r(1)$	линейный тренд		$A$	$B$
						$\alpha$ , см/10 лет	$r$		
1881–1890	10	<i>C</i>	532	0,26	–0,17	201	0,43	184	–840
1891–1928	38	<i>W</i>	493	0,23	–0,14	15	0,14	192	–984
1929–1939	11	<i>E</i>	510	0,24	–0,13	–105	–0,27	185	–847
1940–1948	9	<i>C</i>	512	0,23	0,33	–216	–0,50	189	–871
1949–1964	16	<i>E + C</i>	460	0,35	–0,09	62	0,21	188	–863
1965–1988	24	<i>E</i>	488	0,34	0,30	–62	<b>–0,40</b>	198	–939
1989–2010	22	<i>W</i>	415	0,26	0,21	84	<b>0,50</b>	150	–610
2011–2020	10	<i>E</i>	374	0,35	–0,14	–211	–0,49	229	–1153

Примечание. Статистически значимые значения выделены полужирным шрифтом.

Анализ линейных трендов для интервалов с различным типом атмосферной циркуляции показал широкий диапазон колебаний градиентов изменений максимальных уровней – от –216 см/10 лет (1940–1948 гг. (*C*)) до 201 см/10 лет (1881–1890 гг. (*C*)), меньшие градиенты имели место для других типов атмосферной циркуляции. Статистически значимые градиенты отмечаются только для двух интервалов: 1965–1988 гг. (*E*) и 1989–2010 гг. (*W*). Надо отметить, что отрицательные градиенты свойственны типу атмосферной циркуляции (*E*). Интервал 2011–2020 гг. отличается большим отрицатель-

ным градиентом, что обусловлено типом атмосферной циркуляции, влияние которой усилено современными климатическими изменениями.

Проверка гипотезы однородности рассматриваемых параметров максимальных уровней воды для периодов с разными типами циркуляции основана на использовании критериев Стьюдента и Фишера. Как показал анализ, для некоторых отрезков времени расхождения в параметрах существенны и могут быть признаны статистически достоверными. Подробная характеристика различий в рассматриваемых периодах приведена в табл. 5. По математическому ожиданию максимальные уровни воды за все рассматриваемые периоды до 1989 г. являются статистически неразличимыми. В то же время средние величины за два последних периода являются статистически различимыми почти со всеми периодами, кроме 1949–1964 (тип атмосферной циркуляции –  $E + C$ ), а именно: период 1989–2010 гг. ( $W$ ) с периодами 1881–1890 гг. ( $C$ ), 1891–1928 гг. ( $W$ ), 1929–1939 гг. ( $E$ ), 1940–1948 гг. ( $C$ ) и 1965–1988 гг. ( $E$ ); период: 2011–2020 гг. ( $E$ ) с периодами 1881–1890 гг. ( $C$ ), 1891–1928 гг. ( $W$ ), 1929–1939 гг. ( $E$ ), 1940–1948 гг. ( $C$ ) и 1965–1988 гг. ( $E$ ). Период 2011–2020 гг. ( $E$ ) является периодом с самыми меньшими максимальными уровнями, поэтому он отличается от большинства других периодов, в том числе и периодов с аналогичным типом атмосферной циркуляции – 1929–1939 гг. ( $E$ ) и 1965–1988 гг. ( $E$ ). Это вызвано большим влиянием современного климатического потепления, чем типом атмосферной циркуляции. Аналогичная картина наблюдается и для периода 1989–2010 гг. ( $W$ ). Если расположить периоды типов атмосферной циркуляции по убыванию максимальных уровней воды Припяти, то получается следующая картина:  $C - C - E - W - E - E + C - W - E$ . Рассматриваемые участки однородны по дисперсиям. Различий в коэффициентах автокорреляции при использовании критериальных статистик установить не удалось, хотя в некоторых случаях коэффициенты автокорреляции приближаются к критическим, но не превышают их. Это обусловлено недостаточной длиной рассматриваемых периодов.

**Таблица 5. Статистические критерии (числитель) для различных интервалов временного ряда максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь и их критические значения (знаменатель)**

**Table 5. Statistical criteria (numerator) for different time series intervals of the maximum water levels of the Pripjat River at the Mozyr station and their critical values (denominator)**

Временной период, гг.	$t$ -критерий для средних	$F$ -критерий для дисперсий	Временной период, гг.	$t$ -критерий для средних	$F$ -критерий для дисперсий
Временной интервал 1891–1928 гг.			Временной интервал 1989–2010 гг.		
1881–1890	0,83/1,73	1,49/2,14	1881–1890	<b>2,39/1,76</b>	1,66/2,34
1891–1928	–	–	1891–1928	<b>2,81/1,68</b>	1,07/1,96
Временной интервал 1929–1939 гг.			1929–1939	<b>2,11/2,11</b>	1,39/2,32
1881–1890	0,39/1,73	1,15/3,02	1940–1948	<b>2,13/1,76</b>	1,19/2,42
1891–1928	0,38/1,75	1,30/2,10	1949–1964	1,08/1,70	1,61/2,18
Временной интервал 1940–1948 гг.			1965–1988	<b>2,28/1,68</b>	1,02/2,06
1881–1890	0,34/2,11	1,34/3,39	Временной интервал 2011–2020 гг.		
1891–1928	0,44/1,78	1,11/2,20	1881–1890	<b>2,63/1,73</b>	1,09/3,18
1929–1939	0,05/1,73	1,72/3,35	1891–1928	<b>2,62/1,77</b>	1,37/2,14
1940–1948	–	–	1929–1939	<b>2,39/1,73</b>	1,05/3,02
Временной интервал 1949–1964 гг.			1940–1948	<b>2,41/1,74</b>	1,23/3,39
1881–1890	1,32/2,09	1,00/3,00	1949–1964	1,58/1,72	1,11/3,01
1891–1928	0,87/1,71	1,50/1,64	1965–1988	<b>2,42/1,75</b>	1,43/2,32
1929–1939	0,97/1,71	1,15/2,85	1989–2010	0,86/1,75	1,46/2,37
1940–1948	1,00/1,73	1,35/3,22	Временной интервал 1965–1988 гг.		
Временной интервал 1965–1988 гг.			1881–1890	0,90/1,76	1,56/2,32
1881–1890	0,90/1,76	1,56/2,32	1891–1928	0,17/2,00	1,56/2,32
1891–1928	0,17/2,00	1,56/2,32	1929–1939	0,48/2,12	1,36/2,28
1929–1939	0,48/2,12	1,36/2,28	1940–1948	0,53/1,76	1,16/2,37
1940–1948	0,53/1,76	1,16/2,37	1949–1964	0,70/2,05	1,57/2,13
1949–1964	0,70/2,05	1,57/2,13	1965–1988	–	–
1965–1988	–	–			

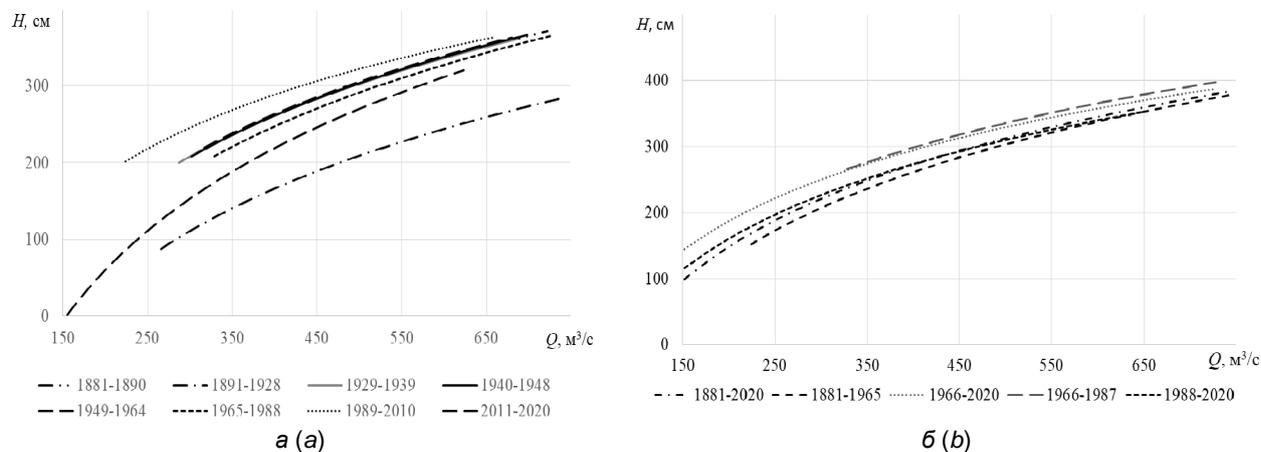
Примечание. Статистически значимые значения выделены полужирным шрифтом.

Таким образом, анализируемый ряд максимальных уровней воды неоднороден по математическому ожиданию, но однороден по дисперсии.

В то же время можно полагать, что для отдельных временных периодов с преобладанием того или иного типа атмосферной циркуляции выполняются условия стационарности. Переход же от одного состояния к другому происходит в естественных условиях под воздействием внешних климатических факторов, существенно изменяющих соотношение между осадками и испарением в пределах территории бассейна Припяти. В итоге можно сделать вывод, что многолетние колебания макси-

мальных уровней воды р. Припять вызваны климатическими факторами, причина которых кроется в процессах крупномасштабного влагообмена в системе океан – атмосфера – суша [1].

Важной гидрологической характеристикой является связь уровней воды с их расходами, т. е. зависимость  $H = f(Q)$ . Для всего исследуемого периода такая связь представлена моделью (1). На рис. 4 представлены данные модели, построенные для различных интервалов, параметры которых указаны в табл. 2 и 4. Все модели имеют высокие, статистически значимые коэффициенты корреляции – от 0,87 до 0,99.



**Рис. 4. Графики зависимости  $H = f(Q)$  для различных интервалов: а – по типам атмосферной циркуляции; б – по антропогенным и климатическим влияниям**

**Fig. 4. Graphs of the dependence  $H = f(Q)$  for different intervals: а – by types of atmospheric circulation; б – by anthropogenic and climatic influences**

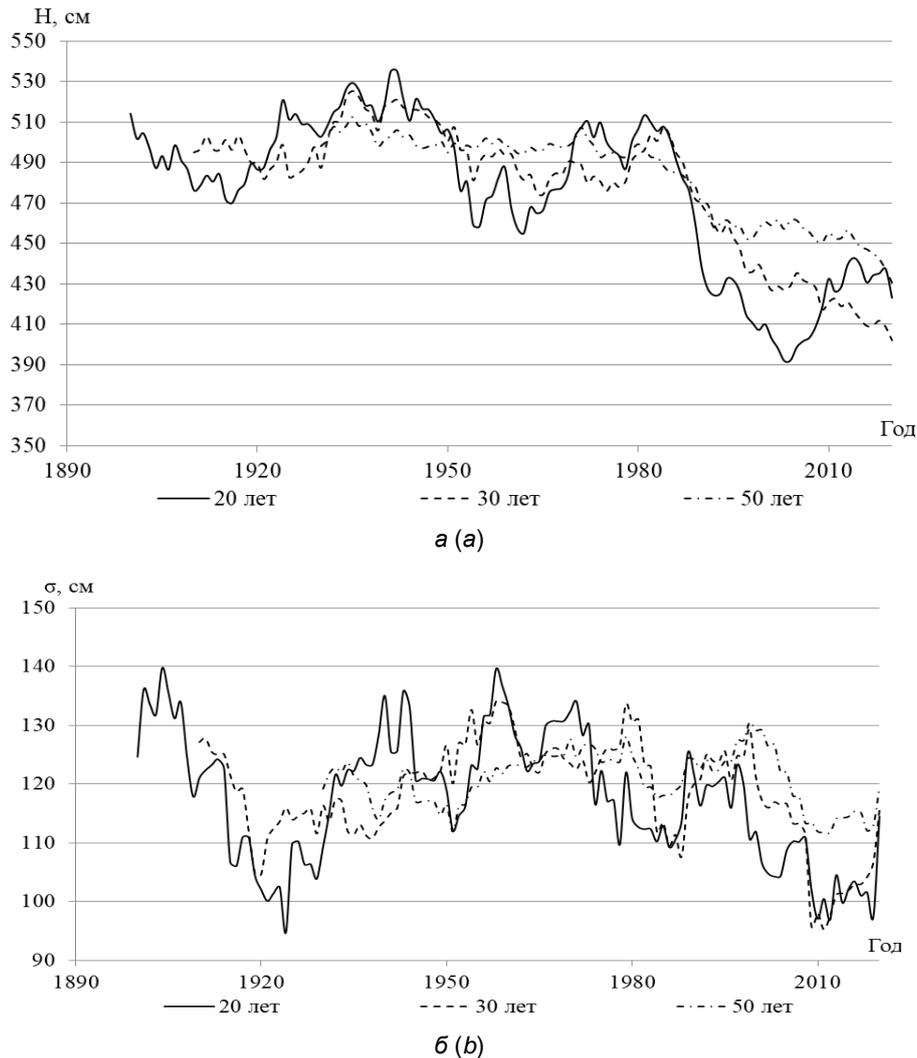
Как видно из рис. 4, в целом различия в характере зависимостей  $H = f(Q)$  сохраняются, хотя за отдельные периоды есть существенные отклонения, например, в 1891–1928 гг. (тип атмосферной циркуляции – И).

**Анализ цикличности уровней воды.** Параллельно с концепцией случайности многолетних колебаний максимальный уровень воды используется концепция цикличности. Сложность в использовании циклов для прогноза уровней воды заключается в их аperiodичности, так как фаза, амплитуда и длительность цикла меняются без видимых закономерностей. Кроме того, пока нет единого мнения о природе этих циклов, так как отсутствует объективная методика выделения и анализа циклов уровней рек. Считается, что циклы обусловлены либо влиянием внешних (космофизических факторов), либо автоколебательными процессами в системе атмосфера – гидросфера Земли, либо естественными свойствами любой случайной последовательности.

По выборкам различной длины максимальных уровней воды оценивали статистические параметры и исследовали степень их изменения от выборки к выборке. Выборки строили как участки исследуемых рядов, различающихся начальной точкой и длиной. В частности, рассматривали отрезки ряда, различающиеся степенью антропогенного воздействия на уровни воды и типом атмосферной циркуляции. Кроме того, были определены статистические параметры для отрезков исходного ряда, полученные в результате процедуры скользящего 20-, 30- и 50-летнего осреднения. Проверку однородности выборочных статистических параметров осуществляли с помощью тестовых критериев Стьюдента и Фишера [12].

Как видно из рис. 5, крайние значения математического ожидания различных периодов осреднения имеют существенный размах. Это обусловлено маловодьем периода современного потепления климата на стыке столетий, что вносит во временной ряд максимальных уровней воды Припяти существенные различия. Такие различия в оценках параметров свидетельствуют о применении гипотезы о нестационарности рассматриваемого временного ряда, что подтверждает проверка гипотезы об однородности рассматриваемых статистических параметров для различных периодов сглаживания, которые при доверительной вероятности 5%-го расхождения в этих параметрах могут быть признаны статистически достоверными в рассматриваемых случаях. Сопоставление многолетних скользящих изменений средних и дисперсий показывает слабую синхронность в их изменениях. Наибольшая дисперсия отмечается в начале и середине XX в., тогда как средние значения максимальных уровней воды имеют устойчивые значения до современного потепления, а затем наблюдается резкое падение. В то же самое время многоводный период второй четверти XX в. совпал с повышенной изменчивостью максимальных уровней воды. Высокая изменчивость стока в 1930–70-е годы приходится на годы как большой, так и малой водности. Интересно отметить, что имеется определенная синхронность изменения скользящих дисперсий и векового хода солнечной активности. Максимумы векового

цикла солнечной активности приходится соответственно на 30–50-е годы XIX в. и вторую половину XX., а минимум – на конец XIX в. и начало XX в. Это может свидетельствовать о том, что изменчивость гидрологических характеристик возрастает при высокой солнечной активности.



**Рис. 5. Динамика скользящих средних (а) и дисперсий (б) за различные периоды осреднения максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь**

**Fig. 5. Dynamics of moving averages (a) and dispersions (b) for various periods of averaging the maximum water levels of the Pripjat River at the Mozyr station**

Проведение более тонких исследований амплитудно-частотных характеристик процесса требует применения спектрального анализа. Для обнаружения характерных ритмов, анализа их устойчивости или, наоборот, изменчивости во времени, нами использована процедура спектрально-временного анализа (СВАН), который представляет спектральный анализ в скользящем временном окне. Длина окна выбирается исходя из требований получения данных о гармониках в наиболее широком частотном диапазоне, из требуемой детальности фактического частотного состава процесса. При слишком малом окне теряется информация о низких частотах, а при большом окне СВАН-диаграмма становится слишком зарегулированной. В нашем случае величина временного окна принята 50 лет (рис. 6). Выбор такой длины временного окна диктуется методическими соображениями, поскольку она составляет примерно одну треть от длины имеющегося временного ряда, что позволяет проследить изменчивость статистических свойств и, кроме того, достаточно велика, чтобы усреднить влияние известных климатических факторов, например 11-летней периодичности солнечной активности [15].

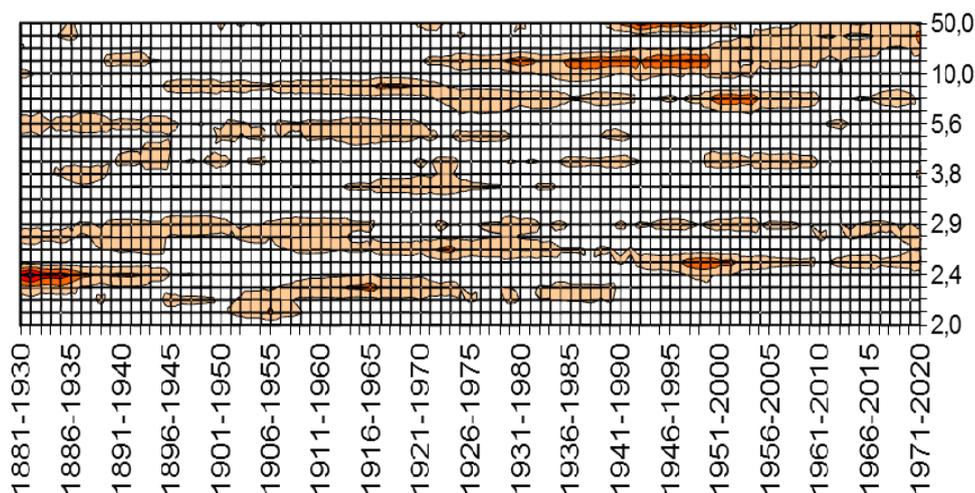


Рис. 6. СВАН-диаграмма максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь (длина скользящего окна – 50 лет)

Fig. 6. STAN diagram of the maximum water levels of the Pripjat River at the Mozyr station (the length of the sliding window is 50 years)

Анализ рис. 6 позволил констатировать факт наличия 2,4-летнего цикла (1881–1935 гг.), мощного 20-летнего цикла (1936–1999 гг.) и 50-летний цикл (1941–1999 гг.).

Как показала практика применения спектральных анализов и методов отыскания скрытых периодичностей, результаты в моделях прогноза не дали положительного результата [3]. К числу слабых сторон такого подхода помимо неустойчивости циклов относится и возможность их физической (генетической) интерпретации. Последнее характерно и для всех методов, разработанных в рамках статистической концепции.

В связи с тем, что оба критерия дают сравнимые результаты, использование принципа цикличности (квазипериодичности) при анализе и прогнозе многолетних колебаний максимальных уровней воды допустимо.

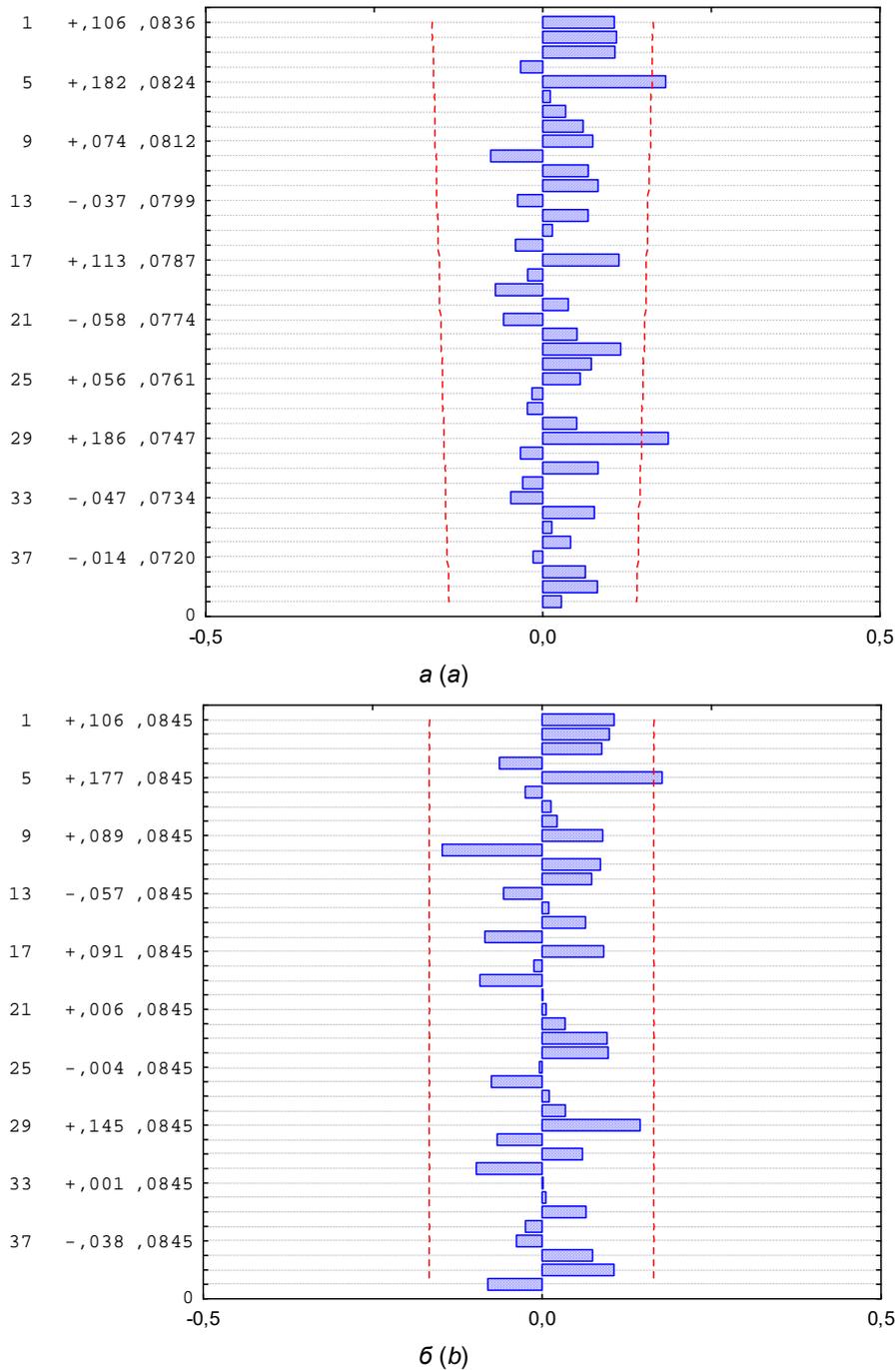
**Построение прогнозных моделей.** Когда тренд явно не выражен, необходимо рассматривать совместно выборочные автокорреляционную (АКФ) и частную автокорреляционную (ЧАКФ) функции данного процесса, с помощью которых определяется характер изменения годового стока рек. При этом используются следующие критерии оценки степени нестационарности процесса и выбора модели [1, 14], приведенные в табл. 6.

Таблица 6. Критерии нестационарности процесса и выбора модели

Table 6. Criteria for non-stationarity of the process and model selection

АКФ	ЧАКФ	Вид модели
Экспоненциально затухает	Высокое значение лишь при $\tau = 1$	АР(1) – авторегрессия первого порядка
Форма затухания в виде синусоидальной волны или экспоненциально затухает	Высокое значение лишь при $\tau = 1$ и $\tau = 2$	АР(2) – авторегрессия второго порядка
Высокое значение при $\tau = 1$ , остальные значения нулевые	Экспоненциально затухает или осциллирует с изменением знака	СС(1) – скользящее среднее первого порядка
Высокое значение при $\tau = 1$ и $\tau = 2$ , остальные значения нулевые	Форма синусоидальной волны или экспоненциально затухает	СС(2) – скользящее среднее второго порядка
Экспоненциально затухает, начиная с $\tau = 1$ (затухание может быть монотонным или осциллирующим)	Экспоненциально затухающие значения ординат либо монотонно осциллирует	АР СС(1) – авторегрессия и скользящее среднее первого порядка

Строго говоря, исследуемый временной ряд максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь (рис. 7) не отвечает моделям, описанным в табл. 6 в полной мере. Поэтому представленный временной ряд идентифицирован моделями АР(1) и АР(2).



**Рис. 7. Автокорреляционная функция (а) и частная автокорреляционная функция (б) максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь**

**Fig. 7. Autocorrelation function (a) and partial autocorrelation function (b) of the maximum water levels of the Pripjat River at the Mozyr station**

Модель AP(1) имеет вид

$$H_{\max}(t) = \bar{H}_{\max} + r(1)[H_{\max}(t-1) - \bar{H}_{\max}] + \xi(t), \tag{6}$$

где  $H_{\max}(t)$  и  $H_{\max}(t-1)$  – максимальные уровни воды в  $t$ -й и предшествующий ему  $(t-1)$ -й годы соответственно, см;  $\xi(t)$  – гауссовский «белый шум» с нулевым средним и  $\sigma_{\xi} = \sigma_H \sqrt{1 - r(1)^2}$ .

В соответствии с уравнением (3) для временного ряда максимальных уровней воды Припяти при  $r(1) = 0,11$ ,  $\bar{H}_{\max} = 473$  см (табл. 1), а также  $\sigma_{\xi} = 123,7$  см и  $\sigma_H = 124,3$  см.

$$H_{\max}(t) = 0,11H_{\max}(t-1) + 421 + \xi(t).$$

Модель AP(2) имеет вид

$$H_{\max}(t) = \bar{H}_{\max} + r(1)[H_{\max}(t-1) - \bar{H}_{\max}] + r(2)[H_{\max}(t-2) - \bar{H}_{\max}] + \xi(t), \quad (7)$$

где  $H_{\max}(t)$ ,  $H_{\max}(t-1)$  и  $H_{\max}(t-2)$  – максимальные уровни воды в  $t$ -й и предшествующие ему  $(t-1)$ -й и  $(t-2)$ -й годы соответственно, см;  $\xi(t)$  – гауссовский «белый шум» с нулевым средним и  $\sigma_{\xi} = \sigma_H \sqrt{1 - r(1)^2}$ .

В соответствии с уравнением (7) для временного ряда максимальных уровней воды Припяти при  $r(1) = 0,11$ ,  $r(2) = 0,11$  и  $H_{\text{ср}} = 473$  см (см. табл. 1), а также  $\sigma_{\xi} = 123,7$  см и  $\sigma_H = 124,3$  см.

$$H_{\max}(t) = 0,11[H_{\max}(t-1) + H_{\max}(t-2)] + 369 + \xi(t).$$

Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик максимальных уровней воды Припяти за почти 140-летний период позволяет сделать вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике среднемноголетних максимальных уровней воды, обусловленных естественными климатическими изменениями гидрологического цикла и антропогенными воздействиями. Так как  $\bar{H}_{\max} \neq \text{const}$ , можно сделать вывод о стационарности режима максимальных уровней воды лишь на отдельных интервалах периода наблюдений. В то же время характер колебаний максимальных уровней воды является однородным и его дисперсия  $\sigma_{H_{\max}} = \text{const}$ . В этом случае практический интерес представляет выявление закономерностей в динамике основных гидрологических характеристик: плавного возрастания или убывания (монотонный тренд), периодических изменений (циклический тренд), постоянства в течение каких-то периодов времени и резкого изменения при переходе от одного отрезка к другому (ступенчатый тренд). Все эти ситуации могут быть описаны полиномиальной аппроксимацией тренда вида [1]:

$$H_{\max}(t) = a_0 + \sum_{i=1}^k a_i \varphi_i(t), \quad (8)$$

где  $\varphi_1(t) \dots \varphi_k(t)$  – заданные функции времени;  $a_0 \dots a_k$  – коэффициенты регрессии.

Функции времени могут быть либо линейными, степенными, показательными или логарифмическими при монотонном тренде, либо тригонометрическими при циклическом и кусочно-постоянными при ступенчатом тренде. Во всех этих случаях параметры  $a_0 \dots a_k$  оцениваются по имеющемуся ряду наблюдений  $H_{\max_1} \dots H_{\max_n}$ .

Результаты проведенных исследований закономерностей многолетних колебаний максимальных уровней воды Припяти в створе Мозыря позволяют считать установленным наличие определенной связи стока смежных лет. Это служит основанием для описания годовых расходов воды в виде простой цепи Маркова, т. е.

$$H_{\max}(t) = r(1)H_{\max}(t-1) + \xi(t), \quad (9)$$

где  $H_{\max}(t)$  – максимальный уровень воды текущего года;  $H_{\max}(t-1)$  – максимальный уровень воды в предшествующий год;  $\xi(t)$  – независимая от  $H_{\max}$  случайная величина.

Первое слагаемое в правой части (9) можно трактовать как максимальный уровень воды, обусловленный зимними атмосферными осадками предшествующего года, аккумулярованными бассейном реки, и сбросом их в русло в данном году. При этом случайная составляющая  $\xi(t)$  в формуле (9), очевидно, должна включать в себя и ту часть максимального уровня воды текущего года, которая сформирована за счет зимних осадков этого года. В результате можно записать следующие уравнения [1]:

$$H(t) = aH(t-1) + bW_{\text{ос}}(t) + \xi(t_1), \quad (10)$$

$$H(t) = cW_{\text{ос}}(t-1) + dW_{\text{ос}}(t) + \xi(t_2), \quad (11)$$

где  $W_{\text{ос}}(t)$  и  $W_{\text{ос}}(t-1)$  – зимние осадки текущего и предшествующего годов соответственно.

Располагая временными рядами значений зимних атмосферных осадков и максимальными уровнями воды, коэффициенты  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  из формул (10) и (11) можно определить с помощью аппара-

та множественной регрессии. Применительно к бассейну Припяти в замыкающем створе Мозыря для максимальных уровней воды (см) получено уравнение

$$H(t) = 0,169H(t-1) + 0,081W_{oc}(t) + 367 + \xi(t_1). \quad (12)$$

Коэффициент множественной корреляции между стоком и определяющими факторами для уравнения (12) составляет  $R = 0,26 > R_{(46,5\%)}^T = 0,24$ , при этом в интервал  $\pm 5\%$  попало 22,7 % всех точек;  $\pm 10\%$  – 34,8 %;  $\pm 15\%$  – 50,0 %;  $\pm 20\%$  – 60,6 %.

$$H(t) = 0,137W_{oc}(t) + 0,944W_{oc}(t-1) - 9,173 + \xi(t_2). \quad (13)$$

Коэффициент множественной корреляции между стоком и определяющими факторами для уравнения (13) составляет  $R = 0,42 > R_{(66,5\%)}^T = 0,24$ , при этом в интервал  $\pm 5\%$  попало 25,8 % всех точек;  $\pm 10\%$  – 39,4 %;  $\pm 15\%$  – 51,5 %;  $\pm 20\%$  – 59,1 %.

Нами предпринята попытка описать колебания максимальных уровней воды Припяти с помощью сложной модели Маркова со сдвигом до 30 лет. Регрессионно-корреляционный анализ показал, что для построения модели могут использоваться  $H(t-5)$ ,  $H(t-8)$ ,  $H(t-18)$ ,  $H(t-23)$  и  $H(t-29)$ . Частный вид модели можно записать так:

$$H(t) = 0,214H(t-5) + 0,138H(t-8) - 0,175H(t-18) + \\ + 0,136H(t-5) + 0,205H(t-5) + 164 + \xi(t). \quad (14)$$

Коэффициент множественной корреляции для уравнения (14) составляет  $R = 0,41 > R_{(110,5\%)}^T = 0,188$ ,  $F = 3,43$  при этом в интервал  $\pm 5\%$  попало 16,7 % всех точек;  $\pm 10\%$  – 31,6 %;  $\pm 15\%$  – 40,4 %;  $\pm 20\%$  – 53,5 %.

**Заключение.** Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик максимальных уровней воды р. Припять в створе г. Мозырь за 140-летний период позволяет сделать вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике уровня режима, обусловленных естественно-климатическими изменениями гидрологического цикла и антропогенными воздействиями. Стационарность процесса многолетних колебаний максимальных уровней воды Припяти возможно отмечать лишь на отдельных отрезках временного ряда. При анализе закономерностей многолетних колебаний максимальных уровней воды рек использование методов теории случайных процессов должно сочетаться с анализом генезиса рассматриваемого процесса и определяющих его природно-хозяйственных факторов, прежде всего климатических.

#### Список использованных источников

- Исмайылов, Г. Х. Анализ многолетних колебаний годового стока Волги / Г. Х. Исмайылов, В. М. Федоров // Водные ресурсы. – 2001. – Т. 28, № 5. – С. 517–525.
- Логинов, В. Ф. Колебания годового стока р. Неман у г. Гродно / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек // Водные ресурсы. – 2006. – Т. 33, № 6. – С. 635–663.
- Раткович, Д. Я. Многолетние колебания речного стока / Д. Я. Раткович. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 255 с.
- Мониторинг, использование и управление водными ресурсами бассейна р. Припять / под общей ред. М. Ю. Калинина и А. Г. Ободовского. – Минск: Белсэкс, 2003. – 269 с.
- Природообустройство Полесья: в 4 кн. / под общ. науч. ред. Ю. А. Мажайского [и др.]. – Рязань: Мещер. ф-л ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2018. – Кн. 1: Белорусское Полесье. – Т. 1. – 408 с.
- Волчек, А. А. Автоматизация гидрологических расчетов / А. А. Волчек // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды: труды Междунар. науч.-практ. конф. / Брест. политехн. институт. – Биберах; Брест; Ноттингем, 1998. – С. 55–59.
- Волчек, А. А. К вопросу восстановления пропусков в гидрологических рядах наблюдений / А. А. Волчек, С. В. Сидак // Modern Problems of Water Management, Environmental Protection, Architecture and Construction: 9th Int. sci. and techn. conf., July 25–27, 2019. – Tbilisi, Georgia, 2019. – С. 296–300.
- Расчетные гидрологические характеристики. Порядок определения. Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-3.04-168-2009(02250). – Минск: Стройтехнорм, 2010. – 55 с.
- Волчек, А. А. Гидрологические расчеты: учеб. пособие / А. А. Волчек. – М.: КНОРУС, 2021. – 418 с.
- Статистические методы в природопользовании: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений / В. Е. Валуев [и др.]. – Брест: Изд-во Брестского политехнического института, 1999. – 252 с.
- Логинов, В. Ф. Практика применения статистических методов при анализе и прогнозе природных процессов / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, П. С. Шведовский. – Брест: Изд-во БГТУ, 2004. – 301 с.
- Христофоров, А. В. Теория случайных процессов в гидрологии / А. В. Христофоров. – М.: Из-во МГУ, 1994. – 141 с.

13. Логинов, В. Ф. Причины и следствия климатических изменений / В. Ф. Логинов. – Минск : Наука и техника, 1992. – 319 с.
14. Бокс, Дж. Анализ временных рядов, прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М. : Мир, 1974. – Вып. 1. – 406 с.
15. Исследование общих эффектов вариаций стока рек / Любушина А. А. [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2003. – № 7. – С. 76–84.

### References

1. Ismajlov G. H., Fedorov V. M. *Analiz mnogoletnih kolebanij godovogo stoka Volgi* [Analysis of multi-year fluctuations in the annual flow of the Volga]. *Vodnye Resursy*, 2001, vol. 28, no. 5, pp. 517–525. (in Russian)
2. Loginov V. F., Volchek A. A. *Kolebaniya godovogo vody r. Neman u g. Grodno* [Fluctuations of the annual water flow of the Neman River near Grodno]. *Vodnye resursy*, 2006, vol. 33, no. 6, pp. 635–663. (in Russian)
3. Ratkovich D. Ya. *Mnogoletnie kolebaniya rechnogo stoka* [Multiyear fluctuations in river flow]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976, 255 p. (in Russian)
4. *Monitoring, ispol'zovanie i upravlenie vodnymi resursami bassejna r. Pripjat'* [Monitoring, use and management of water resources in the Pripjat River basin]. M. Yu. Kalinin and A. G. Obodovsky (ed.). Minsk, Belsens Publ., 2003, 269 p. (in Russian)
5. *Prirodoobustrojstvo Poles'ya* [Environmental management in Polesie]. Yu. A. Mazhajsky [et al.] (ed.). Ryazan', 2018, book 1 : Belarusian Polesie, vol. 1, 408 p.
6. Volchek A. A. *Avtomatizaciya gidrologicheskikh raschetov* [Automation of hydrological calculations]. *Vodohozyajstvennoe stroitel'stvo i ohrana okruzhayushchej sredy : trudy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii* [Proc. Int. Sci.-Prac. Conf.]. Biberah ; Brest ; Nottingham, 1998, pp. 55–59.
7. Volchek A. A., Sidak S. V. *K voprosu vosstanovleniya propuskov v gidrologicheskikh ryadah nablyudenij* [Towards the reconstruction of gaps in hydrological observation series]. 9th Int. Sci. and Techn. Conf. "Modern Problems of Water Management, Environmental Protection, Architecture and Construction", July 25–27, 2019. Tbilisi, Georgia, 2019, pp. 296–300.
8. *Raschetnye gidrologicheskie harakteristiki. Poryadok opredeleniya. Tekhnicheskij kodeks ustano-vivshejsya praktiki TKP 45-3.04-168-2009(02250)* [Calculated hydrological characteristics. Procedures for determination. Technical Code of Established Practice TCP 45-3.04-168-2009(02250)]. Minsk, 2010, 55 p. (in Russian)
9. Volchek A. A. *Gidrologicheskie raschety* [Hydrological calculations]. Moscow, 2021, 418 p. (in Russian)
10. Valuev V. E., Volchek A. A., Pojta P. S., Shvedovskij P. V. *Statisticheskie metody v prirodopol'zovanii* [Statistical methods in environmental management]. Brest, 1999, 252 p. (in Russian)
11. Loginov V. F., Volchek A. A., Shvedovskij P. S. *Praktika primeneniya statisticheskikh metodov pri analize i prognoze prirodnyh processov* [Practicing statistical methods in the analysis and forecasting of natural processes]. Brest, 2004, 301 p. (in Russian)
12. Hristoforov A. V. *Teoriya sluchajnyh processov v gidrologii* [Random process theory in hydrology]. Moscow, 1994, 141 p. (in Russian)
13. Loginov V. F. *Prichiny i sledstviya klimaticheskikh izmenenij* [Causes and consequences of climate change]. Minsk, Nauka i Technika Publ., 1992, 319 p. (in Russian)
14. Boks Dzh., Dzhenkins G. *Analiz vremennyh ryadov, prognoz i upravlenie* [Time series analysis, forecasting and control]. Moscow, 1974, iss. 1, 406 p. (in Russian)
15. Lyubushina A. A., Pisarenko V. F., Bolgova M. V., Rukavishnikov T. A. *Issledovanie obshchih effektov variacij stoka rek* [Investigation of the overall effects of river flow variation]. *Meteorologiya i Gidrologiya*, 2003, no. 7, pp. 76–84. (in Russian)

### Информация об авторах

*Волчек Александр Александрович* – доктор географических наук, профессор, профессор кафедры природообустройства, Брестский государственный технический университет (ул. Московская, 267, 224017, г. Брест, Беларусь). E-mail: volchak@tut.by

*Шпока Дарья Александровна* – магистр технических наук, исследователь, ведущий специалист по организации учебного процесса, Брестский государственный технический университет (ул. Московская, 267, 224017, г. Брест, Беларусь). E-mail: daryashpoka@rambler.ru

### Information about authors

*Alexander A. Volchak* – Dr. Sc. (Geography), Professor, Professor of the Department of Environmental Management, Brest State Technical University (Moskovskaya Str., 267, 224017, Brest, Belarus). E-mail: volchak@tut.by

*Darya A. Shpoka* – Master of technical sciences, Researcher, Leading specialist in the organization of the educational process, Brest State Technical University (Moskovskaya Str., 267, 224017, Brest, Belarus). E-mail: daryashpoka@rambler.ru