

Волчек Ан.А., Стефаненко Ю.В.

## КОЛЕБАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА ПРИПЯТИ

### ВВЕДЕНИЕ

В последние столетия, в особенности в XX в., все большую роль в увеличении частоты и разрушительной силы наводнений играют антропогенные факторы. Среди них в первую очередь следует назвать сведение лесов (максимальный поверхностный сток возрастает на 250 – 300 %) [1], нерациональное ведение сельского хозяйства и др. Существенное увеличение максимального стока связано с хозяйственным освоением пойм, служащих природными регуляторами стока.

По расчетам, общая площадь земель, подверженных в те или иные периоды затоплению, составляет на земном шаре около 3 млн. км<sup>2</sup>, с численностью населения, проживающего на ней, около 1 млрд. чел. [1].

Анализ максимальных расходов воды весеннего половодья рек, а также последствий наводнений является одним из приоритетных направлений современной гидрологической науки. Исследования последних лет показывают, что речной сток имеет тенденцию к изменению. Причем, если годовой, минимальный летне-осенний и зимний стоки рек Беларуси увеличиваются, то максимальный сток весеннего половодья имеет тенденцию к снижению. Это вызвано увеличением количества оттепелей, что значительно увеличивает зимний минимальный сток [2].

Целью данной работы является изучение динамики максимальных расходов воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь, которая является одной из наиболее опасных в период весеннего половодья в Беларуси, а также устойчивости выборочных оценок статистических параметров для различных отрезков исходного временного ряда максимальных расходов воды. При этом рассматриваются отрезки ряда, различающиеся степенью антропогенного воздействия на сток и типом атмосферной циркуляции [3].

Река Припять – главная водная артерия Полесской низменности, протекает по Украине и Беларуси и является самым большим по величине и водности притоком Днепра. Длина р. Припять 761 км, из которых 500 км приходится на территорию Беларуси, при этом площади водосбора соответственно равны 121 и 52,7 тыс. км<sup>2</sup>. Общее падение реки 69,5 м, средний уклон водной поверхности 0,09 ‰, коэффициент извилистости – 1,25. Общее направление течения реки широтное с запада на восток, что нехарактерно для рек Восточной Европы. Речная сеть развита слабо (густота речной сети 0,20 км/км<sup>2</sup>). Долины рек плоские, сливающиеся с окружающей болотной местностью. Ширина пойм колеблется от сотен метров до 30 км; они сильно заболоченные и заросшие древесной растительностью. Долина Припяти не выражена, двухсторонняя, низкая. Русло р. Припять в истоковой части канализированное, на остальном протяжении извилистое, слабо меандрирующее, разветвленное, изобилует заливами, приплесками, примыкающими староречьями. Речная сеть состоит из 10,5 тыс. рек и ручьев, включая водотоки длиной менее 10 км. Общая длина речной сети свыше 47 тыс. км. Ручьи составляют 93 % от общего числа водотоков, и их суммарная длина равна почти 55 % длины всей речной сети. Рек протяженностью до 100 км насчитывается более 700, до 500 км – 21 и свыше 500 км – 2 [4]. Для р. Припять сток весеннего пе-

риода составляет в среднем около 61 %, летне-осеннего – 23 %, зимнего – 16 % годового стока.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для анализа колебаний максимальных расходов воды весеннего половодья р. Припять у г. Мозырь использован временной ряд продолжительностью 124 года (1877 – 2000 гг.). Восстановление недостающих данных наблюдений осуществлялось методом множественной корреляции с использованием рек-аналогов. Нами выполнено продление временного ряда путем годичного восстановления пропущенных (или недостающих) наблюдений с помощью программного комплекса «Гидролог» [5].

В ходе исследований испытывались два типа теоретических распределений: трехпараметрическое гамма-распределение и распределение Пирсона III типа. В данном случае предпочтение следует отдать распределению Пирсона III типа, которое характеризуется следующими параметрами:  $\bar{Q}_n = 1730 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $C_v=0,74$ ,  $C_s=3,0$ ,  $r(1)=0,03$ , а трехпараметрическое гамма-распределение имеет параметры  $\bar{Q}_n = 1730 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $C_v=0,76$ ,  $C_s=2,68$ . При этих параметрах значения обеспеченных величин приведены в табл. 1.

Таблица 1. Обеспеченные расходы воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь, м<sup>3</sup>/с

Обеспеченность, %	0,1	1	5	10
Распределение Пирсона III типа	9608	6453	4324	3362
Трехпараметрическое гамма-распределение	9970	6172	4005	3190

Как видно из табл. 1, трехпараметрическое гамма-распределение для малых обеспеченностей (1 – 10 %) занижает расходы воды по сравнению с распределением Пирсона III типа.

На рис. 1 показана гистограмма распределения максимальных расходов воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь. Гистограмма имеет выраженное асимметричное распределение с положительной асимметрией.

На рис. 2 представлен гидрограф максимальных расходов воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь за инструментальный период наблюдений.

Максимальный сток весеннего половодья наблюдался в 1877 году и составил 7500 м<sup>3</sup>/с, затем происходило уменьшение максимальных расходов. В последние годы прошлого века максимальные расходы воды весеннего половодья были ниже среднего (период 1877 – 2000 гг. характеризуется следующими параметрами:  $\bar{Q}_n = 1710 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $C_v=0,72$ ,  $C_s=1,95$ ).

Нами выполнен анализ на статистическую значимость средних величин максимального расхода за период с 1877 по 1980 гг. ( $\bar{Q} = 1800 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и с 1981 по 2000 гг. ( $\bar{Q} = 1030 \text{ м}^3/\text{с}$ ), который показал, что расхождения в этих параметрах могут быть признаны статистически достоверными на 5 % уровне значимости.

Стефаненко Юрий Васильевич, к.т.н., декан факультета водоснабжения и гидромелиорации Брестского государственного технического университета.  
Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

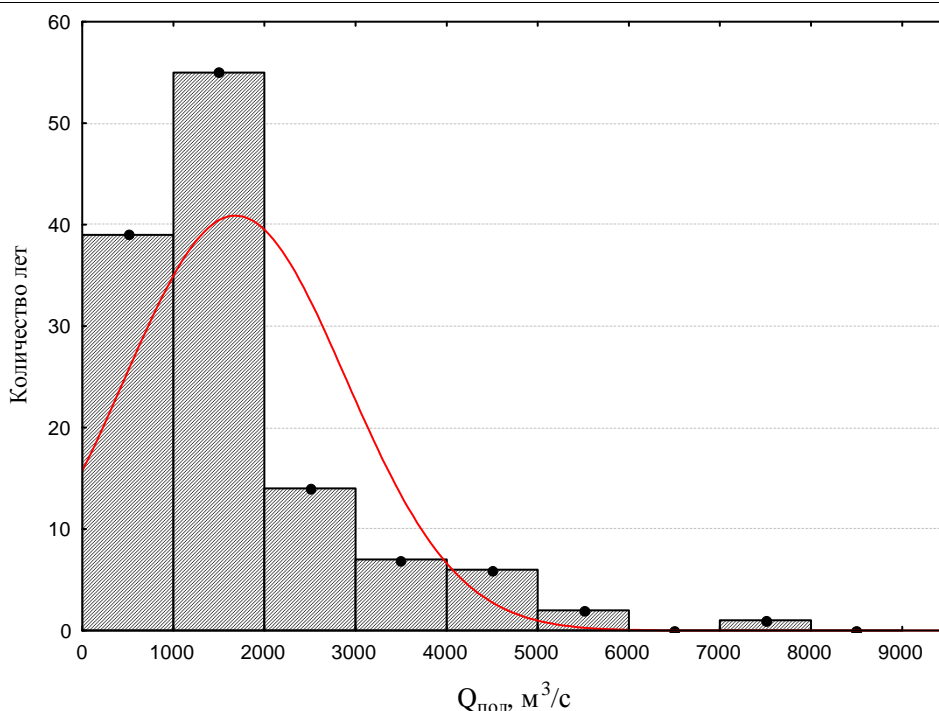


Рис. 1. Гистограмма распределения максимальных расходов воды весеннего половодья р. Припять–г. Мозырь.

$$y = -7,1913x + 2172,6$$

$$R^2 = 0,0457$$

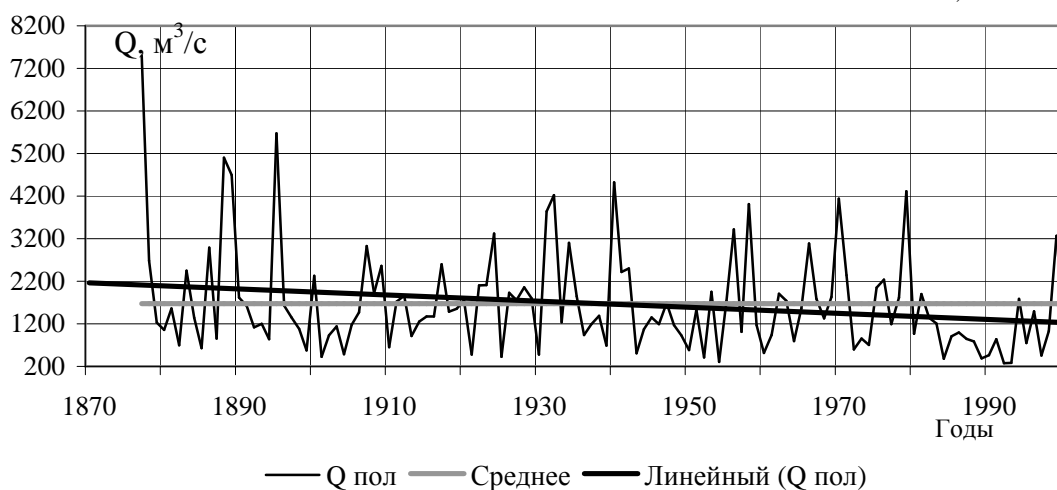


Рис. 2. Гидрограф максимальных расходов воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь.

Для подтверждения гипотезы о перераспределении расходов воды весеннего половодья в минимальные зимние расходы за счет частых ранних оттепелей приведен гидрограф расходов минимального зимнего стока (рис. 3), который имеет тенденцию к увеличению, что подтверждается положительным линейным трендом.

Картина цикличности стока воды весеннего половодья р. Припять представлена в виде нормированных разностных интегральных кривых по створу у г. Мозырь. Рассмотрены расходы весеннего половодья, а также среднегодовых расходов воды (рис. 4). Как видно из рисунка, начиная с середины 60-х годов, среднегодовые расходы имеют устойчивую тенденцию к увеличению, в то же время расходы весеннего половодья несколько уменьшаются.

Исследование цикличности временного ряда максимальных расходов воды весеннего половодья осуществлялось с использованием спектрально-временного анализа (СВАН),

который представляет спектральный анализ в скользящем временном окне, а степень хаотизации процесса – с помощью параметра хаотизации (рис. 5). Длина окна выбирается исходя из требований получить данные 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 35 лет. 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 цикличности солнечной активности.

$$y = 0,4048x + 129$$

$$R^2 = 0,0378$$

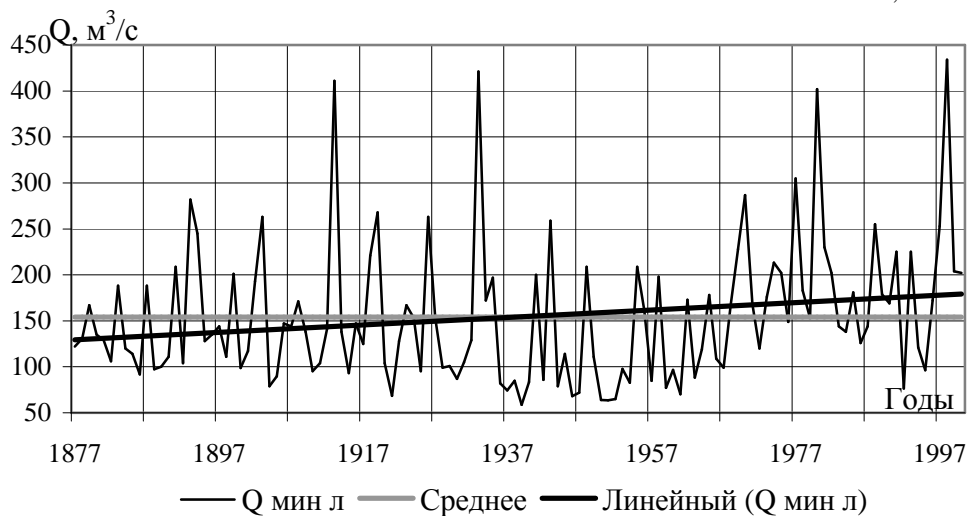


Рис. 3. Расходы минимального зимнего стока р. Припять – г. Мозырь.

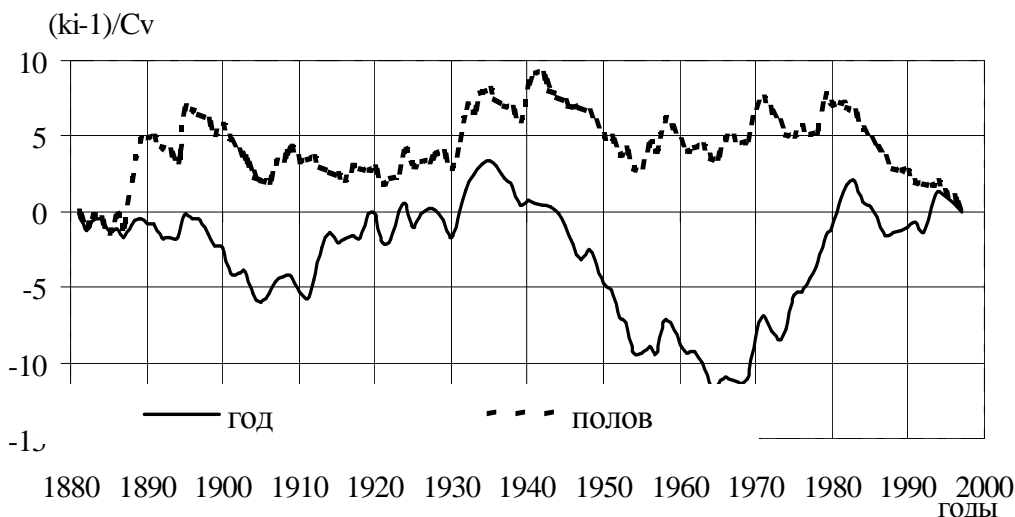


Рис. 4. Нормированные разностные интегральные кривые годовых расходов воды и весеннего половодья р. Припять - г. Мозырь.

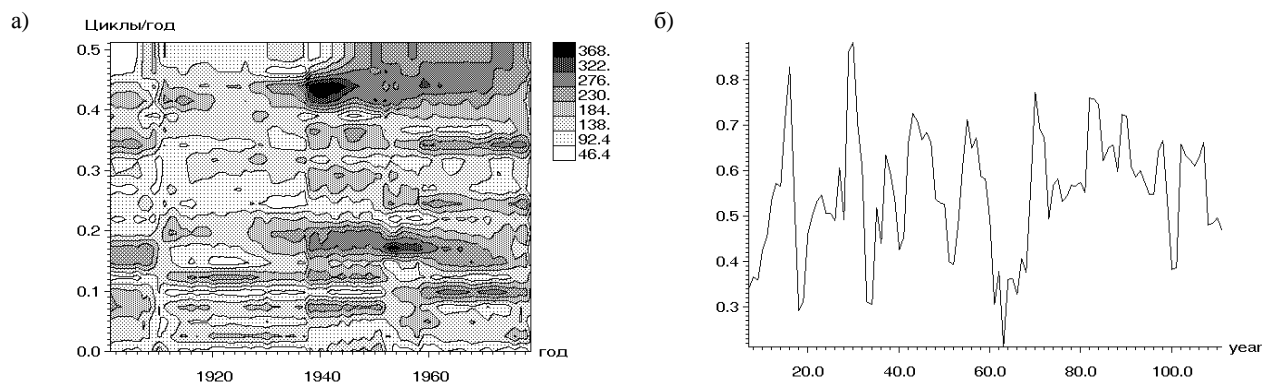


Рис. 5. СВД-диаграмма (а) и распределение параметра хаотизации (б) временных рядов максимальных расходов воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь.

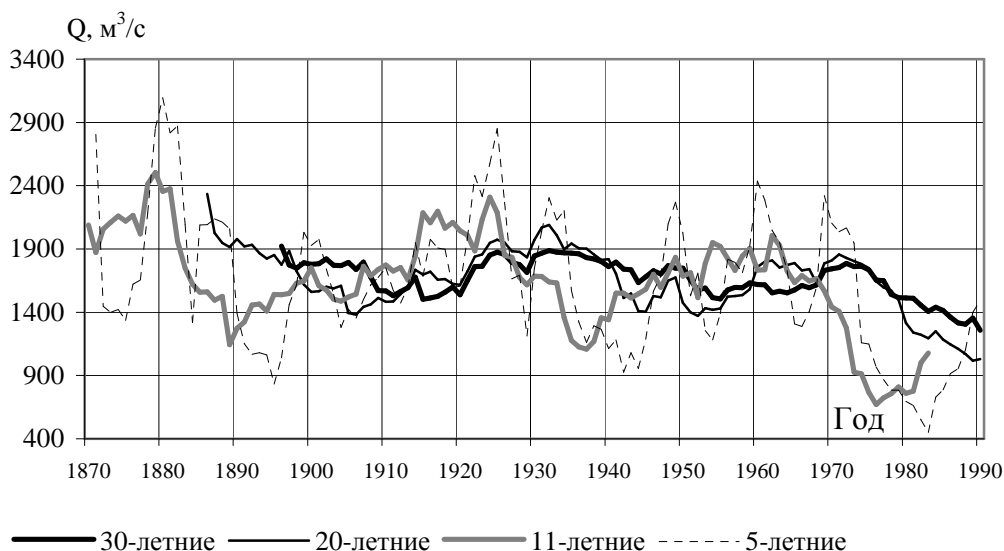
Анализ СВД-диаграмм максимального стока показал, что для р. Припять – г. Мозырь характерны достаточно многие непродолжительные выделяющиеся циклы длительностью около 2,04 (1910 – 1930 гг.), 2,27 (1930 – 1946 гг.), 2,38 (1900 – 1920 гг.), 2,70 (1930 – 1962 гг.), 4,17 (1910 – 1944, 1942 – 1980

гг.), 5,88 (1900 – 1910 гг.), самый мощный цикл – 7,69 (1916 – 1942 гг.), 20,0 (1936 – 1978 гг.), 33,3 лет (1928 – 1976 гг.).

В начале прошлого века размах колебаний параметра хаотизации максимального стока был велик – от 0,3 до 0,9. В 1944 г. происходит его резкое понижение до 0,2, а затем постепенный рост и снижение размаха колебаний (от 0,45 до 0,75).

**Таблица 2.** Основные статистические параметры максимальных расходов воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь

Период	Количество лет наблюдений, $n$	Среднегодовой расход, $Q$ , м <sup>3</sup> /с	Среднеквадратичное отклонение, $\sigma_w$ , м <sup>3</sup> /с	Коэффициент вариации, $C_v$	Коэффициент корреляции стока смежных лет, $r(1)$
1877–1965	89	1770	1205	0,72	0,06
1966–2000	35	1430	1004	0,72	0,23



**Рис. 6.** Динамика скользящих максимального стока различных периодов осреднения р. Припять – г. Мозырь за 1877 – 2000 гг.

**Таблица 3.** Выборочные оценки статистических параметров характерных 30-летних и 20-летних отрезков максимальных расходов воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь

Период	$Q^{(30)}$ , м <sup>3</sup> /с	$\sigma_w^{(30)}$ , м <sup>3</sup> /с	$C_v^{(30)}$	$r(1)^{(30)}$
1877–1906	1920	1665	0,15	0,88
1900–1929	1600	737	-0,07	0,47
1911–1940	1840	1035	-0,12	0,57
1925–1954	1640	1086	0,075	0,68
1929–1958	1770	1188	0,00	0,68
1947–1977	1600	991	0,02	0,63
1971–2000	1260	894	0,12	0,72
Период	$Q^{(20)}$ , м <sup>3</sup> /с	$\sigma_w^{(20)}$ , м <sup>3</sup> /с	$C_v^{(20)}$	$r(1)^{(20)}$
1877–1896	2340	1872	0,05	0,82
1890–1909	1620	1141	-0,03	0,72
1905–1924	1740	719	-0,03	0,43
1920–1939	1830	1061	-0,03	0,59
1935–1954	1410	933	0,02	0,68
1950–1969	1580	966	-0,17	0,63
1965–1984	1780	1036	0,05	0,60
1981–2000	1030	691	0,10	0,69
<b>1877–2000</b>	<b>1670</b>	<b>1205</b>	<b>0,72</b>	<b>0,11</b>

Для определения временной структуры изменения стока весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь нами разбит ряд наблюдений на два периода: с начала наблюдений по 1965 год (начало крупномасштабных осушительных мелиораций) и с 1966 года по настоящее время. В табл. 2 приведены выборочные оценки основных статистических параметров рассматриваемых отрезков временного ряда максимального стока.

Как видно из табл. 2, среднегодовой расход значительно уменьшился, что связано с увеличением числа оттепелей в зимний период.

Наличие достаточно случайных колебаний максимального стока затрудняет выявление закономерностей их временного хода, выражающихся в форме длиннопериодических циклов изменения максимального стока. Для выявления таких циклов

нами был применен способ сглаживания с использованием скользящей средней арифметической. При увеличении периода сглаживания уменьшается амплитуда высокочастотных (малой продолжительности) колебаний и, следовательно, более четко могут быть представлены колебания низких частот. На рис. 6 представлены скользящие максимального стока весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь различных периодов осреднения.

В табл. 3 представлены результаты исследования устойчивости выборочных статистик (средних, стандартов, коэффициентов автокорреляции) при изменении периодов осреднения применительно к максимальным расходам воды весеннего половодья Припяти у Мозыря.

Таблица 4. Основные статистические параметры максимального стока Припяти

Период	$n$	Тип атмосферной циркуляции	$Q$ , м <sup>3</sup> /с	$\sigma_w$ , м <sup>3</sup> /с	$C_v$	$r(1)$
1877–1890	14	С	2470	1940	0,17	0,81
1891–1928	38	W	1610	962	-0,11	0,60
1929–1939	11	Е	1890	1214	0,08	0,68
1940–1948	9	С	1830	1128	0,53	0,66
1949–1964	16	Е+С	1440	1009	-0,18	0,73
1965–1988	24	Е	1630	772	0,18	0,63
1989–2000	12	W	1020	788	0,06	0,84

Как видно из табл. 3, крайние значения  $r(1)$  для 30-летнего осреднения составили 0,18 и -0,18, а для 20-летнего – 0,19 и -0,36 соответственно. Эти различия в оценках параметра могут свидетельствовать в пользу применения гипотезы о нестационарности рассматриваемого временного ряда стока р. Припять – г. Мозырь. Проверка гипотезы об однородности среднего и дисперсии 30-летних и 20-летних отрезков ряда показала, что при доверительной вероятности 5 % расхождения в оценках  $r(1)$  и дисперсии может быть признано статистически достоверным. Статистически различимыми являются крайние значения  $Q^{(30)}$  (1920 и 1260 м<sup>3</sup>/с) и  $Q^{(20)}$  (2340 и 1030 м<sup>3</sup>/с). При изучении закономерностей многолетних колебаний речного стока несомненный интерес представляет совместный анализ динамики стока и обобщенных характеристик атмосферы. В качестве последних обычно используется классификация Г.Я. Вангенгейма – А.А. Гирса, основанная на трех формах циркуляции  $W$  (западной),  $E$  (восточной),  $C$  (меридиональной) [6]. Подробно этот вопрос для метеорологических рядов рассмотрен в монографии В.Ф. Логинова [7], где приведен их полный анализ. Поэтому в настоящей работе остановимся вкратце на связи максимальных расходов воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь с типом атмосферной циркуляции. Проверка на статистическую значимость крайних значений  $r(1)$  в табл. 4 показала их недостоверность при 5 %-ом уровне значимости, в то время как средние значения расходов воды за периоды 1877 – 1890 гг. (2470 м<sup>3</sup>/с) и 1989 – 2000 гг. (1020 м<sup>3</sup>/с) являются статистически различимыми.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований установлено уменьшение максимальных расходов воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь, вызванное частыми зимними оттепелями, в результате чего часть его переходит в минимальный зимний сток. Также была установлена стационарность рассматриваемого временного ряда максимального стока.

Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик максимальных расходов воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь более чем за 100-летний период позволяет сделать вывод о наличии статисти-

чески значимых изменений в динамике максимального стока, обусловленного как естественно-климатическими, так и антропогенными изменениями гидрологического цикла. Стационарность процесса многолетних колебаний максимального стока Припяти можно отмечать лишь на отдельных отрезках временного ряда. При анализе закономерностей многолетних колебаний максимального стока 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

1. Авакян А.Б. Наводнения. Концепция защиты // Известия АН РФ. Серия географическая. 2000. – № 5. – С. 40 – 46.
2. Волчек А. А., Лукша В. В., Волчек Ан. А. Пространственная структура изменения весеннего половодья рек Беларуси // Экологические проблемы природно-технических комплексов: тез. докл. I международного экологического симпозиума в городе Полоцке. В 2-х томах. Том 1. – Полоцк: УО «ПГУ», 2004. – С. 59.
3. Волчек Ан.А. Колебания максимальных расходов воды весеннего половодья на Немане // Природные асыроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: Матэрыялы міжнар. навук. канф., Брэст, 16 – 18 чэрв. 2004 г. У 2 ч. – Ч. 2. – Брэст: Изд-во Академия, 2004. – С. 496 – 501.
4. Дрозд В.В., Ревера О.З. Река Припять. – Минск: Изд-во «Университетское», 1988. – 77 с.
5. Волчек А.А. Автоматизация гидрологических расчетов // Водохозяйственное строительство и охрана окружающей среды: Труды международной научно-практической конференции по проблемам водохозяйственного, промышленного и гражданского строительства и экономико-социальных преобразований в условиях рыночных отношений / Брест. политехн. институт. – Биберах – Брест – Ноттингем, 1998. – С. 55-59.
6. Исмайлыв Г.Х., Федоров В.М. Анализ многолетних колебаний годового стока Волги // Вод. ресурсы. 2001. – Т. 28. – №5. – С. 517 – 525.
7. Логинов В.Ф. Причины и следствия климатических изменений. – Мн.: Наука і тэхніка, 1992. – 319 с.

УДК 551.48(476)

**Волчек А.А., Калинин М.Ю., Гертман Л.Н., Чекан Г.С.**

## ПРОГНОЗАЯ ОЦЕНКА ТРАНСФОРМАЦИИ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛАРУСИ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА

Водные ресурсы обладают высокой чувствительностью к колебаниям климата, поэтому в условиях прогнозируемого

изменяющегося климата требуется заблаговременная подготовка к возможным негативным последствиям. Прогнозируе-

*Калинин Михаил Юрьевич, д.т.н., директор Центрального научно-исследовательского института комплексного использования водных ресурсов.*

*Гертман Любовь Николаевна, младший научный сотрудник Центрального научно-исследовательского института комплексного использования водных ресурсов.*

*Беларусь, ЦНИИКИВР, 220086, г. Минск, ул. Славинского, 1, кор. 2.*

*Чекан Григорий Степанович, начальник отдела гидрологии и государственного водного кадастра, Республиканского гидрометцентра.*

*Беларусь, Республиканский гидрометцентр, 220023, г. Минск, пр. Ф. Скорины, 110.*