

КОЛЕБАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ НА НЕМАНЕ

Ан.А. Волчек

Отдел проблем Полесья НАН Беларуси, г. Брест, Беларусь

Исследование 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 увеличиваются, то максимальный сток весеннего половодья имеет тенденцию к снижению. Это вызвано увеличением количества оттепелей, что значительно увеличивает зимний минимальный сток [1].

Целью данной работы является изучение динамики максимальных расходов воды весеннего половодья р. Неман – г. Гродно, а также устойчивости выборочных оценок статистических параметров для различных отрезков исходного временного ряда максимальных расходов воды р. Неман. При этом рассматриваются отрезки ряда, различающиеся степенью антропогенного воздействия на сток и типом атмосферной циркуляции.

Неман, одна из основных рек Беларуси, является типичной трансграничной рекой Европы, протекает по территории двух государств - Беларуси и Литвы, водные ресурсы левых притоков формируются в Полесье. Длина реки 937 км, в т.ч. на территории Беларуси 459 км, при этом площадь водосбора составляет 98,2 тыс. км² и 33,6 тыс. км² соответственно. Река Неман берет свое начало на Столбцовой равнине около Верх-Неман Узденского района и впадает в Куршский залив Балтийского моря. Бассейн реки принадлежит Неманскому гидрологическому району. В гидрографическом отношении район характеризуется большим развитием речной сети – 0,47 км/км². Средний многолетний модуль годового стока 6 л/с·км². Доля весеннего стока в годовом составляет в среднем 44 %. Основными правыми притоками являются реки: Уса, Сула, Березина, Гавья, Дитва, Лебеда, Котра, Нярис, Вилия, Нярис, Нявежис, Дубиса, левыми – Уша, Молчадь, Щара, Зельвянка, Рось, Свислочь и т.д.

Для анализа колебаний максимальных расходов воды весеннего половодья р. Неман у г. Гродно 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» [2].

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: $\overline{Q}_a = 850 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v=0,57$, $C_s=2,0$, $r(1)=0,04$, а трехпараметрическое гамма-распределение имеет параметры $\overline{Q}_a = 859 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v=0,57$, $C_s=2,59$. При этих параметрах значения обеспеченных величин приведены в таблице 1.

Таблица 1. Обеспеченные расходы воды весеннего половодья р. Неман – г. Гродно, м³/с

Обеспеченность, %	0,1	1	5	10
Распределение Пирсона III типа	3694	2583	1813	1476
Трехпараметрическое гамма-распределение	3693	2379	1657	1374

Как видно из таблице 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. Неман – г. Гродно. Гистограмма имеет выраженное асимметричное распределение с положительной асимметрией.

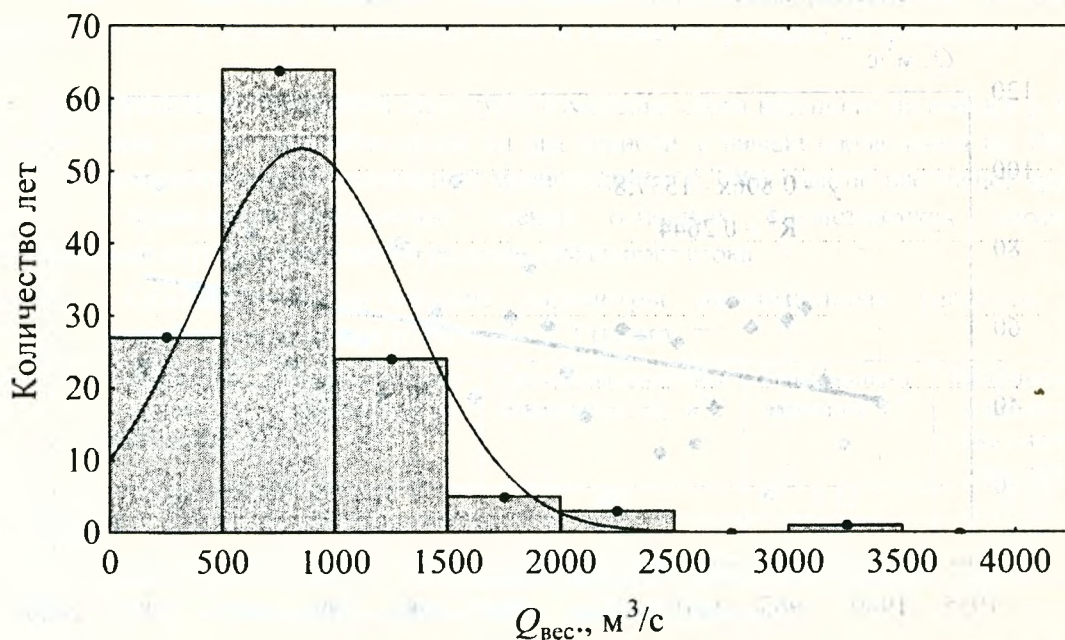


Рис. 1. Гистограмма распределения максимальных расходов воды весеннего половодья р. Неман – г. Гродно

На рис. 2 представлен гидрограф максимальных расходов воды весеннего половодья р. Неман – г. Гродно за инструментальный период наблюдения.

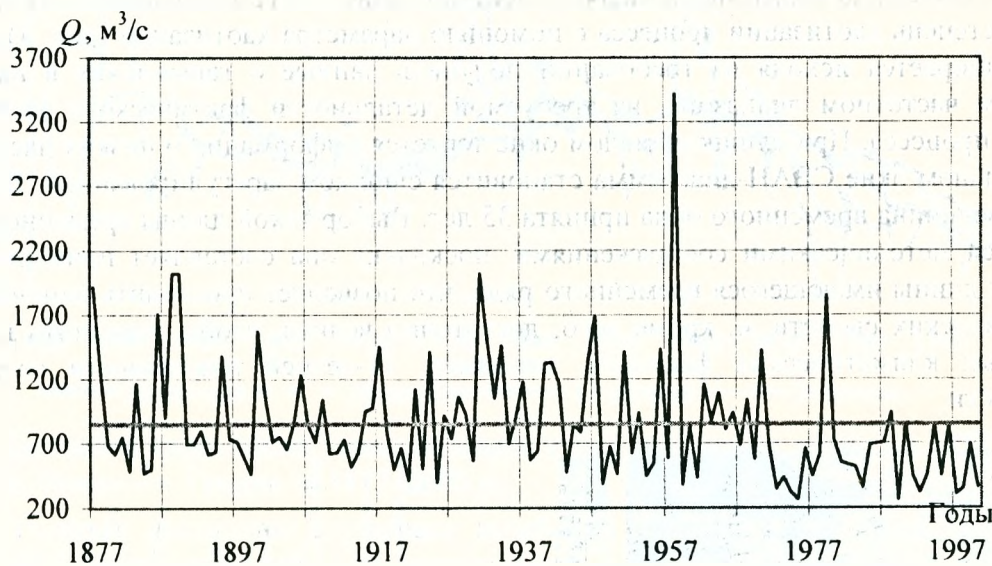


Рис. 2. Гидрограф максимальных расходов воды весеннего половодья р. Неман – г. Гродно.

Максимальный сток весеннего половодья наблюдался в 1958 году и составил $3410 \text{ м}^3/\text{с}$, 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: $\bar{Q}_s = 850 \text{ м}^3/\text{с}$, $C_v = 0,55$, $C_s = 2,0$). Нами выполнен анализ на статистическую значимость средних величин максимального расхода за период с 1877 по 1979 гг. ($\bar{Q} = 908 \text{ м}^3/\text{с}$) и с 1980 по

2000 гг. ($\bar{Q} = 567 \text{ м}^3/\text{с}$), который показал, что расхождения в этих параметрах могут быть признаны статистически достоверными на 5 % уровне значимости.

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.

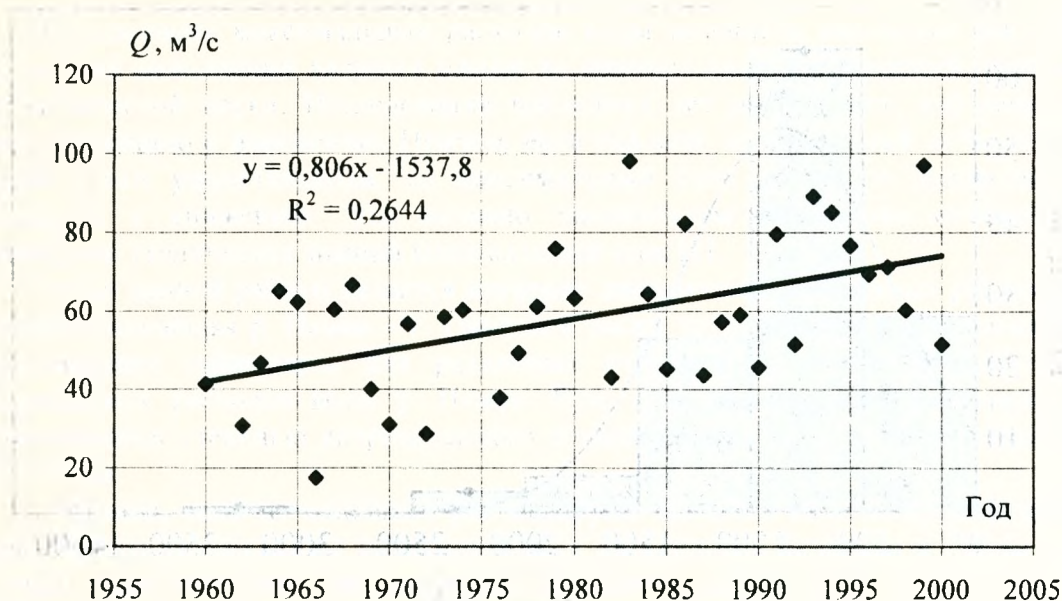


Рис. 3. Расходы минимального зимнего стока р. Неман – г. Гродно.

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. 4). 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.

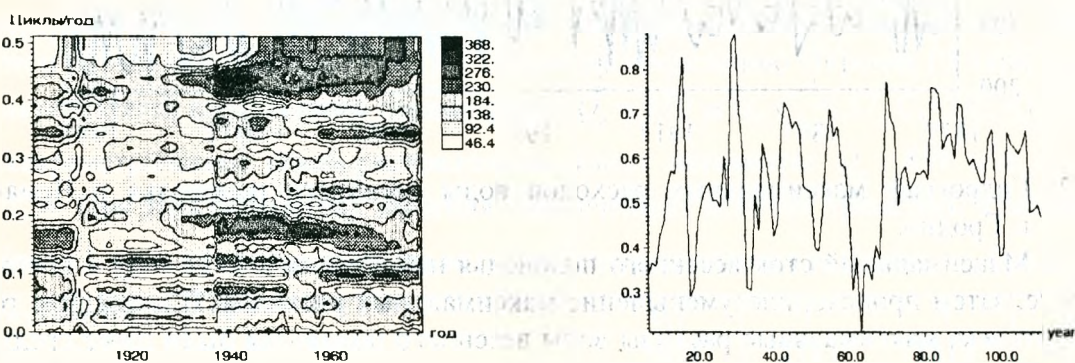


Рис. 4. СВАН-диаграмма и распределение параметра хаотизации временных рядов максимальных расходов воды весеннего половодья р. Неман – г. Гродно

Анализ СВАН-диаграммы максимального стока показал, что для р. Неман – г. Гродно характерны циклы с продолжительностью 2,33 (1927 – 1980 гг.) – самый мощный цикл, 2,94 (1955 – 1980 гг.), 5,88 (1927 – 1976 гг.), 8,33 (1912 – 1952 гг.), 10,2 (1953 – 1979 гг.) и 14,3 лет (1911 – 1952 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).

Для определения временной структуры изменения стока весеннего половодья р. Неман – г. Гродно 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 таблице 2 приведены выборочные оценки основных статистических параметров рассматриваемых отрезков временного ряда максимального стока.

Таблица 2. Основные статистические параметры максимальных расходов воды весеннего половодья р. Неман – г. Гродно

Период	Количество лет наблюдений, n	Среднеголетний расход, Q , $\text{м}^3/\text{с}$	Среднеквадратичное отклонение, σ_w , $\text{м}^3/\text{с}$	Коэффициент вариации, C_v	Коэффициент корреляции стока смежных лет, $R(1)$
1877–1965	89	935	483	0,52	-0,07
1966–2000	35	634	326	0,52	0,04

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

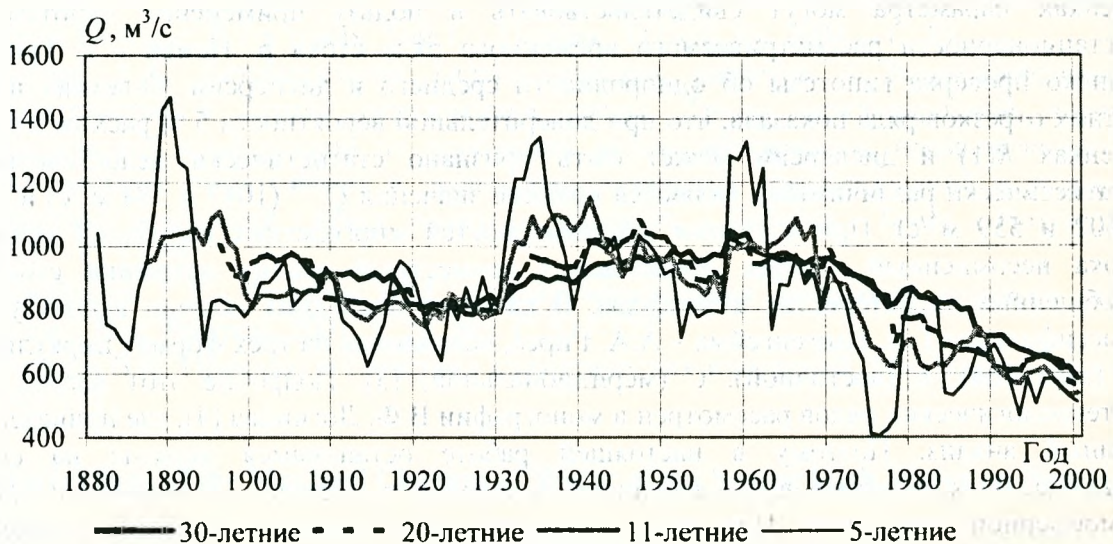


Рис. 5. Динамика скользящих максимального стока различных периодов осреднения р. Неман – г. Гродно за 1877–2000 гг.

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. 5 представлены скользящие максимального стока весеннего половодья р. Неман – г. Гродно 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 Немана у Гродно.

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

Период	$Q^{(30)}, \text{ м}^3/\text{с}$	$\sigma_w^{(30)}, \text{ м}^3/\text{с}$	$C_v^{(30)}$	$R(1)^{(30)}$
1877–1906	956	465	0,50	0,18
1900–1929	846	296	0,36	-0,10
1911–1940	907	382	0,43	-0,01
1925–1954	951	411	0,44	-0,01
1929–1958	1047	605	0,59	-0,15
1947–1977	811	584	0,73	-0,18
1971–2000	584	303	0,53	0,02
	$Q^{(20)}, \text{ м}^3/\text{с}$	$\sigma_w^{(20)}, \text{ м}^3/\text{с}$	$C_v^{(20)}$	$R(1)^{(20)}$
1877–1896	1002	517	0,53	0,19
1890–1909	839	275	0,34	-0,05
1905–1924	828	292	0,36	-0,08
1920–1939	937	411	0,45	-0,09
1935–1954	896	373	0,43	-0,07
1950–1969	934	644	0,71	-0,36
1965–1984	689	377	0,56	0,12
1981–2000	559	205	0,38	-0,33
1877–2000	850	464	0,55	0,03

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. Неман – г. Гродно. Однако 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 недостоверным. Статистически различимыми являются крайние значения $Q^{(30)}$ (1047 и 584 м³/с) и $Q^{(20)}$ (1002 и 559 м³/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) [3]. Подробно этот вопрос для метеорологических рядов рассмотрен в монографии В.Ф. Логинова [4], где приведен их полный анализ. Поэтому в настоящей работе остановимся вкратце на связи максимальных расходов воды весеннего половодья р. Неман – г. Гродно 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. (1084 м³/с) и 1989 – 2000 гг. (515 м³/с) являются статистически различимыми.

Таблица 4. Основные статистические параметры максимального стока Немана

Период	n	Тип атмосферной циркуляции	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$\sigma_w, \text{ м}^3/\text{с}$	C_v	$R(1)$
1877–1890	14	C	1084	575	0,55	0,18
1891–1928	38	W	818	292	0,36	-0,16
1929–1939	11	E	1048	437	0,44	0,01
1940–1948	9	C	1039	413	0,42	-0,06
1949–1964	16	E+C	956	713	0,77	-0,33
1965–1988	24	E	701	289	0,51	0,12
1989–2000	12	W	515	279	0,44	-0,46

Установили уменьшение максимальных расходов воды весеннего половодья р. Неман – г. Гродно, вызванное частыми зимними оттепелями, в результате чего часть весеннего переходит в минимальный зимний сток. Также нами была установлена стационарность рассматриваемого временного ряда максимального стока. Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик максимальных расходов воды весеннего половодья Немана у Гродно более чем за 100 лет наблюдений позволяет сделать вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике максимального стока и межгодовых его связей, обусловленных естественно-климатическими и антропогенными воздействиями.

Проведенная оценка степени однородности основных статистических характеристик максимальных расходов воды весеннего половодья р. Неман – г. Гродно более чем за 100-летний период позволяет сделать вывод о наличии статистически значимых изменений в динамике максимального стока, что обусловлено как естественно-климатическими, так и антропогенными изменениями гидрологического цикла. Стационарность процесса многолетних колебаний максимального стока Немана 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.

Литература

1. Волчек А. А., Лукша В. В., Волчек Ан. А. // 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.
2. 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.
3. Исмаилов Г.Х., Федоров В.М. Анализ многолетних колебаний годового стока Волги // Вод. Ресурсы. 2001. Т. 28. №5. С. 517-525.
4. Логинов В.Ф. Причины и следствия климатических изменений. Мн. Наука і тэхніка, 1992. 319 с.

Fluctuations of the Maximal Charges of Water of the Spring High Water on Neman

An. Volchek

Department for Problems of Polesie of National Academy of Sciences of Belarus, Brest

It is shown, that the spectrum-time analysis gives means for tracking dynamics of various cycles of hydrological lines, and also an estimation of application of such analysis at creation of statistical models of forecasting a water mode of rivers.