

МАКСИМАЛЬНЫЙ СТОК РЕК НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

А. А. Волчек, Ан. А. Волчек

Профессор, учреждение образования «Брестский государственный технический университет», г. Брест, Республика Беларусь, e-mail: Volchak@tut.by

Аннотация

Выполнен комплексный анализ формирования максимального стока рек Беларуси. Показано уменьшение максимальных расходов воды весеннего половодья крупных рек, вызванное частыми зимними оттепелями, в результате чего часть весеннего стока переходит в минимальный зимний сток. Изменения градиентов средних месячных расходов воды в период с февраля по май пришлись в основном на февраль и март, незначительное увеличение в апреле и мае (в центре страны) носит локальный характер. Уменьшение стока в феврале приходится на бассейн р. Западный Буг. Значительное увеличение стока февраля и марта происходит на севере и северо-востоке Беларуси, увеличиваясь на северо-восток. Наибольшее уменьшение приходится на апрель месяц.

Ключевые слова: половодье, наводнение, тренд, ущербы, районирование

MAXIMUM RIVER FLOW ON THE TERRITORY OF BELARUS

A.A. Volchak, An.A. Volchek

Аннотация

A comprehensive analysis of the maximum river runoff formation in Belarus has been carried out. A decrease in the maximum flow of water during the spring flood of large rivers caused by frequent winter thaws is shown, as a result of which the part of the spring runoff passes into the minimum winter runoff. Changes in the gradients of average monthly water flows from February to May occurred mainly in February and March, a slight increase in April and May (in the center of the country) is of a local nature. The decrease in runoff in February is typical for the Western Bug River basin. A significant increase in the runoff in February and March occurs in the north and northeast of Belarus, increasing to the northeast. The largest decrease occurs in April.

Keywords: high water, flood, trend, damage, zoning

Введение. Управление водными ресурсами – одна из важнейших практических задач водного хозяйства любой страны, решение которой возможно лишь на основе познания закономерностей формирования водного режима территории. Участвовавшие случаи экстремальных гидрологических явлений приводят к серьезным экономическим ущербам и даже к гибели людей. Это требует глубокого анализа гидрологического режима и характера

весенних половодий рек при проектировании водохозяйственных объектов и управлении водными ресурсами.

По статистике ООН на долю наводнений приходится 26 % общего числа жертв и 32 % стоимости поврежденного имущества [1]. Наводнения занимают первое место в ряду стихийных бедствий по повторяемости, охвату территорий и материальному ущербу. Рост убытков, наносимых наводнением экономике стран, связан с увеличением интенсивности и повторяемости наводнений из-за усиления хозяйственного использования территорий водосборов, речных долин и пойм [2, 3, 4, 5 и др.].

Основные гидрологические параметры весеннего половодья не являются стабильными величинами. Под влиянием и при участии комплекса разнообразных по генезису и динамике факторов они непрерывно изменяются как по территории, так и во времени. Совокупность этих причин можно разделить на природные и антропогенные, которые различаются характером и последствиями своего влияния на формирование половодья.

Природные причины определяют пространственно-временные колебания весеннего половодья в зависимости от различий физико-географических условий, а также под влиянием годового и векового хода климатических условий, влияющих на формирование максимальных расходов воды. Внутригодовые колебания происходят постоянно, вековые – сравнительно медленно, распространяются на довольно обширные территории и носят обычно циклический характер. Наблюдения и исследования показывают, что в историческое время эти отклонения не носили прогрессирующего характера. Периоды похолодания и потепления, засушливые и влажные периоды чередуются во времени, но общие характеристики весеннего половодья существенно не изменяются. Таким образом, главной особенностью воздействия естественных причин является то, что происходящие под их влиянием изменения не имеют однонаправленной тенденции.

Антропогенные причины являются следствием различных видов человеческой деятельности. Они влияют на характеристики весеннего половодья сравнительно быстро и односторонне, в чем и состоит главное отличие их влияния на сток по сравнению с природными причинами. Виды хозяйственной деятельности, вызывающие изменения характеристик весеннего половодья, весьма разнообразны, зависят от физико-географических условий территории, особенностей ее водного режима и характера ее использования. Они могут быть в виде перераспределения водных ресурсов во времени (регулирование речного стока), пространстве (территориальное перераспределение стока), изменения влагозапасов зоны аэрации с помощью гидротехнических мелиораций, интенсификации сельскохозяйственного производства, трансформации растительного покрова и т.п.

Материалы и методы. В настоящее время плотность стоковых гидрологических постов в Беларуси составляет 1 пост на 1945 км², что практически соответствует рекомендациям ВМО (1 пост на 1875 км²).

Основными исходными материалами для исследования послужили данные наблюдения за максимальными расходами воды весеннего половодья рек Беларуси за период инструментальных наблюдений Республиканского гидрометеорологического центра Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Основными реками, анализируемыми в работе, явились: р. Березина – г. Бобруйск, р. Днепр – г. Орша, р. Днепр – г. Речица, , р. Западная Двина – г. Витебск, р. Неман – г. Гродно, р. Припять – г. Мозырь с периодом наблюдений – 1877–2018 гг., т.е. 142 лет. Для 87 гидропостов восстановлены пропуски в наблюдениях, и временные ряды приведены к единому периоду с 1951 по 2005 гг., т.е. с периодом в 50 лет. Кроме того, в работе использовались данные по максимальным расходам воды весеннего половодья по 164 гидропостам за периоды инструментальных наблюдений. Пропущенные данные были восстановлены с помощью программного комплекса «Гидролог-2» [6, 7].

Оценка трансформации временных рядов максимальных расходов воды весеннего половодья оценивалась с помощью стандартных статистических параметров и линейных трендов как по всему исследуемому периоду, так и по выборкам различной длины. Линейные тренды характеризуются градиентом изменения (α), т. е. величиной численно равной коэффициенту регрессии (a) умноженной на 10 лет ($\alpha = a \cdot 10$ лет). Выборки формировались как участки исследуемых рядов, различающиеся начальной точкой отсчета и длиной. В частности, рассматривались отрезки ряда, различающиеся степенью антропогенного воздействия на сток и типом атмосферной циркуляции. Проверка однородности выборочных статистических параметров осуществлялась с помощью тестовых критериев Стьюдента и Фишера [8, 9].

Результаты и обсуждение. По типу водного режима реки Беларуси относятся к рекам с весенним половодьем и преимущественно со снеговым питанием. В целом для условий Беларуси природной генетической основой формирования наводнений являются факторы половодий, такие как степень осеннего увлажнения почвы, дата наступления зимнего периода, высота снежного покрова, дружность весны, отсутствие резких колебаний температуры и заморозков, промерзание почвы. В таблице 1 представлены некоторые гидрографические характеристики водосборов исследуемых рек.

Таблица 1 – Основные гидрографические характеристики

Длина, км		Площадь водосбора, тыс. км ²		Среднегодовой расход воды в створе, м ³ /с	Средний уклон водной поверхности, ‰	Доля весеннего половодья, %	Густота речной сети, км/км ²
общая	на территории Беларуси	общая	на территории Беларуси				
Березина – Бобруйск							
613	613	24,5	24,5	119	0,11	46	0,35
Днепр – Орша/Речица							
2201	700	504	63,7	127	0,08	50	0,39

Длина, км		Площадь водосбора, тыс. км ²		Среднегодовой расход воды в створе, м ³ /с	Средний уклон водной поверхности, ‰	Доля весеннего половодья, %	Густота речной сети, км/км ²
общая	на территории Беларуси	общая	на территории Беларуси				
				364			
Западная Двина – Витебск							
1020	328	87,9	33,2	226	0,12	56	0,45
Неман – Гродно							
937	459	98,2	33,6	195	0,21	44	0,47
Припять – Мозырь							
761	500	121	52,7	394	0,09	61	0,20

Примечание: площадь водосбора р. Днепр на территории Беларуси приведена без учета бассейна Припяти

Гидрологические характеристики половодий для рек Беларуси, полученные на основании обработки однородных рядов наблюдений речного стока, приведены в таблице 2 [10].

Таблица 2 – Гидрологические характеристики половодий для основных рек Беларуси [10]

Река	Пункт наблюдений	Уровни весеннего половодья, см над "0" графика			Отметка выхода воды на пойму, см над "0" графика
		1 %	25 %	50 %	
Западная Двина	г. Полоцк	1409	1060	933	1195
	г. Верхнедвинск	1420	1062	898	950
Неман	г. Гродно	893	415	314	500
Днепр	г. Могилев	858	570	538	630
	г. Речица	590	470	438	280
	г. Лоев	775	585	498	300
Березина	г. Светлогорск	810	709	681	560
Сож	г. Славгород	558	406	356	230
	г. Гомель	700	532	465	330
Припять	пос. Коробы	498	439	370	400
	г. Мозырь	551	398	281	330

В таблице 3 представлены наиболее значительные наводнения на реках Беларуси, вызванные весенним половодьем за период инструментальных наблюдений [10].

Таблица 3 – Годы с наводнениями в период весенних половодий [10]

Река-пост	Характеристика наводнения		
	катастрофическое P<1%	выдающееся P=1–2%	большое P=3–10%
Западная Двина – г.п. Сураж		1929, 1931, 1956	1878, 1895, 1901, 1908, 1915, 1917, 1958, 1962
Западная Двина – г. Витебск	1931	1878, 1929, 1956	1958, 1962

Река-пост	Характеристика наводнения		
	катастрофическое P<1%	выдающееся P=1–2%	большое P=3–10%
Западная Двина – г.п. Улла	1931	1941, 1951, 1956	
Западная Двина– г. Полоцк	1931	1951, 1956	1941, 1953, 1958, 1962
Западная Двина – г. Верхнедвинск	1931	1956	1958, 1962
Оболь - г.п. Оболь		1956	1938, 1951, 1953, 1955, 1958, 1962, 1965
Дисна – г.п. Шарковщина	1931	1951	1953, 1956, 1958
Неман – г. Столбцы		1958	1931, 1932, 1940, 1947, 1956
Неман – г.п. Мосты	1958		1931
Неман – г. Гродно	1958	1931	
Щара – г. Слоним	1958	1886	1888, 1889, 1895, 1931, 1941, 1970, 1979
Мухавец – г. Брест (н/б)		1974, 1979	1967, 1970
Днепр – г. Орша	1931	1908, 1956	1907, 1917, 1929, 1958
Днепр – г. Могилев	1931	1908, 1956	1888, 1907, 1917, 1922, 1929, 1947, 1958
Днепр – г. Жлобин		1931, 1956, 1958	1883, 1888, 1889, 1907, 1908, 1917, 1922, 1947, 1970
Днепр – г. Речица		1956, 1958	1907, 1915, 1916, 1917, 1928, 1947, 1970
Днепр – г.п. Лоев		1931	1877, 1878, 1900, 1907, 1908, 1915, 1917, 1924, 1929, 1932, 1956, 1958, 1970
Березина – г. Борисов			1962, 1963, 1964, 1968, 1970, 1999
Березина - г.п. Березино	1931	1956	1883, 1958
Березина – г. Бобруйск		1931, 1956	1883, 1917, 1924, 1932, 1958
Березина – г. Светлогорск	1931	1956, 1958	1932, 1947
Сож – г.Славгород	1931	1956	1907,1908,1915,1929,19 40,1947, 1958,1962,1970
Сож – г.Гомель		1931,1970	1907, 1908, 1915, 1916, 1917, 1956, 1958
Припять – м. Любанский		1979	1999
Припять – с. Коробы		1958	1957, 1966, 1979
Припять – г.п. Туров		1979	1932, 1940, 1956, 1958, 1970
Припять – с. Черничи		1999	
Припять – г. Петриков		1979	1931, 1932, 1940, 1956, 1958, 1966, 1970, 1999

Река-пост	Характеристика наводнения		
	катастрофическое P<1%	выдающееся P=1–2%	большое P=3–10%
Припять – г.Мозырь	1845	1888, 1895, 1979	1886, 1889, 1907, 1924, 1931, 1932, 1934, 1940, 1956, 1958, 1966, 1970, 1999
Пина – г. Пинск		1979	1928,1932,1940,1958
Ясельда – с. Сенин		1999	1958, 1979, 1981
Горынь – г. Речица		1956	1966, 1979, 1996, 1999
Уборть – с. Краснобережье		1932	1934, 1966, 1970, 1999
Птичь –с. Лучицы		1931, 1999	1895, 1896, 1900, 1907, 1917, 1956, 1958

Следует отметить, что, как показывает анализ данных о наводнениях 1845 и 1931 годов, возможно формирование в будущем и более катастрофических по физическим характеристикам паводков и половодий. Такая ситуация возможна при усилении антропогенной нагрузки на территорию водосбора, выражающейся в существенном изменении условий формирования стока.

Постоянное повышение хозяйственной ценности пойменных территорий из-за осуществления мелиоративных мероприятий, рост урожайности сельскохозяйственных культур, развитие населенных пунктов, транспортных коммуникации способствуют росту среднемноголетних ущербов от наводнений. Кроме того, возможны постоянные потери в связи с тем, что из интенсивного хозяйственного использования (из-за высокой вероятности затопления) фактически вообще выпадают потенциально высокопродуктивные сельскохозяйственные угодья.

Наводнения, причиняющие ощутимые ущербы в бассейнах рек Беларуси за последние 50...70 лет имели место 10...12 раз. Наиболее значительными из них явились наводнения в 1956, 1958, 1974, 1979, 1993 и 1999 гг.

Несмотря на то, что для территории Республики Беларусь проблема наводнений актуальна, в прошлом, практически до 1974 г., когда в бассейне р. Припять летне-осенний паводок нанес огромный материальный ущерб, строгого учета ущерба наводнений не проводилось. Они оценивались косвенным путем по фактам выплаты страховых взносов промышленным предприятиям и производителям сельскохозяйственной продукции, возмещения потерь по актам противопаводковых комиссий и экспертным оценкам и т.д. Такое положение приводило к тому, что зачастую ущерб от наводнений был занижен. В связи с этим в Республике предпринимались попытки разработки специальных методик, ориентированных на изучение данных о возможных ущербах от наводнений с учетом гидрологических параметров паводков и половодий и условий хозяйственной деятельности на территориях, подверженных опасности затопления паводковыми водами. К примеру, основу методики расчета ущербов от наводнений сельскохозяйственному воспроизводству положен принцип снижения урожайности при продолжительных половодьях в зависимости от величины

отклонения сроков сева от оптимальных, летне-осенних паводков – полной или частичной потери сельхозпродукции в зависимости от длительности затопления. Для других отраслей учитывались как прямые ущербы, вызываемые непосредственно затоплением, так и косвенные, связанные с различными факторами (недовыпуском продукции, нарушением линий коммуникаций и т. д.).

Полученные с использованием расчетных методик данные об ущербах, причиняемых наводнениями, приведены в таблице 4. Они характеризуют величину среднегодового ущерба при естественном состоянии водотоков [11].

Наиболее ощутимы последствия наводнений на Полесье. Это связано с равнинным низинным рельефом местности, а также с малой врезанностью рек и, как следствие, малыми уклонами и малой пропускной способностью русел рек. Остановимся на Полесском регионе более подробно.

Таблица 4 – Расчетные суммарные среднегодовые значения ущербов для основных водотоков на территории Беларуси [11]

Водосбор реки	Площадь затопления, км ²			Затапливаемые объекты	Расчетный ущерб от наводнений, тыс. руб. (в ценах 1990 г.)		
	P=50 %	P=25 %	P=1 %		P=50 %	P=25 %	P=1 %
Западная Двина	5	30	1528,1	Промпредприятия	—	—	194
				Жилой фонд	—	—	152
				Сельхозугодья	2,6	16	118
Неман	8	52	1357	Промпредприятия	—	—	130
				Жилой фонд	—	—	120
				Сельхозугодья	4,1	26	150
Виляя	2,7	14	214,8	Промпредприятия	—	—	42
				Жилой фонд	—	—	35
				Сельхозугодья	1,2	8	51
Западный Буг	3,8	13	519,6	Жилой фонд	—	30	70
				Сельхозугодья	0,8	4,6	45,8
Днепр	4	60	3738,9	Промпредприятия	—	—	120
				Жилой фонд	—	—	260
				Сельхозугодья	3	17	210
Припять	11,56	2680	9202	Железнодорожный транспорт			1332
				Промпредприятия	—	—	102
				Жилой фонд	—	—	9110
				Сельхозугодья	18403	44028	75519

Максимальное половодье на Припяти отмечено в 1845 г. Причем в тот год оно сформировалось на большом пространстве Восточной Европы. В бассейне Припяти оно было столь катастрофическим, что его, вероятно, можно отнести к группе предельно возможным в нашу климатическую эпоху. Половодье 1845 г. – это уникальное гидрологическое явление весьма редкой повторяемости. Максимальный уровень превышал нуль графика современного гидропоста у г. Мозыря на 675 см. При этом расход воды, рассчитанный Г.И. Швецом,

оценивается в 11000 м³/с [12]. Второе по величине половодье наблюдалось в 1877 г. в бассейне Припяти у г. Мозырь, где максимальный уровень достигал 589 см, что на 86 см ниже максимального наблюдаемого уровня, максимальный расход при этом составил 7500 м³/с [13]. Нами предпринята попытка оценить возможность появления наводнения, равного или превосходящего по величине наводнение в 1845 г. на р. Припять – г. Мозырь, а также наибольшего наводнения XX века в 1940 г., с помощью вероятностных методов. В результате исследований получили вероятность появления расхода, превосходящего наводнения 1845 и 1940 гг., в ближайшие 100 лет – 38 % и 59,5 % соответственно, а в ближайшие 10 лет – 5,78 % и 11,4 % соответственно [14].

Последнее значительное половодье было в 1999 г. Наиболее высокие уровни половодья сформировались на правобережных притоках Припяти – р. Горынь и р. Уборть, где превышение уровня составило 1,23–2,83 м. В период формирования максимумов половодья в бассейне выпало большое количество осадков (110–255 % нормы), что привело к значительному увеличению уровня воды. По своей высоте максимумы половодья 1999 г. оказались близкими к половодью 1979 г., а на р. Шать, в нижнем течении Птичи и Ясельды превысили многолетние величины на 3–14 см. Глубина затопления поймы на большинстве реках достигла 1,0–3,3 м. Половодье принесло значительный материальный ущерб народному хозяйству [14].

В таблице 5 приведены расходы воды 10 наиболее значительных половодий на Припяти и их обеспеченности.

Таблица 5 – Максимальные расходы воды весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь [14]

Годы	1845	1877	1895	1888	1889	1940	1979	1932	1970	1958
Q , м ³ /с	11000	7500	5670	5100	4700	4520	4310	4220	4140	4010
P , %	0,81	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,7	6,5	7,3	8,1

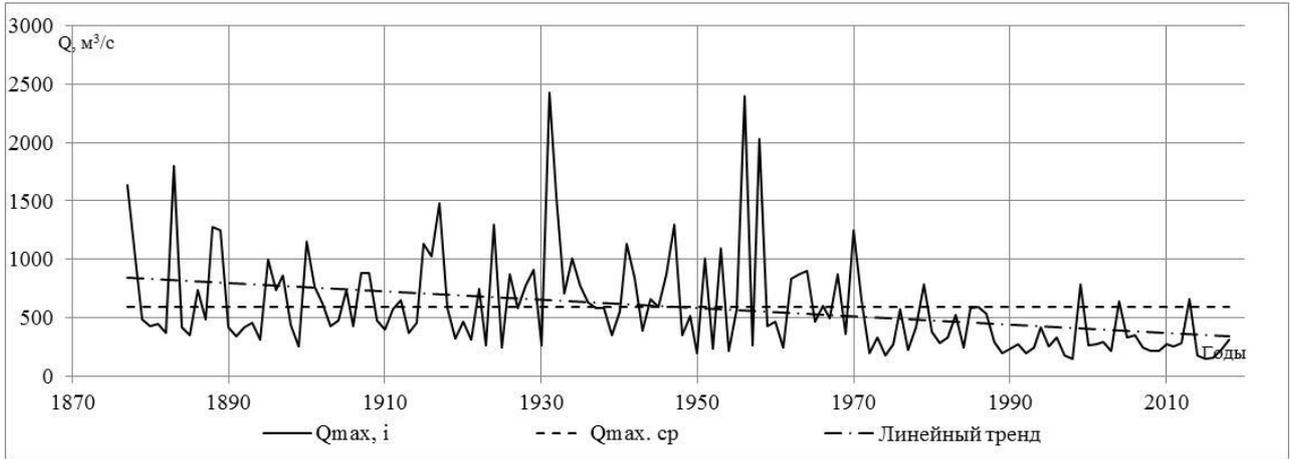
В таблице 6 приведены максимальные расходы воды половодья за весь период наблюдений по р. Припять – г. Мозырь (142 лет). За расчетное принято трехпараметрическое гамма-распределение, параметры которого установлены методом наибольшего правдоподобия и соответственно равны: норма максимального стока весеннего половодья – 1860 м³/с; коэффициент вариации – 0,89 и соотношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации – 4.

Таблица 6 – Расчетные максимальные расходы воды (Q) весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь различной обеспеченности [14]

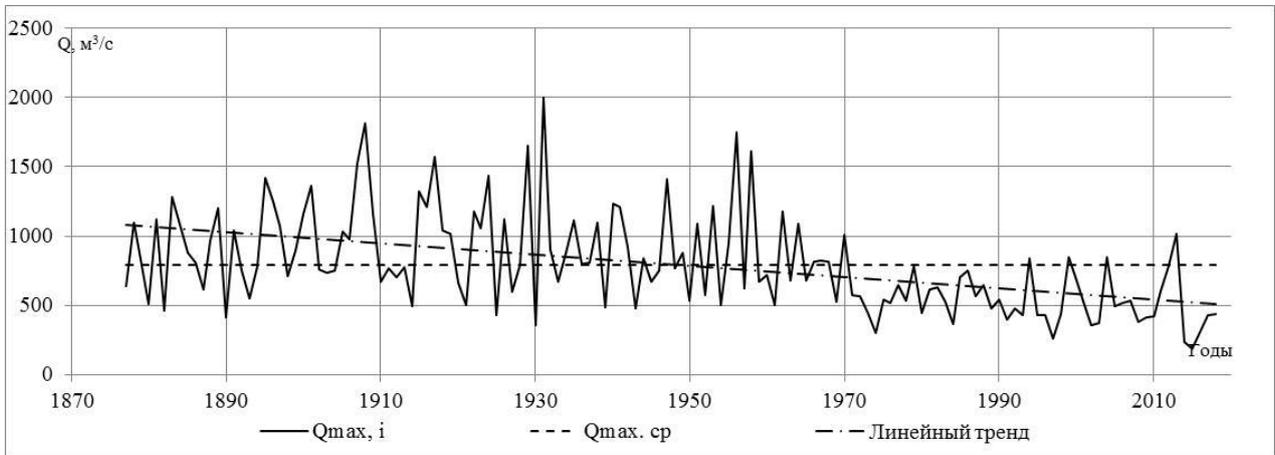
P , %	0,01	0,03	0,05	0,1	0,3	0,5	1,0	3,0	5,0	10,0
Q , м ³ /с	22700	17900	16000	13600	10400	9110	7530	5400	4550	3500

На рисунке 1 представлены хронологический ход максимальных расходов воды весеннего половодья основных рек Беларуси за инструментальный период наблюдения.

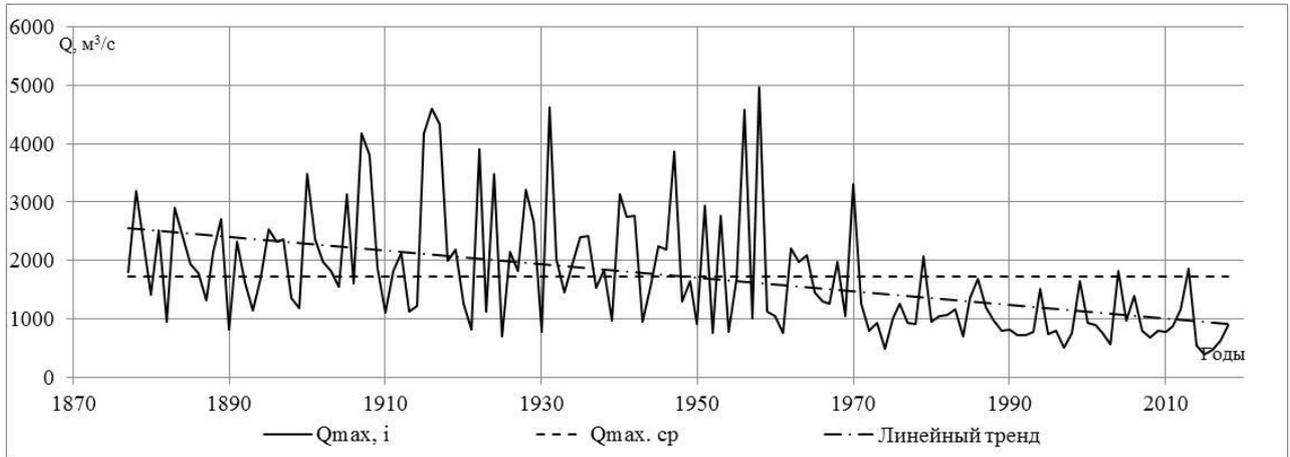
а)



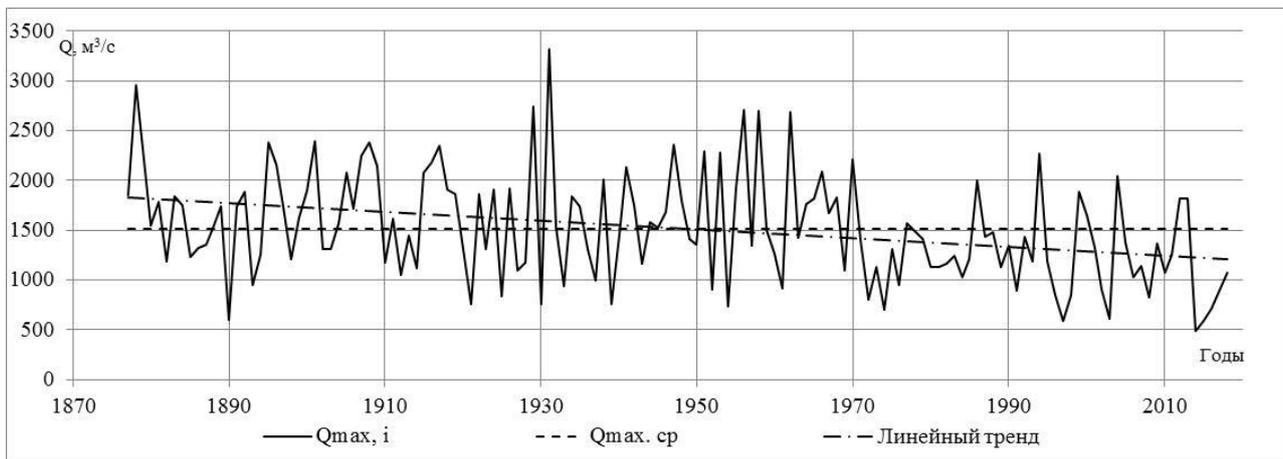
б)



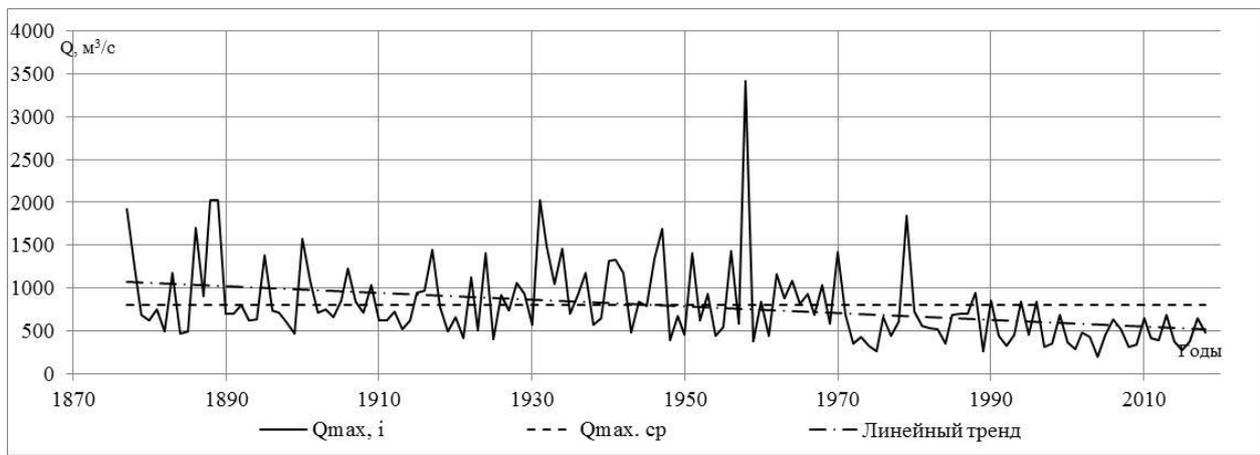
в)



г)



д)



е)

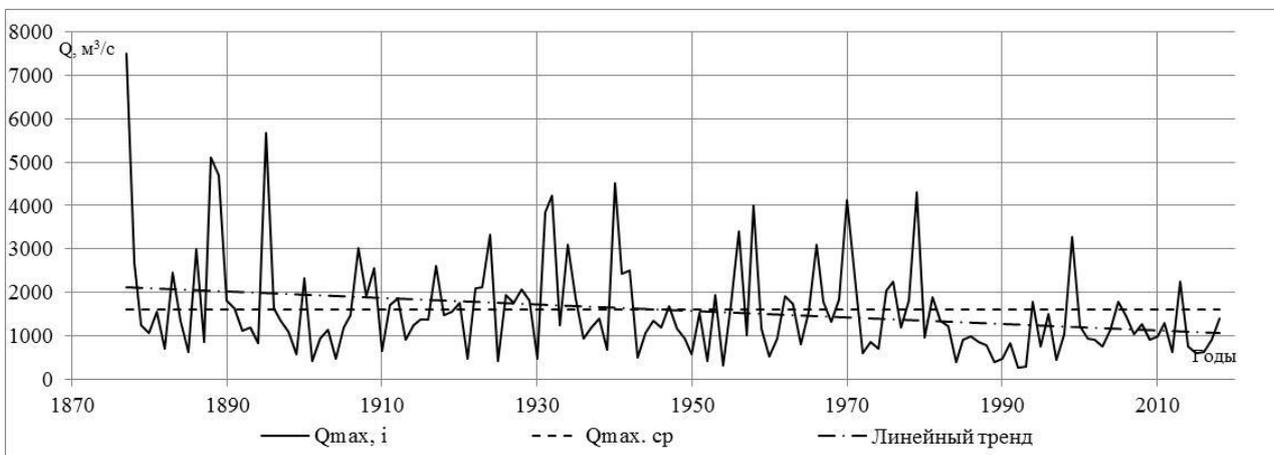


Рисунок 1 – Хронологический ход максимальных расходов воды весеннего половодья: а) р. Березина – г. Бобруйск; б) р. Днепр – г. Орша; в) р. Днепр – г. Речица; г) р. Западная Двина – г. Витебск д) р. Неман – г. Гродно; е) р. Припять – г. Мозырь

За исследуемый период максимальный расход воды весеннего половодья р. Березина – г. Борисов наблюдался в 1931 г. и составил $2430 \text{ м}^3/\text{с}$, в 1956 и 1958 гг. расходы также превышали $2000 \text{ м}^3/\text{с}$ и составили 2400 и $2030 \text{ м}^3/\text{с}$ соответственно. Однако последний раз расходы весеннего половодья

превысили расход 1000 м³/с в 1970 г. ($Q=1250$ м³/с). За последние 30 лет средний многолетний расход был превышен только 2 раза в 1979 г. ($Q=783$ м³/с) и в 1999 г. ($Q=785$ м³/с). Проверка на статистическую значимость показала, что средние величины максимальных расходов за период с 1877 по 1985 гг. ($\bar{Q}=419$ м³/с) и с 1986 по 2000 гг. ($\bar{Q}=329$ м³/с) статистически различимы на 5-% уровне значимости.

Максимальное значение расход весеннего половодья р. Днепр – г. Орша наблюдался в 1931 г. и составил 2000 м³/с (у г. Речица – 4629 м³/с), после этого наступил некоторый спад, однако в 1956 и 1958 гг. расходы были равны 1750 м³/с и 1610 м³/с (у г. Речица – 4590 м³/с и 4970 м³/с) соответственно. Последний раз, когда расходы воды весеннего половодья превышали 1000 м³/с у г. Орша ($Q=1010$ м³/с), наблюдали в 1970 г.. Вот уже более 30 лет расходы р. Днепр у г. Орша колеблются от 258 м³/с (1997 г.) до 846 м³/с (1999 г.). Подобная картина наблюдается и в створе г. Речица. В 1970 г. расходы воды р. Днепр – г. Речица достигли 3300 м³/с, а после 1979 г. ($Q=2080$ м³/с) колебались от 1680 м³/с (1986 г.) до 506 м³/с (1997 г.).

Наибольший расход воды р. Западная Двина у г. Витебска наблюдался в 1931 г. и составил 3320 м³/с, что соответствует обеспеченности $P=0,7$ %. С середины 60-х гг. прошлого столетия максимальный сток имеет тенденцию к снижению, что подтверждает проверка на статистическую значимость средних величин за различные периоды. Так, статистически различимыми на 5-% уровне значимости являются средние за период с 1877 по 1965 гг. ($\bar{Q}=1670$ м³/с) и с 1966 по 2000 гг. ($\bar{Q}=1340$ м³/с), а также средние за период с 1877 по 1985 гг. ($\bar{Q}=1610$ м³/с) и с 1986 по 2000 гг. ($\bar{Q}=1350$ м³/с). За последние 20 лет расходы воды весеннего половодья превышали норму в 1986 г. ($Q=2000$ м³/с), в 1994 г. ($Q=2270$ м³/с) и в 1999 г. ($Q=1890$ м³/с).

Максимальный сток весеннего половодья р. Неман – г. Гродно наблюдался в 1958 году и составил 3410 м³/с, затем происходило уменьшение максимальных расходов. В последние годы прошлого века максимальные расходы воды весеннего половодья были ниже среднего. Нами выполнен анализ на статистическую значимость средних величин максимального расхода за период с 1877 по 1979 гг. ($\bar{Q}=908$ м³/с) и с 1980 по 2000 гг. ($\bar{Q}=567$ м³/с), который показал, что расхождения в этих параметрах могут быть признаны статистически достоверными на 5 %-ом уровне значимости.

Максимальный расход весеннего половодья р. Припять – г. Мозырь наблюдался в 1877 году и составил 7500 м³/с, затем происходило уменьшение максимальных расходов. Строго говоря, наибольший расход весеннего половодья на Припяти наблюдался в 1845 г. и по расчетам Г.И. Швеца расход воды в створе г. Мозырь составил 11000 м³/с [12]. В последние годы прошлого века максимальные расходы воды весеннего половодья были ниже среднего. Нами выполнен анализ на статистическую значимость средних величин максимального расхода за период с 1877 по 1980 гг. ($\bar{Q}=1800$ м³/с) и с 1981 по

2005 г. ($\bar{Q} = 1030 \text{ м}^3/\text{с}$), который показал, что расхождения в этих параметрах могут быть признаны статистически достоверными на 5 % уровне значимости.

В целом можно сказать, что все крупные реки Беларуси имеют тенденцию к снижению стока весеннего половодья независимо от их географического положения на территории страны, что подтверждают уравнения линии тренда (таблице 7).

По результатам проверки на значимость выявлено, что для всех рек коэффициенты корреляции являются статистически значимыми за полный период наблюдений, в период 1960–2005 г. статистическая значимость градиента изменения не выявлена для р. Припять – г. Мозырь и р. З. Двина – г. Витебск, а за период 1945–1960 г. градиенты не являются статистически значимыми ни для одной реки.

Таблица 7 – Статистические параметры максимальных расходов воды весеннего половодья основных рек Беларуси и градиенты линий трендов

Период	Параметры			
	Средняя величина ($Q_{\text{ср}}$, $\text{м}^3/\text{с}$)	коэффициент вариации (C_v)	градиент изменения (α , $\text{м}^3/\text{с}$)	коэффициент корреляции (r)
Березина – Бобруйск				
1877 – 2018 г. (142 года)	594	0,71	-44,4	-0,34
1877 – 1986 г. (110 лет)	679	0,64	-28,2	-0,17
1987 – 2018 (32 года)	300	0,51	-110,3	-0,23
1969 – 2018 (50 лет)	356	0,59	-47,2	-0,16
Днепр – Орша				
1877 – 2018 г. (142 года)	793	0,44	-40,3	-0,47
1877 – 1986 г. (110 лет)	875	0,40	-28,2	-0,26
1987 – 2018 (32 года)	510	0,38	-24,3	-0,12
1969 – 2018 (50 лет)	536	0,34	-26,8	-0,21
Днепр – Речица				
1877 – 2018 г. (142 года)	1730	0,59	106,1	-0,47
1877 – 1986 г. (110 лет)	1970	0,52	-81,3	-0,25
1987 – 2018 (32 года)	911	0,41	-33,7	-0,08
1969 – 2018 (50 лет)	1020	0,49	102,3	-0,30
Зап. Двина-Витебск				
1877 – 2018 г. (142 года)	1520	0,36	-35,8	-0,35
1877 – 1986 г. (110 лет)	1610	0,33	-16,4	-0,12
1987 – 2018 (32 года)	1200	0,37	-15,3	-0,09
1969 – 2018 (50 лет)	1230	0,34	-49,5	-0,34
Неман – Гродно				
1877 – 2018 г. (142 года)	798	0,57	-39,0	-0,35
1877 – 1986 г. (110 лет)	887	0,54	-19,8	-0,13
1987 – 2018 (32 года)	492	0,40	-57,7	-0,27

Период	Параметры			
	Средняя величина ($Q_{\text{ср}}$, м ³ /с)	коэффициент вариации (C_v)	градиент изменения (α , м ³ /с)	коэффициент корреляции (r)
1969 – 2018 (50 лет)	549	0,53	-60,1	-0,30
Припять – Мозырь				
1877 – 2018 гг. (142 года)	1600	0,72	-75,2	-0,27
1877 – 1986 гг. (110 лет)	1760	0,70	-51,9	-0,13
1987 – 2018 (32 года)	1050	0,58	106,2	0,20
1969 – 2018 (50 лет)	1270	0,68	-169,7	-0,29

Примечание: выделены статистически значимые величины.

Выполнено физико-географическое районирование территории Беларуси по изменению градиента максимальных расходов воды весеннего половодья за период 1985–2000 гг. Выделено три зоны (рисунок 2). Критерием является показатель среднемноголетних изменений максимальных расходов. К первой (I) зоне относится территория с положительным значением градиента и со значением до -5 (л/с·км²)/10 лет (зона положительных и неустойчивых отрицательных трендов), ко второй (II) зоне – от -5 до -20 (л/с·км²)/10 лет (зона слабых отрицательных трендов), к третьей (III) – менее -20 (л/с·км²)/10 лет (зона отрицательных трендов) [15].

Как видно из рисунка 2, первая зона охватывает практически все реки Черноморского склона и часть бассейна реки Неман. Вторая выделенная зона относится к северу страны (бассейна Западной Двины). На востоке и в центре страны, где скорость потепления климата выше, уменьшение градиента изменения максимальных расходов воды весеннего половодья наиболее значительно [16]. Значения самих градиентов показаны в таблице 8.

Анализ изменения градиента стока выполнен для средних месячных расходов воды в период с февраля по май с целью выявления трансформации максимальных расходов воды весеннего половодья во времени, данные которых приведены в таблице 8 и на рисунке 3. Неизменной считается зона, где градиент колеблется от -2 до $+2$ (л/с·км²)/10 лет, зона увеличения – градиент выше 2 (л/с·км²)/10 лет, зона уменьшения включает в себя градиенты ниже -2 (л/с·км²)/10 лет [16].

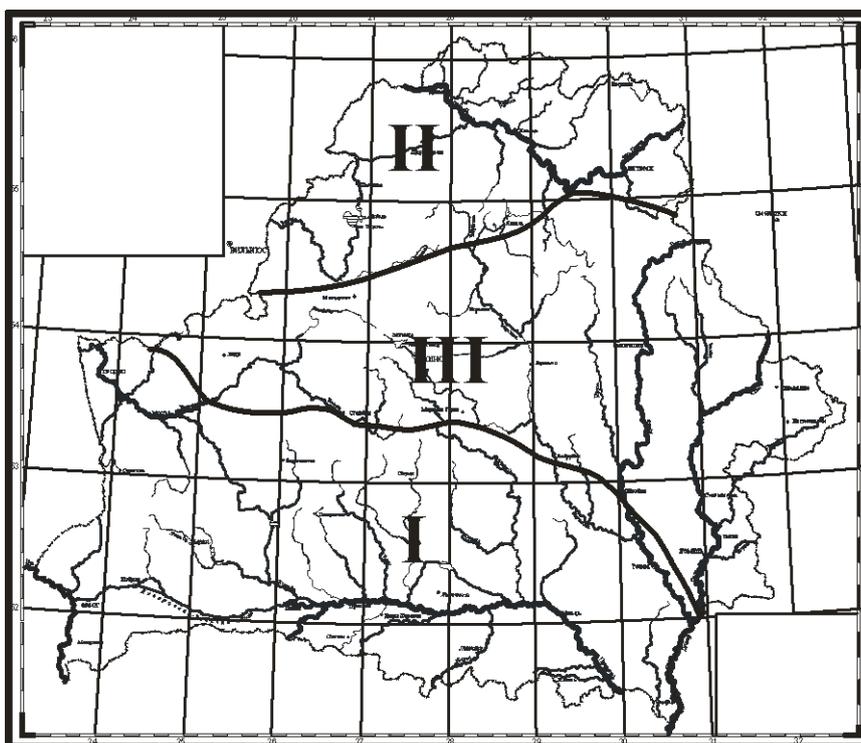


Рисунок 2 – Районирование максимальных расходов воды весеннего половодья, исходя из значений градиентов [15]

Таблица 8 – Градиенты изменения максимальных расходов воды весеннего половодья по рекам Беларуси ((л/с·км²)/10 лет)

Река – створ	Значение градиента				
	среднемесячные расходы				максимальные расходы
	февраль	март	апрель	май	
<i>I зона (положительных и неустойчивых отрицательных трендов)</i>					
р. Припять – с. Черничи	1,70	6,05	3,05	1,56	-0,44
р. Припять – г. Мозырь	1,83	6,22	3,97	2,43	6,58
р. Неслуха – с. Рудск	1,04	-3,71	-17,6	-7,53	1,90
р. Ясельда – с. Сенин	3,39	3,75	-4,47	-2,59	0,23
р. Цна – с. Дятловичи	2,11	6,03	2,62	1,03	1,41
р. Лань – с. Мокрово	2,42	4,18	2,01	0,68	0,88
р. Случь – с. Клепчаны	1,91	4,53	1,72	-0,15	1,03
р. Случь – г.п. Старобин					3,91
р. Случь – с. Ленин	4,67	9,05	1,45	1,16	6,95
кан. Бычок – с. Озераны	2,53	4,65	1,70	0,62	3,93
р. Уборть – с. Краснобережье	3,06	9,85	3,02	0,17	7,48
р. Свиновод – с. Симоничи	3,9	11,7	9,22	0,73	4,83
р. Птичь – с. Комарино					-0,16
р. Птичь – с. Лучицы	2,75	6,36	2,73	1,50	3,87
р. Доколька – с. Бояново	2,48	4,39	2,40	1,34	3,32
р. Оресса – с. Верхутино					-3,73
р. Оресса – г. Любань					3,24
р. Оресса – с. Андреевка	2,26	3,70	3,07	1,64	3,00
р. Ипа (Иппа) – с. Кротов					10,65

Река – створ	Значение градиента				
	среднемесячные расходы				максимальные расходы
	февраль	март	апрель	май	
р. Словечна – с. Кузьмичи, выше впадения р. Батывля	2,68	9,65	2,60	0,58	10,92
р. Чертень – с. Некрашевка					11,91
р. Неман – г. Гродно	1,83	2,69	-2,46	-0,56	-4,01
р. Уша – с. Большие Жуховичи					64,5
р. Щара – г. Слоним	1,24	1,98	-1,90	-0,69	-2,88
р. Щара – с. Великая Воля					-0,04
р. Мышанка (Миша) – с. Березки					110
р. Зельвянка – с. Пески					26,4
р. Рось – с. Студенец	1,62	0,91	-0,50	0,64	8,98
р. Свислочь – с. Сухая Долина	2,87	0,38	-2,68	0,84	12,8
р. Котра – пгт. Сахкомбинат	1,96	2,05	-1,59	-0,09	-4,44
р. Днепр – г. Речица	0,70	3,05	-2,25	0,22	-3,56
р. Березина – г. Бобруйск	1,09	2,94	2,91	0,73	-4,40
р. Ведрич – х. Бабичи					12,3
р. Верхняя Брагинка – с. Рудня Журавлева	0,45	3,00	0,79	0,80	-3,56
р. Копаявка – с. Черск	2,09	1,59	2,33	1,02	2,75
р. Мухавец – г. Брест, НБ	2,33	1,59	0,01	0,42	0,89
кан. Ореховский – с. Меленково	2,18	2,64	0,61	1,20	-2,58
р. Жабинка – г. Малая Жабинка					2,23
р. Рыта – с. Малые Радваничи	2,23	1,49	1,71	-0,16	-1,74
р. Малорита – г. Малорита	2,90	2,98	1,73	0,38	-2,02
р. Лесная – с. Тюхиничи	1,58	0,33	-1,20	0,25	-3,55
р. Пульва – г. Высокое	1,68	-2,03	2,14	0,25	2,52
р. Горынь – пгт. Речица	3,11	5,97	1,63	0,39	10,7
Среднее значение	2,21	3,81	0,61	0,28	7,05
<i>II зона (слабых отрицательных трендов)</i>					
р. Вилия – с. Стешицы	2,87	2,66	-0,10	0,82	-9,95
р. Вилия – ст. Залесье					-6,84
р. Вилия – с. Михалишки	1,45	1,76	-0,40	-1,04	-3,20
р. Нарочь – с. Черемшицы	0,61	0,79	-1,40	-2,08	-8,93
р. Нарочь – с. Нарочь	2,55	1,68	-1,77	-2,41	-14,2
р. Узлянка – с. Узла	1,89	0,75	-0,52	-0,89	-13,4
р. Ошмянка – с. Солы					-14,5
р. Ошмянка – с. Великие Яцыны	2,15	1,21	-1,71	-0,83	-6,60
р. Лучоса – с. Кузьменцы					-11,9
р. Улла – с. Промыслы (Бочейково)					-12,2
р. Эсса – с. Гадивля	2,22	1,98	0,19	1,29	-7,51
р. Полота – с. Янково 1-е	1,01	2,60	-1,98	-2,90	-5,60
р. Дисна – г. п. Шарковщина	2,24	3,32	-4,36	-2,23	-10,5
р. Мяделка – с. Русаки					-13,6
р. Березовка – с. Саутки	4,99	4,55	-2,02	-0,22	-12,4
р. Дрыса (Дрисса) – с. Дерновичи	-0,68	1,79	-2,62	-1,42	-7,81

Река – створ	Значение градиента				
	среднемесячные расходы				максимальные расходы
	февраль	март	апрель	май	
р. Нища – с. Соколище	0,19	2,55	-1,94	-0,74	-7,37
р. Нача – с. Нача	1,79	3,95	-2,96	0,80	-6,88
Среднее значение	1,79	2,28	-1,66	-0,91	-9,63
<i>III зона (отрицательных трендов)</i>					
р. Неман – г. Столбцы	-2,69	-4,53	-43,70	-19,76	-22,0
р. Перепутъ – с. Городище					-290
р. Ольшанка – с. Богданово	2,08	0,27	-3,14	-0,96	-251
р. Исlochъ – с. Боровиковщина	2,18	1,44	-3,28	-2,18	-29,5
р. Молчадь – с. Молчадь					-321
р. Вилия – г. Вилейка	0,18	2,47	0,26	-0,87	-128
р. Илия – с. Щуки					-24,2
р. Россасенка – с. Козьяны					-393
р. Друть – с. Городище	1,44	1,33	-3,04	0,75	-33,6
р. Друть – Чигиринская ГЭС	1,15	-0,30	-6,09	0,07	-53,6
р. Березина – с. Березино Липское (Березино)					-55,6
р. Сха – с. Житьково					-369
р. Плисса – с. Залесье					-26,6
р. Бобр – с. Куты	2,09	-0,43	-3,72	1,62	-72,4
р. Бобр – с. Клыпенка (х. Пески)					-38,9
р. Вяча – с. Паперня					-223
р. Волма – с. Корзуны					-22,5
р. Ола – с. Михалево					-292
р. Сож – г. Кричев	1,21	2,52	-2,20	-0,30	-22,2
р. Вихра – с. Красный Берег (г. Мстиславль)					-315
р. Проня – с. Летяги(х. Яскаръ)	1,80	0,40	-3,84	-0,48	-39,6
р. Бася – с. Хильковичи	3,21	2,46	-8,14	0,28	-103
р. Покоть – с. Красный Дубок					-131
р. Беседь – с. Бельковичи					-271
р. Беседь – с. Светиловичи	1,49	1,71	-2,52	-0,60	-22,13
р. Жадунька – г. Костюковичи	4,40	1,82	-8,93	0,43	-47,5
р. Терюха – с. Грабовка					-184
р. Кривинка – с. Добригоры	1,04	2,14	-2,80	0,63	-24,2
р. Гайна – с. Гайна	20,1	20,7	32,6	14,0	-120
р. Свисlochъ – с. Теребуты	65,7	80,1	-21,3	2,44	-379
Среднее значение	7,03	7,47	-5,32	-0,33	-144

На рисунке 3 видно, что увеличение среднемесячного стока в феврале произошло в бассейнах рек Немана, Припяти, Западного Буга и Вилии, а уменьшение стока приурочено к северо-востоку страны, и небольшой «островок» наблюдается восточнее г. Минск (бассейн р. Березина). Карта районирования среднемесячного стока в марте по градиенту изменения стока имеет такое распределение: увеличения градиента (в виде полосы с юга на север по центру страны), включая небольшие зоны уменьшения градиента ниже

Минска и выше Пинска. Для стока в апреле характерны две полосы (неизменной зоны и зоны увеличения), идущие с востока на запад, которые выделяют в свою очередь два острова увеличения, приуроченные к Минской краевой ледниковой возвышенности и Пуховичской водно-ледниковой равнине (это характерно и для стока в мае). В мае градиент стока уменьшился на значительной территории, в основном на севере Беларуси, а на юге остался неизменным и даже увеличился на некотором участке бассейна р. Припять. Также увеличение градиента стока мая наблюдается на северо-востоке Витебской области. В целом можно сказать, что в течение года произошло перераспределение стока рек Беларуси, что вызвано, в частности, уменьшением максимальных расходов воды весеннего половодья.

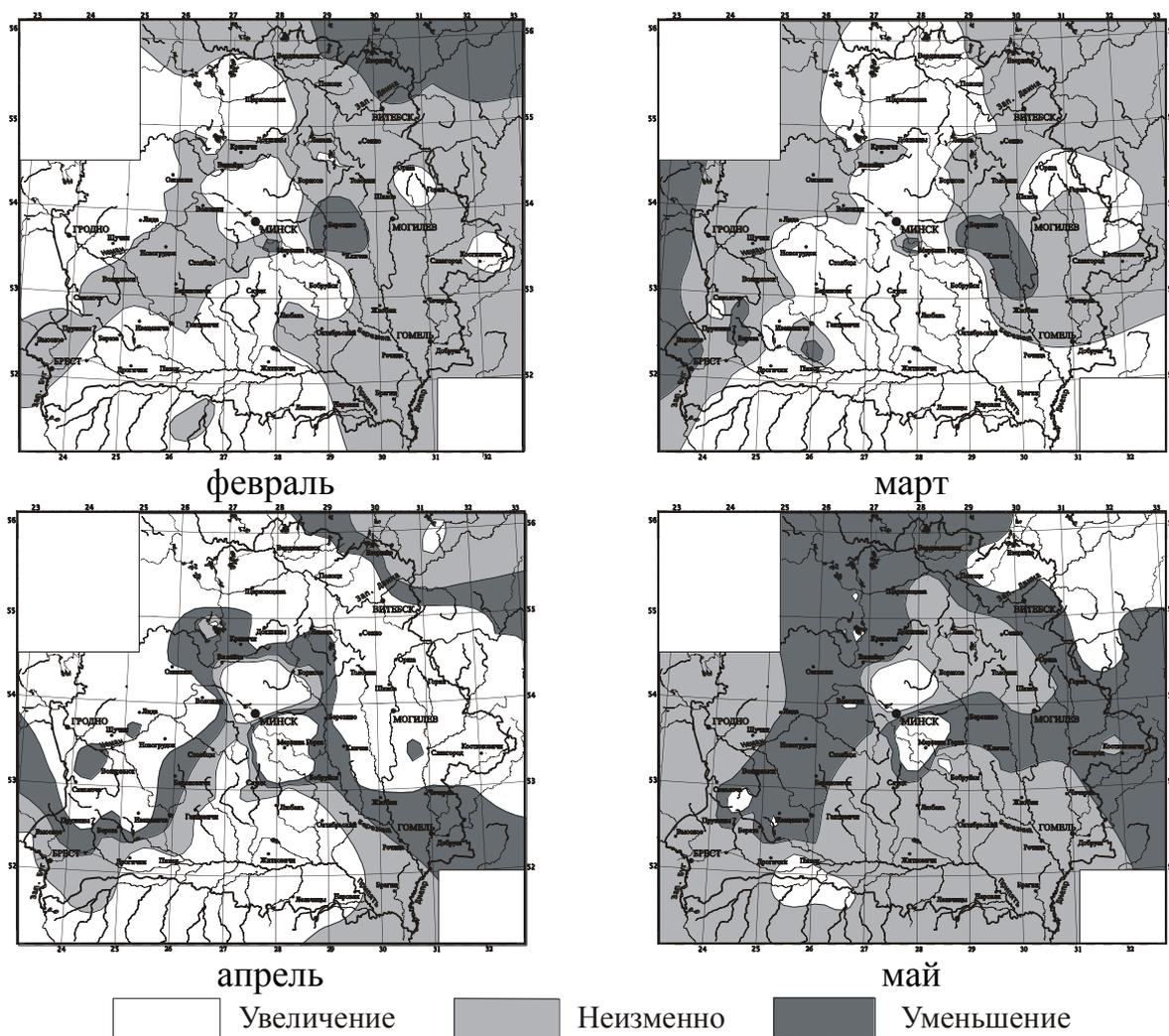


Рисунок 3 – Районирование территории Беларуси по изменению градиента среднемесячных расходов воды рек

Анализ пространственной структуры изменения максимальных расходов воды весеннего половодья, судя по изменению коэффициентов стока (на рисунке 4 представлен в долях), позволяет утверждать, что практически на всей территории Беларуси произошло изменение стока весеннего половодья в сторону уменьшения. Однако встречаются небольшие «островки», где

произошло увеличение максимального стока, например, в районе Гродно, Горки, Марьина Горка, Борисов. Данные территории имеют большую абсолютную отметку, а следовательно, и повышенное количество осадков, в том числе, и твердых. Наибольшее изменение произошло на юго-востоке страны в бассейне реки Припять и составило от -0,40 до -1,00 в долях от стока.

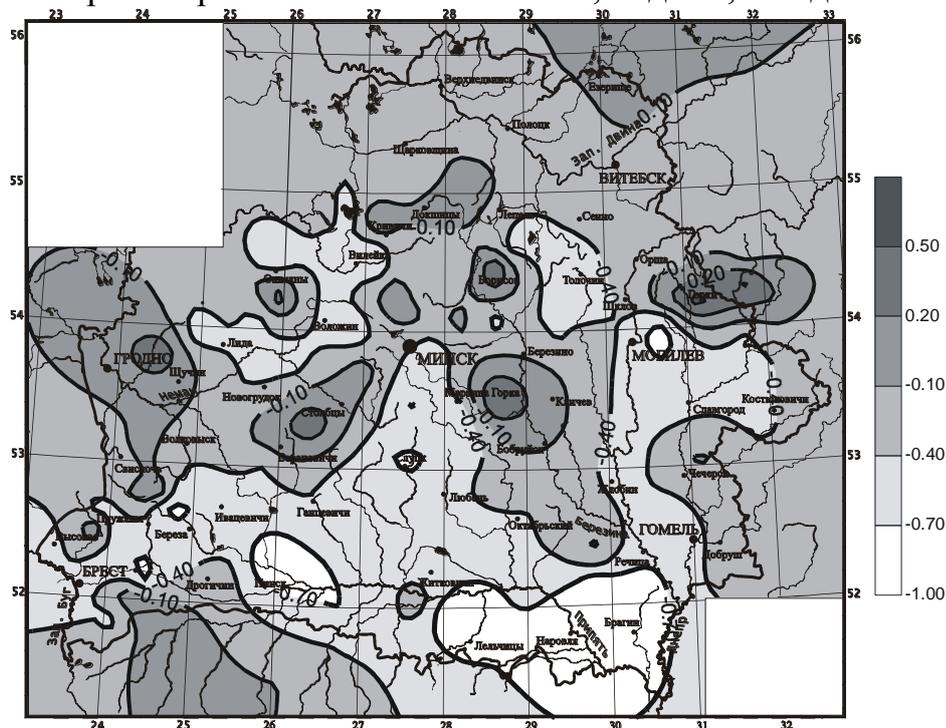


Рисунок 4 – Пространственная структура изменения разности максимальных расходов воды весеннего половодья рек Беларуси за период 1951–1984 гг. и 1985–2000 гг.

Пространственная структура изменения стоков рек в феврале–мае представлена на рисунке 5, из которого следует, что увеличение стока произошло в основном в феврале и марте, незначительное увеличение стока в апреле и мае (в центре страны) носит локальный характер. Уменьшение стока в феврале приходится на бассейн р. Западный Буг и небольшой участок р. Припять в районе г. Житковичи Гомельской области. Значительное увеличение стока (более 0,30) в феврале и марте происходит на севере и северо-востоке Беларуси (до 1,0 в долях от стока в районе Полоцкой низины), увеличиваясь на северо-восток. Наибольшее уменьшение стока наблюдается в апреле месяце (до -0,80 в области равнин и низин Предполесья).

Подтверждение гипотезы о перераспределении расходов воды весеннего половодья в минимальные зимние расходы за счет частых ранних оттепелей приведено в работе [17], который имеет тенденцию к увеличению, что подтверждается положительным линейным трендом.

В целом можно сказать, что все крупные реки Беларуси имеют тенденцию к росту минимального зимнего стока независимо от их географического положения на территории страны, что подтверждают уравнения линии тренда.

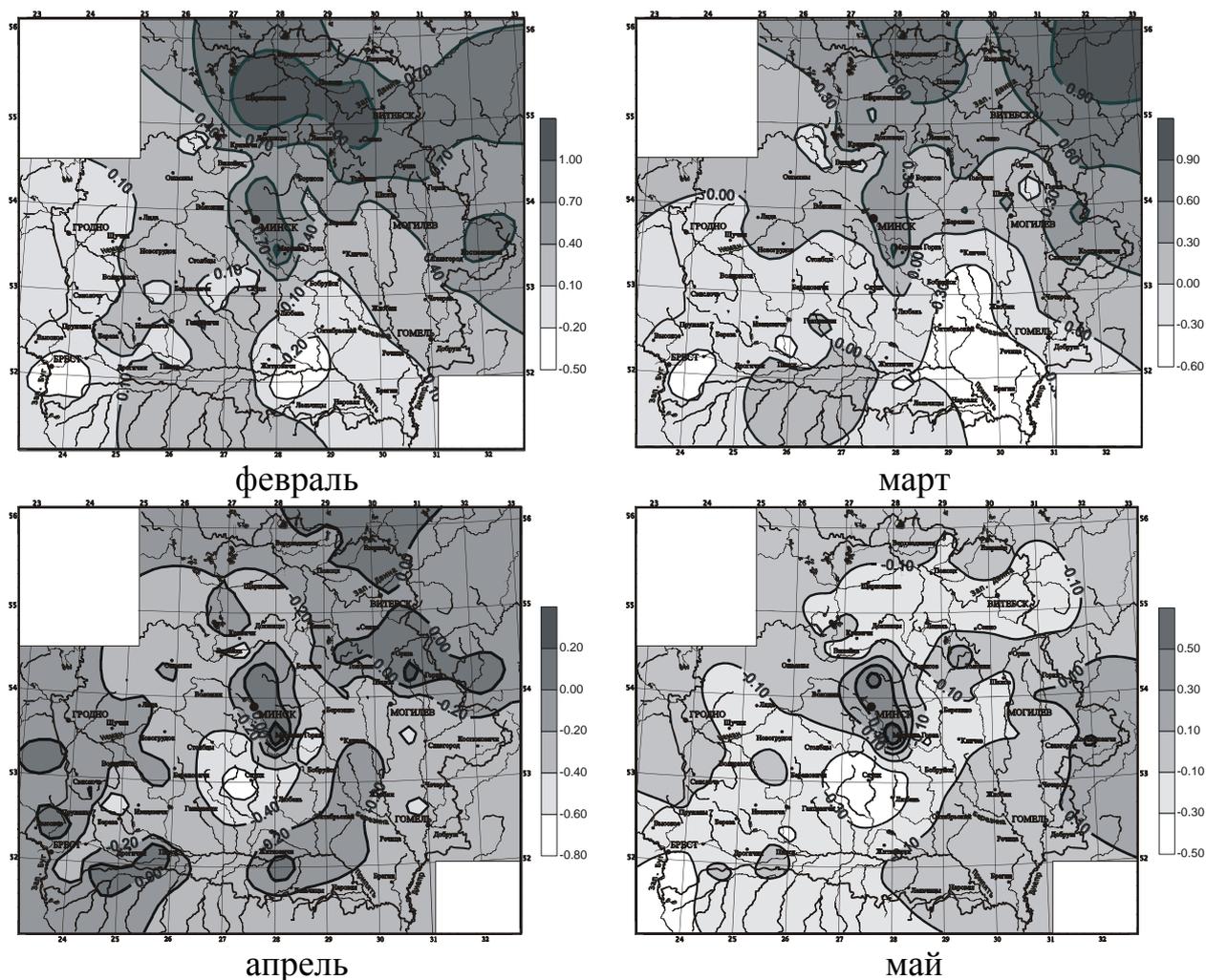


Рисунок 5 – Пространственная структура изменения разности среднемесячных расходов воды рек Беларуси за период 1951–1984 гг. и 1985–2000 гг.

Помимо количественного показателя большое значение имеют даты наступления максимальных расходов и их пространственная структура.

Изменения дат наступления максимальных расходов детально рассмотрены в работах [18, 19, 20], из которых следует, что сроки начала весеннего половодья в отдельные годы колеблются в значительных пределах особенно на реках бассейнов Немана и Припяти, где раннее вскрытие рек может наблюдаться во второй декаде февраля. Реки бассейна Западной Двины вскрываются ранней весной, в начале марта. Продолжительность половодья зависит главным образом от длины реки, залесенности, заболоченности, озерности, густоты речной сети водосбора и др. В настоящее время даты максимальных расходов воды рек весеннего половодья в основном сместились на более ранние сроки, которые изменяются по направлению с юго-запада на северо-восток. Как правило, пики весеннего половодья наступают в марте практически на всей территории страны. Выделены реки со смещением дат на более ранние и поздние сроки наступления пиков половодий по основным бассейнам рек Беларуси за рассматриваемые периоды. По всем бассейнам наблюдается смещение дат пика половодья на более ранние сроки. Исключение

составляет западная часть территории республики, особенно водосбор Западного Буга, что связано с влиянием западного влагопереноса. Наибольшее смещение дат наступления пиков половодья на более ранние сроки произошло с 1-ой декады апреля на 3-ю декаду марта. Исключение составляет бассейн Западной Двины, где максимальные расходы наступают в 1-ой декаде апреля на большинстве рек, однако на более чем 30 % рек пики половодий приходятся на 3-ю декаду марта и незначительная часть рек разливается во 2-ой декаде апреля. Произошло существенное смещение наступления максимальных расходов воды весеннего половодья на территории Беларуси. Наибольшее смещение произошло в центре страны в области низин и равнин Предполесья, в западно-белорусской подобласти в районе Минской краевой ледниковой возвышенности, в районе Горецкой моренной равнины с краевыми ледниковыми образованиями.

Изменений не произошло на юго-западе Беларуси в районе Малоритской водно-ледниковой равнины. Незначительные сдвиги произошли на западе выше Гродно в районе Озерской водно-ледниковой низины, Лидской моренной равнины, Вороновской водно-ледниковой равнины с краевыми ледниковыми образованиями, на юго-востоке в районе Хойникской водно-ледниковой низины с краевыми ледниковыми образованиями, Комаринской аллювиальной низины. Это связано с атмосферными переносами на территории Беларуси.

Полученные результаты свидетельствуют о смещении дат наступления максимальных расходов воды весеннего половодья на более ранние сроки по всей территории Беларуси. В настоящее время 71,5 % случаев пиков половодий рассматриваемых рек Беларуси приходятся на третью декаду марта, в то время как в период до 1980 г. максимальные расходы воды наблюдались в первой декаде апреля на 72,3 % всех рек. Основной причиной смещения пиков половодий на реках Беларуси являются природно-климатические изменения.

По прогнозам ученых-климатологов потепления климата продлится еще какое-то время, поэтому процесс смещения дат пиков половодий на более ранние сроки будет продолжаться, что необходимо учитывать при разработке планов управления и использования водных ресурсов.

Уменьшение стока весеннего половодья вовсе не исключает возможность формирования крупных наводнений, следовательно, и значительного экономического ущерба. Поэтому дальнейшее изучение максимальных расходов важно с целью прогнозирования и районирования территории по степени затопления поймы различной обеспеченности. Пойма должна подразделяться на зоны риска в соответствии с содержанием карты паводкоопасных районов. На этой основе должна разрабатываться государственная программа страхования от наводнений.

Заключение. В результате исследований установили уменьшение максимальных расходов воды весеннего половодья крупных рек, вызванное частыми зимними оттепелями, в результате чего часть весеннего стока переходит в минимальный зимний сток. Изменения градиентов средних месячных расходов воды в период с февраля по май пришлись в основном на

февраль и март, незначительное увеличение на апрель и май (в центре страны) и носят локальный характер. Уменьшение стока в феврале приходится на бассейн р. Западный Буг. Значительное увеличение стока февраля и марта происходит на севере и северо-востоке Беларуси, увеличиваясь на северо-восток. Наибольшее уменьшение приходится на апрель месяц. Определены средние даты наступления максимальных расходов воды весеннего половодья за период последнего повышения температуры воздуха на территории Беларуси.

Список цитированных источников

1 Авакян, А. Б. Наводнения. Концепция защиты / А. Б. Авакян // Известия РАН. Сер. Географическая. – 2000. – № 5. – С. 40–46.

2 Калинин, М. Ю. Чрезвычайные ситуации и их последствия: мониторинг, оценка, прогноз и предупреждение // М. Ю. Калинин, А. А. Волчек, П. В. Шведовский / РУП «Центральный научно-исследовательский институт комплексного использования водных ресурсов». – Минск : ООО «Белсэнс», 2010. – 275 с.

3 Волчек, А. А. Опасные гидрологические явления на р. Припяти / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Экстремальные гидрологические ситуации / Отв. ред. Н. И. Коронкевич, Е. А. Барабанова, И. С. Зайцева. – М. : ООО «Медиа-ПРЕСС», 2010. – С. 295–322.

4 Чрезвычайные ситуации в природной среде: мониторинг, прогноз, предупреждение / М. Ж. Бурлибаев, А. А. Волчек, М. Ю. Калинин, В. А. Скольский, П. В. Шведовский // Алматы : Издательство «Каганат», 2011. – 356 с.

5 Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Ан. А. Волчек – Минск : Беларуская навука, 2014. – 244 с.

6 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.

7 Волчек, А. А. Пакет прикладных программ для определения расчетных характеристик речного стока / А. А. Волчек, С. И. Парфомук // Веснік Палескага джэаржаўнага універсітэта. Серыя прыродазнаўчых навук. – 2009. – № 1. – С. 22–30.

8 Христофоров, А. В. Теория случайных процессов в гидрологии / А. В. Христофоров. – М. : Из-во МГУ, 1994. – 141 с.

9 Логинов, В. Ф. Практика применения статистических методов при анализе и прогнозе природных процессов / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, П. В. Шведовский. – Брест : Изд-во БГТУ, 2004. – 301 с.

10. Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси: справочник / Мин-во природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь; под общ. ред. М. А. Гольберга – Минск : белорусский научно-исследовательский центр Экология, 2002. – 132 с.

11. Рутковский, П. П. Проблема наводнений в Республике Беларусь и пути её решения / П. П. Рутковский / Природные ресурсы. – 2001. – № 2. – С. 59 – 63.

12. Швец, Г. И. Выдающиеся гидрологические явления на юго-западе СССР / Г. И. Швец. – Л. : Гидрометеиздат, 1972. – 244 с.

13. Волчек, А. А. Многоводная Припять / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Гісторыка-культурная спадчына Брэсцка-Пінскага Палесся: паміж мінулым і будучыняй (да 450-годдзя г. Століна): матэрыялы III Міжнар. навук. канф., Столін, 28–29 чэрв. 2005 г. / Брэсц. абл. выкан. кам., Столін. раён. выкан. кам.; Брэсц. дзярж. ун-т імя А.С. Пушкіна; рэдкал.: А.М. Вабішчэвіч (адк. рэд.), [і інш.]. – Брэст : Выд-ва БрДУ, 2006. – С. 332–338.

14. Волчек, А. А. Половодья на реках Беларуси: закономерности формирования и прогноз / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2012. – 216 с.

15. Волчек, Ан. А. Трансформация максимальных расходов воды весеннего половодья рек Беларуси / Ан. А. Волчек // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: тэзісы дакл. III Міжнар. навук. канф., Брэст, 7–9 чэрв. 2006 г. / Академия, рэдкал.: М.В. Міхальчук (адк. рэд.), [і інш.]. – Брэст, 2006. – С. 219.

16. Волчек, Ан. А. Трансформация максимальных расходов воды весеннего половодья рек Беларуси / Ан. А. Волчек // Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця: матэрыялы III Міжнар. навук. канф., Брэст, 7–9 чэрв. 2006 г. / Академия, рэдкал.: М.В. Міхальчук (адк. рэд.), [і інш.]. – Брэст, 2006. – С. 413 – 419.

17. Логинов, В. Ф. Водный баланс речных водосборов Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек. – Минск : Тонпик, 2006. – 160 с.

18. Волчек, А. А. Изменение сроков наступления максимальных расходов воды весеннего половодья на реках Беларуси / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Вест. Фонда фундамент. исслед. – 2008. – № 1. – С. 54 – 59.

19. Волчек, А. А. Изменение дат наступления пиков половодий на реках Беларуси / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Географические проблемы сбалансированного развития староосвоенных регионов: материалы Междунар. науч.-практич. конф., Брянск, 25–27 окт. 2007 г. / РИО БГУ; редкол.: Л.М. Ахромеев [и др.]. – Брянск, 2007. – С. 163 – 168.

20. Волчек, А. А. Трансформация дат наступления максимальных расходов воды весеннего половодья на реках Беларуси / А. А. Волчек, Ан. А. Волчек // Региональные проблемы экологии: пути решения: материалы IV междунар. экологического симпозиума, Полоцк, 26–27 нояб. 2007 г.: в 3 т. / Полоц. гос. ун-т; редкол.: В. К. Липский [и др.]. – Новополоцк, 2007. – Т. I. – С. 64–68.