

А.В. Сукан, О.В. Байдук

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ВОДНЫЙ РЕЖИМ РЕК ЮЖНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЕЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

A.V. Sikan, O.V. Baiduk

IMPACTS OF CLIMATE CHANGE ON RIVERS WATER REGIME OVER SOUTHERN AND EASTERN PART OF THE REPUBLIC OF BELARUS

В работе исследуется влияние изменений климата на гидрологический режим рек Беларуси. Показано, что повышение температуры воздуха в последние 25 лет привело к увеличению стока меженных периодов и снижению стока весеннего половодья.

Ключевые слова: изменение климата, температура воздуха, гидрологический режим, тренды, максимальные расходы воды, минимальные расходы воды.

This article examines the impact of climate change on hydrological regime of rivers in Belarus. It has been shown that temperature increase for the last 25 years has led to the increase of low flow and the reduction in spring flood flow.

Key words: climate change, air temperature, hydrological regime, trends, maximum flow rate, minimum flow rate.

В последние годы вопросу влияния климата на гидрологический режим рек Беларуси посвящено достаточно большое количество публикаций [1–4 и др.]. При этом все авторы сходятся во мнении, что изменение климата существенным образом повлияло на основные характеристики водного режима, однако это влияние по-разному проявляется для различных видов стока.

В настоящей работе был выполнен анализ изменения основных характеристик речного стока рек южной и восточной частей Республики Беларусь. Согласно гидрологическому районированию Беларуси [6], исследуемые реки относятся к Верхнеднепровскому, Центрально-Березинскому и Припятскому районам. В работе использованы данные наблюдений по 22 гидрометрическим постам и метеорологические данные по 12 метеостанциям. Анализировались ряды: максимальных расходов воды весеннего половодья, слоев весеннего половодья, максимальных расходов дождевых паводков, среднегодовых расходов воды, минимальных суточных зимних расходов воды, минимальных суточных летних расходов воды, среднегодовых температур воздуха, годовых сумм осадков, максимальных запасов воды в снеге. Большинство гидрологических рядов имели продолжительность более 50 лет и включали данные наблюдений за период до 2011 г. Распределение гидрологических постов по грациям площадей водосборов представлено в табл. 1.

На первом этапе была выполнена проверка всех рядов на однородность с использованием критериев Фишера и Стьюдента [5] и проверка на значимость линейных трендов.

Таблица 1

Распределение гидрологических постов по градациям площадей водосборов

Диапазон площадей водосборов, А км ²				
$A \leq 200$	$1000 < A \leq 5000$	$5000 < A \leq 10000$	$A > 10000$	всего
1	4	4	11	22

Для оценки линейных трендов использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции (R) для зависимости $X=f(t)$. Гипотеза об отсутствии тренда не опровергалась, если выполнялось условие:

$$|R| < t_{2\alpha} \sigma_R, \tag{1}$$

где X — исследуемая гидрометеорологическая характеристика; $t_{2\alpha}$ — теоретическое значение статистики Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5\%$; σ_R — стандартная ошибка коэффициента корреляции, определяемая по формуле:

$$\sigma_R = \frac{(1 - R^2)}{\sqrt{n - 1}}. \tag{2}$$

Результаты проверки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты проверки на однородность и стационарность рядов гидрометеорологических характеристик южной и восточной Беларуси

Гидрометеорологическая характеристика	Относительное число случаев опровержения гипотезы об однородности (%) при $2\alpha = 5\%$			Относительное число значимых трендов (%) при $2\alpha = 5\%$
	по критерию Фишера	по критерию Стьюдента	по критерию Фишера или Стьюдента	
Максимальные расходы воды весеннего половодья	55	68	77	77
Слои стока весеннего половодья	41	64	77	65
Максимальные расходы дождевых паводков	47	24	59	12
Среднегодовые расходы воды	18	9	27	18
Минимальные суточные зимние расходы воды	64	73	73	90
Минимальные суточные летние расходы воды	36	68	82	76
Среднегодовая температура воздуха	8	100	100	100
Годовые суммы осадков	25	8	33	25
Максимальные запасы воды в снеге	0	0	0	0

Как видно из таблицы, наименьшее влияние изменение климата оказало на среднегодовой сток и максимальные расходы дождевых паводков. Для остальных гидрологических характеристик число рядов со значимыми трендами составляет от 65 до 90 %. При этом в рядах максимальных расходов и слоев половодья тренды отрицательные, а в рядах минимальных расходов тренды положительные (рис. 1).

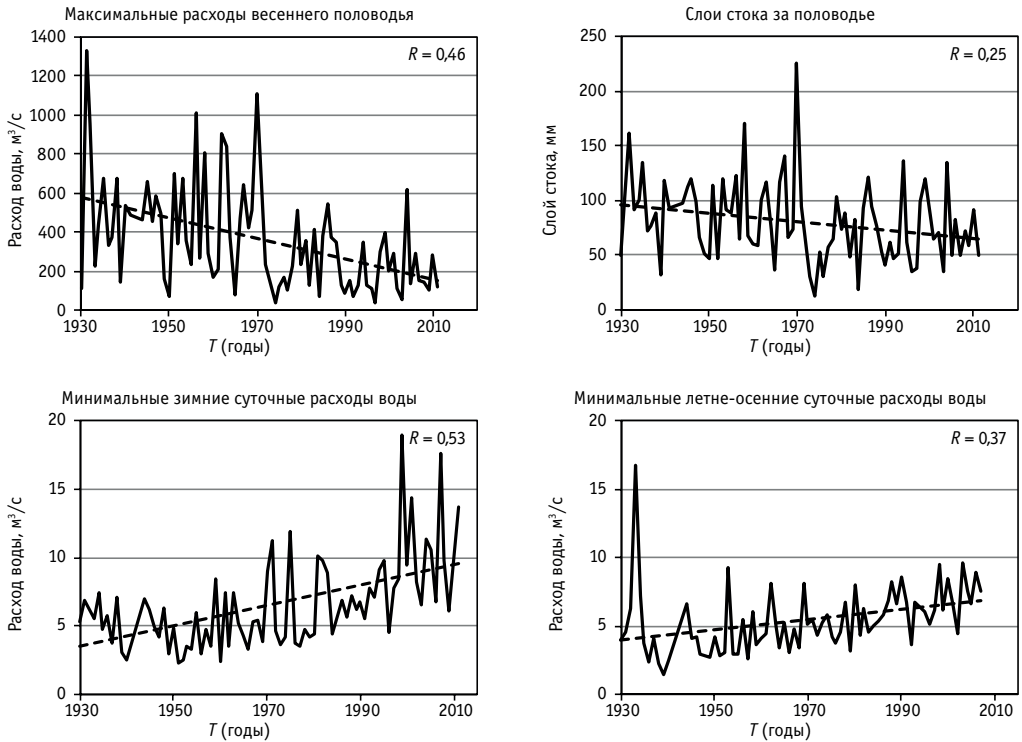


Рис. 1. Хронологические графики элементов водного режима; р. Беседь – г. Светиловичи; $A = 5010 \text{ км}^2$

Наиболее сильно выражены тренды в рядах максимальных расходов весеннего половодья и минимальных зимних суточных расходов воды, более слабо — в рядах слоев весеннего половодья и рядах минимальных летне-осенних суточных расходов воды. В рядах среднегодового стока и максимальных расходов дождевых паводков тренды либо вообще отсутствуют, либо выражены очень слабо.

Для выявления дат нарушения условий формирования стока строились интегральные кривые вида $\sum X = f(t)$ за период с 1945 по 2011 г. Установлено, что для рядов максимальных расходов весеннего половодья, слоев стока за половодье и минимальных суточных зимних расходов воды момент нарушения стока приходится на 1974 г., а для рядов минимальных летне-осенних суточных расходов в большинстве случаев — на 1987 г. (рис. 2, 3). Однако на некоторых реках интегральные кривые минимального летне-осеннего стока могут иметь точку перелома и в 1974 г. или две точки перелома (рис. 4).

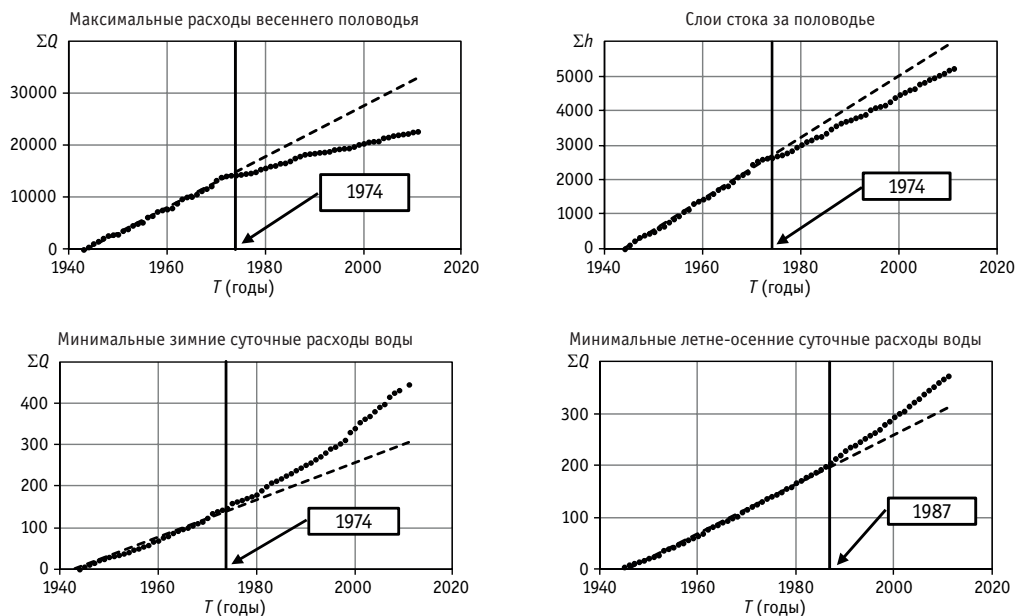


Рис. 2. Интегральные кривые характеристик речного стока; р. Беседь – г. Светиловичи; $A = 5010 \text{ км}^2$

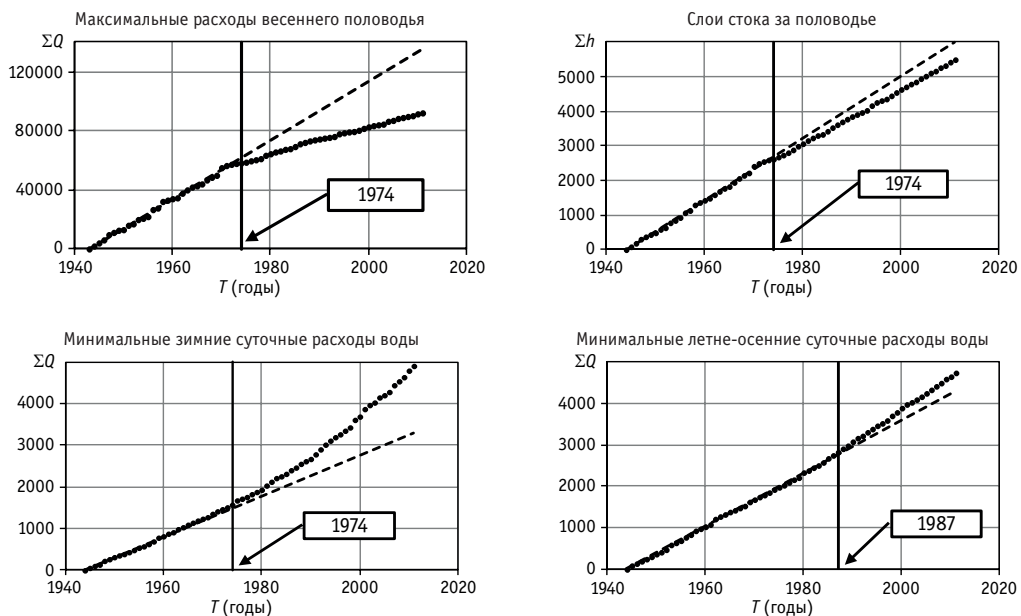


Рис. 3. Интегральные кривые характеристик речного стока; р. Сож – г. Гомель; $A = 38900 \text{ км}^2$

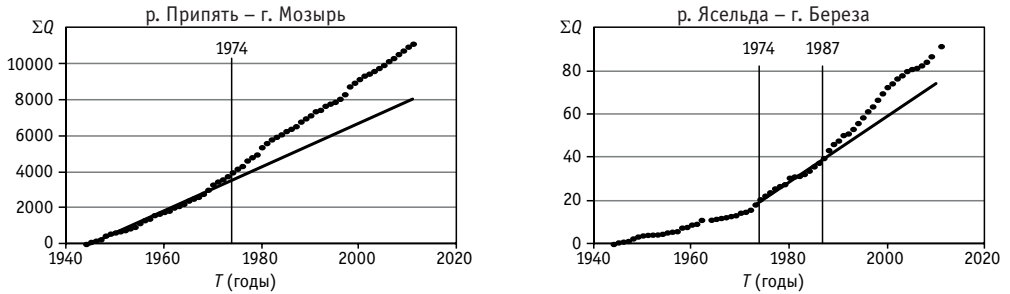


Рис. 4. Интегральные кривые минимальных летне-осенних суточных расходов воды с точкой перелома в 1974 г. и с двумя переломными точками

Анализ климатических факторов показал, что на всех метеостанциях наблюдается значимый положительный тренд в рядах среднегодовых температур воздуха (см. табл. 2). В рядах годовых сумм осадков и максимальных запасов воды в снегу тренды либо выражены слабо, либо отсутствуют.

Изменение среднегодовых температур произошло главным образом за счет существенного повышения зимних температур, которое по некоторым метеостанциям в отдельные месяцы превышает 2 °С (рис. 5).

Для исследуемого региона ход среднегодовых температур воздуха носит синхронный характер; коэффициенты парной корреляции для всех рассмотренных метеостанций существенно превышают 0,7 (табл. 3). Поэтому для выявления особенностей колебаний температуры воздуха на территории южной и восточной Беларуси была построена разностная интегральная за 1881–2011 гг. по метеостанции Василевичи (наиболее длинный ряд) (рис. 6).

Таблица 3

Корреляционная матрица среднегодовых температур воздуха для 12 метеостанций юга и востока Республики Беларусь

№ м/с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1,00											
2	0,96	1,00										
3	0,97	0,97	1,00									
4	0,93	0,96	0,98	1,00								
5	0,95	0,98	0,98	0,99	1,00							
6	0,98	0,84	0,81	0,76	0,76	1,00						
7	0,98	0,97	0,99	0,97	0,97	0,97	1,00					
8	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,97	0,99	1,00				
9	0,96	0,99	0,97	0,97	0,98	0,77	0,97	0,99	1,00			
10	0,95	0,96	0,95	0,95	0,97	0,85	0,96	0,97	0,96	1,00		
11	0,98	0,96	0,96	0,92	0,95	0,96	0,98	0,98	0,96	0,97	1,00	
12	0,94	0,96	0,94	0,91	0,94	0,91	0,94	0,96	0,95	0,97	0,97	1,00

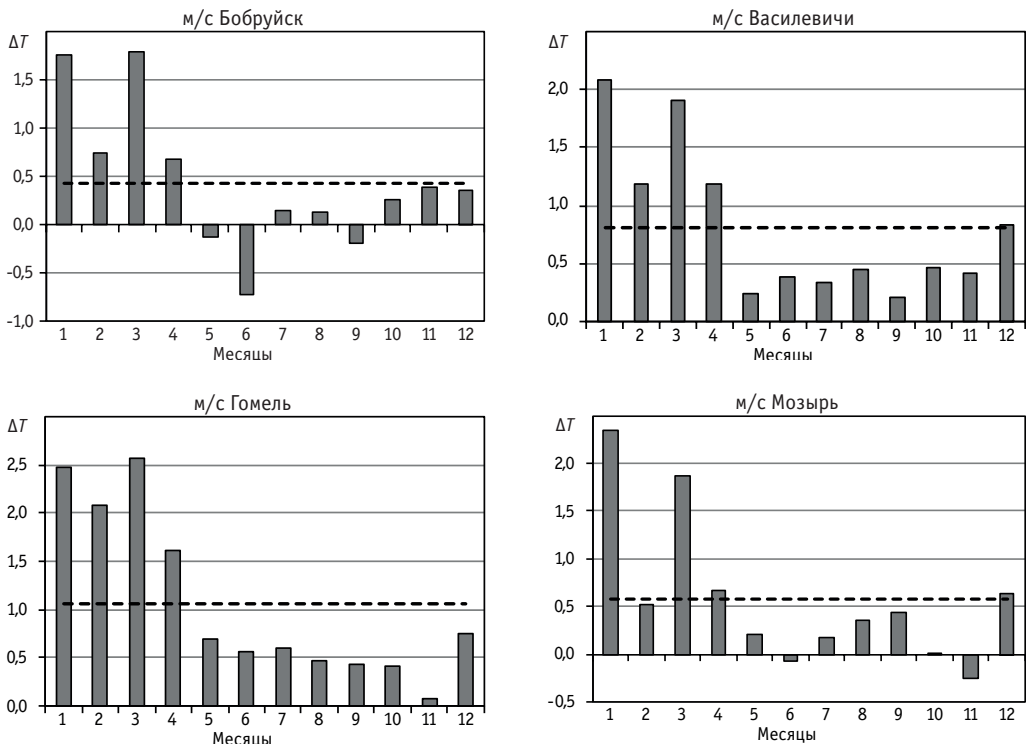


Рис. 5. Приращения средних многолетних месячных температур воздуха за период 1974–2011 гг. по сравнению с периодом 1945–1973 гг.

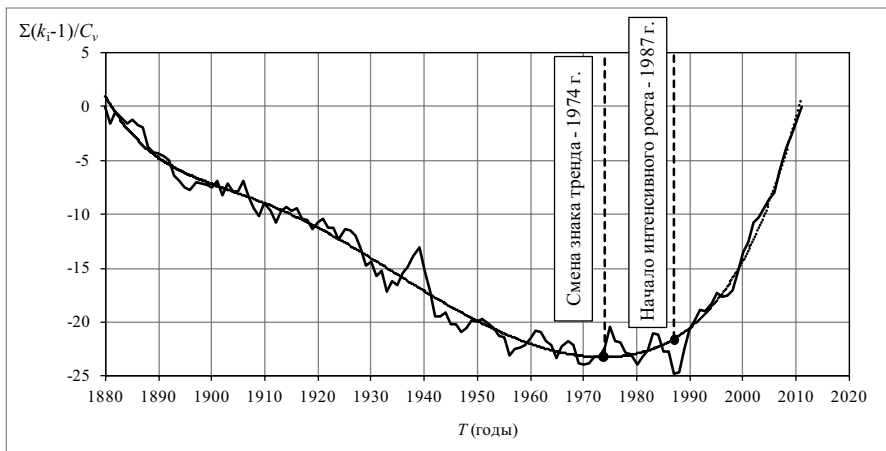


Рис. 6. Разностная интегральная кривая среднегодовых температур воздуха по м/с Василевичи за 1881–2011 гг. (пунктир — сглаженная кривая)

Как видно на рис. 6, 1974 г. на разностной интегральной кривой соответствует моменту изменения знака тренда с «-» на «+», а 1987 г. соответствует началу интенсивного роста.

Таким образом, здесь четко прослеживается связь изменений гидрологического режима с изменением температуры воздуха. Повышение зимних температур привело к увеличению оттепелей и, как следствие, к повышению минимального зимнего стока и уменьшению максимальных расходов и слоев весеннего половодья.

Отдельно следует сказать о повышении минимального летне-осеннего стока. Как показал анализ, заметного увеличения осадков в летне-осенний период в регионе не наблюдается (табл. 4).

Таблица 4

Оценка изменений осадков за летне-осенний период (VI–XI) на юге и востоке Беларуси

№	Метеорологическая станция	Средняя многолетняя сумма осадков, мм		$\Delta H = H_2 - H_1$, мм	$\Delta H, \%$
		по 1986 г. (H_1)	за 1987–2011 гг. (H_2)		
1	Бобруйск	398	385	-13	-3
2	Борисов	412	429	17	4
3	Василевичи	504	510	6	1
4	Гомель	466	493	27	6
5	Жлобин	383	379	-3	-1
6	Могилев	403	377	-26	-6
7	Мозырь	392	407	15	4
8	Октябрь	384	409	24	6
9	Орша	447	451	4	1
10	Пинск	370	382	12	3
11	Полесская	370	365	-5	-1
12	Пружаны	367	363	-4	-1
Среднее значение				+4,5	+1,1

Как видно из таблицы осадки за летне-осенний период увеличились по региону в среднем на 4,5 мм (на 1,1 %), а по отдельным метеостанциям наблюдалось их уменьшение. В то же время минимальный летне-осенний сток увеличился в среднем на 30–35 % (табл. 5).

Можно предположить, что основной причиной повышения минимального летне-осеннего стока является увеличение запасов грунтовых вод в бассейнах рек исследуемого региона. Подпитка грунтовых вод в зимний период за счет оттепелей и последующее их пополнение в период весеннего половодья препятствуют истощению грунтовых горизонтов и обеспечивают более высокие значения базисного стока в период летне-осенней межени.

В качестве характеристики базисного стока в данной работе использовался минимальный среднемесячный модуль стока, предшествующий весеннему половодью (минимальный среднемесячный модуль стока за январь-март) (табл. 6).

Таблица 5

Оценка изменений минимального летне-осеннего суточного стока рек южной и восточной Беларуси

№	Река – створ	Средний многолетний минимальный суточный модуль стока, л/с км ²		$\Delta q = q_2 - q_1$, л/с км ²	$\Delta q, \%$
		по 1986 г. (q_1)	за 1987–2011 гг. (q_2)		
54	Днепр – Орша	1,68	2,46	0,78	46
55	Днепр – Могилев	2,03	2,56	0,53	26
56	Днепр – Жлобин	2,15	2,71	0,56	26
57	Днепр – Речица	2,49	3,04	0,55	22
64	Березина – Бобруйск	2,69	3,14	0,45	17
79	Сож – Гомель	1,65	2,05	0,39	24
80	Вихра – Мстиславль	1,14	1,82	0,68	60
85	Беседь – Светиловичи	0,96	1,40	0,44	46
92	Припять – Черничи	1,42	1,74	0,33	23
94	Припять – Мозырь	1,46	1,87	0,41	28
109	Горынь – Малые Викоровичи	1,30	1,55	0,25	19
117	р. Уборть – Краснобережье	0,63	0,89	0,27	42
Среднее значение				+0,47	+32

Таблица 6

Оценка изменений базисного стока рек южной и восточной Беларуси

№	Река – створ	Средний многолетний минимальный среднемесячный модуль стока за январь-март, л/с км ²		$\Delta q = q_2 - q_1$, л/с км ²	$\Delta q, \%$
		по 1986 г. (q_1)	за 1987–2011 гг. (q_2)		
54	Днепр – Орша	1,92	3,68	1,76	92
55	Днепр – Могилев	2,36	4,14	1,79	76
56	Днепр – Жлобин	2,59	4,20	1,61	62
57	Днепр – Речица	2,90	4,56	1,66	57
64	Березина – Бобруйск	4,83	4,90	0,07	1,43
79	Сож – Гомель	2,01	3,66	1,65	82
80	Вихра – Мстиславль	1,94	3,92	1,99	103
85	Беседь – Светиловичи	1,48	2,81	1,33	90
92	Припять – Черничи	2,04	2,97	0,93	45
94	Припять – Мозырь	2,11	3,20	1,09	51
109	Горынь – Малые Викоровичи	2,04	2,99	0,94	46
117	Уборть – Краснобережье	1,58	3,25	1,67	106
Среднее значение				+1,37	+68

Как видно из табл. 6, за период с 1987 по 2011 г. минимальный месячный предпаводочный модуль стока увеличился более чем на 50 % по сравнению с предшествующим периодом. При этом прослеживается довольно четкая зависимость между приращением минимального суточного модуля летне-осеннего стока и приращением базисного стока (рис. 7).

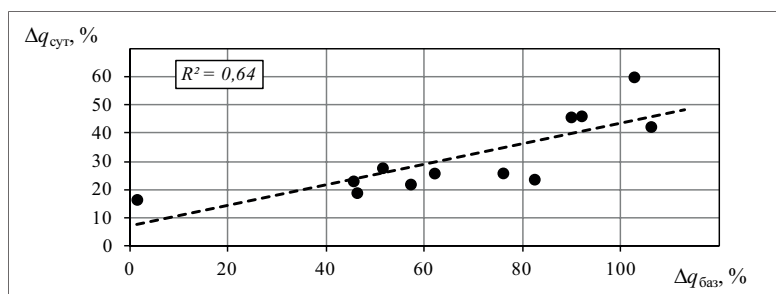


Рис. 7. Зависимость относительного приращения минимального суточного модуля летне-осеннего стока от относительного приращения базисного стока (первый период осреднения — с начала наблюдений по 1986 г., второй — с 1987 по 2011 г.)

Таким образом, можно констатировать, что основной причиной изменения водного режима рек южной и восточной Беларуси явилось повышение средней температуры воздуха в зимний период, которое составило +1,8 °С за последние 25 лет. Увеличение температуры не привело к изменению годового стока, а отразилось главным образом на его внутригодовом распределении: водность меженьных периодов увеличилась, а максимальные расходы и слои половодья снизились. Причем эти изменения более явно проявились на малых и средних реках. Количественные показатели изменения отдельных гидрометеорологических характеристик показаны в табл. 7.

Таблица 7

Изменение основных гидрометеорологических характеристик за 1987–2011 гг. по сравнению с предшествующим периодом на территории южной и восточной Беларуси

Гидрометеорологическая характеристика	Изменение	
	в среднем по региону	крупные реки, $A > 30\,000 \text{ км}^2$
Средние максимальные расходы весеннего половодья	–45 %	–41 %
Средние многолетние слои стока весеннего половодья	–15 %	–11 %
Средние минимальные суточные зимние расходы воды	+70 %	+57 %
Средние минимальные суточные летне-осенние расходы воды	+35 %	+25 %
Средние максимальные расходы дождевых паводков	нет изменений	
Средние многолетние расходы воды	нет изменений	
Средняя многолетняя сумма годовых осадков	нет изменений	

Гидрометеорологическая характеристика	Изменение	
	в среднем по региону	крупные реки, $A > 30\,000 \text{ км}^2$
Средние максимальные запасы воды в снеге	нет изменений	
Средняя многолетняя годовая температура воздуха	+1,0 °С	
Средняя многолетняя зимняя температура воздуха (за XII–III)	+1,8 °С	

Примечание. «нет изменений» означает, что изменение не превышает статистическую погрешность.

Литература

1. Волчек А.А., Грядунова О.И. Минимальный сток рек Беларуси (Основные закономерности формирования и методы расчета). — Брест: БрГУ, 2010. — 170 с.
2. Волчек А.А., Шелест Т.А. Формирование зимних паводков на реках Беларуси. // Учёные записки РГГМУ, 2012, № 25, с. 5–19.
3. Логинов В.Ф., Сачок Г.И., Микуцкий В.С. Изменения климата Беларуси и их последствия. — Минск: Тонпик, 2003. — 330 с.
4. Лопух П.С., Партасёнок И.С. Влияние атмосферной циркуляции на формирование гидрологического режима рек Беларуси. — Минск: БГУ, 2013. — 216 с.
5. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. — СПб.: Нестор-История, 2010. — 162 с.
6. Национальный атлас Беларуси. — Минск: Белкартаграфія, 2002. — 265 с.