

логического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата: материалы Междунар. науч. конф., Минск, 5-8 мая 2015 г. /редкол.: П. С. Лопух (отв. ред.) [и др.]; Белорус. гос. ун-т. – Минск : Изд. центр БГУ, 2015. – С. 243–245.

3. Коршунов, А. А. Анализ интенсивности воздействия опасных условий погоды на социально–экономическую систему / А. А. Коршунов, А. Ю. Рыбанова, А. А. Фокичева, М. З. Шаймарданов // Ученые записки РГГМУ. – 2018. – № 53. – С. 18–33.
4. Логинов, В. Ф. Опасные метеорологические явления на территории Беларуси / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока; Национальная академия наук Беларуси, Институт природопользования, 2010. – 129 с.
5. Логинов, В. Ф. Сравнение пространственно-временных особенностей изменений опасных метеорологических явлений в характерное и нехарактерное для них время года / В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, И. Н. Шпока // Природопользование: сб. науч. тр. Вып. 19. / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т природопользования НАН Беларуси; гл. ред. А. К. Карабанов. – Минск, 2011. – С. 5–21.
6. Медведько, М. В. Тенденции изменения интенсивности опасных гидрометеорологических явлений на территории Беларуси / М. В. Медведько // 78-я научная конференция студентов и аспирантов Белорусского государственного университета [Электронный ресурс]: материалы конф. В 3 ч. Ч. 1, Минск, 11–22 мая 2021 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол. : В. Г. Сафонов (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУ, 2022. – С. 433–437.
7. Сумак, Е. Н. Циклоническая активность и повторяемость опасных явлений погоды над территорией Беларуси. Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология / Е. Н. Сумак, И. Г. Семёнова– 2019. – № 2. – С. 79–93.
8. Шпока, И. Н. Пространственно-временное распределение опасных метеорологических явлений на территории Беларуси: автореф. дис. ... канд. геог. наук: 25.00.30 / И. Н. Шпока; Нац. акад. наук Беларуси. – М., 2012. – 19 с.
9. Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения, ТКП 17.10-06-2008 (02120) (01.01.2009). Минск : БелНИЦ «Экология», 2008. – 30 с.

УДК 556, 504.453, 551.583

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ПРОГНОЗНЫЕ ОЦЕНКИ ГИДРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

И. С. Данилович¹, Е. Г. Квач²

¹Институт природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь,
irina-danilovich@yandex.ru

²Белгидромет, Минск, Беларусь, sheg_82@mail.ru

Аннотация

В работе представлен анализ современных тенденций в режиме речного стока на территории Беларуси, связанных с изменением климата в последние десятилетия. Показано, что годовой сток в период 1948-2020 гг. характеризуется

отсутствием значимых трендов. Продолжается снижение максимальных расходов воды весеннего половодья, которое зафиксировано с конца 1970-х гг., и усилившееся в 1990-2020 гг. Наибольшие изменения характерны для бассейнов малых рек вследствие их более высокой чувствительности к климатическим аномалиям. В теплый период года отмечены малые изменения доли летне-осеннего стока, но установлен рост повторяемости маловодных периодов на реках и одновременный рост высоты дождевых паводков на большинстве рек страны. Прогнозные оценки показывают дальнейшие колебания годового стока рек в пределах 10%, снижение максимального и увеличение минимального стока летне-осенней межени.

Ключевые слова: изменение климата, речной сток, половодье, паводок, межень, климатические проекции.

CURRENT CHANGES AND PROJECTIONS OF HYDROCLIMATE CHARACTERISTICS OVER TERRITORY OF BELARUS

I. S. Danilovich, A. H. Kvach

Abstract

The study presents an analysis of current trends in the river runoff regime within the territory of Belarus, associated with a climate change in recent decades. It is shown, that the annual runoff is characterized the absence of significant trends during the period 1948-2020. The decrease of spring maximum discharges continues since the late 1970s, and intensified in 1990-2020. The greatest changes are typical for small river basins due to their higher sensitivity to climate anomalies. In the warm period of the year, small changes were noted in the summer-autumn low-flow. However, an increase of hydrological droughts frequency and an increase of rain floods height was established on most rivers of the country. Hydrological projections show further fluctuations in the annual river flow within 10%, a decrease of spring maximum discharges and an increase of the minimum streamflow in summer-autumn.

Keywords: climate changes, runoff, flood, low-flow, climate projections.

Введение. Изменение климата, отмечающееся в последние десятилетия на глобальном уровне, имеет свои региональные различия. Изменения гидрологического режима связаны с разнонаправленными тенденциями выпадения осадков и повышением температуры воздуха, в том числе в зимний сезон, и проявляются в увеличении/уменьшении повторяемости и высоты наводнений на реках в Европейском регионе. В частности, паводки увеличились в северо-западной и некоторых частях центральной Европы, вызванные увеличением осенних и зимних дождей; но при этом снизились в южной части Европы из-за уменьшения количества осадков и увеличения испарения; в северо-восточной Европе паводки уменьшились из-за сокращения снежного покрова и быстрого таяния снега.

Повторяемость наводнений различных градаций на реках Беларуси уменьшилась в последние десятилетия, наиболее часто наводнения отмечались в 1950-60-ые гг., в период потепления климата в связи с повышением температуры воздуха, в том числе в зимний сезон, и быстрым расхождением запасов воды в снеге, половодья на реках Беларуси отмечают реже, а в некоторые годы на отдельных реках не выражены [1].

Изменение климата также повлияло на сроки наводнений. К этим изменениям относятся весенние паводки в результате таяния снегов в северо-восточной Европе, которые стали отмечаться раньше (на реках Беларуси сроки прохождения весеннего половодья сместились на месяц раньше обычного), зимние паводки в бассейне Северного моря и части побережья Средиземного моря, происходящие позже из-за отложенных зимних штормов, и зимние паводки в Западной Европе, наблюдающиеся раньше, вызванные более ранними максимумами влажности почвы [2].

Согласно прогнозам, наводнения повторяемостью 1 раз в 100 лет увеличатся в большинстве регионов Европы, наибольший рост прогнозируется в центральной и восточной Европе. Напротив, сокращение катастрофических наводнений прогнозируется для некоторых частей северной Европы (из-за уменьшения запасов снега и, следовательно, наводнений, связанных со снеготаянием) и для юга Испании и Турции (из-за уменьшения количества осадков) [3].

Гидрологический прогноз для регионов Европейской территории России (ЕТР) [4] показывает, что для северных территорий ожидается увеличение осадков и температур, что дает незначительные изменения среднемноголетнего стока, но вызывает значительную перестройку внутригодового распределения стока, для центрального региона значимые изменения стока возможны при реализации сценария RCP8.5. Для равнинных территорий на юге ЕТР ожидается неблагоприятное сочетание повышения температур со снижением количества осадков.

Минимальный сток снизился в южной Европе и на большей части центральной Европы, тогда как в северной Европе он увеличился [5]. По прогнозам, в большинстве европейских регионов, за исключением центрально-восточной и северо-восточной Европы, прогнозируются все более сильные гидрологические засухи [6]. На реках Беларуси незначительно изменилась доля летнего и осеннего стока, но при этом наблюдается тенденция снижения наименьших уровней летне-осенней межени.

В связи с разнонаправленными изменениями современных и ожидаемых изменений в режиме речного стока на территории Европы, цель настоящей работы заключалась в установлении тенденций и количественных оценок трансформации стока рек на территории Беларуси, связанных с изменением климата.

Материалы и методы. Для оценки гидрологического режима рек на территории Беларуси использованы данные инструментальных измерений на 32 гидрологических постах государственной сети гидрометеорологических наблюдений Белгидромета Минприроды. В качестве исходных данных использованы среднемесячные и характерные расходы воды: наибольшие расходы весеннего половодья и дождевых паводков, наименьшие расходы зимней и летне-осенней межени.

Количественная оценка трансформации водного режима выполнена за период 1948-2020 гг., для установления особенностей режима рек в период заметного изменения климата Беларуси принят период 1989-2020 гг.

Расчет прогнозных гидрологических характеристик выполнялся с использованием численной модели «Гидрологические прогнозы для окружающей среды»

(Hydrological Predictions for the Environment, HYPE) [7] за период 2030-2040 гг. для трех сценариев концентрации парниковых газов RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5.

Результаты и обсуждение. Исследования изменения режима рек в связи с потеплением климата на территории Беларуси не выявили значимых трендов годового речного стока [8-11]. Между тем внутригодовое распределение стока за последние десятилетия существенно изменилось. В частности, значительно увеличился сток в периоды зимней межени. Это увеличение было связано с увеличением повторяемости оттепелей, что привело к частым зимним паводкам, приходящимся на период зимней межени, в то время как весенний сток и высота половодий уменьшались из-за истощения запасов воды в снеге перед началом весеннего снеготаяния.

Согласно выводам исследования [9] произошло уменьшение максимальных паводковых расходов во время весеннего снеготаяния в бассейне Западной Двины до 20 %, в бассейнах рек Неман, Днепр и Припять до 50-60 % в период 1989-2005 гг. Даты начала половодья в этот период сдвинулись на более ранние сроки на 11-22 дня.

В работе [12] установлено, что с 1970 гг. и более значительно с 1990 гг. снижение максимального стока наблюдается по всей территории Беларуси, причем наибольшие изменения характерны для северо-запада страны. В бассейне реки Западная Двина снижение составляет от 15 до 18 л/с км². Наименьшие изменения снижения стока весеннего половодья были на юге и в центре страны, в основном в бассейне реки Припять, где изменения составляли от 4 до 18 л/с км².

Результаты исследования [13] показали, что наибольшее снижение максимальных расходов произошло в бассейне реки Вилия (Неман) до 50-80% в 1989-2009 гг. по сравнению с 1951-1987 гг. и объясняется частичным перебросом речного стока в бассейн реки Свислочь (Днепр). Наименьшие изменения в пределах 0-10% наблюдались в верхнем течении бассейна р. Припять, что связано с более интенсивными мелиоративными работами в этом районе.

Авторами в работе [14] установлено, что максимальные уровни весеннего половодья снизились на 3-56 см в бассейне рек Западной Двины, на 13-108 см в бассейнах рек Неман и Западный Буг, на 17-148 см в бассейне р. Днепр и на 7-60 см в бассейне р. Припять в 1989-2015 гг. Начало весеннего половодья сместилось в среднем на 4-12 дней в сторону ранних сроков.

В исследовании [10] выявлен рост весеннего стока в юго-восточной части страны на 15-40% и снижение на 6-30% на юго-западе в 1986-2015 гг. по сравнению с периодом 1961-1985 гг.

В работе [15] показаны значительные отрицательные тренды наибольших расходов воды во время весеннего половодья для верхнего и среднего течения реки Западная Двина. Оценки изменения стока колеблются в пределах 69-89 м³/с за десятилетие с наибольшими значениями в среднем течении и наименьшими значениями трендов в верхнем течении бассейна.

В исследовании [16] установлено продолжающееся снижение максимальных расходов во всех речных бассейнах в 1989-2020 гг. Наибольшие изменения были выявлены в бассейнах малых рек в связи с их большей чувствительностью к

климатическим аномалиям, таким как экстремальные осадки или засухи. Отрицательные тренды модулей максимального стока рек колеблются от 5-6 л/с км² за десятилетие в бассейнах малых рек до 1-3 л/с км² за десятилетие в бассейнах больших рек на территории Беларуси.

В режиме летне-осенней межени изменения характеризуются разнонаправленными тенденциями. В работе [17] авторами установлено, что минимальный летне-осенний сток в период 1966-2000 гг. по сравнению с 1932-1965 гг. увеличился на большинстве рек Беларуси. Снижение минимального стока отмечено лишь в бассейне реки Западный Буг и верховье бассейна р. Припять. Согласно исследованию [18], на реках бассейнов Западной Двины, Немана и Днепра в период 1966-2010 гг. отмечается уменьшение величины дождевых паводков, в бассейне р. Припять – в основном увеличение на 10-20%.

В работе [19] показано, что в бассейне реки Западная Двина доля летне-осеннего стока мало изменилась, но увеличилась высота дождевых паводков на 1-5 л/с км² за период 1989-2020 гг. по сравнению с 1948-1988 гг. В бассейне реки Неман на некоторых притоках незначительно снизилась доля летне-осенней межени и на большинстве рек существенно снизилась высота дождевых паводков теплого периода (на 2-6 л/с км²). Отличительной особенностью периода потепления является значительный недобор осадков в бассейне Немана и рост повторяемости гидрологических засух до 25 %.

В бассейне реки Днепр доля летне-осеннего стока по бассейну характеризуется увеличением до 4 % (кроме р. Березина). Характерной особенностью для бассейна является увеличение значений наибольших расходов воды во время прохождения теплых дождевых паводков на 1-3 л/с км² и наименьших расходов воды периода открытого русла на 0,1-0,25 л/с км².

В бассейне реки Припять доля летне-осенней межени значимо не изменилась (в пределах 2-3%), но отмечается увеличение значений наименьших расходов воды в период открытого русла на 0,1-0,15 л/с км² и увеличение высоты дождевых паводков на главной реке на 0,8-0,9 л/с км², и снижение их на притоках на 0,9-2,4 л/с км²

Согласно расчетам гидрологической модели НУРЕ, дальнейшее изменение гидрологического режима рек Беларуси ожидается в соответствии с происходящими тенденциями. В годовом стоке в период 2030-2040 гг. при реализации сценария RCP2.6 прогнозируются незначительные изменения в режиме рек на большей части страны, за исключением бассейна реки Днепр, где ожидается снижение годового стока до 10% за счет пространственной неоднородности выпадения осадков и меньшего количества осадков (в пределах 10-15 мм) за сезон по сравнению с другими бассейнами, особенно весной и осенью. При реализации сценария RCP4.5 и RCP8.5 ожидается увеличение годового стока во всех речных бассейнах в пределах 5-10 %.

Изменение максимального стока весеннего половодья в сторону снижения в пределах 6-7 % ожидается при сценарии RCP2.6; при сценарии RCP4.5 значимых изменений не ожидается; при сценарии RCP8.5 ожидается снижение на 10-13 % только в бассейне реки Западная Двина. В бассейне реки Неман снижение максимального стока предположительно составит 8-11% при реализации сценария

RCP2.6, и сохранится на прежнем уровне без значимых изменений при реализации остальных сценариев концентрации парниковых газов. В бассейне реки Днепр при сценарии RCP2.6 ожидается снижение максимального стока на 10-15 %; при сценарии RCP4.5 прогнозируются незначительные изменения; при RCP8.5 в верховье бассейна снижение составит до 14 %, в среднем и нижнем течении до 5 %. В бассейне реки Припять при всех сценариях концентрации парниковых газов значимых изменений максимального стока не прогнозируется.

Расчеты показали увеличение минимального стока летне-осенней межени в 2030-2040 гг. без значимых различий по сценариям: в бассейне р. Западная Двина на 20-35%, в бассейне реки Неман на 8-26 %, в бассейне р. Днепр на 6-16 %, в бассейне р. Припять на 2-19 %, на большинстве притоков в пределах 7-9 %. Увеличение стока в летне-осенний период можно объяснить ожидаемым ростом сезонных сумм осадков, в частности увеличением отклонений сумм осадков высокой интенсивности на фоне роста продолжительности засушливых периодов.

Заключение. В режиме годового стока рек Беларуси в последние десятилетия отмечается чередование высоких и низких по водности лет. Продолжается снижение максимальных расходов воды весеннего половодья, и достигает в сравнении с многолетними показателями 1-6 л/с км². Наибольшие изменения были выявлены в бассейнах малых рек в связи с их большей чувствительностью к климатическим аномалиям, таким как экстремальные осадки и засухи.

На режим межени стока в теплый период года оказали влияние изменения в структуре выпадения осадков, которые заключаются в росте максимальных сумм осадков и одновременном росте числа дней без осадков и повторяемости засух [19]. На реках отмечается увеличение повторяемости очень маловодных периодов во всех речных бассейнах, и одновременно увеличение высоты дождевых паводков и/или рост наименьших расходов воды периода открытого русла (кроме бассейна р. Неман).

Прогнозные оценки речного стока показывают, что в бассейне реки Западная Двина ожидается небольшое изменение годового стока – от нормы до 10 %, максимальный сток весеннего половодья может снизиться на 6-13 %. Сток летне-осенней межени предположительно увеличится на 10-30 %.

В бассейне реки Неман годовой сток предположительно увеличится на 5-10%, изменение максимального стока весеннего половодья ожидается в сторону снижения на 8-11%, изменение летне-осеннего стока прогнозируется в сторону увеличения на 8-26 %.

В бассейне р. Днепр при сценарии RCP2.6 ожидается снижение годового стока в пределах 10 %, при сценариях RCP4.5 и RCP8.5 – увеличение на 5-10 % вследствие роста осадков. Расчеты показали снижение максимального стока весеннего половодья в верховье на 10-15 %, в среднем и нижнем течении реки до 5 %. Минимальный сток летне-осенней межени предположительно увеличится на 6-16 %.

В бассейне реки Припять изменения годового стока возможны в сторону повышения на 5-10 %. Максимальный сток весеннего половодья продолжит снижение, но величина изменения незначительна. В период летне-осенней межени возможно увеличение минимального стока на 2-19 % на основной реке и на 7-9 % на притоках.

Список цитированных источников

1. Данилович, И. С. Особенности формирования водности рек Беларуси в последние десятилетия / И. С. Данилович, Л. Н. Журавович, М. Е. Нагибина, Е. Г. Квач // Природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 5–12.
2. Blöschl, G. Changing Climate Shifts Timing of European Floods / Blöschl, G., Hall, J., Parajka, J., Perdigão, R.A.P., Merz, B., Arheimer, B., Aronica, G.T., Bilibashi, A., Bonacci, O., Borga, M., Čanjevac, I., Castellarin, A., Chirico, G.B., Claps, P., Fiala, K., Frolova, N., Gorbachova, L., Gül, A. // Science. – 2017. – Т. 357. – P. 588–590.
3. Alfieri, L. Global Warming Increases the Frequency of River Floods in Europe / Alfieri, L. // Hydrology and Earth System Sciences. – 2015. – №. 19. – P. 2247–2260. doi: 10.5194/hess-19-2247-2015.
4. Сидорова, М. В. Влияние региональных изменений климата на возникновение экстремальных гидрологических ситуаций на Европейской территории России в XXI века // Институт географии РАН. – 2020. – РФФИ 18-05-00891. – 175 С.
5. Gudmundsson, L. Anthropogenic Climate Change Detected in European Renewable Freshwater Resources / Gudmundsson, L., Seneviratne, S. и Zhang, X. // Nature Climate Change. – 2017. – №. 7. – P. 813–816.
6. Cammalleri, C. Global Warming and Drought Impacts in the EU / Cammalleri, C., Naumann, G., Mentaschi, L., Formetta, G., Forzieri, G., Gosling, S., Bisselink, B., Roo, A., Feyen, L. // JRC PESETA IV Project. – 2020. – DOI:10.2760/597045.
7. Lindström, G. Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – A water quality model for different spatial scales. // Hydrology Research. – 2010. – DOI: 10.2166/nh.2010.007.
8. Логинов, В. Ф. Водный баланс речных водосборов // В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, Минск : Тонпик. – 2006. – 160 с.
9. Полищук, А. И. и Чекан, Г. С. [ред.]. Гидрологический мониторинг Республики Беларусь. Минск : Книгазбор, 2009. – 275 с.
10. Волчек, А. А. Водные ресурсы Беларуси и их прогноз с учетом изменения климата / А. А. Волчек, В. Н. Корнеев, Брест : Альтернатива, 2017. – 240 с.
11. Лопух, П. С. Влияние атмосферной циркуляции на формирование гидрологического режима рек Беларуси / П. С. Лопух, И. С. Партасенок, Минск : БГУ, 2014. – 224 с.
12. Partasenok, I. Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus // Partasenok, I., Groisman, P., Melnik, V., Chekan, R. // Environ. Res. Lett. – 2014. – № 9. – doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/109602.
13. Логинов, В. Ф. Весенние половодья на реках Беларуси: пространственно-временные колебания и прогноз // В. Ф. Логинов, А. А. Волчек, А. А. Волчек, Минск : Беларуская навука, 2014. – 244 с.
14. Данилович, И. С. Особенности формирования водности рек Беларуси в последние десятилетия / И. С. Данилович, Л. Н. Журавович, Е. Г. Квач, М. Е. Нагибина // Природные ресурсы. 2017. – № 2. – С. 5–12.
15. Danilovich, I. The Past and Future Estimates of Climate and Streamflow Changes in the Western Dvina River Basin / Danilovich, I., Zhuravlev, S., Kurochkina, L.,

Groisman, P. //Frontiers in Earth Science. – 2019. – № 7. – doi: 10.3389/feart.2019.00204.

16. Логинов, В. Ф. Современные и ожидаемые гидроклиматические изменения в бассейнах Балтийского и Арктических / В. Ф. Логинов, И. С. Данилович, Л. М. Китаев, Е. М. Акентьева // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2022. – №. 66(3). – С. 338–347.
17. Волчек, А. А. Минимальный сток рек Беларуси / А. А. Волчек, О. И. Грядунова // Брест : БрГУ имени А.С. Пушкина, 2010. – 300 с.
18. Волчек, А. А. Паводки на реках Беларуси / А. А. Волчек, Т. А. Шелест // Брест : БрГУ, 2016. – 199 с.
19. Данилович, И. С. Современные изменения режима увлажнения в теплый период и условий формирования стока летне-осенней межени на реках Беларуси / И. С. Данилович, Н. Г. Пискунович // Природные ресурсы. – 2021. – № 1. – С. 22–33.

УДК 551.79.561(476)

ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИ ИЗУЧЕННЫЕ РАЗРЕЗЫ СРЕДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА БЕЛАРУСИ СТАТУСА ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ ПРИРОДЫ

Я. К. Еловичева

УО «Белорусский государственный университет», г. Минск, Беларусь,
yelovicheva@yandex.ru

Аннотация

В статье приведены данные о природных обнажениях и искусственных объектах горных пород среднего плейстоцена в статусе геологических памятников природы республиканского значения на территории Беларуси, отложения которых были исследованы палинологическим методом.

Ключевые слова: геологические разрезы, объекты, природное наследие, палинологический метод.

PALYNOLOGICALLY STUDYED SECTIONS OF BELARUS OF THE STATUS OF GEOLOGICAL MONUMENTS OF NATURE

Ya. K. Yelovicheva

Abstract

The article presents data on natural outcrops and artificial objects of Middle Pleistocene rocks in the status of geological natural monuments of republican significance on the territory of Belarus, the deposits of which were studied by the palynological method.

Keywords: geological sections, objects, natural heritage, palynological method.

Введение. За последние 800 тыс. лет территория Беларуси неоднократно подвергалась воздействию Скандинавских ледниковых покровов, которые формировали разнообразные формы рельефа, способствовавшие созданию уникальных природных объектов в виде геологических разрезов – выходящих на