



УДК 551.581.1,551.582,551.584

ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ В РЕЖИМЕ УВЛАЖНЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ ТРАНСФОРМАЦИИ КЛИМАТА

И. С. ДАНИЛОВИЧ^{1),2)}, Н. Г. ПИСКУНОВИЧ²⁾

¹⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

²⁾Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,
ул. Ф. Скорины, 10, 220114, г. Минск, Беларусь

Проведено исследование современных и ожидаемых изменений в режиме увлажнения на территории Беларуси. Выполнена оценка динамики средних и экстремальных характеристик осадков и показателей засушливости климата за 1948–2019 гг. и более детально за 1989–2019 гг. (период потепления климата), а также ожидаемых изменений в режиме увлажнения в 2021–2099 гг. Показано, что в зимний сезон увеличение осадков в 1989–2019 гг., составляющее 20–30 % по сравнению с уровнем 1948–1988 гг., происходит за счет роста числа дней с осадками малой интенсивности и связано с увеличением продолжительности выпадения осадков в жидком виде. В летний сезон отмечается сокращение продолжительности выпадения осадков на всей территории страны на 20 %, что свидетельствует о возрастании засушливости климата, и одновременно увеличение максимальных сумм осадков на 20–30 % с наибольшим приростом в южных районах. Наблюдается рост числа дней с низкой влажностью на 1–4 дня, числа дней с сочетанием высокой температуры и низкой влажности на 1–2 дня за 10 лет и повторяемости атмосферных засух различных градаций от 2 до 26 % на большинстве метеорологических станций страны. Согласно расчетам климатических моделей EURO-CORDEX-11 ожидается увеличение годовых и сезонных сумм осадков с наибольшим ростом в зимний период, оно будет обусловлено выпадением осадков высокой интенсивности в течение всего года. Но вместе с тем прогнозируется увеличение продолжительности засушливых периодов в летне-осенний сезон, что свидетельствует о дальнейшем нарастании экстремальности климата.

Ключевые слова: трансформация климата; режим увлажнения; суточные максимумы; продолжительность выпадения осадков; стандартизированные индексы осадков; засухи; климатические проекции.

PRECIPITATION EXTREMES OVER TERRITORY OF BELARUS UNDER CURRENT CLIMATE CHANGE

I. S. DANILOVICH^{a, b}, N. G. PISKUNOVICH^b

^aBelarusian State University, 4 Niezaliežnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

^bInstitute of Nature Management, National Academy of Sciences of Belarus,
10 F. Skaryny Street, Minsk 220114, Belarus

Corresponding author: I. S. Danilovich (irina-danilovich@yandex.ru)

Образец цитирования:

Данилович ИС, Пискунович НГ. Экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси в условиях трансформации климата. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2021;2:32–44. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-32-44>

For citation:

Danilovich IS, Piskunovich NG. Precipitation extremes over territory of Belarus under current climate change. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2021; 2:32–44. Russian. <https://doi.org/10.33581/2521-6740-2021-2-32-44>

Авторы:

Ирина Сергеевна Данилович – кандидат географических наук, доцент; доцент кафедры общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики¹⁾, ведущий научный сотрудник Центра климатических исследований²⁾.

Никита Геннадьевич Пискунович – младший научный сотрудник Центра климатических исследований.

Authors:

Irina S. Danilovich, PhD (geography), docent; associate professor at the department of earth science and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics^a, and leading researcher at the Center for Climate Research^b.

irina-danilovich@yandex.ru

Nikita G. Piskunovich, junior researcher at the Center for Climate Research.

phenosphere@gmail.com





The study presents an investigation of current and future changes in precipitation regime over territory of Belarus. An assessment of precipitation means and extremes and droughts indices was provided for period of 1948–2019 and more detailed analysis have been carried out for period of climate change in 1989–2019. The precipitation expected changes were studied for period of 2021–2099. It was established that precipitation growth up to 20–30 % in winter during 1989–2019 in comparison by 1948–1988, is connected with increase the number of days with weak precipitation and caused by growing duration of liquid precipitation falling. In summer the reducing of rain falling duration was noticed over territory of Belarus. At the same time the significant growth of precipitation maximal totals per day by 20–30 % was detected. The largest growth was found in the south of the country. Dry days number raised by 1–4 days and dry and hot days numbers raised by 1–2 days per decade. The repeatability of atmosphere droughts of different gradations increased up to 2–26 % by the majority of meteorological stations. According to climate projections based on the EURO-CORDEX-11, the growth of yearly and seasonal precipitation is expected over territory of Belarus. The precipitation increase is connected with growth of intense precipitation. At the same time, the dry periods duration is projected to rise in the warm part of the year. These tendencies are characterised the climate extremeness increase in the current century.

Keywords: precipitation; maximal totals; rainfall duration; standardised indices of precipitation; droughts; climate projections.

Введение

Изменение климата в глобальном масштабе сопровождается ростом температуры воздуха, трансформацией режима осадков, увеличением повторяемости опасных и неблагоприятных явлений погоды. Наибольшие региональные различия в период потепления климата характерны для режима увлажнения. Например, в северо-восточной и северо-западной частях Европы зафиксировано увеличение годового количества осадков с 1960 по 2000 г. на 17 мм за каждые 10 лет [1], в летний период рост составил до 18 мм, в зимний период – до 70 мм за 10 лет. Вместе с тем в некоторых южных районах Европы отмечено снижение годовых сумм осадков до 90 мм, а летних осадков – до 20 мм за 10 лет [2]. Результаты исследований показывают увеличение повторяемости интенсивных осадков на севере и северо-востоке Европы с 1950-х гг., но на юго-западе и юге тенденции расходятся [3].

В исследованиях режима осадков также установлено [4], что с 1950-х гг. в Центральной и Южной Европе отмечается рост засушливости летом, однако на остальной части Европы устойчивых тенденций не наблюдается [5]. Исследования засух в Восточной Европе показали снижение засушливости на большей территории Балтийского региона [6]. Но в то же время некоторыми авторами отмечено увеличение засушливости в Украине и Беларуси [7], а также центральной части Польши [8].

Исследования режима увлажнения, в том числе засушливых условий, на территории Беларуси показали отсутствие значимых трендов годовых сумм осадков [9–12]. В то же время происходит увеличение повторяемости засушливых условий в воздухе [13] и почве [14] в вегетационный сезон в период потепления климата.

Анализ литературных источников позволяет заключить, что территория Беларуси располагается в переходной зоне между севером, где наблюдается рост осадков, и югом, где отмечается увеличение засушливости климата, а также между регионами морского и континентального климата. В связи с разнонаправленными изменениями в режиме увлажнения в регионе Европы и отсутствием значимых тенденций годовых и месячных сумм осадков в большинстве месяцев на территории Беларуси цель настоящего исследования заключалась в установлении величины и направленности современных тенденций экстремальных характеристик осадков в Беларуси. Объектом исследования является режим увлажнения, формирующийся в пределах республики, предметом исследования выступают экстремальные проявления в режиме увлажнения на территории Беларуси под воздействием изменяющегося климата.

Материалы и методы исследования

Для исследования режима увлажнения на территории страны в качестве исходных данных использованы материалы Государственного климатического кадастра Республики Беларусь, представленные месячными и годовыми суммами осадков, максимальными суммами осадков за сутки и год, продолжительностью выпадения осадков, суточными значениями относительной влажности воздуха по 42 метеорологическим станциям сети гидрометеорологических наблюдений Белгидромета Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь за 1948–2019 гг.

На основании исходных данных вычислены разности осредненных за периоды 1948–1988 и 1989–2019 гг. месячных и годовых сумм осадков, продолжительности выпадения осадков, макси-



мального суточного количества осадков, тренды числа дней с относительной влажностью не менее 80 и не более 30 %, разности повторяемости стандартизированных индексов осадков. Под повторяемостью понимается отношение числа месяцев (лет) с явлением к числу месяцев (лет) наблюдений.

Для оценки засушливых условий как показателя экстремальности режима осадков использован стандартизованный индекс осадков (*standardised precipitation index*, SPI), рекомендованный Всемирной метеорологической организацией для мониторинга и прогнозирования засух [15].

Расчет индексов SPI для любой территории основан на результатах многолетних наблюдений за осадками, которые аппроксимируются распределением вероятностей, затем преобразуются в нормальное распределение таким образом, чтобы среднее значение индекса SPI для данного места и желаемого периода было равно нулю [16]. Индекс SPI выбран для анализа засушливых условий или атмосферных засух, поскольку он сопоставим для регионов с различными условиями увлажнения, позволяет сравнивать результаты исследований засух на больших территориях и используется во многих странах.

Индекс SPI может рассчитываться для разных временных масштабов. В частности, в данной работе индексы SPI рассчитаны за каждый месяц (SPI-1) теплого периода (апрель – октябрь) каждого года с 1948 по 2019 г. Положительные значения индекса SPI указывают на объем осадков выше среднего, а отрицательные – ниже среднего. В работе анализировались индексы SPI, попадающие в градации, которые характеризуют различную степень засушливости территории: $-0,5...-1,0$ – слабовыраженная засуха; $-1,1...-1,5$ – умеренная засуха; $-1,51...-1,99$ – сильная засуха; $-2,0$ и менее – экстремальная засуха.

Для оценки будущих изменений в режиме увлажнения на территории Беларуси использованы расчеты по 92 комбинациям глобальных и региональных климатических моделей консорциума EURO-CORDEX [17]. Данные представлены с горизонтальным разрешением $0,11^\circ$ (~ 12 км, EUR-11) для трех сценариев концентрации парниковых газов (т. е. выбросов аэрозолей и парниковых газов [18]), а именно RCP2.6 (10 симуляций), RCP4.5 (43 симуляции) и RCP8.5 (39 симуляций). Описание исходных данных и подробные результаты исследования будущих климатических изменений на территории Беларуси с менее детальным пространственным разрешением (~ 50 км, EUR-44) представлены в [19].

Результаты и их обсуждение

Месячные и годовые суммы осадков. Значимые изменения годовых сумм осадков на территории Беларуси в течение длительного времени, включая современный период потепления, как показано в [9–12], не прослеживаются. В годовом разрезе увеличение месячных сумм в период потепления климата (1989–2019) зафиксировано в январе – марте [10] с наибольшими показателями роста в северных районах, что связано с особенностями атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском секторе [20]. В теплый период года месячные суммы осадков возросли в апреле, июле и октябре на 8–17 %, но снизились в июне, августе, ноябре и декабре на 6–10 %.

Однако при относительной стабильности режима увлажнения территории Беларуси в теплый период года в отдельные месяцы увеличилось стандартное отклонение месячных сумм осадков, что свидетельствует о росте экстремальности в режиме выпадения осадков (см. таблицу).

Стандартные отклонения месячных сумм осадков теплого периода года (апрель – октябрь) на территории Беларуси за 1948–1988 и 1989–2019 гг., мм

The standard deviations of monthly precipitation sums during warm period (April – October) over territory of Belarus during 1948–1988 and 1989–2019, mm

Регион	Период	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь
Север	1948–1988	21	32	37	44	44	36	30
	1989–2019	21	34	37	47	48	34	34
Центр	1948–1988	21	30	37	46	41	33	32
	1989–2019	20	31	37	51	42	33	35
Юг	1948–1988	22	28	39	46	40	32	33
	1989–2019	20	28	38	54	39	35	37

Примечание. Красным цветом выделено увеличение месячных сумм осадков.



Продолжительность выпадения осадков. Несмотря на увеличение зимних сумм осадков, в большинстве месяцев года продолжительность выпадения осадков (в часах) уменьшилась на всей территории страны, за исключением северных районов, где время выпадения осадков увеличилось на 15 ч. В центральных и южных районах в зимний сезон (декабрь – февраль) продолжительность выпадения осадков снизилась на 39–45 ч. Величина отрицательных трендов в этих регионах составляет 5–7 ч за 10 лет.

Продолжительность выпадения жидких осадков в зимний сезон увеличилась. Наибольшее изменение произошло на севере страны – 109 ч за период потепления. В центральных и южных районах рост достигал 42–44 ч. Как показано в [12], в среднем по территории Беларуси увеличение составило 10 дней, или 24 %.

Продолжительность выпадения твердых осадков в холодный период года сократилась на 11–26 ч в месяц на севере страны, 17–47 ч в месяц в центре и 11–41 ч в месяц на юге. Наиболее заметное изменение характерно для января: величина отрицательного тренда составляет около 20 ч за 10 лет (рис. 1, а). Согласно [12] уменьшение продолжительности выпадения твердых осадков составило 13 дней, или 19 %. Продолжительность смешанных осадков практически не изменилась за период потепления.

Одновременный рост продолжительности выпадения жидких осадков и месячных сумм осадков в зимние месяцы можно связать с увеличением числа дней с осадками ($P_{сут} > 1$ мм) на всей территории страны (1–2 дня в январе – феврале, а также марте, но без значимых изменений в декабре).

Режим выпадения осадков в теплый период года (апрель – октябрь) также изменился: отмечается снижение продолжительности выпадения осадков в среднем от 9 ч на севере страны до 27–28 ч на остальной территории.

Летом (июнь – август) сокращение продолжительности выпадения осадков составляет от 1–7 ч в месяц на севере республики до 4–15 ч в месяц на юге и в центре. При средних многолетних значениях в пределах 45–55 ч суммарно за лето величина снижения составила 10–50 ч преимущественно в центральных и южных районах страны. Лишь на крайнем севере Беларуси продолжительность выпадения осадков летом сохранилась на прежнем уровне или увеличилась на 10–15 ч за сезон (рис. 1, б).

Максимальное суточное количество осадков. Максимальные суммы осадков за сутки не изменились в холодный период года и заметно увеличились в теплый период с мая по октябрь на всей территории страны и наиболее значительно в южных и центральных районах. Средние месячные значения максимальных сумм осадков за зимний сезон возросли на 7–16 мм, в среднем за летний сезон – на 54–58 мм, что соответствует 30 % нормы. Величина положительных трендов составляет 10–13 мм за 10 лет на севере, 25–29 мм за 10 лет на юге. Распределение разностей максимальных суточных сумм осадков за различные периоды иллюстрирует рис. 2.

Уменьшение продолжительности выпадения осадков и рост максимальных сумм осадков летом могут свидетельствовать о более частом формировании засушливых условий или атмосферных засух.

Анализ показателей влагосодержания в атмосфере представлен расчетами трендов (1948–2019) числа дней с относительной влажностью не менее 80 %, характеризующих очень влажные дни, и числа дней с относительной влажностью не более 30 %, характеризующих очень сухие дни. Результаты расчетов представлены на рис. 3.

Расчеты показали, что число влажных дней уменьшается на всей территории Беларуси: в центральных и восточных районах – на 1–2 дня за 10 лет, на остальной части страны – на 3–4 дня за 10 лет (см. рис. 3, а). Число сухих дней, напротив, увеличивается на всей территории республики – в пределах от 1,0–1,5 дня за 10 лет на севере, западе и в центре страны до 2–4 дней за 10 лет на большинстве южных станций (см. рис. 3, б). То есть в теплый период года снижается содержание влаги в воздухе и увеличивается засушливость климата.

Гипотезу об увеличении засушливости климата в Беларуси в период потепления климата (1989–2019) также подтверждает анализ индексов SPI, согласно которым в период потепления отмечается рост повторяемости атмосферных засух на территории страны. На рис. 4 представлено изменение повторяемости засух различных градаций (в соответствии с индексом SPI-1), которая возросла на каждой из 32 метеорологических станций, взятых для анализа засушливости климата, хотя бы в один из месяцев теплого периода года (апрель – октябрь).

Повторяемость слабовыраженных засух увеличилась на 2–19 %, умеренных – на 2–26 % на половине рассматриваемых станций, повторяемость сильных засух возросла на 2–17 % на трети всех станций, а повторяемость экстремальных засух – на 3–20 % на половине станций. То есть на большинстве представленных станций отмечается увеличение повторяемости засух хотя бы одной из градаций. Лишь на 4 станциях (Березино, Василевичи, Пинск, Полесская) из 32 анализируемых станций повторяемость засух не изменилась за период потепления климата.

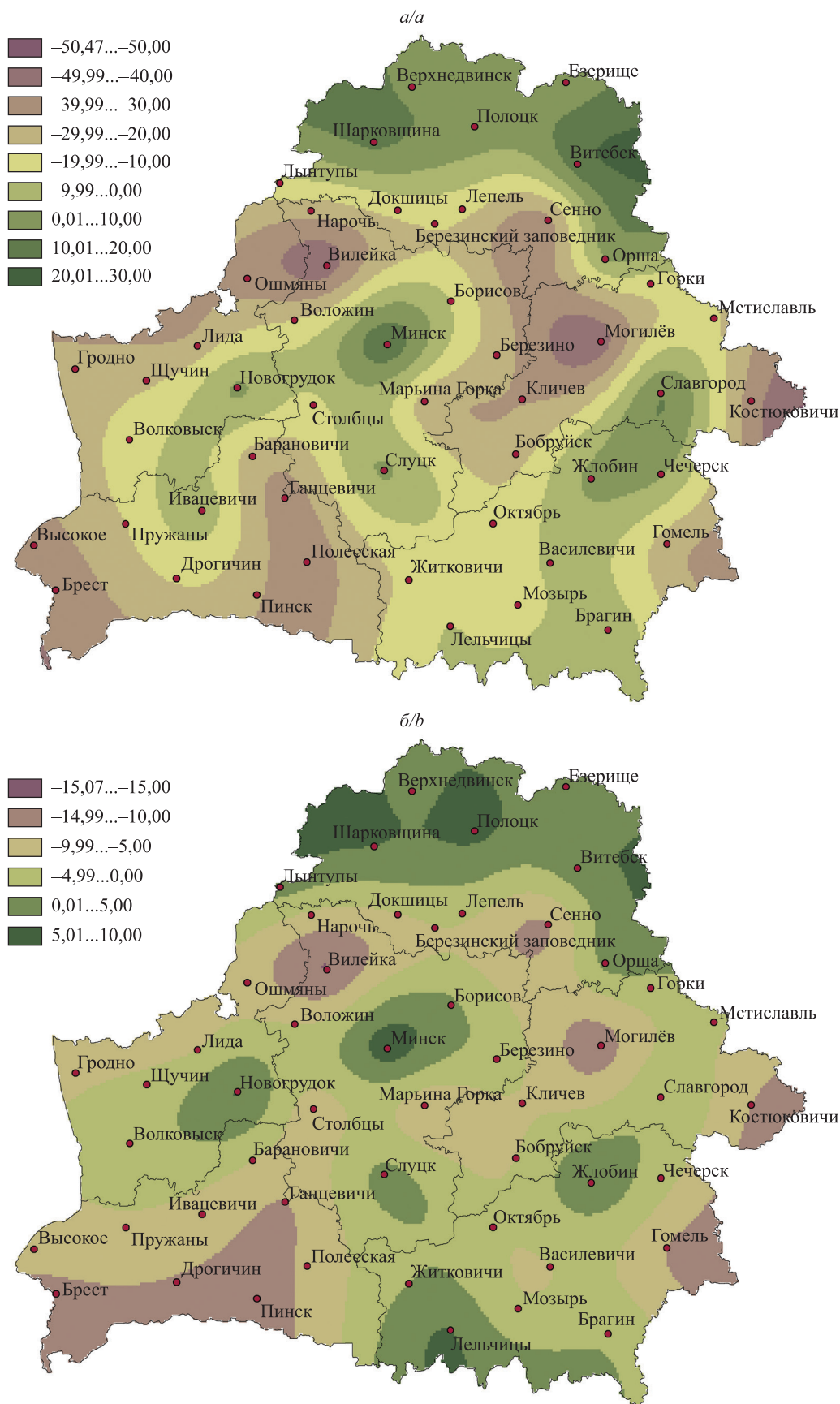


Рис. 1. Изменение продолжительности выпадения осадков на территории Беларуси зимой (а) и летом (б) в 1989–2019 гг. по отношению к уровню 1948–1988 гг., ч

Fig. 1. Changes of precipitation duration over territory of Belarus in winter (a) and summer (b) in 1989–2019 in relation to the level of 1948–1988, h

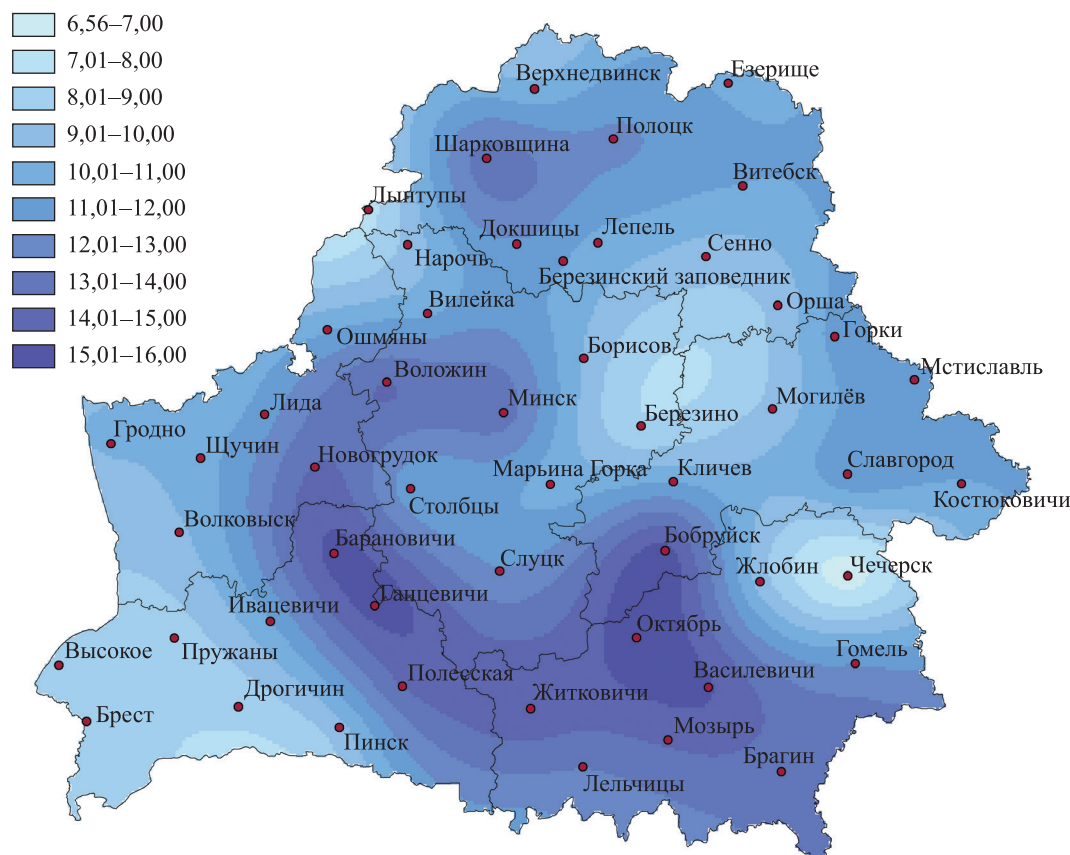


Рис. 2. Изменение максимальных суточных сумм осадков, осредненных за летние месяцы (июнь – август), в 1989–2019 гг. по отношению к уровню 1948–1988 гг., мм
 Fig. 2. Changes of maximal precipitation totals per day aggregated by summer months (June – August) in 1989–2019 in relation to the level of 1948–1988, mm

Четкая тенденция увеличения или уменьшения числа станций с одновременными засухами отсутствует, но возросла повторяемость случаев, когда экстремальная засуха одновременно отмечалась на более чем 10 станциях (рис. 5).

В 1948–1988 гг. повторяемость подобных случаев составляла 12,5 % (или 5 случаев за 40 теплых сезонов), в 1989–2019 гг. – 22,5 % (или 7 случаев за 31 теплый сезон), и среди этих случаев увеличилось число станций ($N_{\text{станций}} > 20$), на которых одновременно зафиксирована экстремальная засуха.

Ожидаемые изменения в режиме увлажнения. Согласно расчетам, выполненным на основе данных численных экспериментов проекта EURO-CORDEX (EUR-11), ожидается увеличение количества осадков в течение XXI в. на всей территории Беларуси. На рис. 6 представлены медианные значения из ансамбля климатических моделей ожидаемых изменений (отклонений) сезонных и годовых сумм осадков за последовательные десятилетия в период 2021–2099 гг. по отношению к условиям 1971–2000 гг. Наибольший рост сезонных сумм осадков прогнозируется зимой и весной, величины изменения, предположительно, составят от 10 мм по сценарию RCP2.6 до 50 мм по сценариям RCP4.5 и RCP8.5. Летом и осенью ожидается более сложное изменение количества осадков, в теплый период года возрастает неопределенность в расчетах климатических моделей. Большинство моделей показывают увеличение сезонных сумм осадков до 20–25 мм летом и 6–46 мм осенью. Некоторое снижение прогнозируется летом и осенью в середине текущего столетия в случае реализации сценария RCP2.6.

Ожидается увеличение количества дней с осадками, соответствующих 95-му процентилю (интенсивные осадки): зимой и весной на 1–4 дня при сценарии RCP2.6, на 3–9 дней при сценариях RCP4.5 и RCP8.5. Летом и осенью отклонения количества дней с интенсивными осадками составят 1–2 дня при сценарии RCP2.6, но четкой тенденции к увеличению или уменьшению в текущем столетии нет. При сценариях RCP4.5 и RCP8.5 увеличение количества дней с интенсивными осадками составит 2–6 дней.

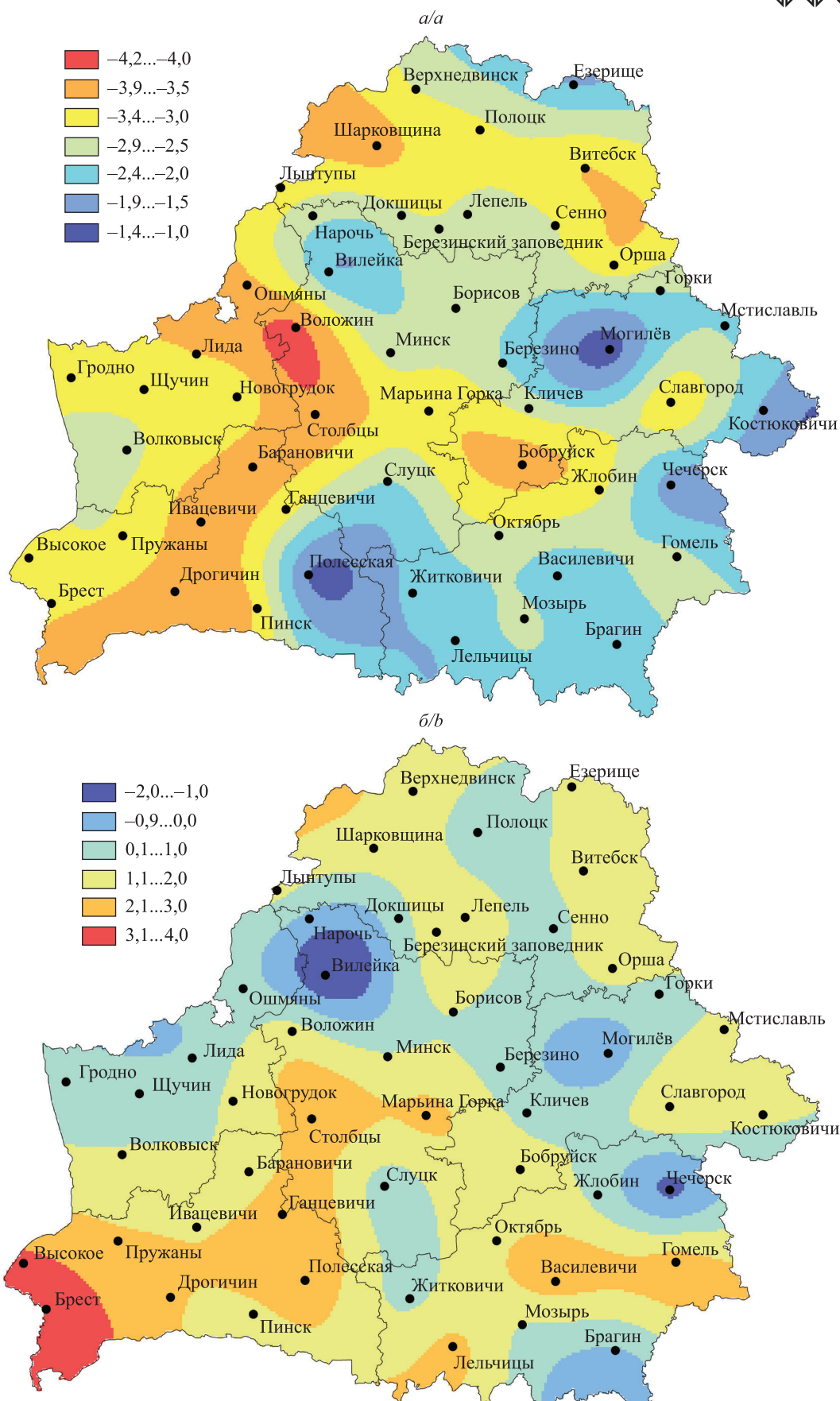


Рис. 3. Тренды числа дней с относительной влажностью не менее 80 % (а) и не более 30 % (б) в теплый период года (апрель – октябрь) за 1948–2019 гг., дней за 10 лет
 Fig. 3. Trends of days number with relative humidity not less than 80 % (a) and not more than 30 % (b) in warm period (April – October) during 1948–2019, days in 10 years

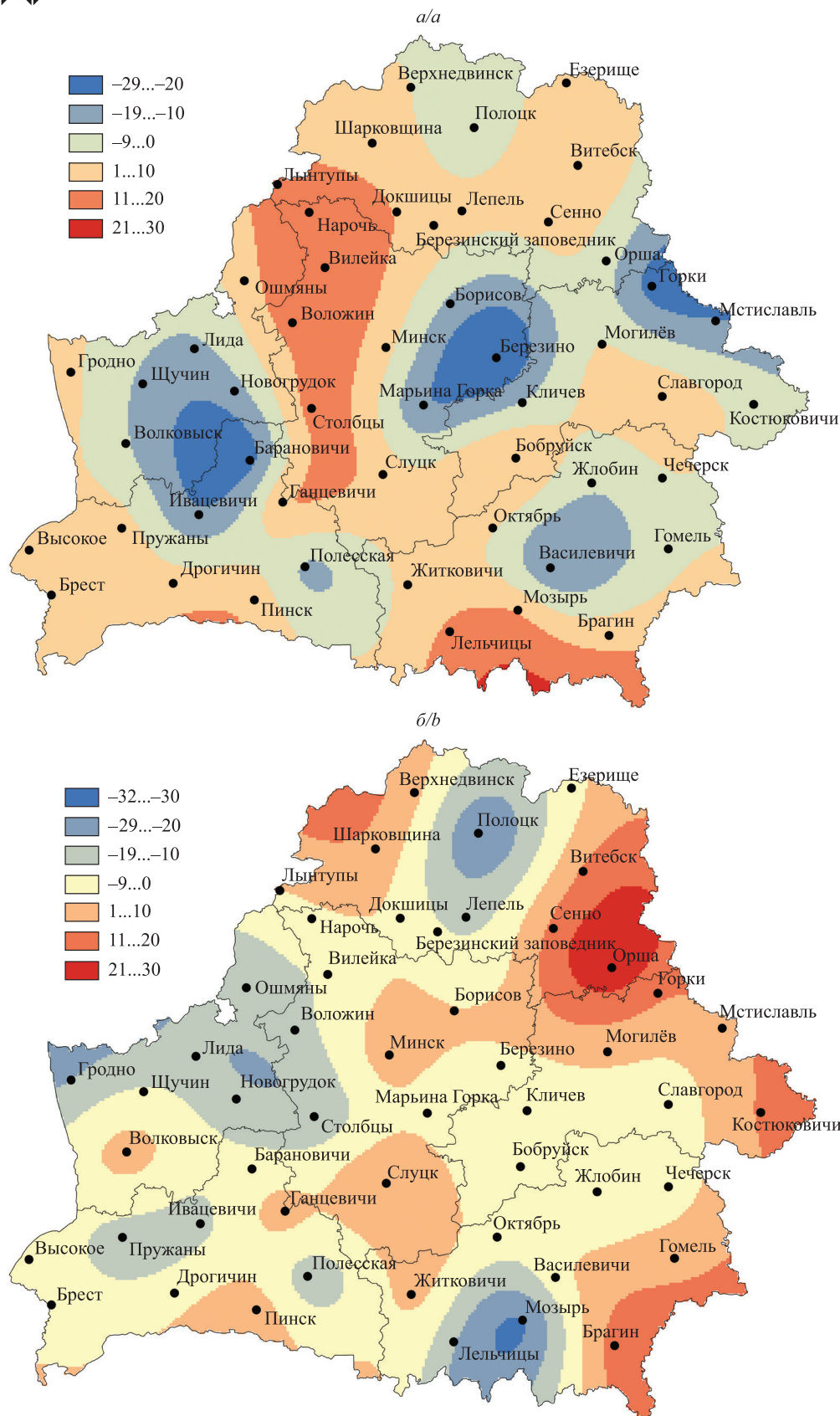


Рис. 4. Изменение повторяемости засух различных градаций согласно индексу SPI-1 в 1989–2019 гг. по отношению к уровню 1948–1988 гг. (начало):
 а – SPI-1 = –0,5...–1,0 (слабовыраженная засуха); б – SPI-1 = –1,1...–1,5 (умеренная засуха)
 Fig. 4. Changes of droughts repeatability by different gradations according to the SPI-1 in 1989–2019 in relation to the level of 1948–1988 (beginning):
 а – SPI-1 = –0.5...–1.0 (mild drought); б – SPI-1 = –1.1...–1.5 (moderate drought)

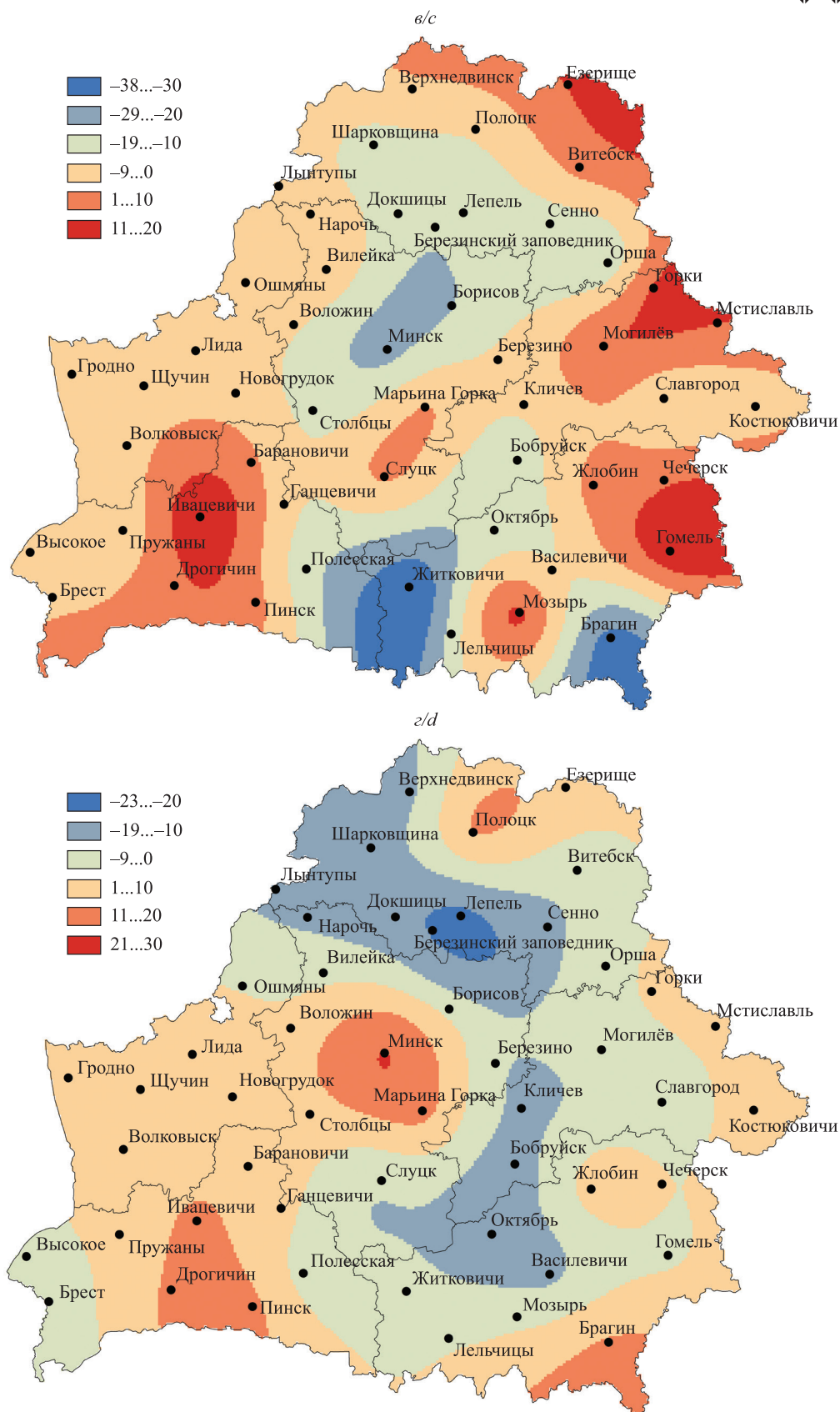


Рис. 4. Изменение повторяемости засух различных градаций согласно индексу SPI-1 в 1989–2019 гг. по отношению к уровню 1948–1988 гг. (окончание):
 в – SPI-1 = -1,51...-1,99 (сильная засуха); г – SPI-1 ≤ -2,0 (экстремальная засуха)
 Fig. 4. Changes of droughts repeatability by different gradations according to the SPI-1 in 1989–2019 in relation to the level of 1948–1988 (ending):
 c – SPI-1 = -1.51...-1.99 (strong drought); d – SPI-1 ≤ -2.0 (extreme drought)

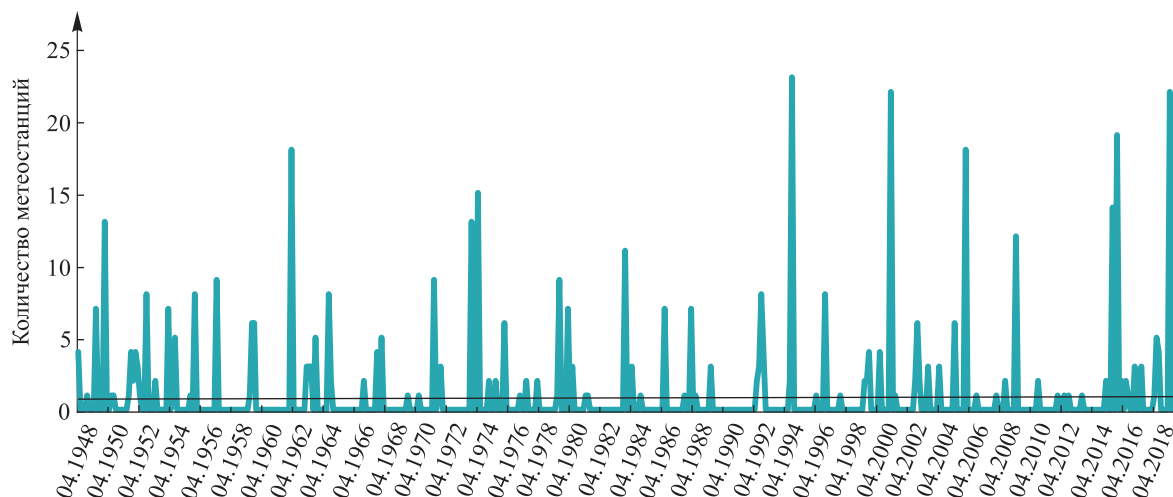


Рис. 5. Динамика количества метеорологических станций, на которых в теплый период года (апрель – октябрь) отмечена экстремальная засуха согласно стандартизированным индексам осадков ($SPI-1 \leq -2,0$)

Fig. 5. The number of meteorological stations with extreme droughts in warm period (April – October) according to the standardised precipitation indices ($SPI-1 \leq -2.0$)

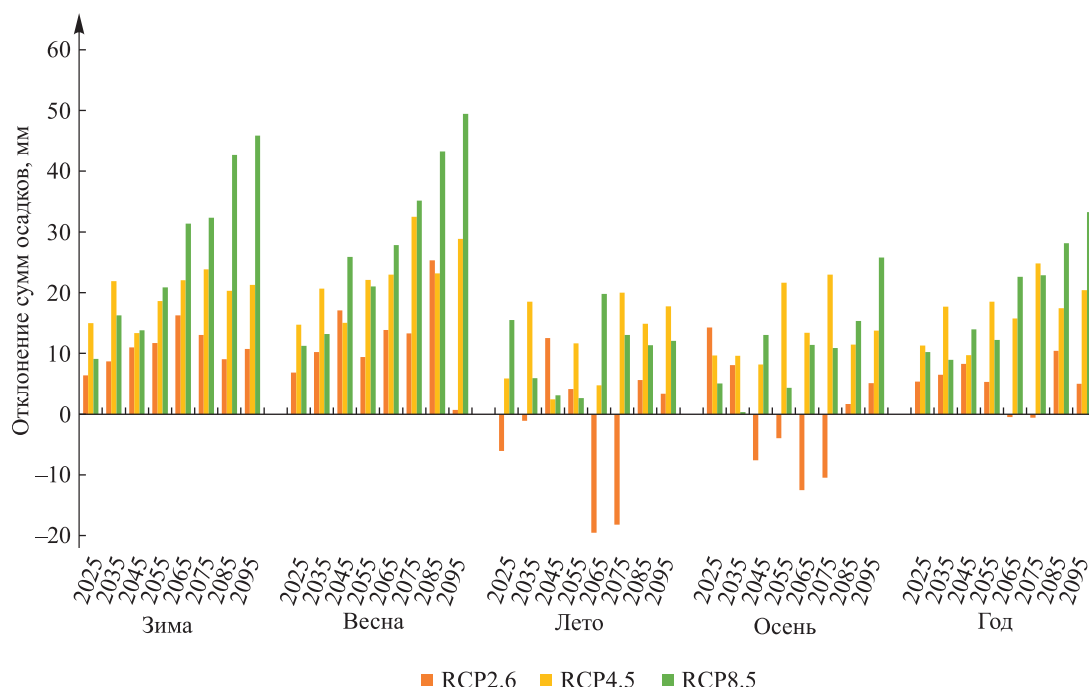


Рис. 6. Медианные оценки изменения (отклонения) сезонных сумм осадков на территории Беларуси по ансамблю климатических моделей проекта EURO-CORDEX (EUR-11) за последовательные десятилетия в период 2021–2099 гг.

Fig. 6. The ensemble median projected decadal changes in the precipitation means for Belarus according to the EURO-CORDEX (EUR-11) for the period of 2021–2099

В качестве показателя засушливости рассмотрено изменение максимальной продолжительности засушливых периодов. Ожидаемые изменения продолжительности засух являются наиболее сложными: значимых тенденций для зимнего сезона нет, но прогнозируется довольно существенное уменьшение засушливых периодов весной (рис. 8).

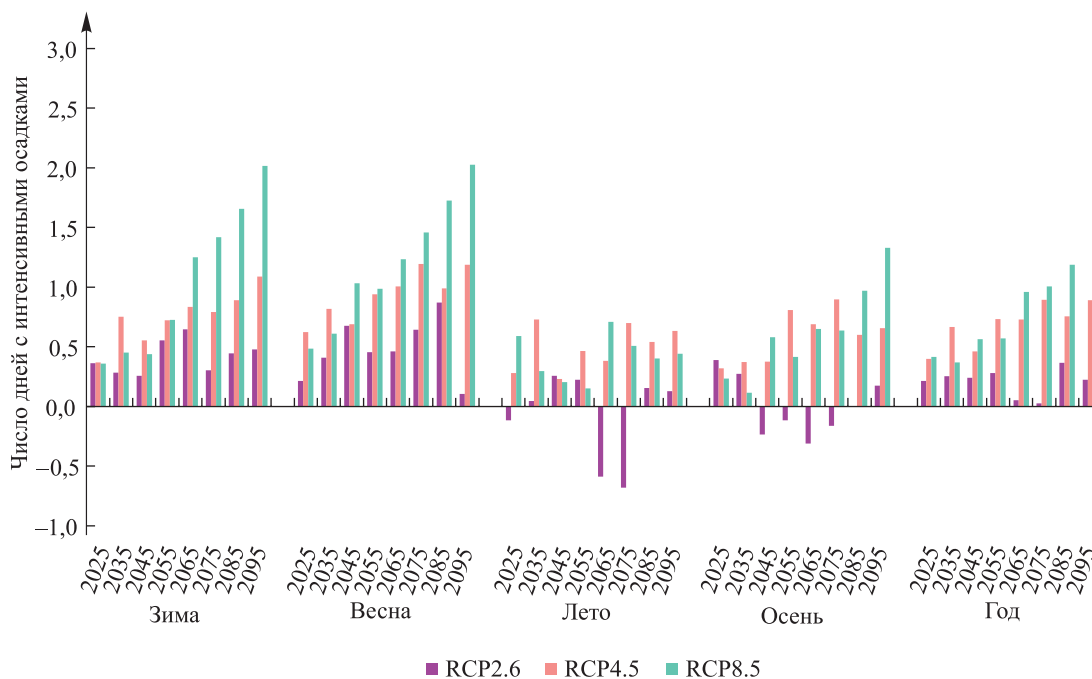


Рис. 7. Медианные оценки изменения числа дней с осадками, соответствующих 95-му процентилю, на территории Беларуси по ансамблю климатических моделей проекта EURO-CORDEX (EUR-11) за последовательные десятилетия в период 2021–2099 гг.

Fig. 7. The ensemble median projected decadal changes in the 95th percentile of precipitation days for Belarus according to the EURO-CORDEX (EUR-11) for the period of 2021–2099

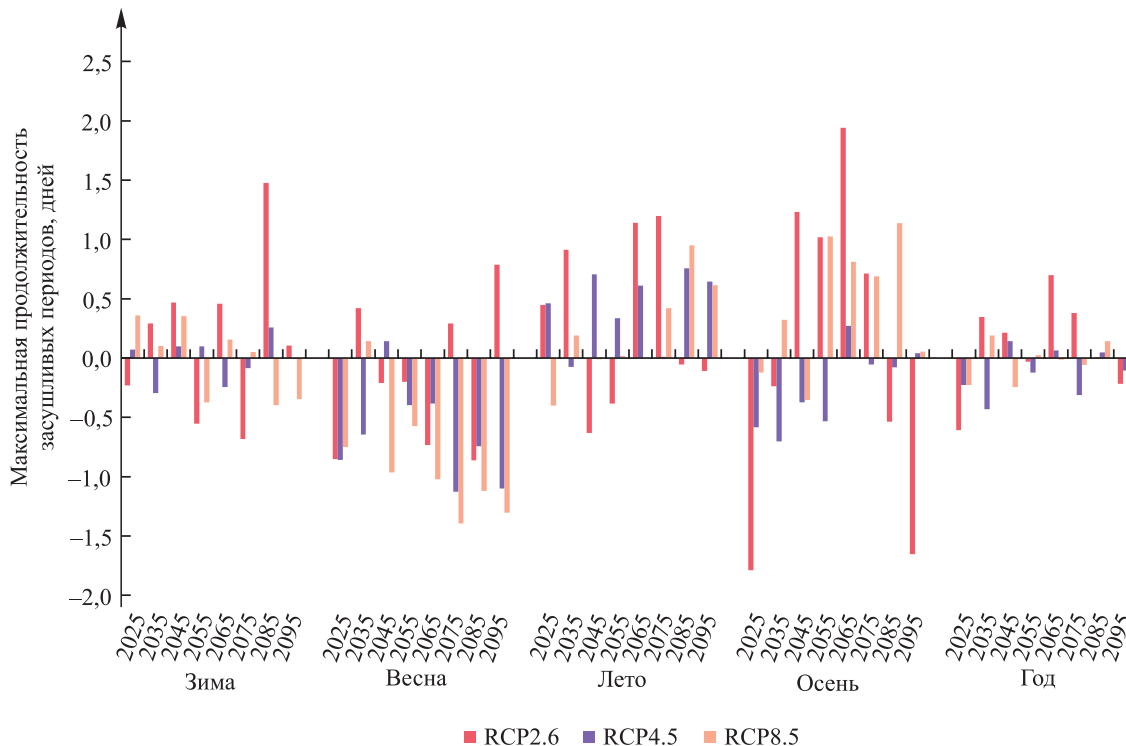


Рис. 8. Медианные оценки изменения максимальной продолжительности засушливых периодов на территории Беларуси по ансамблю климатических моделей проекта EURO-CORDEX (EUR-11) за последовательные десятилетия в период 2021–2099 гг.

Fig. 8. The ensemble median projected decadal changes in drought periods max length for Belarus according to the EURO-CORDEX (EUR-11) for the period of 2021–2099



Летом и осенью ожидается значимое увеличение максимальной продолжительности засушливых периодов на 1–2 дня при всех рассматриваемых сценариях, за исключением нескольких десятилетий (2041–2060) в случае реализации сценария RCP2.6.

Заключение

Таким образом, при отсутствии значимых изменений годовых сумм осадков в период потепления климата (1989–2019) режим выпадения сезонных осадков на территории Беларуси изменился. Зимой отмечается увеличение месячных сумм осадков на 20–30 % на всей территории страны, при этом на большей части республики зафиксировано уменьшение продолжительности выпадения осадков на 39–45 ч, в частности, отмечено сокращение времени выпадения твердых осадков на 11–47 ч и увеличение продолжительности выпадения жидких осадков на 42–109 ч. Одновременный рост месячных сумм осадков и продолжительности выпадения осадков в зимние месяцы связан с увеличением числа дней с осадками слабой интенсивности.

Осадки в летний сезон характеризуются пространственной неоднородностью, при этом наблюдаются снижение продолжительности их выпадения на 10–20 % (за исключением севера страны) и рост максимальных сумм осадков на 30 % во все летние месяцы, что свидетельствует об увеличении повторяемости засушливых периодов и подтверждается расчетами индексов SPI, которые показали рост повторяемости атмосферных засух хотя бы одной из градаций от 2 до 26 % на территории Беларуси в период потепления климата.

Согласно расчетам климатических моделей вышеозначенные изменения в режиме увлажнения продолжатся в текущем столетии. Ожидается увеличение годовых сумм осадков на 10–30 мм к концу XXI в. при различных сценариях концентрации парниковых газов. Наиболее значимый рост осадков прогнозируется зимой – до 40 мм за сезон, летом и осенью увеличение не превысит 20 мм. Предполагается рост числа дней с интенсивными осадками. Наиболее значительное увеличение ожидается весной – до 7–9 дней, летом и осенью оно составит 3–6 дней. В соответствии с расчетами продолжится нарастание засушливых условий, предполагаемое увеличение максимальной продолжительности засушливых периодов составляет 1–2 дня за сезон в теплый период года. Ожидаемые изменения не могут рассматриваться как прогноз, но характеризуют наиболее вероятные отклонения в анализируемые периоды и показывают тенденции будущих климатических изменений.

Библиографические ссылки

1. Maraun D. When will trends in European mean and heavy daily precipitation emerge? *Environmental Research Letters*. 2013;8(1):014004. DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/014004.
2. van den Besselaar EJM, Klein Tank AMG, Buishand TA. Trends in European precipitation extremes over 1951–2010. *International Journal of Climatology*. 2013;33(12):2682–2689. DOI: 10.1002/joc.3619.
3. Fischer EM, Knutti R. Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models. *Nature Climate Change*. 2016;6(11):986–991. DOI: 10.1038/nclimate3110.
4. Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 1535 p.
5. van der Schrier G, Briffa KR, Jones PD, Osborn TJ. Summer moisture variability across Europe. *Journal of Climate*. 2006;19(12):2818–2834. DOI: 10.1175/JCLI3734.1.
6. Rimkus E, Valiukas D, Kažys J, Gečaitė I, Stonevičius E. Dryness dynamics of the Baltic Sea region. *Baltica*. 2012;25(2):129–142. DOI: 10.5200/baltica.2012.25.13.
7. Semenova I, Sumak K. Cyclonic activity in cold season over territories of Belarus and Ukraine and its relation to the warm season droughts. *Croatian Meteorological Journal*. 2017;52:59–73.
8. Somorowska U. Changes in drought conditions in Poland over the past 60 years evaluated by the standardized precipitation- evapotranspiration index. *Acta Geophysica*. 2016;64(6):2530–2549. DOI: 10.1515/acgeo-2016-0110.
9. Логинов ВФ, Волчек АА. *Водный баланс речных водосборов Беларуси*. Минск: Тонпик; 2006. 160 с.
10. Логинов ВФ, Лысенко СА, Мельник ВИ. *Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования*. Минск: Энциклопедикс; 2020. 218 с.
11. Хомич ВС, руководитель. Разработать прогноз состояния окружающей среды Беларуси на период до 2035 года: отчет о НИР (промежуточный). Минск: Институт природопользования НАН Беларуси; 2020. 315 с. № государственной регистрации 20192690.
12. Мельник ВИ, Буяков ИВ, Чернышев ВД. Изменения количества и вида атмосферных осадков в холодный период на территории Беларуси в условиях современного потепления климата. *Природопользование*. 2019;2:44–51.
13. Бровка ЮА, Буяков ИВ. Изменение гидротермического коэффициента и повторяемости экстремальных условий увлажнения на территории Беларуси в период потепления климата. *Природопользование*. 2020;2:5–18. DOI: 10.47612/2079-3928-2020-2-5-18.



14. Мельник ВИ, Буяков ИВ, Пискунович НГ, Шумская ТГ. Оценка влагозапасов и повторяемости почвенных засух на территории Белорусского Полесья в период современного потепления климата. *Природные ресурсы*. 2020;2:104–114.
15. Svoboda M, Fuchs BA. *Handbook of drought indicators and indices*. Geneva: World Meteorological Organization; 2016. 48 p. (Integrated drought management tools and guidelines series; WMO-No. 1173). Co-published by the Global Water Partnership.
16. Edwards DC, McKee TB. *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales*. Fort Collins: Colorado State University; 1997. xvii, 155 p. (Atmospheric science paper No. 634; Climatology report No. 97-2).
17. Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Christensen OB, Bouwer LM, et al. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*. 2014;14(2):563–578. DOI: 10.1007/s10113-013-0499-2.
18. Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. 2010;463(7282):747–756. DOI: 10.1038/nature08823.
19. Данилович ИС, Гайер Б. Моделирование изменений температуры воздуха и осадков по декадам текущего столетия для территории Беларуси. *Природные ресурсы*. 2018;1:102–114.
20. Partasenok IS, Groisman PYa, Chekan GS, Melnik VI. Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus. *Environmental Research Letters*. 2014;9(9):095005. DOI: 10.1088/1748-9326/9/9/095005.

References

1. Maraun D. When will trends in European mean and heavy daily precipitation emerge? *Environmental Research Letters*. 2013; 8(1):014004. DOI: 10.1088/1748-9326/8/1/014004.
2. van den Besselaar EJM, Klein Tank AMG, Buishand TA. Trends in European precipitation extremes over 1951–2010. *International Journal of Climatology*. 2013;33(12):2682–2689. DOI: 10.1002/joc.3619.
3. Fischer EM, Knutti R. Observed heavy precipitation increase confirms theory and early models. *Nature Climate Change*. 2016;6(11):986–991. DOI: 10.1038/nclimate3110.
4. Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. 1535 p.
5. van der Schrier G, Briffa KR, Jones PD, Osborn TJ. Summer moisture variability across Europe. *Journal of Climate*. 2006; 19(12):2818–2834. DOI: 10.1175/JCLI3734.1.
6. Rimkus E, Valiukas D, Kažys J, Gečaitė I, Stonevičius E. Dryness dynamics of the Baltic Sea region. *Baltica*. 2012;25(2): 129–142. DOI: 10.5200/baltica.2012.25.13.
7. Semenova I, Sumak K. Cyclonic activity in cold season over territories of Belarus and Ukraine and its relation to the warm season droughts. *Croatian Meteorological Journal*. 2017;52:59–73.
8. Somorowska U. Changes in drought conditions in Poland over the past 60 years evaluated by the standardized precipitation- evapotranspiration index. *Acta Geophysica*. 2016;64(6):2530–2549. DOI: 10.1515/acgeo-2016-0110.
9. Loginov VF, Volchek AA. *Vodnyi balans rechnykh vodosborov Belarusi* [Water balance of river catchments of Belarus]. Minsk: Tonpik; 2006. 160 p. Russian.
10. Loginov VF, Lysenko SA, Melnik VI. *Izmenenie klimata Belarusi: prichiny, posledstviya, vozmozhnosti regulirovaniya* [Climate change in Belarus: causes, consequences, regulation possibilities]. Minsk: Entsiklopediks; 2020. 218 p. Russian.
11. Khomich VS, supervisor. [To develop a forecast of the state of the environment in Belarus for the period up to 2035: research report (interim)]. Minsk: Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus; 2020. 315 p. State registration No. 20192690. Russian.
12. Melnik VI, Buyakov IV, Chernyshev VD. Changes in the amount and type of precipitation in the cold period in the territory of Belarus under conditions of modern climate warming. *Nature Management*. 2019;2:44–51. Russian.
13. Brovka YuA, Buyakov IV. Changes in the hydrothermal coefficient and in the frequency of extreme humidification conditions on the territory of Belarus during climate warming. *Nature Management*. 2020;2:5–18. Russian. DOI: 10.47612/2079-3928-2020-2-5-18.
14. Melnik VI, Buyakov IV, Piskunovich NG, Shumskaya TG. Assessment of moisture reserves and frequency of soil droughts on the territory of Belarusian Polesye during the period of modern climate warming. *Natural Resources*. 2020;2:104–114. Russian.
15. Svoboda M, Fuchs BA. *Handbook of drought indicators and indices*. Geneva: World Meteorological Organization; 2016. 48 p. (Integrated drought management tools and guidelines series; WMO-No. 1173). Co-published by the Global Water Partnership.
16. Edwards DC, McKee TB. *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales*. Fort Collins: Colorado State University; 1997. xvii, 155 p. (Atmospheric science paper No. 634; Climatology report No. 97-2).
17. Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Christensen OB, Bouwer LM, et al. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*. 2014;14(2):563–578. DOI: 10.1007/s10113-013-0499-2.
18. Moss RH, Edmonds JA, Hibbard KA, Manning MR, Rose SK, van Vuuren DP, et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*. 2010;463(7282):747–756. DOI: 10.1038/nature08823.
19. Danilovich IS, Gayer B. Modelling of air temperature and precipitation decadal changes during the current century for the territory of Belarus. *Natural Resources*. 2018;1:102–114. Russian.
20. Partasenok IS, Groisman PYa, Chekan GS, Melnik VI. Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus. *Environmental Research Letters*. 2014;9(9):095005. DOI: 10.1088/1748-9326/9/9/095005.

Получена 06.04.2021 / исправлена 07.05.2021 / принята 01.10.2021.
Received 06.04.2021 / revised 07.05.2021 / accepted 01.10.2021.