

УДК 551.581.1

Данилович И.С., Логинов В.Ф.

Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Беларусь**ТЕКУЩИЕ И ОЖИДАЕМЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА
НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ**

Аннотация. В работе показаны региональные особенности изменения климата на территории Беларуси, развивающиеся на фоне глобальных изменений. Основные тенденции изменения климата хоть и имеют общие черты, но есть различия в температурном режиме и режиме увлажнения, произошло заметное нарастание экстремальности выпадения осадков. За период потепления, который отмечается с 198(8)9 г., среднегодовая температура воздуха увеличилась на 1,3 °С, годовые суммы осадков изменились в пределах 5-7 %, но увеличились максимальные суммы осадков на 20-30%. Уменьшилась продолжительность их выпадения до 20%, на 1-4 дня увеличилось число сухих и жарких дней, снизилось содержание запасов воды в снеге до 20%, снизилась годовая скорость ветра в среднем на 1 м/с.

Согласно выполненным расчетам по ансамблю климатических моделей, входящих в консорциум EURO-CORDEX, ожидается увеличение температуры воздуха на 1-6 °С к концу текущего столетия, увеличение годовых сумм осадков в пределах 5-15%, увеличение максимальных сумм осадков на 20%, снижение на 10-40 дней числа дней с твердыми осадками, увеличение продолжительности засушливых периодов на 1-2 дня, незначительные изменения годовой скорости ветра и разнонаправленные изменения числа дней с сильным ветром в пределах 1-3 дней.

Ключевые слова: климат, температура воздуха, осадки, влажность воздуха, снег, ветер, экстремумы, климатические проекции

Danilovich I.S., Loginov V.F.

Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Belarus**CURRENT AND EXPECTED CLIMATE CHANGES
OVER THE TERRITORY OF BELARUS**

Abstract. The study presents the regional features of climate change over territory of Belarus, which occurred under global changes. It is shown that the main climate global and regional trends are synchronized, but there are differences in the temperature and moisture regime, which are characterized by a noticeable increase of extremes. During the warming period, which has been observed since 1989, the average annual air temperature increased by 1.3 °C, the annual precipitation amount changed insignificantly - within 5-7%, but the maximum precipitation totals increased by 20-30%, the duration of precipitation decreased by 20%, the number of dry and hot days increased by 1-4 days, the snow water equivalent decreased by 20%, the wind speed decreased by 1 m/s.

According to the climate projections based on the EURO-CORDEX consortium, the air temperature is expected to increase by 1-6 °C by the end of century, an increase in annual precipitation within 5-15%, an increase in maximum precipitation totals by 20%, a decrease by 10-40 days in the

number of snow days, an increase in the duration of dry periods by 1-2 days, insignificant changes of wind speed and changes in the number of days with strong wind within 1-3 days.

Key words: climate, air temperature, precipitation, air humidity, snow, wind, extremes, projections

Введение и постановка проблемы. Изменение климата в глобальном масштабе характеризуется ростом температуры, разнонаправленным изменением режима осадков, увеличением повторяемости опасных и неблагоприятных явлений погоды. Изменения основных климатических параметров на территории Беларуси происходят в соответствии с динамикой процессов, отмечающихся на глобальном и макромасштабном уровне, но при этом отмечаются региональные особенности.

Глобальная среднегодовая температура воздуха характеризуется длительными тенденциями увеличения с конца 19 столетия, но наиболее быстрыми темпами с 1970-х гг. со средним повышением на 0,1 °С каждые пять-шесть лет [22]. Согласно различным данным наблюдений за глобальной среднегодовой температурой у поверхности суши и океана, последнее десятилетие (2009–2019 гг.) было на 0,91–0,96 °С теплее, по сравнению с доиндустриальным уровнем. Среднегодовая температура на суше в Европе за последнее десятилетие (2009–2019 гг.) была на 1,6–1,7 °С выше доиндустриального уровня. На территории Беларуси с 1948 года, отмечается рост температур воздуха на 0,5 °С по сравнению с нормой 1961-1990 гг.

Режим увлажнения в Европе значительно не изменились с 1960 года. Однако в бассейне Балтийского моря наблюдается увеличение годового количества осадков более чем на 17 мм за десятилетие [21]. В режиме осадков в центральной и южной Европе с 1950-х годов наблюдается рост засушливости летом, однако на остальной части Европы не наблюдается устойчивых тенденций [18]. Засухи стали реже в северной Европе и некоторых частях восточной Европы, в то время центральная и восточная Европа, в том числе территория Беларуси, являются переходной зоной.

Как показано, происходящие климатические изменения в глобальном и макрорегиональном масштабах характеризуются схожими тенденциями. Среди климатических исследований более частыми являются оценки климата макрорегионов. Но при этом ряд особенностей климатических изменений в небольших регионах (странах) могут быть потеряны. Так, региональные изменения климата на территории Беларуси имеют свои особенности, которые необходимо учитывать при разработке адаптационных мероприятий по снижению их неблагоприятного воздействия на национальную экономику и жизнедеятельность населения.

Изученность проблемы. Вопрос изучения климата территории Беларуси освещен в ряде работ. В работе [13] показано, что в период 1900-2014 гг. колебания годовой температуры на территории Беларуси колеблются около климатологической нормы (1881–1990 гг.). Современный период потепления на территории Беларуси отмечается с 1989¹ года, превышение среднегодовой температуры воздуха за период 1989–2019 гг. по сравнению с нормой 1961-1990 гг. составило 1,3° С [14].

В работе [3] установлено, что в первую часть развития потепления (1989–1999 гг.) наибольшие изменения были характерны для холодной части года (январь–апрель), с 2000–х гг. отмечается смещение потепления климата на вторую половину года (июль–декабрь).

Согласно работам [3 и 9] среднее годовое количество осадков в Беларуси в конце XX века существенно не изменилось. Но в то же время, как показано другими авторами

¹ С 1989 г. ежегодно отмечается положительные отклонения среднегодовой температуры воздуха в Беларуси. Статистические методы показывают начало периода потепления на территории Беларуси с 1988 г.

[1] повышенная неравномерность выпадения осадков и повышение температуры воздуха вызвали в Беларуси увеличение повторяемости засух.

Будущие изменения климата в Беларуси на основе результатов численного моделирования проводилось различными группами авторов. Например, в рамках проектов CMIP3, CMIP5, PRUDENCE и ENSEMBLE территория страны была включена в области исследований [17, 23, 24]. Исследования будущих изменений климата, охватывающие территорию Беларуси, проводились в России [4, 10, 12, 15].

Результаты первых исследований будущих климатических изменений непосредственно территории Беларуси представлены в работе [5], которые подтвердили вероятное повышение основных метеорологических параметров к 2100 году. Другие климатические исследования для Беларуси, основанные на климатических прогнозах проекта CMIP5 [8] показали увеличение продолжительности теплого периода. Подробная оценка климатических проекций с различным пространственным разрешением для территории Беларуси представлена в работах [2, 16].

Цель и задачи работы. Целью настоящего исследования является оценка текущих и будущих изменений (направления и величины) температуры воздуха, осадков (дождя и снега), ветра и их экстремальных значений на территории Беларуси с использованием информации по 42 метеорологическим станциям и 92 симуляций региональных климатических моделей (RCM) с максимально возможным горизонтальным разрешением (EURO-CORDEX, 0,11°).

Материалы и методы. Оценка современных климатических изменений на территории Беларуси выполнена на основе результатов инструментальных измерений на сети гидрометеорологических наблюдений Белгидромета Минприроды. Данные наблюдений представлены ежедневными, месячными, сезонными и годовыми значениями температуры воздуха, осадков, влажности воздуха, ветра по 42 станциям, охватывающих территорию Беларуси. Расположение метеостанций представлено на рисунке 1.

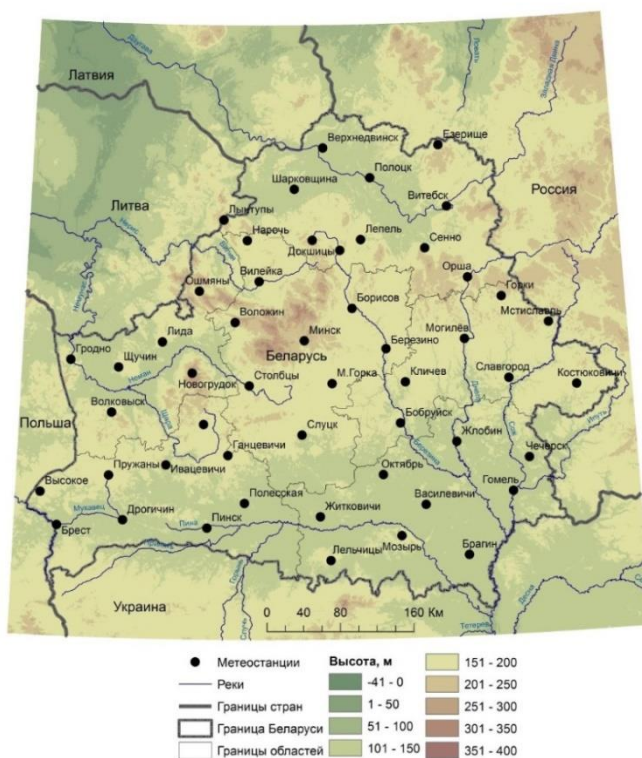


Рис. 1. Положение исследуемой территории и схема метеорологических станций Белгидромета Минприроды, используемых в работе

Расчеты климатических параметров выполнены для разных периодов: (1) 1971–2000 гг. - исторический период, использованный в расчетах EURO-CORDEX [19] для сравнения климатических норм, (2) 1981–2010 гг. - период, используемый в соответствии с Руководством ВМО по расчёту климатических норм [25] и (3) 1989–2019 гг. - период изменения климата в Беларуси [6], (4) 1945(48) – 2019 – период для расчета трендов климатических характеристик, (5) 2021–2100 гг. – период для расчета ожидаемых изменений климата на территории Беларуси.

Ожидаемые изменения климата базируются на 92 симуляциях климатических моделей, входящих в консорциум EURO-CORDEX. Подробное описание исходных данных и результатов валидации климатических проекций для территории Беларуси изложены в [16]. Результаты моделирования представлены с горизонтальным разрешением $0,11^\circ$ (~ 12 км, EUR-11), расчеты выполнены для трех репрезентативных сценариев концентрации парниковых газов, а именно RCP2.6 (10 симуляций), RCP4.5 (43 симуляции) и RCP8.5 (39 симуляций). Климатические проекции для территории Беларуси представлены сезонными и годовыми значениями температуры воздуха и осадков, и их экстремумами за последовательные десятилетия за период 2021-2100 гг.

Результаты и их обсуждение. Современные изменения климата на территории Беларуси. *Температура воздуха.* Наибольший интерес представляет современный период потепления климата, который отмечается на территории Беларуси с 1989 гг., когда среднегодовые значения температуры воздуха практически ежегодно превышают норму (1961-1990 гг.). За послевоенный период отмечались периоды похолоданий и потеплений, продолжительность которых в среднем составляла от 3 до 5 лет [11]. В течение 1989-2019 гг. среднегодовая температура воздуха на территории Беларуси повысилась в среднем за период на $1,3^\circ\text{C}$ по сравнению с климатической нормой (1961-1990 гг.) и на $0,7^\circ\text{C}$ по сравнению с температурой за период 1945-2019 гг. и составила $7,1^\circ\text{C}$ [14].

Среднегодовые значения температуры воздуха по территории страны характеризуются увеличением в направлении с северо-востока на юго-запад в среднем от $6,0$ до $8,5^\circ\text{C}$, как представлено на рисунке 2. Основное повышение температуры в период 1989-2019 гг. пришлось на зимние месяцы и начало весны (январь, февраль, март). За период 1945-2019 гг. температура воздуха с ноября по март повысилась на $0,5^\circ\text{C}$, а за 1989-2019 на $1,7^\circ\text{C}$ [14].

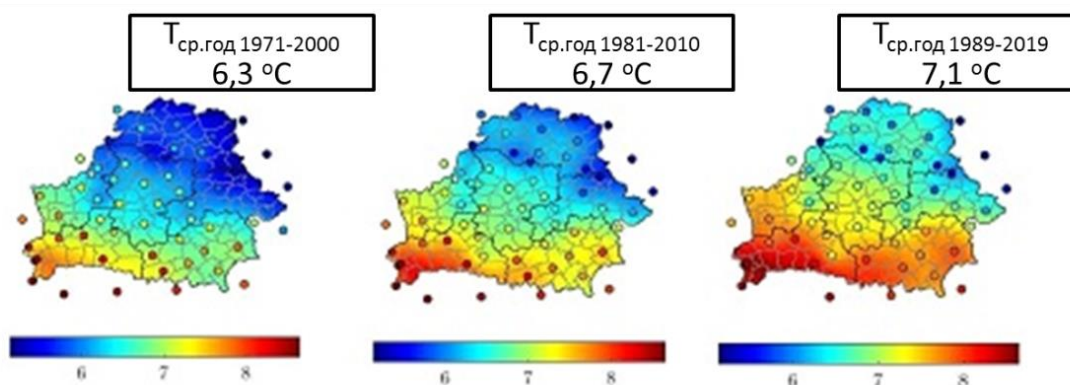


Рис. 2. Распределение среднегодовой температуры воздуха на территории Беларуси за различные периоды ($^\circ\text{C}$) (точки на карте показывают станционные данные, фон – интерполированные данные)

Осадки. Годовые суммы осадков на территории Беларуси в течение длительного периода, включая современный период потепления, изменялись незначительно (рис. 3). В период 1989-2019 гг. статистически незначимое увеличение отмечается в пределах 5-7% по всей территории страны [9, 14], с наибольшими значениями в северных районах. В

зимние месяцы увеличение отмечается по всей территории страны, но на севере более выражено: на 20-30% (6-13 мм) в январе-марте. Увеличение осадков в зимние месяцы связано с особенностями атмосферной циркуляции в Атлантико-европейском секторе [20].

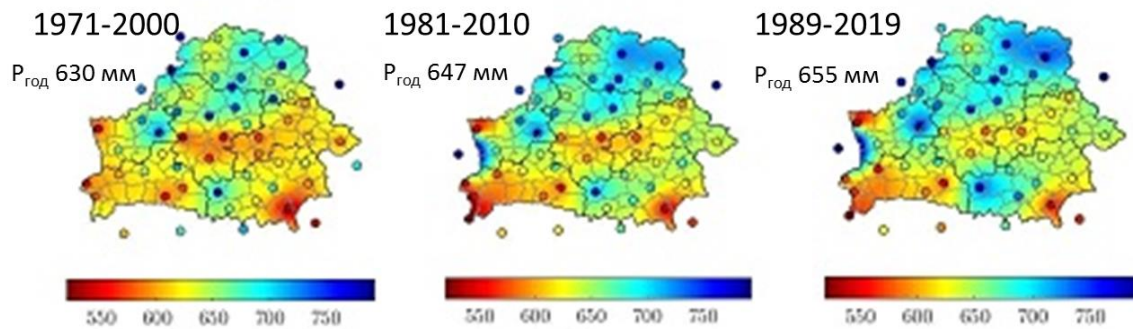


Рис. 3. Распределение годовых сумм осадков (мм) на территории Беларуси за различные периоды (точки на карте показывают станционные данные, фон – интерполированные данные)

В летний сезон на севере страны отмечается увеличение на 10-15% (6-10 мм) за аналогичный период. В июле отмечается наибольший рост осадков в рассматриваемый период – на большинстве станций положительные тренды составляют 6-10 мм за десятилетие. В августе режим увлажнения характеризовался отрицательными трендами - 1..-4 мм за десятилетие в центральной и южной части страны, в северной части – положительные тренды в пределах 1-2 мм за десятилетие.

Однако, несмотря на некоторый рост осадков, отмечается увеличение засушливости территории в вегетационный период [1, 7].

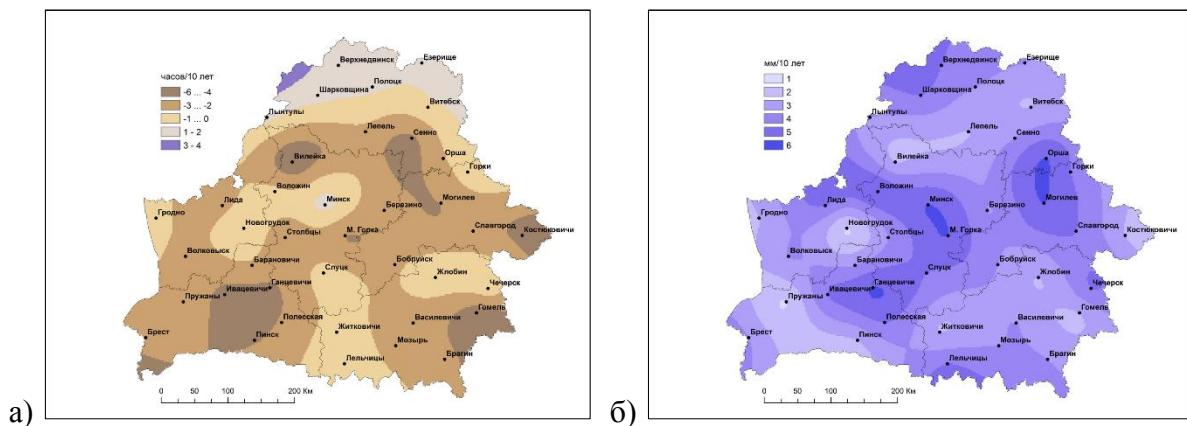


Рис. 4. Тренды продолжительности выпадения осадков, час/10 лет (а) и максимальных сумм осадков за сутки, мм/10 лет (б) летом за период 1948-2019 гг.

Период потепления климата в Беларуси связан с нарастанием экстремальности режима выпадения осадков. Установлено, что в июне-августе отмечается в основном снижение продолжительности выпадения осадков по всей территории страны - суммарно на 5-12 часов, при средних многолетних значениях в пределах 45-55 часов. Лишь на севере Беларуси в большинстве из рассматриваемых месяцев продолжительность осадков сохранилась на прежнем уровне (рис. 4а).

На фоне снижения продолжительности выпадения осадков зафиксировано увеличение максимальных сумм осадков за сутки, величины которых возросли по всей территории страны в июне-августе (рис. 4б). Рост максимальных сумм составляет от 5 до

18 мм (при средних многолетних значениях до периода потепления 16-25 мм, увеличение составило около 20-30% во все рассматриваемые месяцы), наибольший рост отмечен в июле для всех станций. Уменьшение продолжительности выпадения осадков и рост максимальных сумм осадков может свидетельствовать об увеличении продолжительности периодов без осадков и более частом формировании засушливых условий. В период потепления отмечается рост повторяемости метеорологических засух на территории страны. Повторяемость засух различных градаций (согласно Standartized Precipitation Index) возросла на каждой метеорологической станции хотя бы в один из летних месяцев. Подробный анализ метеорологических засух на территории Беларуси представлен в [1].

Запас воды в снеге. Изменение величины запасов воды в снеге или водного эквивалента снега (ВЭС) тесно связано с температурным режимом холодного периода. В связи со значимым увеличением температуры воздуха в зимний период ($\Delta T_{12-2} +2,1..2,4 \text{ }^\circ\text{C}$) в период 1989-2019 гг. на территории Беларуси отмечается общая тенденция снижения ВЭС. На рисунке 5 представлена динамика максимального значения ВЭС за сезон по трем метеорологическим станциям, которые, как правило, отмечаются в конце зимы перед началом весеннего снеготаяния. Наибольшее снижение характерно для центра и юга страны.

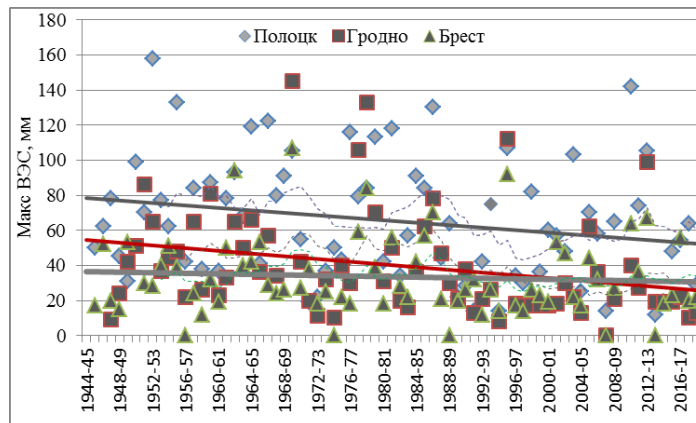


Рис. 5. Изменение максимального значения водного эквивалента снега за сезон по трем репрезентативным станциям за период 1945-2019 гг. на территории Беларуси

Влажность воздуха. Анализ показателей влагосодержания в атмосфере, которые характеризуют переувлажненные/засушливые условия, представлен расчетами трендов (1948-2019 гг.) числа дней с относительной влажностью не менее 80%, характеризующие очень влажные дни, и числа дней с относительной влажностью не более 30%, характеризующие очень сухие дни. Результаты расчетов представлены на рисунке 6.

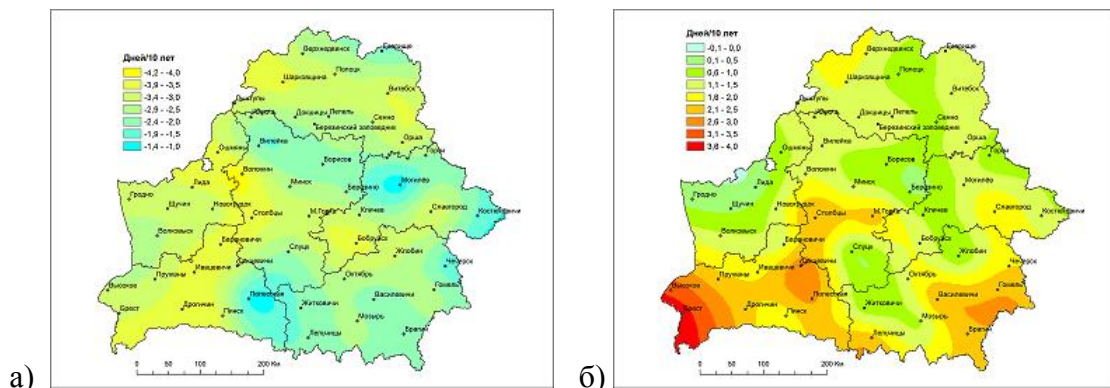


Рис. 6. Тренды числа дней с относительной влажностью не менее 80% (а) и не более 30 % (б) в теплый период года (апрель-октябрь) за 1948-2019 гг.

Расчеты показали, что число влажных дней уменьшается на всей территории страны, в центральных и восточных районах на 1-2 дня за десятилетие, на остальной территории на 3-4 дня за десятилетие. Число сухих дней напротив увеличивается по всей территории страны – в пределах 1-1,5 дней за десятилетие на севере, западе и центре страны, до 2-4 дней на большинстве южных станций. Т.е. в теплый период года снижается содержание влаги в воздухе и увеличивается засушливость климата.

Ветер. Как показано в работе [3] скорость ветра на территории Беларуси снизилась на территории Беларуси с 1970-х годов, снижение составляет 0,9–1,0 м/с, среднегодовая скорость ветра колеблется от 2,5 до 2,8 м/с. Максимальный порыв ветра также уменьшился на 1,2 м/с в центральной и южной частях страны и не изменился на севере Беларуси. Отрицательные тренды среднегодовой скорости ветра за период 1948–2019 гг. (рис. 7) составляет 0,04-0,40 м/с за десятилетие или 0,3-2,8 м/с за 71-летний период (1948-2019 гг.), снижение максимального порыва ветра составляет 0,1–0,2 м/с за десятилетие или 0,7-1,4 м/с за 1948-2019 гг.

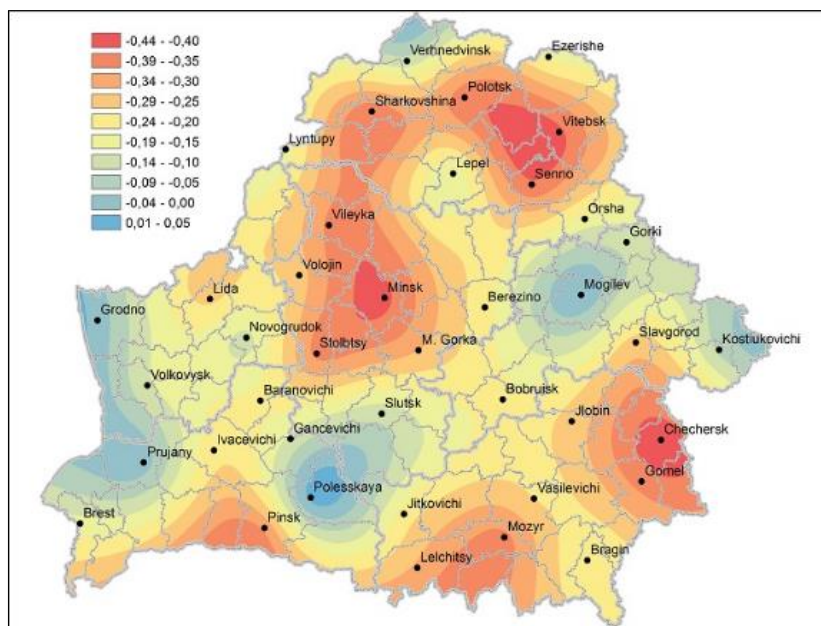


Рис. 7. Тренды среднегодовой скорости ветра на территории Беларуси за период 1948–2019 гг.

Ожидаемые изменения климата на территории Беларуси. *Температура воздуха.* На рисунке 8 представлены прогнозируемые изменения за последовательные десятилетия за период 2021–2099 гг. по отношению к текущим условиям (1971–2000 гг.) для территории Беларуси, для сценариев RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5.

В случае реализации каждого из сценариев ожидается повышение температуры воздуха. Согласно сценарию RCP2.6 увеличение средней годовой температуры воздуха прогнозируется до 0,5-1,2 °С. Наибольший рост предполагается зимой и весной от 0,5 до 2,0 °С в течение текущего столетия в разные десятилетия; наименьший рост ожидается летом, сезонные отклонения не превысят 1,4 °С. Ожидается, что средняя годовая температура превысит климатическую норму 1971–2000 гг. от 1,0 до 2,8 °С согласно сценарию RCP4.5. Прогнозируется, что зимнее повышение составит около 1,2-3,8 °С, весной 0,9-3,2 °С, летом 0,9-1,8 °С и осенью 1,2-2,3 °С. Для сценария RCP8.5 прогнозируется рост средней температуры от 1,2 °С в начале рассматриваемого периода до 5,2 °С в конце столетия. Ожидается постепенный рост температуры зимой и весной на 1,5-6,3 °С, в летне-осенний период на 0,8-4,5 °С.

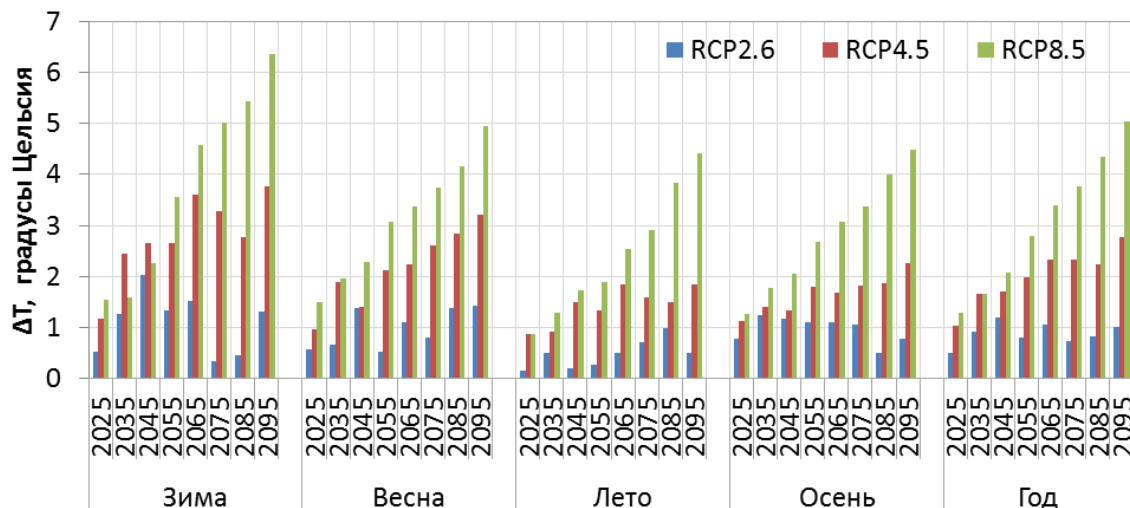


Рис. 8. Медианные декадные оценки изменения температуры воздуха в Беларуси по ансамблю климатических моделей за период 2021–2099 гг.

Среди экстремальных показателей термического режима в зимний период были выявлены существенные изменения повторяемости морозных дней², число которых как ожидается, уменьшится от 3-9 дней в течение рассматриваемого периода при RCP2.6 до 4-33 дней при сценарии RCP4.5 и RCP8.5. Летом число теплых дней³ возрастет от 1 дня в течение нескольких десятилетий текущего столетия по RCP2.6 до 12 дней при RCP8.5; количество жарких дней⁴ увеличится на 3-21 день согласно сценарию RCP4.5 и RCP8.5. Количество тропических ночей⁵ увеличится на 2-8 дней с 2051 по 2060 гг. только для сценария RCP8.5.

Осадки. Изменение режима выпадения осадков в текущем столетии будет характеризоваться преимущественно постепенным увеличением, как показано на рис. 9.

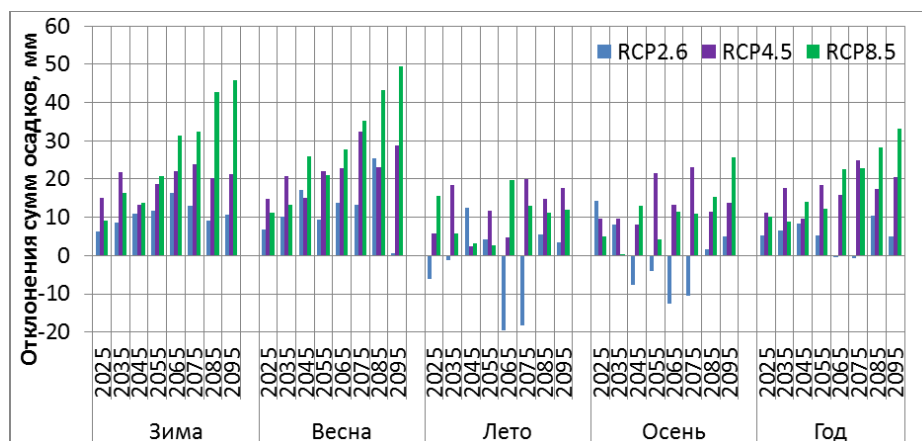


Рис. 9. Медианные декадные оценки изменения осадков в Беларуси по ансамблю климатических моделей за период 2021–2099 гг.

При реализации сценария RCP2.6 в зимний период ожидается небольшой рост в пределах 10 мм в ближайшие два десятилетия, затем снижение и к концу столетия

² Морозные дни – дни, когда максимальная температура воздуха в течение суток не превышала отметку 0 °С

³ Теплые дни – дни, когда максимальная температура воздуха в течение суток превышала отметку 25 °С;

⁴ Жаркие дни – дни, когда максимальная температура воздуха в течение суток превышала отметку 30 °С;

⁵ Тропические ночи – дни, когда минимальная температура воздуха в течение суток была выше отметки 20 °С.

стабилизация в пределах нормы. В весенний сезон ожидается рост сезонных сумм осадков на 10-25 мм. Летом осадки будут характеризоваться чередованием увеличения и снижения сезонных сумм осадков в пределах 20 мм. В осенний сезон ожидаются преимущественно положительные отклонения в пределах 6-17 мм. При реализации сценариев RCP4.5 и RCP8.5 положительные отклонения сезонных сумм осадков зимой будут составлять 8-26 мм, весной на 11-49, летом от нормы до 20 мм, осенью на 9-46 мм. Число дней с интенсивными осадками⁶ (рис. 10) ожидается выше во все сезоны рассматриваемого периода, но наибольшие превышения ожидаются в зимний и весенний сезоны. Отклонения составят 1-2 дня при сценариях RCP4.5 и RCP8.5, в летне-осенний сезон отклонения не превысят 1 дня также при сценариях RCP4.5 и RCP8.5.

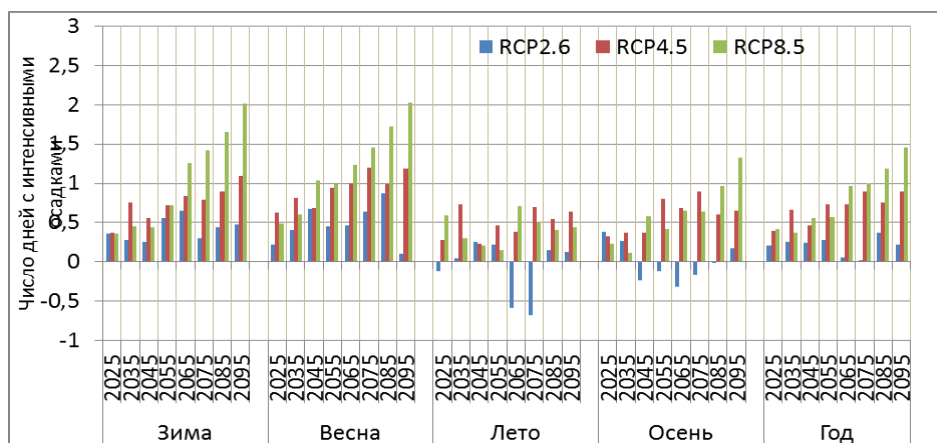


Рис. 10. Медианные декадные оценки изменения числа дней с интенсивными осадками в Беларуси по ансамблю климатических моделей за период 2021–2099 гг.

Максимальная продолжительность засушливого периода (рис. 11) ожидается в пределах нормы в зимний период, ниже нормы на 1 день в весенний период, выше нормы на 1 день в летний период, и выше нормы в осенний период на 1-2 дня при сценарии RCP2.6, на 0,5 дней ниже нормы при сценарии RCP4.5, и выше нормы на 1 день при сценарии RCP8.5.

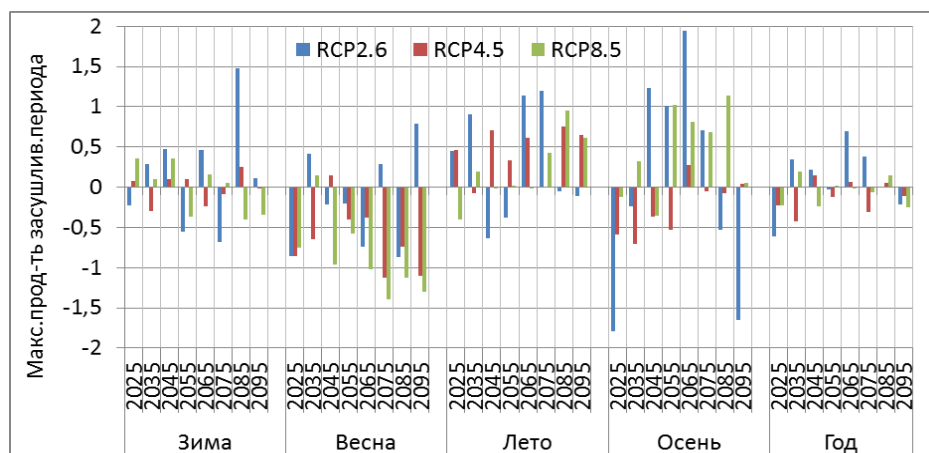


Рис. 11. Медианные декадные оценки изменения максимальной продолжительности засушливых периодов в Беларуси по ансамблю климатических моделей за период 2021–2099 гг.

⁶ Дни с интенсивными осадками – дни с ежедневной суммой осадков превышающей 10,0 мм.

Осадки в виде снега. В течение рассматриваемого периода ожидается постепенное снижение количества осадков в твердом виде – на 10-20 мм при сценарии RCP2.6, на 1-25 мм при сценарии RCP4.5, на 8-48 мм при сценарии RCP8.5.

Ветер. Согласно расчетам, изменения среднегодовой и среднесезонной скорости ветра ожидаются в незначительных пределах. В целом большинство моделей показало увеличение количества дней с сильным ветром⁷ зимой на 2–2,5 дня, в то время как летом количество дней с сильным ветром предположительно уменьшится на 3 дня (рис. 12).

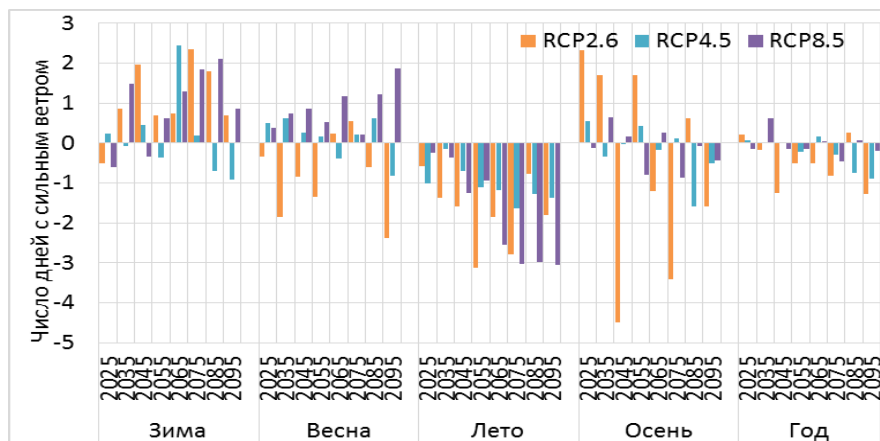


Рис. 12. Медианные декадные оценки изменения числа дней с сильным ветром в Беларуси по ансамблю климатических моделей за период 2021–2099 гг.

Выводы. В работе представлены результаты текущих и будущих изменений климата на территории Беларуси. В исследовании предпринята попытка связать региональные особенности происходящих климатических изменений и прогнозируемых значений температуры воздуха, осадков и ветра. Ниже кратко излагаются основные тенденции текущих и прогнозируемых изменений климата на территории Беларуси.

Температура: В последние десятилетия (1989–2019 гг.) на территории Беларуси произошло повышение температуры на 1,3 °С. Наибольший рост температуры воздуха на 2,1–2,4 °С наблюдается в холодное время года. Но в то же время повсеместно отмечаются рост числа жарких дней на 1-4 дня за десятилетие. Различные сценарии концентрации парниковых газов прогнозируют повышение средней годовой температуры воздуха на 1–5 °С до конца текущего столетия. Наибольший рост на 1–6 °С прогнозируется в холодное время года, в теплое время года ожидается рост на 1–4 °С. Сценарий RCP8.5 демонстрирует наибольшие изменения. Зимой, весной и осенью ожидается повышение температуры до середины текущего столетия, а затем прогнозируется некоторое снижение до конца столетия.

Осадки: В последние десятилетия на территории страны отмечается незначимое повышение среднегодовых сумм осадков на 5-7%, заметное увеличение максимумов летних осадков до 20-30%, снижение продолжительности выпадения осадков на 20%, что объясняет увеличение повторяемости засушливых условий на территории Беларуси в период вегетации. Так, число сухих дней увеличилось по всей территории страны на 1-4 дня за десятилетие на большинстве станций, число дней с сочетанием высокой температуры и низкой влажности увеличилось на 1-2 дня за десятилетие. Прогнозируется увеличение количества осадков по всей Беларуси во все сезоны. Ожидается, что к концу столетия среднегодовое количество осадков увеличится на 30–120 мм или на 5–15%. Модели демонстрируют увеличение количества осадков за единичный случай выпадения осадков по сравнению с многодневными осадками. Показано, что число дней с

⁷ Дни со скоростью ветра менее 11 м/с

интенсивными осадками увеличится до 2 дней. Летом и осенью ожидается наибольшее увеличение максимальной продолжительности засушливых периодов на 0,5–1,5 дня, за исключением нескольких десятилетий по сценарию RCP2.6. Наибольшие отклонения количества дней с осадками и засушливых периодов в течение столетия прогнозируются для сценария RCP2.6.

Снег: Количество зимних осадков увеличилось на севере Беларуси и за последние десятилетия существенно не изменилось в центре и на юге страны. Продолжительность твердых осадков уменьшилась на 5–23 дня, особенно на юге, а продолжительность жидких осадков зимой увеличилась на всей территории Беларуси. Модели прогнозируют общее уменьшение количества снегопадов в Беларуси на 10–45 мм в текущем столетии. Однако увеличение осадков в твердом виде может отмечаться во второй половине столетия согласно сценарию RCP 2.6.

Ветер: С 1970-х годов среднегодовая скорость ветра на территории Беларуси снизилась на 0,9–1,0 м/с. Климатические модели показывают незначительные изменения средней сезонной и годовой скорости ветра от 0,2 до -0,4 м/с. Значимый сигнал изменения климата в ветровом режиме обнаруживается в количестве дней с сильным ветром. Среди рассчитанных показателей будущих изменений ветрового режима ожидается чередование статистически значимых положительных и отрицательных отклонений количества дней с сильным ветром в пределах 1–3 дней.

Использованная литература:

1. Данилович И.С., Квач Е.Г., Журавович Л.Н., Пискунович Н.Г. Современные изменения режима увлажнения в теплый период года и условий формирования стока летне-осенней межени на реках Беларуси // *Природные ресурсы*. 2021. №1. С. 22-33.
2. Данилович И.С., Гайер Б. Оценка возможных будущих изменений температуры воздуха и осадков по декадам текущего столетия для территории Беларуси на основе результатов численного моделирования // *Природные ресурсы*. 2018. № 1. С. 102-114.
3. Логинов В.Ф., Лысенко С.А., Мельник В.И. Изменение климата Беларуси: причины, последствия, возможности регулирования. 2-ое изд. Минск: УП «Энциклопедикс», 2020. 264 с.
4. Кокорев В.А., Анисимов О.А. Построение оптимизированной ансамблевой климатической проекции для оценки последствий изменений климата на территории России // *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*. 2013. Т. 25. С. 131.
5. Логинов В. Ф., Микуцкий В. С., Каждан Е. Н. Использование моделей общей циркуляции для оценки климата в Беларуси // *Природопользование*. 2000. Вып. 6. С. 30–31.
6. Логинов В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Минск: Тетра Системс, 2008. 494 с.
7. Логинов В.Ф. Климатические исследования в институте // *Природопользование*. 2012. Вып. 22. С. 123-140.
8. Мельник В.И., Соколовская Я.А., Комаровская Е.В. Возможные изменения климатических и агроклиматических характеристик в XXI веке на территории Беларуси и их влияние на сельское хозяйство // *Природные ресурсы*. 2017. Вып. 2. С. 118-125.
9. Мельник В.И., Буяков И.В., Чернышов В.Д. Изменения количества и вида атмосферных осадков в холодный период на территории Беларуси в условиях современного потепления климата // *Природные ресурсы*. 2019. № 2. С. 44-51.
10. Мохов И., Елисеев А. Моделирование глобальных климатических изменений в XX - XXIII веках при новых сценариях антропогенного воздействия (РГП) // *Известия РАН. Серия географическая*. 2006. № 443(6). С. 732–736.
11. Оценка влияния урбанизации и мелиорации на климатические, водные, земельные и лесные ресурсы Беларуси. «Оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за период потепления. Выбор критериев агроклиматического районирования»: отчет по НИР (заключительный) № госрегистрации 20163200/ Белгидромет. Минск. 2016. 103 с.

12. Павлова В.Н. Агроклиматические ресурсы и продуктивность сельского хозяйства России при реализации новых климатических сценариев в XXI веке // Труды Главной Геофизической Обсерватории им. А.И.Воейкова. СПб. 2013. Вып.569. С. 20-37.
13. Подгорная Е., Мельник В., Комаровская Е. Особенности изменения климата на территории Беларуси в последние десятилетия // Труды Гидрометеорологического научного центра Российской Федерации. 2015. №358. С. 112–120.
14. Разработать прогноз состояния окружающей среды Беларуси на период до 2035 года: отчет о НИР (промежут.) / Институт природопользования НАН Беларуси: рук. В.С. Хомич. Минск. 2020. 315 с. № ГР 20192690.
15. Снежко С., Ободовский А., Лопух П. Долгосрочный прогноз стока горных и равнинных территорий для оценки их гидроэнергетического потенциала (на примере Украинских Карпат и Беларуси) // Журнал Белорусского государственного университета. География и геология. 2017. № 1. С. 50–61.
16. Danilovich I., Geyer B. (2021), Estimates of current and future climate change in Belarus based on meteorological station data and the EURO-CORDEX-11 dataset, *Meteorology, Hydrology and Water Management*, <https://doi.org/10.26491/mhwm/139386>
17. Frich, P., Alexander, L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein, T., and Peterson, T. (2002), Observed coherent changes in climatic extremes during second half of the twentieth century, *Climate Research*. No 19, doi: 10.3354/cr019193.
18. IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (2014) [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], Geneva, 151 p.
19. Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Christensen O.B., Bouwer L.M., Braun A., Colette A., Déqué M. and 30 more (2014), EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research, *Regional Environmental Change*, Vol. 14, Issue 2, pp. 563-578.
20. Partasenok I., Groisman P., Melnik V., Chekan R. (2014), Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus, *Environ. Res. Lett*, No 9.
21. BACC Author Team (2015), *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*, Springer International Publishing, 501 p.
22. *Statement on the State of the Global Climate in 2018* (2019), WMO, Geneva, 2019. 64 p.
23. Taylor K.E., Stouffer R.J. and Meehl G.A. (2011), An overview of CMIP5 and the experiment design, *Bulletin of the American Meteorological Society*, No 93 (4), pp. 485–498, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00094.1.
24. Van der Linden P. and Mitchell J. (2009), Ensembles: Climate change and its impacts: Summary of research and results from the ensembles project, *Technical report, Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK*.
25. *WMO Guidelines on the calculation of Climate Normals* (2017), WMO-No. 1203.

References:

1. Danilovich I.S., Kvach E.G., Zhuravovich L.N., Piskunovich N.G. (2021), Current changes in the precipitation regime in the warm season and the conditions for the formation of the runoff of the summer-autumn dry season on the rivers of Belarus, *Natural resources*, No.1, pp. 22-33. (In Russ.).
2. Danilovich I.S, Gayer B. (2018), Assessment of possible future changes in air temperature and precipitation over decades of the current century for the territory of Belarus based on the climate modeling, *Natural resources*, No.1, pp. 102-114. (In Russ.).
3. Loginov V.F, Lysenko S.A., Melnik V.I. (2020), *Climate change in Belarus: drivers, consequences, regulation options*, 2nd ed, Minsk, 264 p. (In Russ.).
4. Kokorev V.A., Anisimov O.A. (2013), Construction of an optimized ensemble climatic projection for assessing the consequences of climate change over the territory of Russia, *Problems of ecological monitoring and modeling of ecosystems*, vol. 25, p. 131. (In Russ.).
5. Loginov V. F., Mikutsky V. S., Kazhdan E. N. (2000), Using general circulation models for assessing the climate in Belarus, *Nature management*, Issue 6, pp. 30–31. (In Russ.).
6. Loginov V.F. (2008), *Global and regional climate changes: causes and consequences*, Minsk, 494 p. (In Russ.).

7. Loginov V.F. (2012), Climatic research at the institute, *Nature management*, Issue 22, pp. 123-140. (In Russ.).
8. Melnik V.I., Sokolovskaya Ya.A., Komarovskaya E.V. (2017), Possible changes in climatic and agroclimatic characteristics in the XXI century over the territory of Belarus and their impact on agriculture, *Natural resources*, Issue 2, pp. 118-125. (In Russ.).
9. Melnik V.I., Buyakov I.V., Chernyshov V.D. (2019), Changes in the amount and type of atmospheric precipitation during the cold period on the territory of Belarus in the conditions of modern climate warming, *Natural resources*, No. 2, pp. 44-51. (In Russ.).
10. Mokhov I., Eliseev A. (2006), Modeling of global climatic changes in the XX - XXIII centuries under new scenarios of anthropogenic impact (RGP), *Izvestia RAN. Seriya Geograficheskaya*, No.443, pp. 732-736. (In Russ.).
11. Assessment of the impact of urbanization and land reclamation on the climatic, water, land and forest resources of Belarus. "Assessment of agroclimatic resources of the territory of Belarus for the period of warming. The criteria for agroclimatic zoning": report on research (final), 103 p. (In Russ.).
12. Pavlova V.N. (2013), Agroclimatic resources and agricultural productivity In Russia in the implementation of new climatic scenarios in the XXI century, *Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A.I. Voeikov*, Issue 569, pp. 20-37. (In Russ.).
13. Podgornaya E., Melnik V., Komarovskaya E. (2015), Features of climate change on the territory of Belarus in recent decades, *Proceedings of the Hydrometeorological Scientific Center of the Russian Federation*, No. 358, pp. 112-120. (In Russ.).
14. *Environment forecast in Belarus for the period up to 2035*: report on research (2020), Institute of Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, 315 p. (In Russ.).
15. Snezhko S., Obodovsky A., Lopukh P. (2017), Long-term forecast of the runoff of mountain and lowland territories to assess their hydropower potential (on the example of the Ukrainian Carpathians and Belarus) , *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology*, No. 1, pp. 50–61. (In Russ.).
16. Danilovich I., Geyer B. (2021), Estimates of current and future climate change in Belarus based on meteorological station data and the EURO-CORDEX-11 dataset, *Meteorology, Hydrology and Water Management*, <https://doi.org/10.26491/mhwm/139386>
17. Frich, P., Alexander, L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein, T., and Peterson, T. (2002), Observed coherent changes in climatic extremes during second half of the twentieth century, *Climate Research*. No 19, doi: 10.3354/cr019193.
18. *IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (2014) [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)], Geneva, 151 p.
19. Jacob D., Petersen J., Eggert B., Alias A., Christensen O.B., Bouwer L.M., Braun A., Colette A., Déqué M. and 30 more (2014), EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research, *Regional Environmental Change*, Vol. 14, Issue 2, pp. 563-578.
20. Partasenok I., Groisman P., Melnik V., Chekan R. (2014), Winter cyclone frequency and following freshet streamflow formation on the rivers in Belarus, *Environ. Res. Lett*, No 9.
21. BACC Author Team (2015), *Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin*, Springer International Publishing, 501 p.
22. *Statement on the State of the Global Climate in 2018* (2019), WMO, Geneva, 2019. 64 p.
23. Taylor K.E., Stouffer R J. and Meehl G.A. (2011), An overview of CMIP5 and the experiment design, *Bulletin of the American Meteorological Society*, No 93 (4), pp. 485–498, doi: 10.1175/BAMS-D-11-00094.1.
24. Van der Linden P. and Mitchell J. (2009), Ensembles: Climate change and its impacts: Summary of research and results from the ensembles project, *Technical report, Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK*.
25. *WMO Guidelines on the calculation of Climate Normals* (2017), WMO-No. 1203.

Сведения об авторах:

Данилович Ирина Сергеевна – Институт природопользования НАН Беларуси, ведущий научный сотрудник, кандидат географических наук, доцент. E-mail: irina-danilovich@yandex.ru

Логинов Владимир Фёдорович – Институт природопользования НАН Беларуси, главный научный сотрудник, доктор географических наук, профессор, академик НАН Беларуси. E-mail: info@nature-nas.by

Information about authors:

Danilovich Irina – Institute for Nature Management National Academy of Sciences of Belarus, Lead Researcher, PhD of Geographical Sciences, Associate Professor. E-mail: irina-danilovich@yandex.ru

Loginov Vladimir – Institute for Nature Management National Academy of Sciences of Belarus, Principle Researcher, Doctor of Geographical Sciences, Professor, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus. E-mail: info@nature-nas.by

Для цитирования:

Данилович И.С., Логинов В.Ф. Текущие и ожидаемые изменения климата на территории Беларуси // Центральноазиатский журнал географических исследований. 2021. № 1-2. С. 35-48.

For citation:

Danilovich I.S., Loginov V.F. (2021), Current and expected climate changes over the territory of Belarus, *Central Asian journal of the geographical researches*, No 1-2, pp. 35-48. (In Russ.).