

УДК 551.581.1,551.582,551.584

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ: ПРИЧИНЫ, СЛЕДСТВИЯ, ПРОГНОЗЫ

И. С. ДАНИЛОВИЧ^{1),2)}, В. И. МЕЛЬНИК²⁾, Б. ГЕЙЕР³⁾

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

³⁾Институт прибрежных исследований Научного центра им. Гельмгольца,
ул. Макса Планка, 1, 21502, г. Гестахт, Германия

Проведено исследование особенностей изменения климата Белорусского Полесья в современный период, выявлены закономерности формирования агроклиматических условий на мелиорированных территориях, представлен прогноз дальнейшей динамики климатических и агроклиматических показателей. Установлено, что климатические изменения в регионе синхронизированы с глобальным потеплением и в большей мере выражены на минеральных почвах, чем на осушенных торфяниках. На мелиорированных торфяных почвах сохраняются более экстремальные условия для возделывания сельскохозяйственных культур. Отмечено, что по количеству осадков за период потепления восточная часть Полесья превосходит западную. Проведение мелиоративных работ на больших площадях, уменьшение древесной растительности и шероховатости подстилающей поверхности вызвали увеличение скорости ветра и снижение количества осадков. Намечившиеся тенденции изменения климата сохранятся в текущем столетии. Продолжится рост температуры воздуха, особенно в зимний сезон, при этом

Образец цитирования:

Данилович ИС, Мельник ВИ, Гейер Б. Современные изменения климата Белорусского Полесья: причины, следствия, прогнозы. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2020;1:3–13.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-1-3-13>

For citation:

Danilovich IS, Melnik VI, Geyer B. The current climate changes in Belarusian Polesje region: factors, consequences, projections. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2020;1:3–13. Russian.
<https://doi.org/10.33581/2521-6740-2020-1-3-13>

Авторы:

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

Виктор Иванович Мельник – кандидат географических наук; старший научный сотрудник Центра климатических исследований.

Беате Гейер – доктор философии по метеорологии; ведущий научный сотрудник.

Authors:

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

irina-danilovich@yandex.ru

Viktar I. Melnik, PhD (geography); senior researcher at the Center for Climate Research.

v.melnik2016@mail.ru

Beate Geyer, PhD (meteorology); leading researcher.

beate.geyer@hzg.de

отклонения минимальной температуры будут превышать отклонения средней и максимальной температуры. Ожидается и увеличение количества осадков (зимой преимущественно за счет осадков умеренной интенсивности), но продолжительность засушливых периодов в летние месяцы возрастет.

Ключевые слова: Белорусское Полесье; мелиорация; микроклимат; изменение климата; климатические ресурсы; климатические проекции.

THE CURRENT CLIMATE CHANGES IN BELARUSIAN POLESJE REGION: FACTORS, CONSEQUENCES, PROJECTIONS

I. S. DANILOVICH^{a, b}, V. I. MELNIK^b, B. GEYER^c

^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

^cInstitute of Coastal Research, Helmholtz-Zentrum Geesthacht,
1 Max-Planck-Straße, Geesthacht 21502, Germany

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

The study presents the pattern of climatic changes in the region of the Belarusian Polesje in current period and shows peculiarities of agricultural conditions on drained peat bogs during last decades. Also the climatic projections in the study region are presented with emphasize on agricultural indices. The climate changes in the region are synchronized with a global climate warming, and expressed more significant on the natural than drained areas. But at the same time a severe and extreme conditions for vegetation growth are more evident on the drained peat bogs. The precipitation sums exceeding have been noticed in the eastern part of the Belarusian Polesje in comparison with western part. The amelioration, deforestation and decrease of underlying surface roughness have led to wind speed growth and decrease of precipitation. The observed climate change tendencies will be kept in the current century. The growth of air temperature will continue, the largest deviations of the air temperature will be noticed in winter season. The deviations of minimal temperature will exceed deviations of maximal and mean temperature. The precipitation wills growth, but deviations will be heterogeneous during the current century. The largest growth of precipitation will be observed in winter season due to the rainfall of moderate intensity increase. But in the same time the duration of the drought periods will increase in summer.

Keywords: Belarusian Polesje; amelioration; microclimate; climate change; climate resources; climate projections.

Введение

Несмотря на небольшую площадь Беларуси и относительно однородный рельеф, в формировании многих аспектов окружающей среды имеются значительные региональные отличия. В первую очередь региональность прослеживается в физико-географических условиях и в распределении климатических характеристик. Существующие региональные климатические отличия важно учитывать при планировании работы климатозависимых отраслей экономики, и прежде всего сельского хозяйства.

Оценка и последующий учет климатических условий разных частей страны осложняются антропогенным преобразованием территории и нарушением полей распределения средних многолетних климатических параметров. В качестве примера местности с региональными климатическими отличиями, подвергшейся существенному антропогенному преобразованию, и объекта настоящего исследования выступает Белорусское Полесье. Значительное изменение подстилающей поверхности и теплофизических свойств почв в результате мелиоративных работ, особенно в 1960–80-х гг., повлияло на микроклимат данного региона. Изучение обусловленных этим особенностей в последние десятилетия становится более затруднительным в связи с заметным изменением климата. Современные климатические изменения в Беларуси и их последствия («теплые» зимы, раннее наступление весенних процессов, увеличение продолжительности и теплообеспеченности вегетационного периода, а также повторяемости засух, волн тепла, высоких температур воздуха и др.) синхронизированы с глобальными тенденциями, формируют новые климатические условия регионов и оказывают существенное влияние на климатозависимые сектора экономики. Из-за одновременного природного и антропогенного воздействия крайне сложно вычлнить самостоятельную роль каждого из факторов. Поэтому исследование значения под-

стилающей поверхности в формировании региональных особенностей климата Беларуси и прогноз его дальнейшей динамики являются актуальными и востребованными.

Цель работы заключалась в оценке изменений основных климатических и агроклиматических параметров Белорусского Полесья за различные периоды, выявлении закономерностей их пространственного и временного распределения, определении сценариев дальнейших климатических изменений в регионе по последовательным десятилетиям на базе расчетов численных моделей.

Материалы и методы исследования

Оценка современных и будущих изменений климатических и агроклиматических показателей Белорусского Полесья базировалась на материалах государственного климатического кадастра¹, включающего результаты инструментальных измерений государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь, а также на расчетных данных ансамбля региональных климатических моделей.

Для анализа современных климатических изменений на территории Белорусского Полесья использованы суточные, среднемесячные, годовые и экстремальные значения температуры и влажности воздуха, количества осадков, на основе которых рассчитывались агроклиматические показатели: даты перехода температуры воздуха через 0; 5; 10; 15 °С весной и осенью, суммы температур воздуха выше 0; 5; 10; 15 °С и продолжительность периодов с пороговыми значениями указанных температур, число сухих дней (с относительной влажностью воздуха 30 % и менее хотя бы в один из сроков наблюдений), количество жарких дней (с максимальной температурой воздуха +25 °С и выше).

Перечисленные показатели в большинстве случаев определялись за период потепления (1989–2015) и сравнивались с климатической нормой (1961–1990).

Для оценки будущих изменений климата в Полесье были выполнены расчеты по ансамблю глобальных и региональных климатических моделей, предоставляемых консорциумом EURO-CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment – European Domain, World Climate Research Programme, World Meteorological Organization) [1]. Расчет каждого метеорологического параметра включал 15–16 климатических проекций. В качестве обобщающей характеристики использовано медианное значение. Результаты расчетов представлены суточными значениями температуры воздуха и количества осадков за 2021–2099 гг., на основе которых вычислялись климатические и агроклиматические показатели и индексы за сезонные и годовые интервалы по последовательным десятилетиям в узлах регулярной сетки, совпадающих с положением метеорологических станций в рассматриваемом регионе. В работе приведены прогнозируемые изменения климатических характеристик в зависимости от сценария антропогенного воздействия RCP4.5 (representative concentration pathways), что соответствует концентрации парниковых газов 538 частей на миллион (ppm) [2].

Расчеты по оценке современных и будущих изменений климата выполнены по 13 метеорологическим станциям, расположенным в пределах Полесской провинции. Размещение станций показано на рис. 1.



Рис. 1. Схема расположения метеорологических станций в пределах Полесской провинции

Fig. 1. The scheme of the meteorological stations located in the Polesje province

¹Государственный климатический кадастр [Электронный ресурс] : материалы наблюдений гос. сети гидрометеоролог. наблюдений Респ. Беларусь : регистрац. свидетельство № 0870100021 / Респ. центр по гидрометеорологии, контролю радиоактив. загрязнения и мониторингу окружающей среды. Минск, 2018.

Альтернативная гипотеза H_1 о наличии значимых изменений в регионе Белорусского Полесья (против нулевой гипотезы H_0 об их отсутствии) в течение обозначенных выше периодов, совпадающих с активным антропогенным воздействием или его незначительным влиянием, проверялась посредством оценки статистической значимости отклонений от нормы климатических параметров согласно критерию Стьюдента; оценка наличия и значимости трендов климатических параметров (при $p < 0,5$) проводилась на основе теста Манна – Кендалла, для количественной оценки происходящих изменений использовался метод Сена.

Результаты и их обсуждение

Современные изменения в Полесском регионе. Белорусское Полесье в силу своего географического положения характеризуется самой высокой в Беларуси теплообеспеченностью и продолжительностью вегетационного периода. В данном регионе, как и на всей территории страны, с конца 1980-х гг. отмечаются заметные изменения климата [3; 4], связанные в первую очередь с ростом температуры воздуха. Это приводит к изменению агроклиматических показателей. Среди них прежде всего следует отметить трансформацию границ агроклиматических областей: Северная агроклиматическая область распалась, Центральная и Южная агроклиматические области сместились на север, а на юге Полесья образовалась более теплая Новая агроклиматическая область [5; 6].

Повышение температуры воздуха на территории Белорусского Полесья наблюдается во все месяцы года и наиболее выражено в зимний (декабрь – февраль), весенний (март – апрель) и летний (июнь – август) сезоны. В целом, как показали исследования, годовая температура воздуха в регионе за 1989–2015 гг. увеличилась на 1,2 °C по сравнению с климатической нормой (1961–1990) [3].

В течение 1989–2015 гг. на территории Белорусского Полесья зарегистрированы аномально ранние устойчивые переходы температуры воздуха через 0 °C весной (в среднем на 8–13 дней раньше многолетних сроков). Переходы температуры через 5 и 10 °C весной также происходили раньше многолетних дат (на 7–10 и 2–7 дней соответственно). Увеличились суммы температур воздуха выше 0; 5; 10; 15 °C и продолжительность периодов с пороговыми значениями указанных температур [4].

На большей части Белорусского Полесья возросло число жарких (рис. 2) и сухих дней. Количество жарких дней значительно прибавилось в 1989–2015 гг. Число сухих дней за период активной вегетации (май – август) в среднем по региону увеличилось на 2,5 дня. Наибольший рост произошел в Бресте (6 дней) и Октябре (5 дней). В то же время практически не изменилось число сухих дней в мае – июне, что является положительным фактором для развития растений: обычно значительное количество сухих дней в этот период в сочетании с высокими температурами приводит к атмосферной и почвенной засухе, которая отрицательно сказывается на формировании урожая основных зерновых культур. Рост числа сухих дней в июле – августе, если он не вызван сильными засухами, улучшает условия созревания и уборки зерновых культур. При этом наблюдается тенденция увеличения количества сухих дней в сочетании с максимальной температурой воздуха +25 °C и выше, особенно в июле – августе, что является неблагоприятным фактором для условий произрастания ряда сельскохозяйственных культур, и в первую очередь капусты, картофеля, льна, трав второго укоса [4].

Следует отметить, что увеличение числа жарких дней с температурой воздуха +25 °C и выше (май – сентябрь) в течение периода потепления также характерно для всей территории Беларуси и, следовательно, вызвано общими тенденциями изменения климата, что хорошо видно на рис. 2.

Изменение режима выпадения атмосферных осадков в Полесье характеризуется следующими тенденциями. Анализ показывает некоторое увеличение их годовых сумм по всей территории Белорусского Полесья за период потепления по сравнению с климатической нормой (1961–1990). Изменение количества осадков могло быть вызвано изменением циркуляционных процессов в атмосфере, а также влиянием осушительной мелиорации в 1960–80-х гг. Для проверки гипотезы о возможном влиянии мелиорации в Полесье на региональные изменения режима выпадения осадков были проанализированы суммы осадков за год и за теплый период на станциях Полесского региона до начала активных мелиоративных работ (1948–1964), в период интенсивной мелиорации (1965–1988) и после ее завершения (1989–2015) (период потепления, или современный период). При выборе этих интервалов были учтены положения, представленные в работах [4; 5; 7; 8]. Следует отметить, что указанные периоды, несмотря на некоторую их условность, в целом правильно отражают масштабы проведенных мелиоративных работ на территории Белорусского Полесья, основной объем которых пришелся на 1960–80-е гг. [9].

Кроме того, эти интервалы характеризуются однородными рядами метеорологических наблюдений практически на всех станциях Белорусского Полесья начиная с 1948 г., что позволяет провести полный и объективный анализ пространственно-временного распределения осадков в данном регионе более чем за 60-летний период. Результаты исследований представлены в таблице.

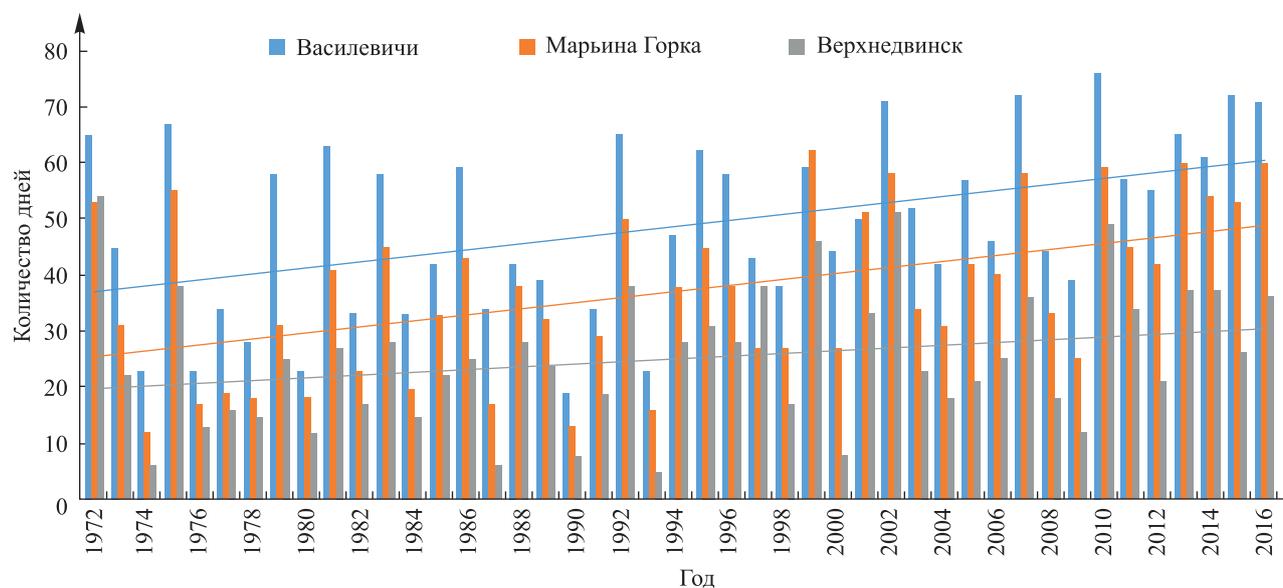


Рис. 2. Число жарких дней (с максимальной температурой воздуха +25 °С и выше) на территории Беларуси (по данным государственного климатического кадастра)

Fig. 2. The number of hot days (max temperature +25 °C and higher) over territory of Belarus (to the data of the state climatic cadastre)

Количество осадков по станциям Белорусского Полесья за различные периоды наблюдений, мм

The precipitation sums according to the meteorological stations located in the Belarusian Polesje by different periods of observation, mm

Станция/территория	Календарный год (январь – декабрь)			Теплый период (апрель – октябрь)		
	1948–1964	1965–1988	1989–2015	1948–1964	1965–1988	1989–2015
Брест	598	623	589	409	432	411
Пинск	553	594	612	370	420	419
Ганцевичи	631	654	658	417	439	455
Полесская	613	625	577	405	423	413
Ивацевичи	592	645	629	412	441	426
Гомель	571	594	637	397	409	444
Василевичи	585	636	666	402	435	457
Житковичи	645	674	733	441	452	497
Октябрь	636*	619	654	444*	436	452
Мозырь	590	608	672	404	428	456
Брагин	501	533	563	343	373	388
Лельчицы	613	625	661	423	433	467
Брестская область	597	628	613	403	431	425
Гомельская область	592	613	655	408	424	452
Полесский регион	594	619	638	406	427	440

*Данные указаны за период 1958–1964 гг.

Анализ пространственного распределения осадков показал, что до начала активных мелиоративных работ и в период интенсивной мелиорации среднемноголетние суммы осадков изменялись незначительно. В целом осредненные по Полесскому региону годовые суммы осадков за указанные периоды составили 594 и 619 мм соответственно, т. е. рост равен 25 мм (4 %). За период потепления годовая сумма осадков в Полесье увеличилась еще на 19 мм (3 %). При этом согласно тесту Манна – Кендалла по большинству станций (Брест, Пинск, Ганцевичи, Ивацевичи, Гомель, Василевичи, Житковичи,

Лельчицы, Гомель, Мозырь, Брагин) выявлен статистически значимый (при $\alpha = 0,05$) положительный тренд осадков хотя бы в одном из месяцев года.

Однако отмечается заметная пространственная неоднородность выпадения осадков, которая выражается в превышении их количества в восточной части Белорусского Полесья (Гомельская область) над количеством в западной части (Брестская область) в период потепления, в отличие от климатической нормы. Вероятнее всего, это объясняется изменением циркуляции атмосферы и ростом числа южных циклонов, перемещающихся через Гомельскую область, а также в некоторой степени увеличением лесистости в Гомельской области по сравнению с Брестской за последние десятилетия. Косвенным подтверждением влияния шероховатости подстилающей поверхности на количество осадков могут служить исследования ряда ученых, изложенные в работе [10]. Изучение особенностей перемещения южных циклонов над территорией Республики Беларусь в 1995–2015 гг. показало увеличение их числа, особенно с 2004 по 2013 г. [11]. При этом количество западных и ныряющих циклонов существенно не изменилось. Исследования в этом направлении необходимо продолжить для выяснения возможных изменений траекторий южных циклонов за последние десятилетия.

Анализ изменения количества осадков за вышеуказанные периоды (см. таблицу) на станции Полесская, расположенной на территории Лунинецкого болотного массива, и на близлежащих станциях позволяет сделать вывод, что проведение мелиоративных работ на больших площадях (Лунинецкий болотный массив, станция Полесская), повлекшее уменьшение лесистости и шероховатости подстилающей поверхности, приводит к увеличению скорости ветра и снижению количества осадков, особенно в холодный период. Доказательная база такого утверждения приведена в работе [10].

Климатические особенности осушенных территорий. Особый интерес представляют современные изменения климатических и агроклиматических показателей на осушенных и освоенных торфяниках Полесья по сравнению с таковыми на минеральных почвах.

Последствия изменения микроклимата на территории осушенных торфяно-болотных почв достаточно хорошо изучены [7; 9; 12; 13]. Осушение торфяно-болотных почв, как известно, в первую очередь вызывает изменения их теплофизических свойств (теплопроводности, теплоемкости, влагопроводности и т. д.). Понижение теплопроводности и повышение в 2,0–2,5 раза объемной теплоемкости торфяных почв по сравнению с минеральной приводит к их значительному прогреву в дневное время и охлаждению в ночные часы, в результате чего увеличивается количество заморозков и замедляется прогрев пахотного слоя весной, повышается альbedo и уменьшается радиационный баланс. Суммарное испарение выше на болотах, интенсивно освоенных под посевы сельскохозяйственных культур, особенно в первой половине теплого периода. Однако после уборки урожая в конце лета воздух на освоенном болоте становится более теплым и сухим. При этом температура воздуха на осушенных торфяниках в целом остается ниже, чем на неосушенных торфяниках и минеральных почвах.

В работе [4] приведены результаты оценки изменения агроклиматических показателей осушенных и освоенных торфяно-болотных почв до начала мелиорации, в период активной мелиорации и после ее завершения. Для анализа были взяты данные станции Полесская, расположенной на осушенных торфяных почвах Лунинецкого болотного массива, и близлежащих станций (Пинск, Лельчицы, Житковичи, Ганцевичи), расположенных на минеральных почвах. Полученные результаты подтвердили сформулированные ранее выводы, что мелиорация торфяных почв Полесья оказала и продолжает оказывать существенное влияние на микроклимат осушенных территорий. Следует отметить, что температурный режим на станции Ганцевичи до начала мелиорации и в период активной мелиорации был ниже температурного режима на станции Полесская. Тогда как в период потепления температура воздуха на станции Ганцевичи превысила температуру на станции Полесская. Это говорит о том, что изменение климата Белорусского Полесья в большей степени синхронизировано с глобальным потеплением и более выражено на минеральных почвах, чем на осушенных торфяниках. На торфяных почвах температура приземного воздуха в целом, несмотря на повышение, остается более низкой, чем на минеральных, в силу теплофизических свойств мелиорированных (торфяных) почв [4].

В ходе анализа данных станции Полесская и близлежащих станций за период потепления (1989–2015) получены следующие результаты:

- на станции Полесская существенно ниже (на 0,3–1,0 °C) температура самого теплого месяца (июля), а также суммы температур воздуха выше 5 и 10 °C;
- в среднем на 4–6 дней короче продолжительность периодов со среднесуточной температурой воздуха 5 °C и выше и 10 °C и выше.

На станции Полесская отмечается самая поздняя в стране средняя многолетняя дата последнего заморозка весной (10 мая), самая ранняя средняя многолетняя дата начала заморозков осенью (22 сентября) и самая короткая продолжительность беззаморозкового периода (134 дня). За 1989–2015 гг. продолжительность беззаморозкового периода на станции Полесская увеличилась на 12 дней по срав-

нению с 1961–1990 гг. и приблизилась к продолжительности безморозкового периода до мелиорации [4]. Это можно объяснить влиянием глобального потепления и ростом минимальных температур, минерализацией поверхности торфяной почвы с течением времени и, соответственно, повышением ее теплопроводности, а также увеличением скорости ветра на станции Полесская.

Расчеты, выполненные для станций государственной сети гидрометеорологических наблюдений Республики Беларусь [5], показали, что повторяемость дней с сочетанием минимальной температуры воздуха -20°C и ниже и высоты снега 10 см и менее на станции Полесская за период потепления (1989–2015) составляет 70 % случаев от всего периода наблюдения и является самой высокой на территории Беларуси, что говорит о более суровых условиях перезимовки сельскохозяйственных культур на осушенных торфяниках.

Несмотря на общие тенденции изменения климатических показателей в результате потепления климата, на мелиорированных торфяных почвах сохраняются более экстремальные условия для возделывания сельскохозяйственных культур. Изменения отдельных климатических показателей на осушенных торфяных почвах (продолжительность и интенсивность заморозков, повторяемость дней с сочетанием минимальной температуры воздуха -20°C и ниже и высоты снега 10 см и менее) по своей величине превосходят изменения, вызванные общими тенденциями. Полученные результаты необходимо учитывать при возделывании сельскохозяйственных культур на мелиорированных торфяных почвах.

Ожидаемые изменения климата в Белорусском Полесье. В настоящее время продолжают разрабатываться новые климатические сценарии и совершенствуются уже существующие методы оценок влияния климата на сельское хозяйство. В последние годы в Беларуси заметно активизировались исследования изменения климата на основе данных климатического моделирования. Расчеты с использованием ансамбля, состоящего из 31 климатической модели проекта Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) для умеренного сценария глобального изменения климата RCP4.5, показали, в том числе и для территории Беларуси, существенное изменение основных климатических характеристик к середине XXI в. по отношению к базовому периоду [14; 15]. В частности, расчеты по Беларуси [16] демонстрируют увеличение продолжительности теплого периода с суммой температур воздуха 0°C и выше: к 2041–2060 гг. она возрастет в среднем на 35 дней и будет колебаться в диапазоне от 280 до 310 дней, а на крайнем юго-западе в районе Бреста составит 365 дней (что приведет к исчезновению устойчивой климатической зимы). Также для территории Беларуси определены новые границы агроклиматических зон (областей) с использованием данных проекта CMIP5 для сценария RCP4.5 [16].

Детальные расчеты будущих изменений температуры воздуха и количества осадков в Беларуси выполнены на основании расчетов ансамбля климатических моделей (40 комбинаций глобальных и региональных моделей), входящих в консорциум EURO-CORDEX и опирающихся на сценарии антропогенных воздействий RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5 [17; 18]. Согласно проведенным вычислениям наибольшие изменения температуры воздуха и режима выпадения осадков на территории Беларуси прогнозируются для холодного времени года и связаны с наиболее неблагоприятным сценарием RCP8.5.

В ходе данного исследования климатических изменений в Белорусском Полесье расчеты по климатическим моделям консорциума EURO-CORDEX детализированы по станциям, расположенным в рассматриваемом регионе, с акцентом на агроклиматические показатели. В результате были установлены следующие тенденции будущих климатических изменений.

В текущем столетии в зимний сезон (рис. 3) ожидается повышение средней (на $1,2\text{--}3,6^{\circ}\text{C}$), максимальной (на $1,1\text{--}3,2^{\circ}\text{C}$) и минимальной (на $1,6\text{--}3,9^{\circ}\text{C}$) температуры воздуха. В 2031–2070 гг. отклонения среднесезонной температуры воздуха увеличатся на $2,3\text{--}2,8^{\circ}\text{C}$ и будут сохраняться на одном уровне на протяжении 4 десятилетий. В 2071–2080 гг. рост отклонений продолжится до $2,9\text{--}3,3^{\circ}\text{C}$, а в 2081–2090 гг. отклонения достигнут своей наибольшей величины и составят $3,3\text{--}3,6^{\circ}\text{C}$, к концу столетия прогнозируется их незначительное снижение до $2,6\text{--}2,9^{\circ}\text{C}$.

При этом отклонения минимальной температуры воздуха по величине превысят отклонения максимальной температуры в среднем на $0,5^{\circ}\text{C}$ (т. е. ожидается более высокая изменчивость минимальной температуры). Пространственное распределение отклонений температуры воздуха будет выражаться в их увеличении с запада на восток. В 2021–2030 гг. максимальные отклонения прогнозируются в восточной части и на крайнем юге Полесья. В 2061–2080 гг. наибольшие отклонения будут сосредоточены в центральной части региона, а наименьшие – в крайних западных и восточных районах (т. е. вероятен заток тепла с юга в виде узкой полосы).

Особенностью зимнего периода станет сокращение числа дней с отрицательной температурой воздуха с неоднородным пространственным распределением: на севере Полесья уменьшение будет более выражено, чем на юге.

Весной ожидается ступенчатое изменение температуры воздуха: устойчивые отклонения на $1,7\text{--}2,2^{\circ}\text{C}$ (без значимого увеличения) прогнозируются в 2041–2070 гг., в 2071–2099 гг. они составят $2,1\text{--}2,6^{\circ}\text{C}$. Рост

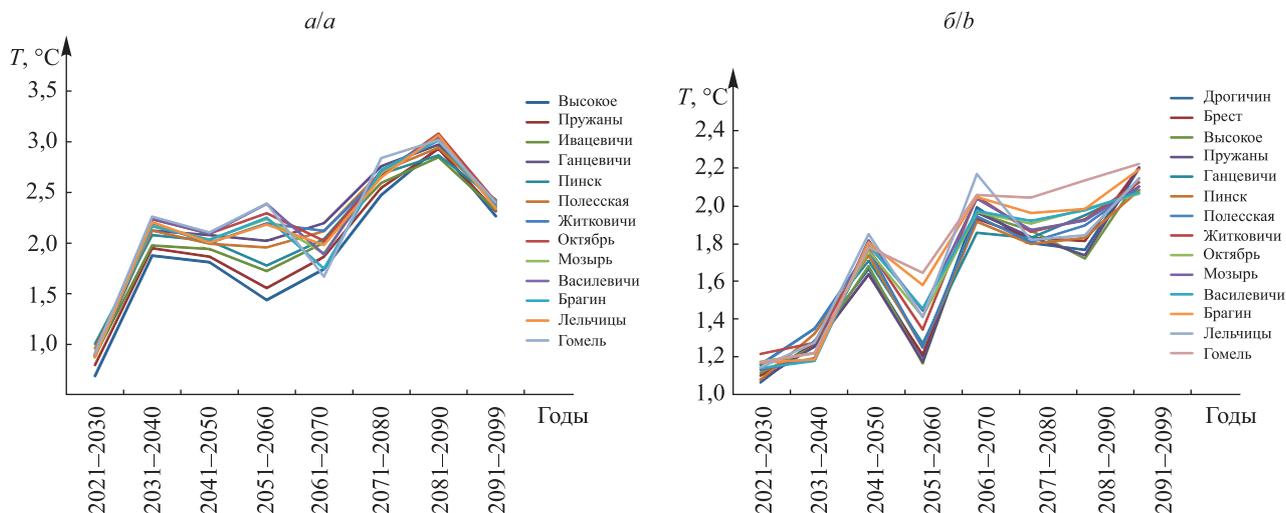


Рис. 3. Динамика отклонений от средних многолетних значений средней температуры воздуха за зимний (а) и летний (б) сезоны по десятилетиям текущего столетия
 Fig. 3. The dynamic of air temperature mean deviations in winter (a) and summer (b) seasons by consecutive decades of the current century

отклонений предполагается с юго-юго-запада на северо-северо-восток. До 2050 г. ожидается увеличение минимальной температуры в пределах 0,8–2,7 °С в направлении с юга на север, а затем она будет сохраняться на одном уровне. Области наибольших изменений максимальной и минимальной температуры будут нестационарны, смещаясь преимущественно между центром и югом региона.

Летом прогнозируется постепенный рост температуры на 1,1–2,2 °С, но наибольшие отклонения предполагаются в центральной части и на западе (рис. 3). Среди рассчитанных климатических индексов наиболее значимое изменение ожидается для количества жарких дней: в ближайшие десятилетия увеличение составит 7–14 дней и сохранится на этом же уровне до конца столетия, с областью максимальных значений на юго-востоке региона.

Режим увлажнения также будет меняться на протяжении текущего столетия. В зимний сезон ожидается ступенчатое увеличение количества осадков на 20–30 мм (рис. 4).

В целом за период можно отметить три пика с выраженным увеличением сезонных сумм осадков: 2051–2060 гг. – на 25–30 мм в восточной части региона, 2071–2080 гг. – на 20–25 мм на половине метеостанций, 2091–2099 гг. – на 25–32 мм на большинстве станций.

Особенностью режима выпадения осадков в зимний сезон в текущем столетии станет динамика числа влажных дней (с осадками более 1 мм). В течение всего рассматриваемого периода количество

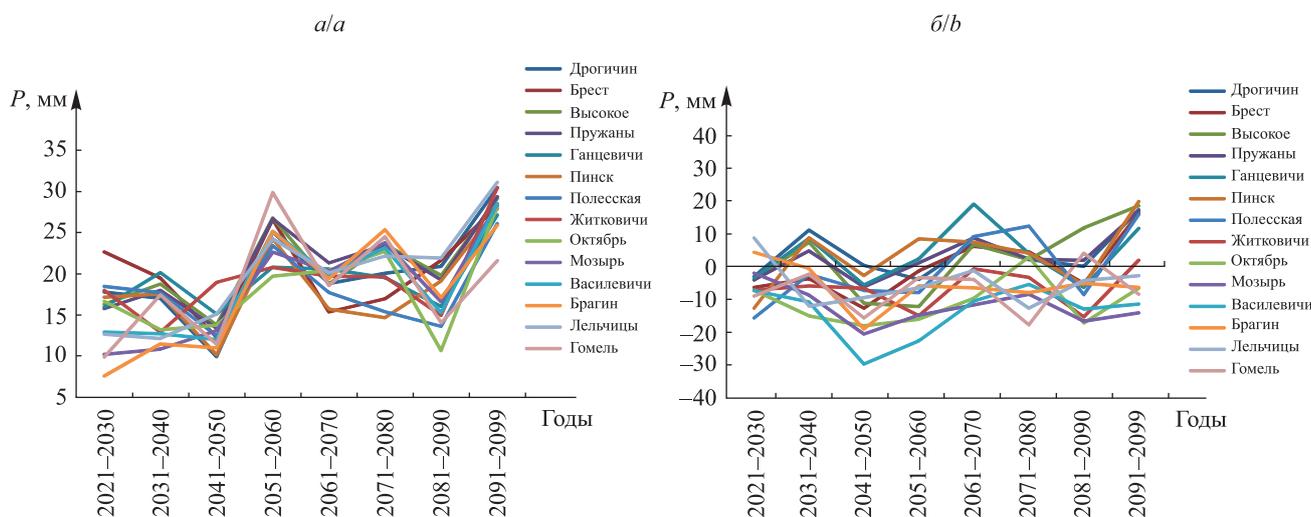


Рис. 4. Динамика отклонений от средних многолетних значений сезонных зимних (а) и летних (б) сумм осадков по десятилетиям текущего столетия, мм
 Fig. 4. The dynamic of rainfall deviations in winter (a) and summer (b) seasons by consecutive decades of the current century, mm

влажных дней будет превышать норму, но наиболее значительное увеличение ожидается в 2021–2030 и 2051–2060 гг. – на 3 дня, что в среднем составляет 30 % от многолетних значений. К концу столетия прогнозируется разброс отклонений по станциям. Осадки высокой интенсивности (10; 50 и 100 мм) предположительно сохранятся на уровне средних многолетних.

Весной количество осадков продолжит увеличиваться, и в середине XXI в. отклонения сезонных сумм достигнут 40 мм. Летом в первой половине столетия ожидается выпадение осадков в пределах нормы или на 10–15 мм ниже, с 2060-х гг. прогнозируется рост осадков на 15–20 мм, преимущественно в западных районах. Осенью в первой половине рассматриваемого периода количество осадков будет превышать норму на 15–30 мм, с 2060-х гг. и до конца столетия выпадение осадков вернется к многолетнему режиму (норме).

В течение всего рассматриваемого периода ожидается пространственная неоднородность выпадения осадков, области повышенных и пониженных осадков будут смещаться от десятилетия к десятилетия во все сезоны.

В теплое время года следует отметить изменение продолжительности засушливых периодов (рис. 5).

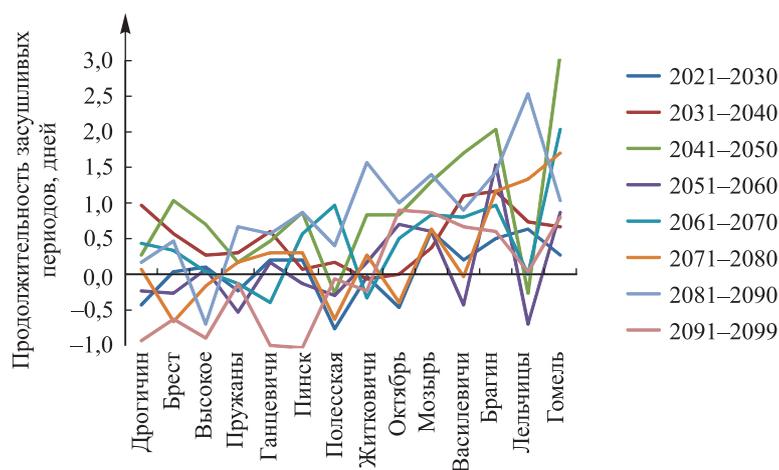


Рис. 5. Динамика отклонений продолжительности периодов без осадков ($P_{\text{сут}} < 0,1$ мм) от средних многолетних значений в летний сезон за последовательные десятилетия

Fig. 5. The dynamic of deviations of dry periods duration ($P_d < 0.1$ mm) in summer season by consecutive decades of the current century

Ожидается, что в первой половине текущего столетия продолжительность периодов без осадков увеличится на 1,5 дня, а во второй половине рост составит 3 дня. Наибольшие изменения будут характерны для восточной части рассматриваемого региона. При этом повторяемость таких периодов предположительно не изменится.

Заключение

Проведенное исследование современных и будущих климатических изменений в Белорусском Полесье позволило установить следующие закономерности и тенденции.

Изменение климата, происходящее на всей территории Беларуси в последние десятилетия, отмечается и в Полесском регионе. Оно выражается в увеличении температуры воздуха во все месяцы года с наибольшими отклонениями в зимне-весенний и летний периоды, что повлекло существенное изменение агроклиматических показателей: возросло число жарких и сухих дней, сместились на более ранние даты перехода температуры воздуха через 0; 5 и 10 °С весной, увеличились суммы активных температур и продолжительность периодов с пороговыми значениями указанных температур.

Количество осадков за период потепления в рассматриваемом регионе изменилось незначительно, увеличение составило 3 % по сравнению с периодом интенсивной мелиорации, но пространственное распределение выражено более значительно: в восточной части Полесья за 1989–2015 гг. выпало гораздо больше осадков, чем в западной, что можно объяснить изменением направлений атмосферных циркуляционных процессов и увеличением лесистости в регионе.

В режиме увлажнения установлена тенденция уменьшения количества осадков, особенно в холодный период года, на больших мелиорированных территориях (Лунинецкий болотный массив). Это связано с уменьшением лесистости и увеличением открытых ровных площадей и, как следствие, уменьшением шероховатости подстилающей поверхности, а также увеличением скорости ветра.

Несмотря на общие тенденции изменения климатических показателей в результате потепления климата, на мелиорированных торфяных почвах сохраняются более экстремальные условия для возделывания сельскохозяйственных культур.

Дальнейшие закономерности изменения климата в рассматриваемом регионе будут выражаться в повышении температуры воздуха, особенно в зимний период, сокращении числа дней с отрицательной температурой, увеличении количества жарких дней в летний сезон. В режиме увлажнения ожидается рост количества осадков во все сезоны, но более существенно – в холодное время года, при этом увеличится продолжительность засушливых периодов в летние месяцы.

Библиографические ссылки

1. Giorgi F, Jones C, Asrar GR. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bulletin*. 2009;58(3):175–183.
2. Planton S, editor. Appendix III. Glossary. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *Climate change, 2013: physical scientific basis. Contribution of the Working group I to the Fifth estimated report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. p. 1447–1466.
3. Мельник ВИ, Комаровская ЕВ, Партасенок ИС, Кравцова СМ. Изменение климата и водных ресурсов на территории Полесья. В: *Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сборник докладов Международной научной конференции; 14–17 сентября 2016 г.; Минск, Беларусь. Том 1*. Минск: Беларуская навука; 2016. с. 399–403.
4. Мельник ВИ, Комаровская ЕВ, Кравцова СМ. Современные изменения климата на мелиорированных торфяных почвах Белорусского Полесья. В: *Прыроднае асяроддзе Палесся: асаблівасці і перспектывы развіцця. Зборнік навуковых прац VIII Міжнароднай навуковай канферэнцыі «Прыроднае асяроддзе Палесся і навукова-практычныя аспекты рацыянальнага рэсурсакарыстання»; 12–14 верасня 2018 г.; Брэст, Беларусь. Выпуск 11*. Брэст: Альтэрнатыва; 2018. с. 74–77.
5. *Оценка агроклиматических ресурсов и новое агроклиматическое районирование территории Беларуси с учетом изменения климата: отчет о НИР (заключительный), № ГР 20171431*. Минск: Белгидромет; 2017. 132 с.
6. Мельник ВИ, Данилович ИС, Кулешова ИЮ, Комаровская ЕВ, Мельчакова НВ. Оценка агроклиматических ресурсов территории Беларуси за период 1989–2015 гг. *Природные ресурсы*. 2018;2:88–101.
7. Ковриго ПА. *Микроклимат болотных экосистем и его оптимизация*. Нестерук ВН, редактор. Минск: Белгосуниверситет; 1995. 153 с.
8. Логинов ВФ, Сачок ГИ, Мельник ВИ, Микуцкий ВС, Коляда ВВ. *Изменения климата Беларуси и их последствия*. Логинов ВФ, редактор. Минск: Тонпик; 2003. 330 с.
9. Авраменко НМ. Климатические изменения на Полесской опытной станции мелиоративного земледелия и луговодства за период инструментальных наблюдений. В: *Проблемы рационального использования природных ресурсов и устойчивое развитие Полесья: сборник докладов Международной научной конференции; 14–17 сентября 2016 г.; Минск, Беларусь. Том 1*. Минск: Беларуская навука; 2016. с. 318–322.
10. *Оценка пространственно-временных особенностей роли мелиорации земель в современных изменениях климата и продуктивности экосистем Беларуси с использованием статистических методов и математического моделирования: отчет о НИР (промежуточный), № ГР 20160128*. Минск: [б. и.]; 2018. 163 с.
11. Сумак ЕН, Семенова ИГ. Особенности перемещения циклонов над Беларусью в современный климатический период. *Природные ресурсы*. 2017;2:101–109.
12. Шебеко ВФ. *Изменение микроклимата под влиянием мелиорации болот*. Минск: Наука и техника; 1977. 288 с.
13. Лихацевич АП, Мееровский АС, Вахонин НК. *Мелиорация земель в Беларуси*. Минск: Белорусский научно-исследовательский институт мелиорации и луговодства; 2001. 308 с.
14. Павлова ВН. Агроклиматические ресурсы и продуктивность сельского хозяйства России при реализации новых климатических сценариев в XXI веке. В: Катцов ВМ, Мелешко ВП, редакторы. *Труды Главной геофизической обсерватории имени А. И. Воейкова. Выпуск 569*. Санкт-Петербург: [б. и.]; 2013. с. 20–37.
15. Снежко СИ, Ободовский АГ, Лопух ПС. Долгосрочный прогноз стока горных и равнинных рек для оценки их гидроэнергетического потенциала (на примере Украинских Карпат и Беларуси). *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2017;1:50–61.
16. Мельник ВИ, Соколовская ЯА, Комаровская ЕВ. Возможные изменения климатических и агроклиматических характеристик в XXI веке на территории Беларуси и их влияние на сельское хозяйство. *Природные ресурсы*. 2017;2:118–125.
17. Данилович ИС, Гайер Б. Моделирование изменений температуры воздуха и осадков по декадам текущего столетия для территории Беларуси. *Природные ресурсы*. 2018;1:102–114.
18. Партасенок ИС, Гайер Б, Мельник ВИ. Исследования возможных сценариев изменений климата Беларуси на базе ансамблевого подхода. В: Хан ВМ, редактор. *Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. Выпуск 358*. Москва: [б. и.]; 2015. с. 99–111.

References

1. Giorgi F, Jones C, Asrar GR. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bulletin*. 2009;58(3):175–183.
2. Planton S, editor. Appendix III. Glossary. In: Stocker TF, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, et al., editors. *Climate change, 2013: physical scientific basis. Contribution of the Working group I to the Fifth estimated report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. p. 1447–1466.

3. Melnik VI, Komarovskaya EV, Partasjenok IS, Kravtsova SM. Climate and water resources changes on the territory of Polesia. In: *Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnykh resursov i ustoichivoe razvitie Poles'ya: sbornik dokladov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii; 14–17 sentyabrya 2016 g.; Minsk, Belarus'. Tom 1* [Problems of rational use of natural resources and sustainable development of Polesje: collection of reports of the International scientific conference; 2016 September 14–17; Minsk, Belarus. Tom 1]. Minsk: Belaruskaja navuka; 2016. p. 399–403. Russian.
4. Melnik VI, Komarovskaya EV, Kravtsova SM. [Modern climate changes on the drained peat soils of the Belarusian Polesje]. In: *Pryrodnae asjaroddze Palejsja: asablivasci i perspektyvy razvicia. Zbornik navukovyh prac VIII Mizhnarodnaj navukovaj kanferjencyi «Pryrodnae asjaroddze Palejsja i navukova-praktychnija aspekty racyjnal'naga rjesursakarystannja»; 12–14 verasnja 2018 g.; Brjest, Belarus'. Vypusk 11* [Natural environment of the Polesje region: pattern and perspectives of the development. Collection of scientific papers of the VIII International conference «Natural environment of the Polesje region and science-applied aspects of the effective natural resources management»; 2018 September 12–14; Brest, Belarus. Issue 11]. Brest: Al'ternativa; 2018. p. 74–77. Russian.
5. *Assessment of agroclimatic resources and new agroclimatic zoning of the territory of Belarus based on climate change: research report (final), No. SR 20171431*. Minsk: Belgidromet; 2017. 132 p. Russian.
6. Melnik VI, Danilovich IS, Kuleshova IYu, Komarovskaya EV, Mel'chakova NV. [Assessment of agroclimatic resources of the territory of Belarus during 1989–2015]. *Prirodnye resursy*. 2018;2:88–101. Russian.
7. Kovrigo PA. *Mikroklimat bolotnykh ekosistem i ego optimizatsiya* [Micro-climate of marsh ecosystems and its optimization]. Nesteruk VN, editor. Minsk: Belgosuniversitet; 1995. 153 p. Russian.
8. Loginov VF, Sachok GI, Melnik VI, Mikutskii VS, Kolyada VV. *Izmeneniya klimata Belarusi i ikh posledstviya* [Climate changes of Belarus and their consequences]. Loginov VF, editor. Minsk: Tonpik; 2003. 330 p. Russian.
9. Avramenko NM. Climatic changes on Polesia experimental station of land reclamation agriculture and cultivation of meadows during the period of instrumental observations. In: *Problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnykh resursov i ustoichivoe razvitie Poles'ya: sbornik dokladov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii; 14–17 sentyabrya 2016 g.; Minsk, Belarus'. Tom 1* [Problems of rational use of natural resources and sustainable development of Polesje: collection of reports of the International scientific conference; 2016 September 14–17; Minsk, Belarus. Tom 1]. Minsk: Belaruskaja navuka; 2016. p. 318–322. Russian.
10. *Assessment of spatial and temporal peculiarities of amelioration in modern climate changes and efficiency of ecosystems in Belarus with use of statistical methods and mathematical modeling: research report (intermediate), No. SR 20160128*. Minsk: [s. n.]; 2018. 163 p. Russian.
11. Sumak EN, Semyonova IG. [Features of cyclones movement over Belarus during the modern climatic period]. *Prirodnye resursy*. 2017;2:101–109. Russian.
12. Shebeko VF. *Izmenenie mikroklimata pod vliyaniem melioratsii bolot* [Change of a microclimate under the influence of amelioration]. Minsk: Nauka i tekhnika; 1977. 288 p. Russian.
13. Likhatshevich AP, Meerovskii AS, Vakhonin NK. *Melioratsiya zemel' v Belarusi* [Amelioration in Belarus]. Minsk: Belorusskii nauchno-issledovatel'skii institut melioratsii i lugovodstva; 2001. 308 p. Russian.
14. Pavlova VN. [Agroclimatic resources and agricultural productivity in Russia according to the new climate scenarios in the 21st century]. In: Kattsov VM, Meleshko VP, editors. *Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii imeni A. I. Voeikova. Vypusk 569* [Proceedings of the Voeikov Main Geophysical Observatory. Issue 569]. Saint Petersburg: [s. n.]; 2013. p. 20–37. Russian.
15. Snizhko SI, Obodovskij AG, Lopuch PS. Long-term forecast of mountain and lowland rivers runoff for assessment their hydro-power potential (on the example of Ukrainian Carpaty and Belarus). *Journal of the Belarusian State University. Geography. Geology*. 2017;1:50–61. Russian.
16. Melnik VI, Sokolovskaya YaA, Komarovskaya EV. [Possible changes of climatic and agroclimatic characteristics in the 21st century over territory of Belarus and their influence on agriculture]. *Prirodnye resursy*. 2017;2:118–125. Russian.
17. Danilovich IS, Geyer B. [Modeling changes of air temperature and rainfall by decades of the current century for the territory of Belarus]. *Prirodnye resursy*. 2018;1:102–114. Russian.
18. Partasjenok IS, Geyer B, Melnik VI. [Studies of possible scenarios of climate changes in Belarus based on the ensemble approach]. In: Khan VM, editor. *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiiskoi Federatsii. Vypusk 358* [Proceedings of the Hydrometeorological research center of the Russian Federation. Issue 358]. Moscow: [s. n.]; 2015. p. 99–111. Russian.

Статья поступила в редколлегию 20.12.2019.
Received by editorial board 20.12.2019.