
ИЗУЧЕНИЕ И РЕАБИЛИТАЦИЯ ЭКОСИСТЕМ

THE STUDY AND REHABILITATION OF ECOSYSTEMS

УДК 551.582.1.583.1

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА В БЕЛОРУССКОМ СЕКТОРЕ БЛИЖНЕЙ ЗОНЫ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС

С. А. КАЛИНИЧЕНКО¹⁾, Ю. Д. МАРЧЕНКО¹⁾, В. Е. БЕЛАШ¹⁾

¹⁾Полесский государственный радиационно-экологический заповедник,
ул. Терешковой, 7, 247618, г. Хойники, Гомельская область, Беларусь

За период многолетних инструментальных наблюдений (1997–2022 гг.) на исследовательской станции «Масаны» отмечено увеличение количества ясных дней и снижение дней, относящихся к полужасным (переменной облачности). Среднегодовое значение интенсивности суммарной солнечной радиации (энергетической освещенности) в реальных условиях облачности составило 0,21 кВт/м² с интервалом варьирования по годам от 0,18 до 0,25 кВт/м². Наибольшая интенсивность лучистой энергии в годовом ходе приходится на июль (0,37 кВт/м²), а минимальным количеством энергии отличался декабрь (0,04 кВт/м²). Среднегодовая температура воздуха за 1997–2022 гг. увеличилась на 0,46 °С по отношению к среднему многолетнему значению (7,7 °С), принятому для ближайшего населенного пункта (г. Брагин) и на 0,76 °С по отношению к среднему многолетнему значению (7,4 °С), принятому для Гомельской обл.

Образец цитирования:

Калиниченко СА, Марченко ЮД, Белаш ВЕ. Тенденции изменения климата в белорусском секторе ближней зоны Чернобыльской АЭС. *Журнал Белорусского государственного университета. Экология*. 2024;4:4–17.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-4-4-17>

For citation:

Kalinichenko SA, Marchenko YuD, Belash VE. Climate change trends in the belarusian sector of exclusion zone of the Chernobyl NPP. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*. 2024;4:4–17. Russian.
<https://doi.org/10.46646/2521-683X/2024-4-4-17>

Авторы:

Сергей Александрович Калиниченко – кандидат биологических наук, доцент; заведующий лабораторией спектрометрии и радиохимии.

Юрий Дмитриевич Марченко – заведующий отделом радиационно-экологического мониторинга.

Виктор Евгеньевич Белаш – специалист 1 категории отдела радиационно-экологического мониторинга.

Authors:

Sergey A. Kalinichenko, PhD (biology), docent; head of the laboratory of spectrometry and radiochemistry.
s-a-k@list.ru

Yuri D. Marchenko, head of the department of radioecological monitoring.
umd66@yandex.by

Victor E. Belash, 1st category specialist at the department of radioecological monitoring.
belash.vitya@list.ru

Абсолютный максимум (+39,5 °C) для наших наблюдений был зарегистрирован в 2015 г., абсолютный минимум – в 2012 г. (-34,4 °C). Наблюдается характерная положительная динамика увеличения среднегодовой температуры приземного воздуха около 0,06 °C/год. Отмечено снижение количества дней со снежным покровом. Возросло число жарких и сухих дней. На рассматриваемой территории в среднем за год выпадает 593,7 мм атмосферных осадков. Число дней с осадками составляет \approx 128 (35,1 %). Коэффициент увлажнения, по Иванову, в различные годы варьировал от 0,5 до 1,4. Наблюдается положительная тенденция увеличения количества осадков около 0,4 мм/год. Средняя высота снежного покрова составила 6 см. Количество дней со снежным покровом с годами имеет явную тенденцию к снижению. Относительная влажность воздуха за 1997–2022 гг. в среднем составила 78 %. Средняя сумма активных температур в ближней зоне аварии на ЧАЭС – 2842 °C.

Ключевые слова: изменения климата; климатические характеристики; зона отчуждения ЧАЭС.

Благодарность. Авторы выражают признательность сотрудникам исследовательской станции «Масаны» им. В. Н. Фёдорова, проводивших на ней исследования и мониторинговые наблюдения многие годы.

CLIMATE CHANGE TRENDS IN THE BELARUSIAN SECTOR OF EXCLUSION ZONE OF THE CHERNOBYL NPP

S. A. KALINICHENKO^a, Yu. D. MARCHENKO^a, V. E. BELASH^a

^aPolesie State Radioecological Reserve,
7 Tserashkova Street, Khoyniki 247618, Gomel region, Belarus
Corresponding author: S. A. Kalinichenko (s-a-k@list.ru)

Our studies over the period of long-term instrumental observations (1997–2022) at the Masany research station noted increase in the number of clear days and a decrease in the number of days classified as semi-clear (partly cloudy). The average annual value of the intensity of total solar radiation (energy illumination) in real cloudy conditions was 0.21 kW/m² with an interval of variation over the years from 0.18 to 0.25 kW/m². The highest intensity of radiant energy in the annual cycle occurs in July (0.37 kW/m²), and the minimum amount of energy was observed in December (0.04 kW/m²). Average annual air temperature for the period 1997–2022 increased by 0.36 °C in relation to the long-term average value (7.7 °C) adopted for the nearest settlement (Bragin) and by 0.76 °C in relation to the long-term average value (7.4 °C), adopted for the Gomel region. The absolute maximum (+39.5 °C) for our observations was recorded in 2015, the absolute minimum in 2012 (-34.4 °C). There is a characteristic positive dynamics of increase in the average annual surface air temperature of about 0.06 °C/year. There was a decrease in the number of days with snow cover. The number of hot and dry days has increased. On average, 593.7 mm of precipitation falls per year on the territory under consideration. The average number of days with precipitation is 128 (35.1%). The moisture coefficient according to Ivanov in various years ranged from 0.5 to 1.4. There is a positive trend of increasing precipitation of about 0.4 mm/year. The average depth of snow cover was 6 cm. The number of days with snow cover has a clear downward trend over the years. Relative air humidity for the period 1997–2022 the average was 78 %. The average sum of active temperatures in the near zone of the Chernobyl accident was 2842 °C.

Keywords: climate change; climate characteristics; exclusion zone of the CNPP.

Acknowledgments. The authors express deep gratitude to employees of the Masany research station named after V. N. Fedorov, who conducted research and monitoring observations here for many years.

Введение

Постоянные изменения климатических характеристик состояния атмосферы: облачность, давление, температурный, влажностный и ветровой режимы являются результатом атмосферных процессов и определяют погоду и климат на данной местности. Распределение значений метеорологических величин на рассматриваемой территории определяется главным образом ее рельефом и ландшафтными особенностями, размерами и удалением водных объектов. Крупные массивы лесов и болот распространяют свое влияние на большую территорию [1–4].

Географическое распределение метеорологических элементов в настоящее время изучено более подробно, чем их изменения во времени [5]. Данные мониторинга государственной гидрометеорологической службы Республики Беларусь и результаты исследований белорусских ученых Национальной академии наук Беларуси указывают на существенные изменения в настоящее время климатических условий на территории Беларуси и сохранение этих тенденций в ближайшие годы [6].

Изучение изменения климатических условий является неотъемлемой частью комплексной оценки состояния различных компонентов биogeоценозов в ближней зоне Чернобыльской АЭС, а также играет большую роль при анализе перераспределения радионуклидов по компонентам природно-территориальных комплексов, которые на данной территории имеют некоторые особенности, характеризующиеся рядом параметров. На более ранних этапах исследований нами были изучены особенности климатических условий территории белорусского сектора ближней зоны Чернобыльской АЭС [7–9]. В данной работе ставилась задача проанализировать многолетнюю динамику изменения климата и оценить временные флуктуации климатических характеристик за весь период инструментальных наблюдений на территории белорусского сектора зоны отчуждения.

Материалы и методы исследования

Комплекс инструментальных измерений и визуальных оценок метеорологических величин и их характеристик производился в соответствии с ТКП «Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила проведения приземных метеорологических наблюдений и работ на станциях»¹. Анализ первичных метеорологических величин (значения приземной температуры воздуха и почвы, влажность, атмосферное давление, направление и скорость ветра, количество атмосферных осадков и ряд других величин и их характеристик), полученных в результате непрерывных приземных метеорологических инструментальных наблюдений на метеорологической площадке исследовательской станции «Масаны» Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, являющейся самой южной из всех метеостанций нашей страны, был проведен за 26-летний период (1997–2022 гг.). Данный временной интервал позволил выявить тенденции временной динамики климатических характеристик и провести оценку современных климатических условий. Изучены тенденции сроков наступления пороговых значений температур и других метеорологических величин, их характеристики, отражающие изменение климата территории ближней зоны ЧАЭС в целях дальнейшего определения региональных особенностей климатических условий. Для анализа современных климатических изменений на территории заповедника использованы суточные, среднемесячные, годовые, экстремальные значения температуры и влажности воздуха, количества осадков, на основе которых вычисляли даты перехода температуры воздуха через 0; 5; 10; 15 °C и продолжительность периодов с пороговыми значениями указанных температур, суммы температур воздуха выше 5 и 10 °C, 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 °C и выше). Станция «Масаны» включена в Государственный реестр производителей гидрометеорологической информации 4.04.2019 г., в работе использованы поверенные приборы и оборудование. Обработка и анализ материалов, построение рисунков, таблиц выполнено с применением программного пакета *MS Office Excel*.

Результаты исследования и их обсуждение

Облачность. Существенное значение на состояние атмосферы оказывает облачность (количество облаков). В любом месте повторяемость ясной и пасмурной погоды определяется режимом облачности, который в основном формируется под влиянием циркуляционных процессов (в холодный период года) и в результате воздействия подстилающей поверхности (в теплый период года). Они влияют на приход солнечной радиации к земной поверхности и, следовательно, на температурный режим. По результатам сравнения за последний пятилетний период (2018–2022 гг.) наблюдений количество пасмурных дней, когда облака покрывали 80 и более процентов видимого пространства небосвода (8–10 баллов по общей облачности), увеличилось на 8 % по сравнению со средним многолетним значением и в долевом распределении составило 41 % (рис. 1).

За последний пятилетний цикл наблюдалось увеличение количества ясных дней, а число дней, относящихся к полужасным (переменной облачности), снизилось. Наибольшей облачностью отличались зимние месяцы декабрь и январь, что является характерной особенностью для данного региона. Большинство ясных дней приходилось на апрель, август и сентябрь.

Среднегодовое значение интенсивности суммарной солнечной радиации (энергетической освещенности) было более подробно проанализировано за период 2001–2015 гг. и в реальных условиях облачности составило 0,21 кВт/м² с интервалом варьирования по годам от 0,18 до 0,25 кВт/м².

¹ ТКП 17.10-18-2009. Правила проведения проверки приземных метеорологических наблюдений и работ на станциях. Утвержден постановлением Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды от 24.12.2009 г. № 11-Т. Минск: Минприроды, 2009. 78 с.

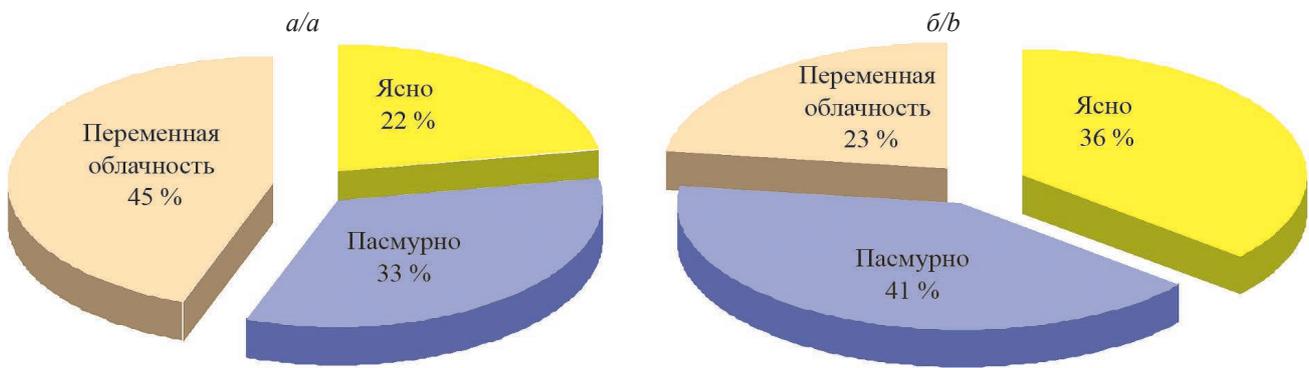


Рис. 1. Облачность: а) 1997–2022 гг., б) 2018–2022 гг., %

Fig. 1. Cloudiness: a) 1997–2022, b) 2018–2022, %

Наибольшими значениями интенсивности суммарной солнечной радиации отличались летние, а наименьшими зимние месяцы. Наибольшей интенсивностью лучистой энергии в годовом ходе характеризовался июль ($0,37 \text{ кВт/м}^2$) с интервалом варьирования по годам от $0,21$ до $0,52 \text{ кВт/м}^2$, а минимальным количеством энергии отличался декабрь ($0,04 \text{ кВт/м}^2$) с интервалом варьирования по годам от $0,02$ до $0,06 \text{ кВт/м}^2$, что ниже порога интенсивности ($0,12 \text{ кВт/м}^2$) прямой радиации на перпендикулярную поверхность, начиная с которого отмечается солнечное сияние (рис. 2).

Среднегодовые значения, полученные в течение всего периода наблюдений, в реальных условиях облачности колебались в пределах $0,18$ – $0,25 \text{ кВт/м}^2$ [5]. Количество энергетической освещенности (интенсивности) потока радиации зависит от высоты солнца (влияние времени года), местных погодных условий (облачность, туманы, дожди) и прозрачности атмосферы.

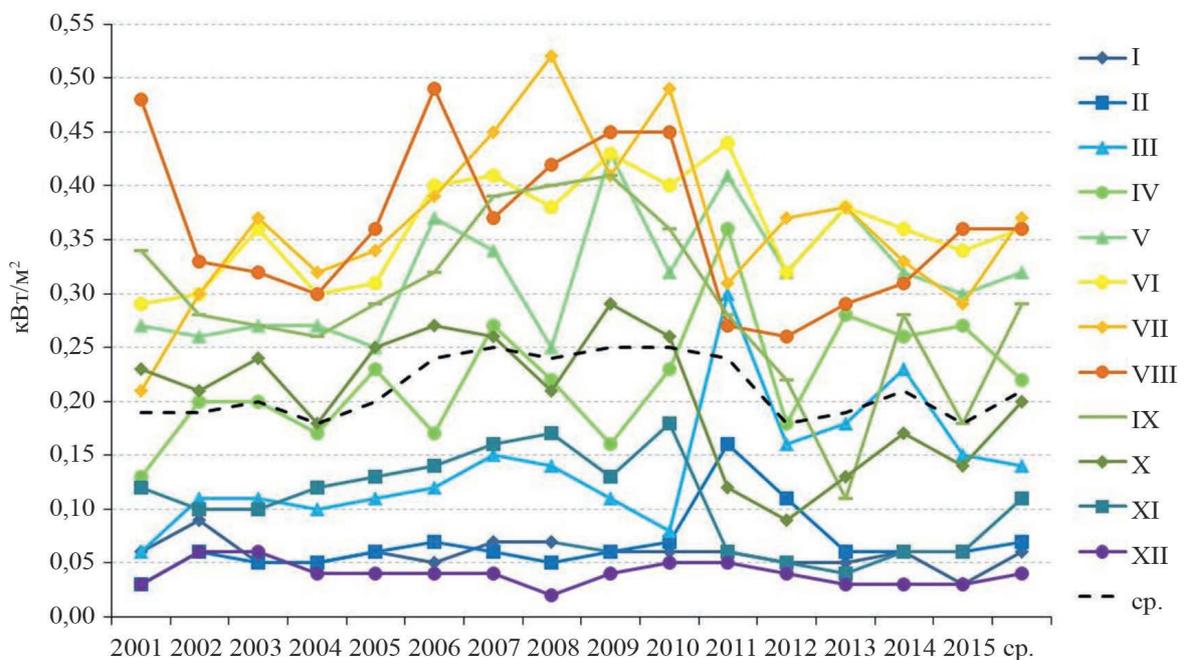


Рис. 2. Интенсивность суммарной солнечной радиации (2001–2015 гг.), кВт/м²

Fig. 2. Change in the intensity of total solar radiation (2001–2015), kW/m²

К лету увеличивается высота солнца и уменьшается облачность. Резкое изменение значений в весенне-осенний период интенсивности суммарной солнечной радиации связано с тем, что два основных фактора ее определяющую, облачность и высота солнца, действуют в одну сторону.

Температурный режим. Непериодические нарушения суточного и годового хода, обусловленные вторжениями теплых или холодных воздушных масс, искажают нормальный ход температуры воздуха [10]. Оценка изменения температур приземного воздуха проведена на основе сравнения данных ежегодных наблюдений со средними многолетними значениями, полученными за весь период инструментальных наблюдений. Анализ многолетних инструментальных исследований свидетельствует, что среднегодовая

температура воздуха за период 1997–2022 гг. увеличилась на 0,46 °C по отношению к среднему многолетнему значению (7,7 °C), принятому для ближайшего населенного пункта (г. Брагин) и на 0,76 °C по отношению к среднему многолетнему значению (7,4 °C), принятому для Гомельской обл. (рис. 3).

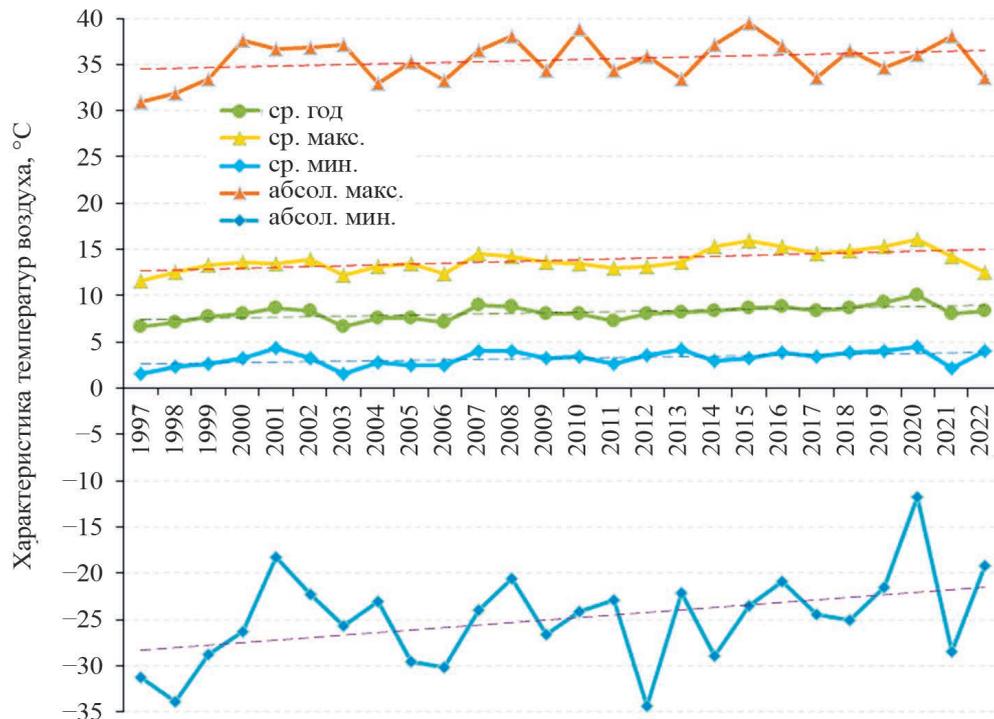


Рис. 3. Динамика температуры воздуха (1997–2022 гг.), °C

Fig. 3. Dynamics of air temperature (1997–2022), °C

Наибольшие отклонения в сторону увеличения температур от средних многолетних значений отмечались в 2020 г., когда среднегодовая температура воздуха оказалась выше «нормы» на 1,8 °C. Абсолютный максимум (+39,5 °C) в наших наблюдениях был зарегистрирован в 2015 г. Данная величина на 0,6 °C оказалась выше абсолютного максимума температуры воздуха (38,9 °C), который за весь период инструментальных наблюдений в Беларуси и Гомельской обл. был зафиксирован в августе 2010 г. на станции Гомель.

Амплитуда колебания среднегодовых температур за весь период наших инструментальных наблюдений составила 10,6 °C, экстремальных температур – 60,4 °C. За данный период был зафиксирован и абсолютный минимум температуры. В феврале 2012 г. температура снизилась до отметки минус –34,4 °C, что на 0,6 °C меньше самой низкой наблюдаемой температуры воздуха, которая была отмечена в 1998 г. и составляла минус –33,8 °C.

Основные статистические характеристики среднемесячных значений температуры приземного воздуха (ТПВ) в ближней зоне аварии на ЧАЭС для отдельных месяцев и года позволяют анализировать одновременно внутригодовую и межгодовую изменчивость ТПВ [11; 12]. Следует отметить, что температура воздуха имеет довольно хорошо выраженный годовой ход, обусловленный годовым притоком солнечной радиации. Максимальные значения её наблюдаются в июле, а минимальные – в январе (табл. 1).

Годовой ход размаха колебаний ТПВ наибольший в холодный период (8,4–15,3 °C), наименьший с апреля по октябрь (5,1–7,2 °C) в теплый период. Годовой ход среднего квадратического отклонения (σ) ТПВ почти повторяет годовой ход величины R (размаха колебаний). Аналогичный характер годового хода в средних арифметических значениях и среднеквадратических отклонениях (σ) обуславливает небольшой разброс коэффициента вариации (C) в течение всего года. Наибольшая межгодовая изменчивость ТПВ наблюдается в зимние месяцы и в марте, в остальные месяцы года невелика, различие между максимальным (декабрь) и минимальным (июль, август) коэффициентом вариации составляет 1,51.

В распределении коэффициентов асимметрии (A_s) наблюдаются как положительные, так и отрицательные значения. Преобладание положительных значений в теплый период означает, что временной ряд включает немногочисленные, но большие по величине положительные отклонения, и более многочисленные, но менее значительные отрицательные отклонения.

Таблица 1

Статистические оценки среднемесячных значений ТПВ, °С

Table 1

Statistical estimates of average monthly values of surface air temperature, °C

Месяц	ср.	Ме	σ,	C	X_{max} ,	X_{min} ,	R	As	Ex
I	-3,9	-4,2	2,8	0,71	1,1	-10,6	11,7	-0,29	0,33
II	-2,8	-2,5	3,6	1,29	3,1	-12,2	15,3	-0,64	0,42
III	1,9	1,9	2,5	1,31	5,8	-2,6	8,4	-0,26	-0,93
IV	8,9	8,9	1,6	0,18	11,9	4,7	7,2	-0,57	1,35
V	14,8	14,7	1,9	0,13	17,9	11,5	6,4	0,04	-0,86
VI	18,6	18,4	1,7	0,09	22,5	16,1	6,4	0,62	-0,06
VII	20,3	20,0	1,4	0,07	23,4	18,2	5,2	0,78	0,16
VIII	18,9	18,8	1,3	0,07	22,0	16,5	5,5	0,16	0,73
IX	13,5	13,4	1,3	0,10	15,9	10,8	5,1	0,00	0,19
X	7,4	7,4	1,7	0,23	11,3	4,7	6,6	0,32	-0,33
XI	2,3	2,6	2,2	0,98	6,1	-4,2	10,3	-0,87	2,07
XII	-2,1	-1,2	3,3	1,58	2,4	-9,5	11,9	-0,73	-0,26
Среднегодовая	8,2	8,2	0,8	0,09	9,8	6,6	3,2	0,24	0,12

Из данных табл. 1 следует, что при положительных значениях As оценки среднего превышают оценки медианы на 0,1–0,3 °С. При $As < 0$ средние арифметические значения по выборке должны быть меньше медианы. Но поскольку отрицательные оценки As невелики, то данное условие за холодный период отмечается только в ноябре и декабре. В распределении коэффициентов эксцесса (Ex) преобладают положительные значения. Это означает, что эмпирическая кривая распределения является более островершинной по сравнению с нормальной кривой. Значительный ($Ex > 1$) положительный эксцесс наблюдается в апреле и ноябре.

Средняя годовая температура является общей характеристикой температурного режима, которая позволяет получить представление о температурном фоне и проследить температурные изменения во времени [10]. Для анализа современных тенденций изменения среднегодовой температуры воздуха проведена ее оценка с помощью линейного тренда (рис. 4). При анализе полученных результатов наблюдается характерная положительная динамика увеличения среднегодовой температуры приземного воздуха около 0,06 °С/год.



Рис. 4. Изменение температуры приземного воздуха, °С

Fig. 4. Change in surface air temperature, °C

В силу своего географического положения территория Белорусского сектора ближней зоны ЧАЭС характеризуется высокой теплообеспеченностью и продолжительностью вегетационного периода. В данном регионе, как и на всей территории страны [5; 10], отмечаются заметные изменения, связанные в первую очередь с ростом температуры воздуха как в зимний, так и летний периоды (табл. 2).

Таблица 2

Динамика климатических ресурсов (1997–2022 гг.)

Table 2

Dynamics of climate resources (1997–2022)

Основные характеристики		Среднее за период 1997–2022 гг.
Средняя температура воздуха за месяц, °С	Самый теплый (июль)	20,4
	Самый холодный (январь)	-4,0
Продолжительность периода (дни) со средней суточной температурой воздуха и выше	0 °С	286
	+5 °С	219
	+10 °С	166
	+15 °С	111
Число дней со снежным покровом		73
Число сухих дней (с относительной влажностью воздуха 30 % и менее хотя бы в один из сроков наблюдений)		21
Сумма температур за вегетационный период выше и равной	+5 °С	3234
	+10 °С	2842
Количество жарких дней (с максимальной температурой воздуха +25 °С и выше)		77
Количество осадков, мм	годовое	594
	За теплый период (апрель – октябрь)	404

Наблюдается рост сумм температур воздуха за вегетационный период выше 5 °С и продолжительность периода с пороговыми значениями данных температур. Отмечено снижение количества дней со снежным покровом. Число дней со снежным покровом может изменяться от 16 дней (2020 г.) до 129 (2013 г.). В настоящее время в среднем составляет 73 дня. Количество жарких и сухих дней с 1997 г. значительно прибавилось. Число сухих дней за период активной вегетации (май – август) в 2022 г. по региону увеличилось на 7. Наибольший рост жарких дней произошел в 2018 г. (рис. 5). В то же время практически не изменилось число сухих дней.

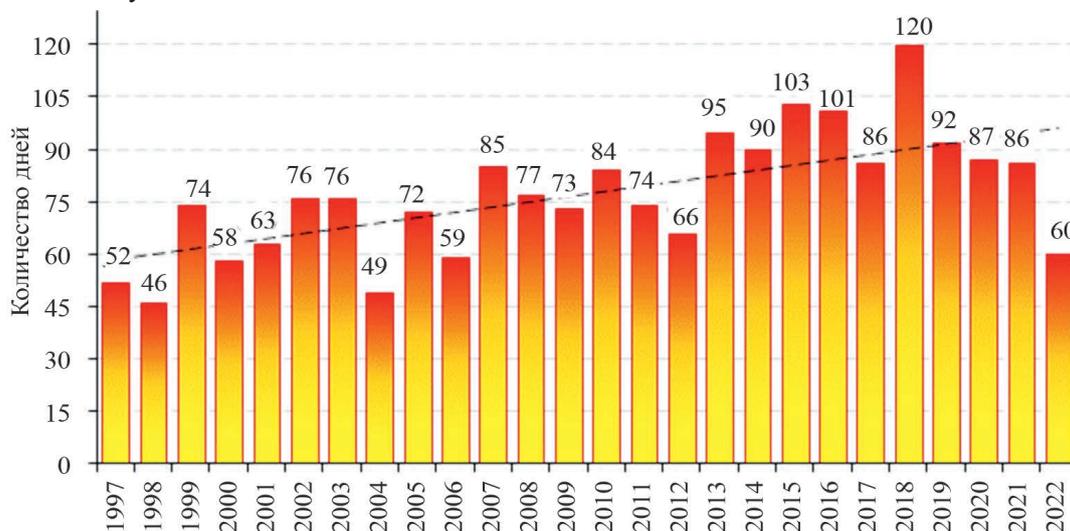


Рис. 5. Число жарких дней (с максимальной температурой воздуха +25 °С и выше)

Fig. 5. Number of hot days (with a maximum air temperature of +25 °C and above)

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

Режим увлажнения. Атмосферные осадки являются одним из основных параметров климата и главной составляющей общего влагооборота атмосферы. Исходя из средних многолетних значений, полученных за весь период инструментальных наблюдений (1997–2022 г.), на рассматриваемой территории в среднем за год выпадает 593,7 мм атмосферных осадков, а число дней с осадками в среднем составляет 128 (35,1 %) (табл. 3). Наименьшее количество осадков пришлось на 2019 г. (377,1 мм), когда их сумма составила всего 63,5 % годовой «нормы». За данный период количество атмосферных осадков, когда они выпадали преимущественно в твердом виде, пришлось 8,7 %, а остальные 91,3 % (теплый период (апрель – октябрь)) выпадали преимущественно в виде дождя. Такое распределение является характерным для территории исследуемого региона.

Таблица 3

Режим увлажнения (1997–2022 гг.)

Table 3

Humidification mode (1997–2022)

Год	Количество дней с осадками	Сумма осадков, мм	Испаряемость, мм	Коэффициент увлажнения
1997	145	483,8	534,1	0,9
1998	161	711,2	559,4	1,3
1999	122	572,3	593,0	1,0
2000	136	459,3	581,5	0,8
2001	114	563,4	516,7	1,1
2002	119	516,8	632,5	0,8
2003	88	568,3	687,9	0,8
2004	128	710,7	523,0	1,4
2005	98	657,6	554,6	1,2
2006	144	623,5	463,6	1,3
2007	140	641,1	706,6	0,9
2008	124	562,0	618,8	0,9
2009	137	564,7	551,9	1,0
2010	129	618,8	536,4	1,2
2011	112	632,5	563,0	1,1
2012	124	719,2	502,6	1,4
2013	131	781,9	547,8	1,4
2014	98	450,0	686,3	0,7
2015	104	453,9	848,0	0,5
2016	134	722,3	664,4	1,1
2017	141	652,1	629,7	1,0
2018	136	556,7	800,5	0,7
2019	131	377,1	687,0	0,6
2020	117	618,7	682,1	0,9
2021	120	517,3	690,1	0,8
2022	185	697,6	683,2	1,0
Среднее за 26 лет	128	593,7	618,5	1,0

Исследуемая территория относится к зоне неустойчивого увлажнения, и распределение осадков во времени всегда отличается большой изменчивостью. В связи с неравномерностью выпадения осадков наблюдаются засушливые периоды. Коэффициент увлажнения, по Иванову, (отношение количества

выпадающих осадков к испаряемости) в различные годы может составлять от 0,5 недостаточное увлажнение (2015 г.) до 1,4 (2004, 2012, 2013 гг.), когда наблюдался избыток влаги. Преобладание в 2004, 2012, 2013 гг. количества атмосферных осадков над испаряемостью, характеризовало их как годы с избыточным увлажнением. Наиболее недостаточное увлажнение с коэффициентом всего 0,5, зафиксированное в 2015 г., сопровождалось наибольшей испаряемостью (848,0 мм). В обычные годы характерной особенностью территории является превышение суммы осадков за год над количеством испарившихся с поверхности влаги, что создает промывной тип водного режима и приводит к заболачиванию пониженных участков, образованию полугидроморфных и гидроморфных почв.

Анализ полученных результатов показал, что, несмотря на значительные колебания количества осадков по годам, наблюдается положительная тенденция их увеличения (15,6 мм/год), при этом наиболее заметное увеличение отмечалось в холодный период (12,3 мм/год). Наблюдается тенденция роста числа дней с осадками – в среднем с учетом прямолинейной зависимости 3,7 дней/год (рис. 6).

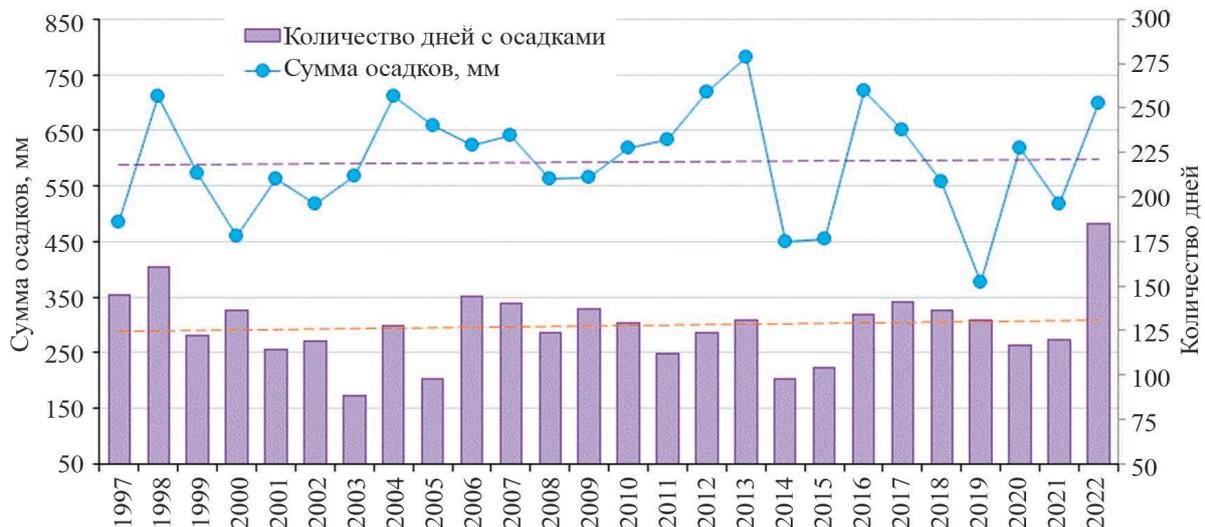


Рис. 6. Динамика количества осадков, мм

Fig. 6. Precipitation dynamics, mm

Изменение количества осадков может быть вызвано изменением циркуляционных процессов в атмосфере, а также влиянием подстилающей поверхности исследуемого региона. От количества выпавших осадков и температурных условий периода снегонакопления зависит высота снежного покрова. Исследования показывают, что мощность снежного покрова меняется от года к году и значительно отклоняется от средних величин. Средняя высота снежного покрова, исследовалась нами в 2001–2022 гг. составила 6 см (рис. 7).

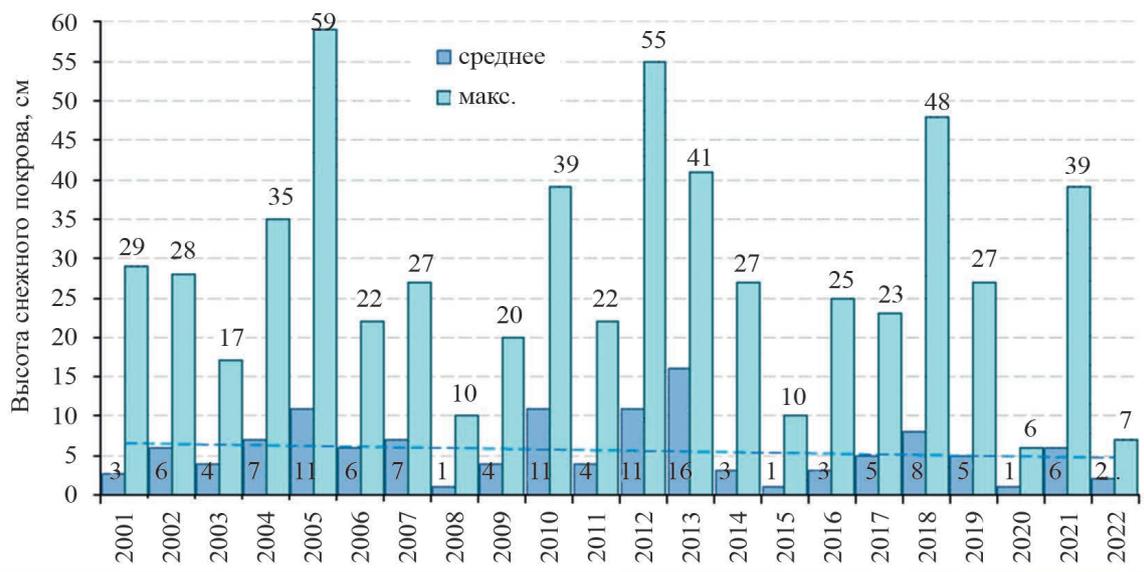


Рис. 7. Динамика высоты снежного покрова, см

Fig. 7. Snow depth dynamics, cm

При средней плотности снежного покрова $0,23 \text{ г/см}^3$ запас воды в нем на элементах природного ландшафта, по данным снегосъемок, в среднем составлял 27,6 мм. Минимальный запас воды 2,1 мм наблюдался в 2008, 2015 и 2020 гг., когда средняя высота снежного покрова достигала всего 1 см, максимальный – 50–60 мм в 2005, 2012 и 2013 гг. За 2001–2022 гг. снежный покров в среднем залегал 69 дней (рис. 8).



Рис. 8. Динамика количества дней со снежным покровом, дней/год

Fig. 8. Dynamics of the number of days with snow cover, days/year

Несмотря на значительные межгодовые различия по количеству дней со снежным покровом, их число имеет явную тенденцию к снижению с годами.

Малое количество осадков способствовало пониженной влажности воздуха в регионе. Относительная влажность воздуха является важным экологическим показателем среды, так как характеризует степень насыщения воздуха водяным паром, в тоже время она зависит от многих факторов, в том числе от физико-географических условий местности, времени года, суток и ряда других. Относительная влажность воздуха представляет собой отношение фактического содержания водяного пара к максимально возможному его содержанию при данной температуре. За период 1997–2022 гг. в среднем она составила 78 % (рис. 9).

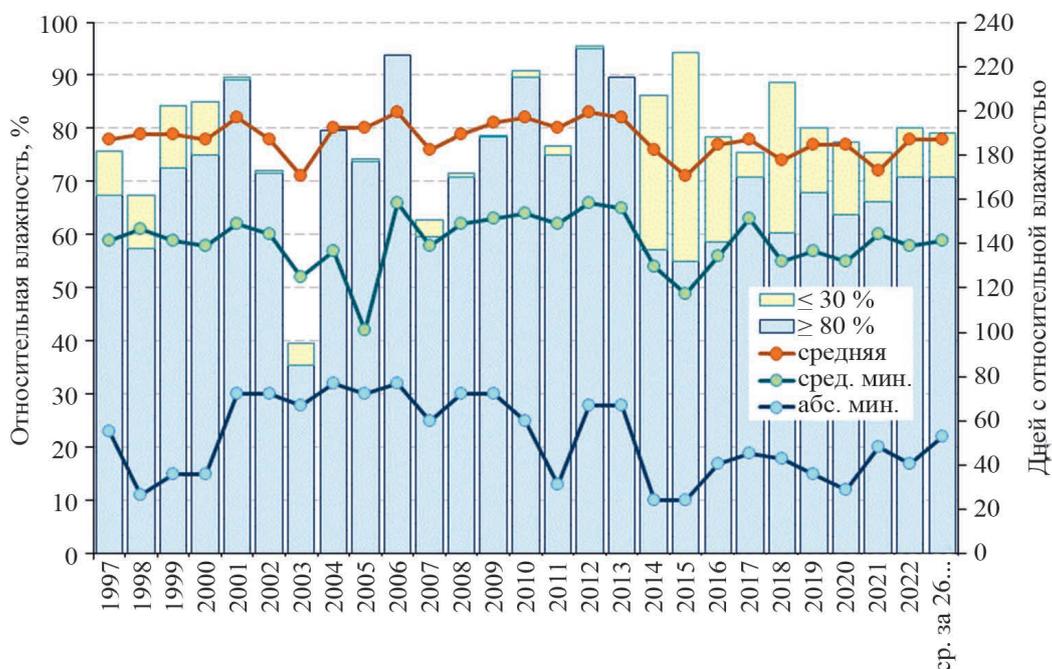


Рис. 9. Динамика относительной влажности воздуха, %

Fig. 9. Dynamics of relative air humidity, %

За данный период среднее количество влажных дней, когда и в послеполуденные часы (следовательно, в течение всех суток) влажность не падала ниже 80 %, составило 170. Среднее количество сухих дней, когда в дневные часы относительная влажность понижалась до 30 % и менее, составило 20 %. Преобладающим по числу сухих дней оказался 2015 г. – 94 дня. Преобладающим по числу влажных дней оказался 2012 г. – 228 дней.

Сумма активных температур как показатель совокупной потребности растений в тепле была введена в агрометеорологии Реомором в 1734 г. Позднее Г. Т. Селянинов применил этот показатель для оценки обеспеченности теплом периода активной вегетации сельскохозяйственных культур. Средняя сумма активных температур за 1997–2022 гг. в ближней зоне аварии на ЧАЭС составляет 2842 °С, в межгодовом ходе ее повышение отмечается во все годы исследований (рис. 10). Самая высокая сумма активных температур зафиксирована в 2018 г. (3219 °С), самая низкая – в 1997 г. (2382 °С).

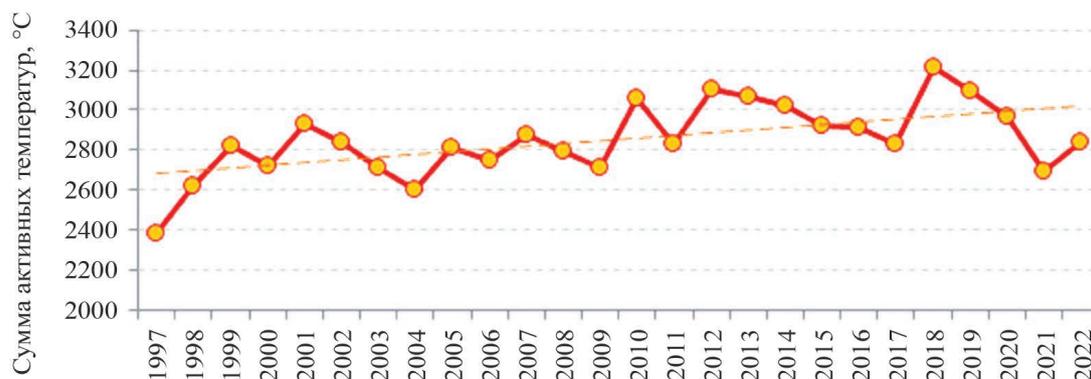


Рис. 10. Динамика сумм активных температур в ближней зоне аварии на ЧАЭС, °С

Fig. 10. Dynamics of sums of active temperatures in the exclusion zone of the CNPP, °C

Давление воздуха и ветер. Данный показатель необходим для удовлетворения потребностей в интересах различных метеорологических применений, в первую очередь для определения полей давления, составляющих основу всех последующих прогнозов состояния атмосферы. Величины атмосферного давления достаточно устойчивы и составили на уровне исследовательской станции «Масаны» в среднем около 1002 гПа. Стоит подчеркнуть, что давление воздуха меняется в течение года и зависит от ряда погодноклиматических условий, поэтому для каждой местности «норма» атмосферного давления определяется статистически. Изменение давления происходит в результате движения воздушных масс. При сравнении максимумов и минимумов давления можно заметить, что в холодный период максимумы значительно выше, а минимумы ниже, чем в теплый, что связано с большой интенсивностью циркуляции в холодную половину года.

Ветровой режим. Ветровой режим и его оценка с помощью графического сравнительного анализа показала, что преобладающими являлись ветра северо-западного (СЗ) направления, характеризующие данный регион (рис. 11).

В 1997–2022 гг., в частности в 2022 г., наблюдалось уменьшение ветров юго-восточного и западного направлений по отношению к многолетнему режиму. Вместе с тем зафиксировано увеличение ветров южного направления. Стоит подчеркнуть, что преобладающие направления ветров за весь период инструментальных наблюдений, наряду с северо-западными, составляют ветра западного (З) и юго-восточного (ЮВ) направления. Это подтверждает то, что годовой ход климатических характеристик ветра по территории чрезвычайно изменчив. Наличие сильных колебаний режима ветров, обусловленных сильной турбулентностью, отмечается при наблюдениях таких явлений, как порывистость или шквалистость. Ветер скоростью порядка 5–8 м/с считается умеренным, выше 14 м/с – сильным, выше 20–25 м/с – штормом, а выше 30 м/с – разрушительным ураганом [13]. Резкие кратковременные усиления ветра до значений порядка 20 м/с и выше носят название шквалов [10]. Если мгновенная скорость (порыв ветра) достигает 25 м/с, то это относят к опасным гидрометеорологическим явлениям [11]. В нашем случае максимальные порывы ветра наблюдались в диапазоне 15,6–17,0 м/с, а в 2015 г. (апрель) был зарегистрирован наибольший максимальный порыв ветра 17,5 м/с [14]. Минимальная среднегодовая скорость ветра за данный период составила 1,4 м/с. На долю штилевых условий пришлось 20 %.

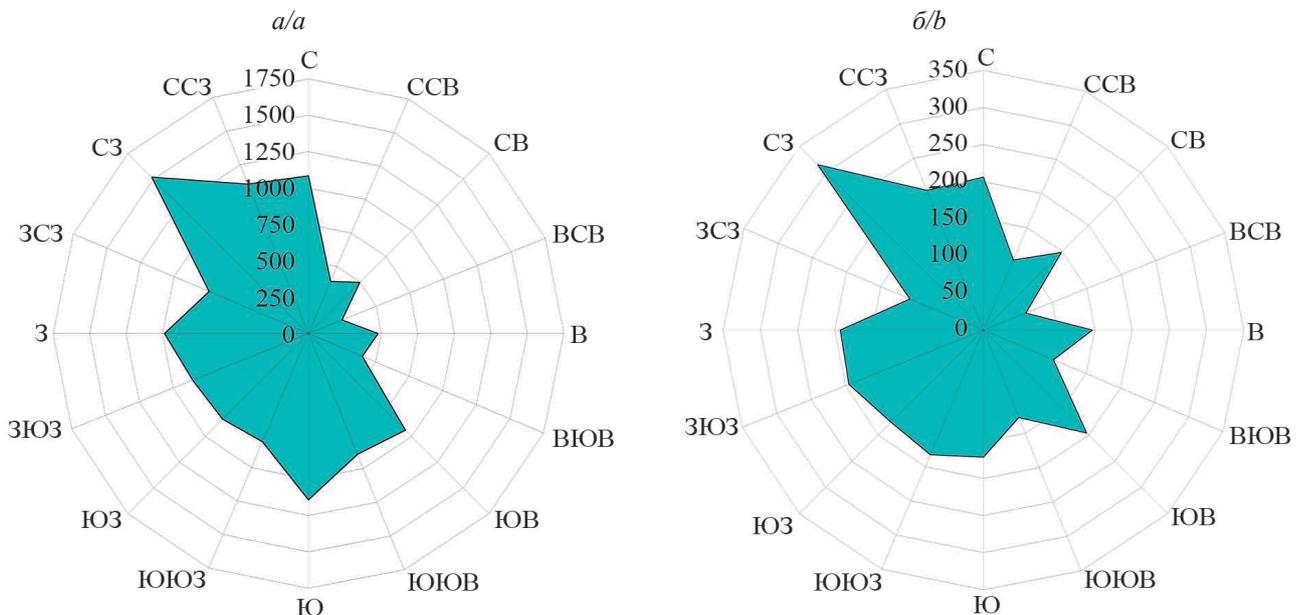


Рис. 11. Роза ветров: а) 1997–2022 гг.; б) 2022 г.

Fig. 11. Wind rose: a) 1997–2022; b) 2022

Заключение

Анализ динамики полученных на исследовательской станции «Масаны» метеорологических показателей за период 1997–2022 гг. позволил определить климатические характеристики территории белорусского сектора ближней зоны Чернобыльской АЭС, оценить их временную изменчивость. Установлено, что температурный режим оказался теплее обычного, среднегодовая температура воздуха увеличилась по отношению к среднему многолетнему значению. Выявлена тенденция ее повышения, которая в настоящее время для данной территории составляет около $0,06\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$. Наибольшие отклонения в сторону увеличения температур от средних многолетних значений отмечалось в 2020 г., когда среднегодовая температура оказалась выше «нормы» на $2,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Абсолютный максимум ($+39,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) для наших наблюдений был зарегистрирован в 2015 г., абсолютный минимум – в 2012 г. ($-34,4\text{ }^{\circ}\text{C}$). Среднегодовое значение интенсивности суммарной солнечной радиации в реальных условиях облачности составило $0,21\text{ кВт}/\text{м}^2$. Обнаружено некоторое увеличение количества выпадения атмосферных осадков, сумма которых составила 106 % от среднего многолетнего значения. Анализ современных тенденций изменения количества атмосферных осадков обнаружил их увеличение около $0,4\text{ мм}/\text{год}$, при этом наиболее отрицательный тренд отмечался в теплый период. Увеличилась сумма активных температур ($\geq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) и составляет в настоящее время более $2800\text{ }^{\circ}\text{C}$, что относит данный регион к «новой агроклиматической зоне» [15; 16]. Снизилось на 23 % количество дней со снежным покровом, при этом средняя его высота составила всего 6 см. Запас воды в снежном покрове на элементах природного ландшафта также значительно снизился. Малое количество осадков способствует пониженной влажности воздуха в регионе. На рассматриваемой территории в среднем за год выпадает $593,7\text{ мм}$ атмосферных осадков, что характеризует ее как регион с недостаточным увлажнением. В связи с преобладанием испаряемости над количеством атмосферных осадков, коэффициент увлажнения (баланс влаги) в данный период часто оказывался ниже единицы. Ветровой режим и его оценка с помощью графического сравнительного анализа показала, что преобладающими ветрами являлись ветра северо-западного, юго-западного и южного направления. Максимальные порывы ветра наблюдались в диапазоне $15,6\text{--}17,0\text{ м}/\text{с}$, а в 2015 г. (апрель) был зарегистрирован наибольший максимальный порыв ветра $17,5\text{ м}/\text{с}$. Минимальная среднегодовая скорость ветра за данный период составила $1,4\text{ м}/\text{с}$. Штилевые условия преобладали в 20 % случаев.

Изменение климатических характеристик, происходящее на всей территории Беларуси в последние десятилетия, отмечается и в исследуемом регионе. Оно выражается в увеличении температуры воздуха с наибольшими отклонениями в зимне-весенний и летний периоды, что повлекло существенное изменение агроклиматических показателей: возросло число жарких (с максимальной температурой воздуха $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше), а также сухих дней. Наблюдается рост сумм температур воздуха за вегетационный период выше $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ и продолжительность времени с пороговыми значениями данных температур. Отмечено снижение количества дней со снежным покровом.

Библиографические ссылки

1. Израэль ЮА. *Экология и контроль состояния природной среды*. Москва: Гидрометеиздат; 1984. 560 с.
2. Лысухо НА, Санковский АГ, Моложанова СВ, и др. Проблема глобального изменения климата и её решение в Республики Беларусь. *Техническое содействие Украине и Беларуси в выполнении обязательств по предупреждению глобального изменения климата. Проект Европейского Союза*. Минск; 2006. 16 с.
3. Логинов ВФ, Микуцкий ВС. Оценка вклада урбанизации в изменение климата. В: *Научно-методическое обеспечение деятельности по охране окружающей среды: проблемы и перспективы*. Минск: Бел НИЦ «Экология»; 2011. с. 57–67.
4. Мельник ВИ, Комаровская ЕВ. Особенности изменения климата на территории Республики Беларусь за последние десятилетие. В: *Научно-методическое обеспечение деятельности по охране окружающей среды: проблемы и перспективы*. Минск: Бел НИЦ «Экология»; 2011. с. 77–84.
5. Логинов ВФ, редактор. *Климат Беларуси*. Минск: Институт геологических наук АН Беларуси; 1996. 234 с.
6. Наркевич ИП, Вавилонская ОН. Основные аспекты изменения климата в Беларуси. В: *Научно-методическое обеспечение деятельности по охране окружающей среды: проблемы и перспективы*. Минск: Бел НИЦ «Экология»; 2011. с. 46–57.
7. Марченко ЮД. Особенности погодно-климатических условий территории белорусского сектора ближней зоны Чернобыльской АЭС. В: *Природные ресурсы Национального парка «Припятский» и других особо охраняемых природных территорий Беларуси: изучение, сохранение, устойчивое использование*. Минск: «Белорусский дом печати»; 2009. с. 69–72.
8. Марченко ЮД. Состояние и изменение режима погоды в ближней зоне Чернобыльской АЭС. В: *Научно-методическое обеспечение деятельности по охране окружающей среды: проблемы и перспективы*. Минск: Бел НИЦ «Экология»; 2011. с. 85–90.
9. Марченко ЮД. Погодно-климатические условия в ближней зоне Чернобыльской АЭС. В: *Экосистемы и радиация: аспекты существования и развития*. Минск: БОРБИЦ РНИУП «Институт радиологии»; 2013. с. 32–45.
10. Чирков ЮИ. *Агрометеорология*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1986. 296 с.
11. Обризан СМ, Годун БА, Киреев СИ. Влияние опасных природных явлений и процессов в зоне отчуждения на радиоактивное загрязнение окружающей среды. В: *Радиоэкология Чернобыльской зоны*. Славутич: [б. и]; 2006. с. 54–56.
12. Марченко ЮД, Белаш ВЕ. Влияние метеоусловий на возникновение и распространение лесных пожаров в белорусском секторе зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. В: *Чернобыль: 30 лет спустя*. Гомель: Институт радиологии; 2016. с. 430–433.
13. Хромов СП, Мамонтова ЛИ. *Метеорологический словарь*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1963. 620 с.
14. Марченко ЮД, Ненашев РА, Белаш ВЕ, и др. Воздействие условий погоды на возникновение лесных пожаров в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС. В: *Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2017*. Севастополь: СевГУ; 2017. с. 849–852.
15. Мельник В, Яцухно В, Денисов Н, и др. *Агроклиматическое зонирование территории Беларуси с учётом изменения климата в рамках разработки национальной стратегии адаптации сельского хозяйства к изменению климата в Республике Беларусь. Проект ClimaEAST*. Минск – Женева: [б. и.]; 2017. 84 с.
16. Ковалёва ОВ, Соколов АС, Карпенко АФ. Динамика Новой климатической зоны на территории Беларуси. *Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. Естественные науки*. 2023;3(138):28–32.

References

1. Izrael' YuA. *Jekologija i kontrol' sostojanija prirodnoj sredy* [Ecology and monitoring of the state of the natural environment]. Moscow: Gidrometeoizdat; 1984. 560 p. Russian.
2. Lysuho NA, Sankovsky AG, Molozhanova SV, et al. *Problema global'nogo izmenenija klimata i ejo reshenie v Respubliki Belarus'* [The problem of global climate change and its solution in the Republic of Belarus]. Technical assistance to Ukraine and Belarus in fulfilling obligations to prevent global climate change. European Union project. Minsk; 2006. 16 p. Russian.
3. Loginov VF, Mikutsky VS. *Ocenka vklada urbanizacii v izmenenie klimata* [Assessing the contribution of urbanization to climate change]. In: Scientific and methodological support for environmental protection activities: problems and prospects. Minsk: Bel NIC «Ekologiya»; 2011. p. 57–67. Russian.
4. Melnik VI, Komarovskaya EV. *Osobennosti izmenenija klimata na territorii Respubliki Belarus' za poslednie desjatiletie* [Features of climate change on the territory of the Republic of Belarus over the past decade]. In: Scientific and methodological support for environmental protection activities: problems and prospects. Minsk: Bel NIC «Ekologiya»; 2011. p. 77–84. Russian.
5. Loginov VF, editor. *Klimat Belarusi* [Climate of Belarus]. Minsk: Institut geologicheskikh nauk AN Belarusi; 1996. 234 p. Russian.
6. Narkevich IP, Vavilonskaya ON. *Osnovnye aspekty izmenenija klimata v Belarusi* [Main aspects of climate change in Belarus]. In: Scientific and methodological support for environmental protection activities: problems and prospects. Minsk: Bel NIC «Ekologiya»; 2011. p. 46–57. Russian.
7. Marchenko YuD. *Osobennosti pogodno-klimaticheskikh uslovij territorii belorusskogo sektora blizhnej zony Chernobyl'skoj AJeS* [Features of weather and climatic conditions of the territory of the Belarusian sector of exclusion zone Chernobyl NPP]. In: Natural resources of the Pripjatsky National Park and other specially protected natural areas of Belarus: study, conservation, sustainable use. Minsk: «Belorusskij dom pečati»; 2009. p. 69–72. Russian.
8. Marchenko YuD. *Sostojanie i izmenenie rezhima pogody v blizhnej zone Chernobyl'skoj AJeS* [State and changes in weather conditions in the near zone of the Chernobyl nuclear power plant]. In: Scientific and methodological support for environmental protection activities: problems and prospects. Minsk: Bel NIC «Ekologiya»; 2011. p. 85–90. Russian.
9. Marchenko YuD. *Pogodno-klimaticheskie uslovija v blizhnej zone Chernobyl'skoj AJeS* [Weather and climatic conditions in the near zone of the Chernobyl nuclear power plant]. In: Ecosystems and radiation: aspects of existence and development. Minsk: BORBIC RNIUP «Institute of Radiology»; 2013. p. 32–45. Russian.
10. Chirkov YuI. *Agrometeorologija* [Agrometeorology]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1986. 296 p. Russian.

11. Obrizan SM, Godun BA, Kireev SI. *Vlijanie opasnyh prirodnyh javlenij i processov v zone otchuzhdenija na radioaktivnoe zagryaznenie okruzhajushhej sredy* [The influence of hazardous natural phenomena and processes in the exclusion zone on radioactive pollution of the environment]. In: *Radioekologiya Chernobyl'skoj zony*. Slavutich: [publisher unknown]; 2006. p. 54–56. Russian.
12. Marchenko YuD, Belash VE. The influence of weather conditions on the occurrence and spread of forest fires in the Belarusian sector of the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant. In: *Chernobyl: 30 let spustia* [Chernobyl: 30 years later]. Gomel: Institute of Radiology; 2016. p. 430–433. Russian.
13. Khromov SP, Mamontova LI. *Meteorologicheskij slovar'* [Meteorological Dictionary]. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1963. 620 p. Russian.
14. Marchenko YuD, Nenashev RA, Belash VE, et al. *Vozdejstvie uslovij pogody na vznikovenie lesnyh pozharov v zone otchuzhdenija Chernobyl'skoj AJeS* [The impact of weather conditions on the occurrence of forest fires in the exclusion zone of the Chernobyl NPP]. In: *Environmental, industrial and energy safety – 2017*. Sevastopol: SevGU; 2017. p. 849–852. Russian.
15. Melnik V, Yatsuhno V, Denisov N, et al. *Proekt ClimaEAST «Agroklimaticheskoe zonirowanie territorii Belarusi s uchjotom izmenenija klimata v ramkah razrabotki nacional'noj strategii adaptacii sel'skogo hozjajstva k izmeneniju klimata v Respublike Belarus»* [ClimaEAST project «Agroclimatic zoning of the territory of Belarus taking into account climate change as part of the development of a national strategy for adapting agriculture to climate change in the Republic of Belarus»]. Minsk – Geneva: [publisher unknown]; 2017. 84 p. Russian.
16. Kovaleva OV, Sokolov AS, Karpenko AF. *Dinamika Novoj klimaticheskoy zony na territorii Belarusi* [Dynamics of the New Climatic Zone on the Territory of Belarus]. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny. Estestvennye nauki*. 2023;3(138):28–32. Russian.

Статья поступила в редколлегию 07.07.2024.
Received by editorial board 07.07.2024.