

УДК 551.577.2

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРОМЕТЕОРОВ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

А. А. ШЕВЕЛЁВА¹⁾, Ю. А. ГЛЕДКО²⁾

¹⁾Белгидромет, пр. Независимости, 110, 220114, г. Минск, Беларусь

²⁾Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4, 220030, г. Минск, Беларусь

Аннотация. Исследованы закономерности пространственного распределения гидрометеоров на территории Беларуси в период с 1958 по 1988 г. и с 1989 по 2019 г. Проанализирована статистическая структура изменений количества дней с гидрометеорами в стране в пространственном отношении. Установлено, что среднее число дней с гололедом, приходящееся на одну метеостанцию за период с 1958 по 1988 г. (12,8 дн.), незначительно отличается от величины данного показателя за период с 1989 по 2019 г. (10,7 дн.), тогда как среднее число дней с изморозью, приходящееся на одну метеостанцию за период с 1958 до 1988 г. (18,1 дн.), существенно превышает значение аналогичного показателя за период с 1989 по 2019 г. (10,0 дн.). В ходе анализа различий в количестве осадков выявлено, что потепление климата последних лет привело к изменению условий увлажнения и увеличению среднегодового количества осадков на большинстве метеостанций за рассматриваемые периоды. Сделан вывод о том, что существенное влияние на характер пространственного распределения гидрометеоров оказывает рельеф.

Ключевые слова: гидрометеоры; гололед; изморозь; изменение климата; повторяемость гидрометеоров; рельеф.

GEOGRAPHICAL PATTERNS OF HYDROMETEOR'S DISTRIBUTION ON THE TERRITORY OF BELARUS IN THE CONTEXT OF MODERN CLIMATE CHANGE

A. A. SHEVELEVA^a, Yu. A. HLEDKO^b

^aBelhydromet, 110 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220114, Belarus

^bBelarusian State University, 4 Niezaliezhnasci Avenue, Minsk 220030, Belarus

Corresponding author: Yu. A. Hledko (gledko74@mail.ru)

Abstract. The patterns of spatial distribution of hydrometeors on the territory of Belarus in the period from 1958 to 1988 and from 1989 to 2019 were studied. The statistical structure of changes in the number of days with hydrometeors in the country in spatial terms is analysed. It was found that the average number of days with glaze coming per

Образец цитирования:

Шевелёва АА, Гледко ЮА. Географические закономерности распределения гидрометеоров на территории Беларуси в условиях современного изменения климата. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология.* 2025;1:60–74.
EDN: LZIWJU

For citation:

Sheveleva AA, Hledko YuA. Geographical patterns of hydrometeor's distribution on the territory of Belarus in the context of modern climate change. *Journal of the Belarusian State University. Geography and Geology.* 2025;1:60–74. Russian.
EDN: LZIWJU

Авторы:

Александра Александровна Шевелёва – инженер-синоптик 1-й категории отдела краткосрочных прогнозов погоды, неблагоприятных и опасных явлений службы метеорологических прогнозов.

Юлия Александровна Гледко – кандидат географических наук, доцент; заведующий кафедрой общего землеведения и гидрометеорологии факультета географии и геоинформатики.

Authors:

Alexandra A. Sheveleva, weather forecaster of the 1st category at the department of short-term weather forecasts, adverse and dangerous phenomena, weather forecasting service.
shev6886@gmail.com

Yuliya A. Hledko, PhD (geography), docent; head of the department of general geography and hydrometeorology, faculty of geography and geoinformatics.
gledko74@mail.ru

one weather station for the period from 1958 to 1988 (12.8 days) differs slightly from the value of this indicator for the period from 1989 to 2019 (10.7 days), while the average number of days with rime coming per one weather station for the period from 1958 to 1988 (18.1 days) significantly exceeds the value of the same indicator for the period from 1989 to 2019 (10.0 days). The analysis of differences in precipitation revealed that climate warming in recent years has led to a change in moisture conditions and an increase in average annual amount of precipitation at most weather stations during the periods under consideration. It is concluded that the terrain has a significant impact on the spatial distribution of hydrometeors.

Keywords: hydrometeors; glaze; rime; climate change; frequency of hydrometeors; terrain.

Введение

Согласно определению Всемирной метеорологической организации гидрометеоры состоят из жидких или твердых частиц воды, которые могут находиться во взвешенном состоянии в атмосфере, выпадать из облаков, подниматься ветром с поверхности земли или оседать на различных предметах. Существует пять типов гидрометеоров¹:

- взвешенные частицы;
- выпадающие частицы (атмосферные осадки);
- частицы, поднимаемые ветром с поверхности земли;
- оседающие частицы;
- смерчи.

В настоящей работе объектом изучения являются следующие типы гидрометеоров: выпадающие частицы (атмосферные осадки) и оседающие частицы (гололед и изморозь).

Ничего необычного в гидрометеорах нет, но при достижении определенных критериев они становятся опасными метеорологическими явлениями, которые по своей интенсивности, продолжительности и площади распространения могут негативно влиять на окружающую природную среду, приводить к значительному ущербу в различных отраслях экономики и даже создавать угрозу жизни и здоровью людей². Выявление закономерностей пространственно-временного распределения гидрометеоров способствует предупреждению или снижению урона природно-хозяйственным объектам и уменьшению опасности для жизни и здоровья людей.

Гололед и изморозь наносят материальный ущерб многим отраслям экономики. Намерзая на различных поверхностях, они нередко приводят к порче садовых деревьев, разрушению линий электропередач, блокируют работу железнодорожного, автомобильного и воздушного транспорта [1].

Атмосферные осадки постоянно воздействуют на все компоненты окружающей среды. Однако при слишком большом количестве осадков возникают опасности, связанные с подтоплениями. Также интенсивные осадки могут нанести вред сельскому хозяйству, ухудшить плодородие и вызвать эрозию почвы, привести к снижению урожайности [2].

Актуальность данной работы обусловлена отсутствием исследований пространственного распределения гидрометеоров на территории Беларуси в период до и после начала потепления климата за отрезок времени продолжительностью 30–40 лет. Временной отрезок длительностью 30–40 лет рекомендован Всемирной метеорологической организацией в качестве климатической нормы, потому что он близок к циклам солнечной активности. В настоящей статье будут рассмотрены два равных временных промежутка по 31 году до и после начала активного потепления (с 1958 по 1988 г. и с 1989 по 2019 г. соответственно), что позволит выявить, как изменились среднегодовое количество осадков и среднегодовое число дней с гололедом и изморозью в связи с наблюдаемым изменением климата.

Цель работы – провести анализ и установить закономерности пространственного распределения гидрометеоров на территории Беларуси в период до и после начала активного потепления климата.

Исследованию распределения гидрометеорологических явлений уделяли внимание как отечественные, так и зарубежные ученые. В разные годы были изучены и описаны опасные гидрометеорологические явления в различных регионах бывшего Советского Союза. Так, К. Л. Абдушелишвили с соавторами рассмотрел опасные гидрометеорологические явления на Кавказе [3], А. Д. Дробышев с коллегами – опасные явления погоды на территории Сибири и Урала [4], а С. Г. Чанышева с соавторами описала опасные гидрометеорологические явления на территории Средней Азии [5].

¹Гидрометеоры // Всемирная метеорологическая организация : сайт. URL: <https://cloudatlas.wmo.int/ru/general-classification-of-meteors-hydrometeors.html> (дата обращения: 23.02.2024).

²Охрана окружающей среды и природопользование. Гидрометеорология. Правила составления краткосрочных прогнозов погоды общего назначения : ТКП 17.10-06-2008 (02120) : утв. М-вом природ. ресурсов и охраны окружающей среды Респ. Беларусь 31.10.2008 : введ. в действие с 01.01.2009. Минск : Минприроды, 2008. IV, 30 с.

В Беларуси изучением влияния различных факторов на формирование метеорологических явлений в разные периоды занимались А. А. Смолич [6], А. Х. Шкляр [7; 8], М. А. Гольберг³ [2], В. Ф. Логинов [9–11] и др.

В 1950–80-х гг. были обобщены многолетние сведения об основных метеорологических явлениях, составлены справочники по климату республики и областей. Кроме того, в стране был проведен цикл исследований по изучению отдельных элементов климата, а также климатических условий больших городов, результаты которых отражены в фундаментальном картографическом издании «Нацыянальны атлас Беларусі»⁴.

Наряду с этим в Беларуси выпускались метеорологические ежемесячники, содержащие данные об атмосферных осадках и различных метеорологических явлениях. Практически ежегодно издавались статистические сборники по опасным гидрометеорологическим явлениям, такие как технические обзоры и обзоры стихийных гидрометеорологических явлений.

На современном этапе исследования в данной области проводили белорусские ученые В. Ф. Логинов, А. А. Волчек и И. Н. Шпока, которые занимались разработкой пространственно-временного распределения опасных гидрометеорологических явлений на территории Беларуси [9–13].

Особенности изменения климата в Беларуси за последние десятилетия достаточно широко изложены в научных публикациях специалистов Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (Белгидромет) В. И. Мельника, М. Г. Герменчук и Е. В. Комаровской [14–16].

Научными сотрудниками факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета Ю. А. Гледко, М. Н. Брилевским, Е. Н. Сумак, Е. С. Бережковой, М. В. Медведько с коллегами опубликованы научные работы по анализу числа случаев опасных гидрометеорологических явлений на территории Беларуси, а также их пространственно-временного распределения, изучены синоптические условия и причины образования таких явлений, выделены регионы с наибольшей повторяемостью случаев опасных гидрометеорологических явлений [17–21].

Таким образом, проблемам распределения опасных гидрометеорологических явлений и изменения климата посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных авторов. Однако, несмотря на определенные научные достижения в этой области, вопрос пространственного распределения гидрометеоров в период до и после начала активного потепления климата за рекомендованный Всемирной метеорологической организацией отрезок времени продолжительностью минимум 30–40 лет освещен недостаточно, что требует продолжения исследований и пополнения базы данных по пространственному распределению гидрометеоров.

Материалы и методы исследования

Основными исходными материалами для анализа месячного и годового количества осадков и числа дней с гололедом и изморозью на территории Беларуси послужили данные многолетних наблюдений Белгидромета и представленная в издаваемых им метеорологических ежемесячниках статистическая информация за 1958–2019 гг. по 37 метеостанциям.

Период с 1958 по 2019 г. был выбран неслучайно, так как он делится на два равных временных отрезка по 31 году (с 1958 по 1988 г. и с 1989 по 2019 г.). Именно с 1989 г. в Беларуси начался очередной период потепления, за который среднегодовая температура воздуха превысила климатическую норму на 1,3 °С. Этот период потепления не имеет себе равных по продолжительности и интенсивности за все время метеорологических наблюдений в Беларуси.

Пространственная изменчивость количества осадков и числа дней с гололедом и изморозью исследовалась с помощью карт, построенных за различные периоды осреднения. Временные ряды количества осадков и числа дней с гололедом и изморозью определялись стандартными статистическими методами.

Анализ временной изменчивости среднегодового количества осадков и среднегодового числа дней с гололедом и изморозью позволил выявить их динамику в период до и после начала потепления климата.

Результаты и их обсуждение

Гололед. На основе материалов, предоставленных отделом государственного фонда данных службы метеорологического и климатического мониторинга, фонда данных Белгидромета, составлена табл. 1, в которой приведено среднее многолетнее число дней с гололедом и изморозью по 37 метеостанциям за периоды с 1958 по 1988 г. и с 1989 по 2019 г. Данные получены путем непосредственного подсчета.

³Стихийные гидрометеорологические явления на территории Беларуси : справочник / Белорус. науч.-исслед. центр «Экология», Респ. гидрометеорол. центр ; под общ. ред. М. А. Гольберга. Минск : Белорус. науч.-исслед. центр «Экология», 2002. 131 с.

⁴Нацыянальны атлас Беларусі / Кам. па зям. рэсурсах, геадэзіі і картаграфіі пры Савеце Міністраў Рэсп. Беларусь ; гал. рэдкал.: М. У. Мясніковіч (старш.) [і інш.]. Мінск : Белкартаграфія, 2002. 292 с.

Таблица 1

Среднее число дней с гололедом и изморозью на территории Беларуси,
приходящееся на одну метеостанцию за различные периоды осреднения

Table 1

Average number of days with glaze and rime on the territory of Belarus
per one weather station for different averaging periods

Метеостанция	Среднее число дней с гололедом		Среднее число дней с изморозью	
	С 1958 по 1988 г.	С 1989 по 2019 г.	С 1958 по 1988 г.	С 1989 по 2019 г.
Витебск	16	14	23	14
Верхнедвинск	6	8	16	12
Шарковщина	10	10	14	7
Лынтупы	17	16	21	11
Полоцк	10	12	18	18
Докшицы	21	15	27	16
Орша	10	11	20	11
Гродно	10	11	7	8
Лида	11	11	19	11
Новогрудок	29	24	28	20
Волковыск	15	15	16	16
Минск	20	16	18	7
Вилейка	12	4	18	6
Воложин	8	5	20	9
Борисов	15	9	15	5
Березино	16	9	18	5
Марьино Горка	18	14	27	12
Слуцк	11	12	19	13
Могилёв	20	15	22	14
Горки	16	12	31	17
Славгород	12	10	26	10
Костюковичи	14	10	18	13
Бобруйск	13	8	20	8
Брест	9	7	14	8
Пружаны	16	15	16	13
Ивацевичи	6	7	10	7
Барановичи	10	9	18	8
Ганцевичи	8	7	23	6
Высокое	15	13	15	15
Пинск	6	4	15	4
Гомель	14	7	13	6
Октябрь	11	10	13	6
Жлобин	10	8	18	7
Житковичи	9	8	15	7
Мозырь	12	12	17	7
Василевичи	11	11	12	9
Брагин	8	8	10	7
<i>Среднее значение</i>	<i>12,8</i>	<i>10,7</i>	<i>18,1</i>	<i>10,0</i>

Примечание. Полужирным начертанием выделены минимальное и максимальное значения показателей за рассматриваемые периоды.

Из табл. 1 видно, что среднее число дней с гололедом, приходящееся на одну метеостанцию за период с 1958 по 1988 г. (12,8 дн.), незначительно отличается от величины аналогичного показателя за период с 1989 по 2019 г. (10,7 дн.). Анализ различий в числе дней с гололедом выявил, что для большинства метеостанций на территории страны в период после начала потепления климата произошло снижение данного показателя. Наиболее значительное уменьшение числа дней с гололедом было отмечено на метеостанциях Вилейка, Березино, Гомель, Докшицы и Борисов. На метеостанции Вилейка оно достигало 8 дн., на метеостанциях Березино и Гомель – 7 дн., на метеостанциях Докшицы и Борисов – 6 дн. Также можно отметить метеостанции Новогрудок, Могилёв, Бобруйск, Минск, Марьина Горка, Костюковичи и Горки, где среднее число дней с гололедом уменьшилось на 4–5 дн. Однако выделяются несколько метеостанций, на которых зафиксировано небольшое увеличение повторяемости гололеда (на 1–2 дн.). К ним относятся метеостанции Верхнедвинск, Полоцк, Орша, Гродно, Слуцк и Ивацевичи. На остальных метеостанциях повторяемость гололеда незначительно уменьшилась или осталась неизменной.

Среднее число дней с гололедом за период с 1958 по 1988 г. колебалось от 6 до 29 дн. Наименьшее число дней с гололедом (6 дн.) отмечалось в южной части страны на Полесской низменности (метеостанции Пинск и Ивацевичи), а также в северных регионах республики на Полоцкой низменности (метеостанция Верхнедвинск). Наибольшее число дней с гололедом (29 дн.) наблюдалось на Новогрудской возвышенности (метеостанция Новогрудок). Велика была повторяемость гололеда и на Минской возвышенности (метеостанции Докшицы и Минск), Оршано-Могилёвской равнине (метеостанция Могилёв). Там среднее число дней с гололедом достигало 20–21 дн. На остальной территории среднее число дней с гололедом составляло от 8 до 18 дн. (рис. 1).

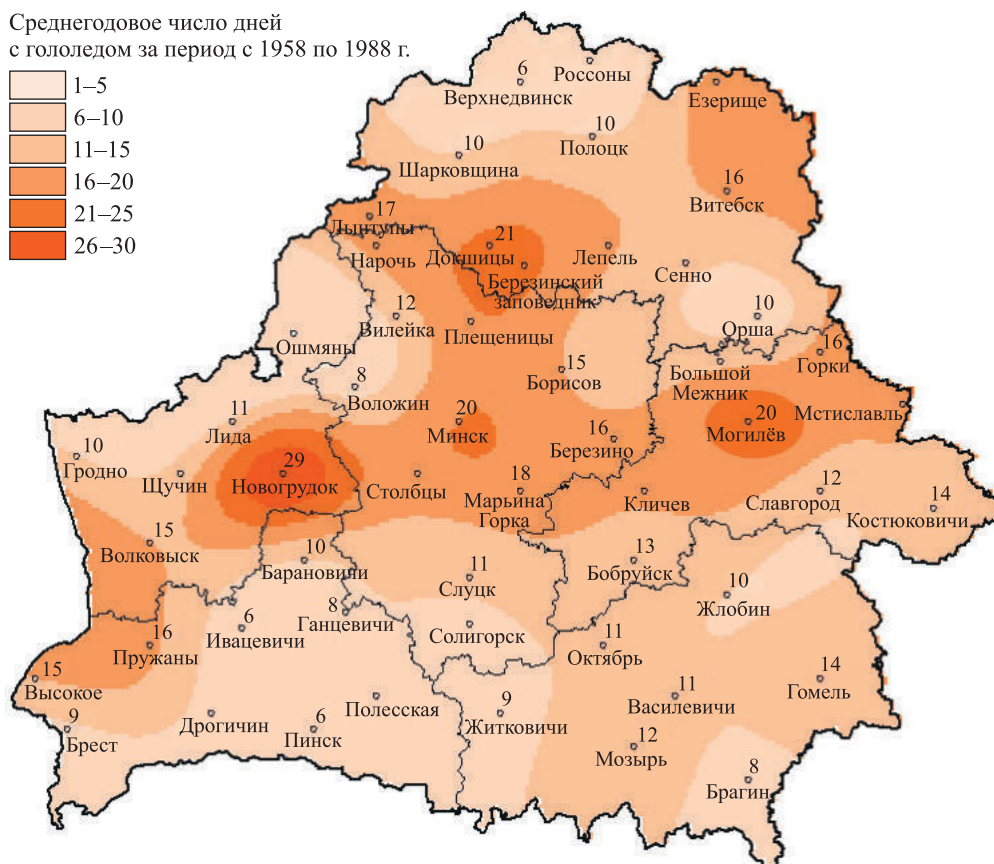


Рис. 1. Пространственное распределение среднегодового числа дней с гололедом на территории Беларуси за период с 1958 по 1988 г.

Fig. 1. Spatial distribution of the average annual number of days with glaze on the territory of Belarus for the period from 1958 to 1988

Среднее число дней с гололедом за период с 1989 по 2019 г. находилось в пределах от 4 до 24 дн. Минимальное число дней с гололедом (4 дн.), как и в период до начала потепления климата, отмечалось в южной части страны на Полесской низменности (метеостанция Пинск). Невелика была повторяемость гололеда и в Минской области на границе Ошмянской возвышенности и Столбцовой равнины (метеостанция

Воложин), а также на Нарочано-Вилейской равнине (метеостанция Вилейка). Там среднее число дней с гололедом составляло 5 дн. Максимальное число дней с гололедом (24 дн.) по-прежнему отмечалось на Новогрудской возвышенности (метеостанция Новогрудок). Кроме того, повторяемость гололеда была велика в центральной части страны на Минской возвышенности (метеостанция Минск) и на крайнем северо-западе республики в пределах Свенцяных гряд (метеостанция Лынтупы), где среднее число дней с гололедом достигало 16 дн. На остальной территории среднее число дней с гололедом составляло от 7 до 15 дн. и возрастало от южных к северным регионам республики (рис. 2).

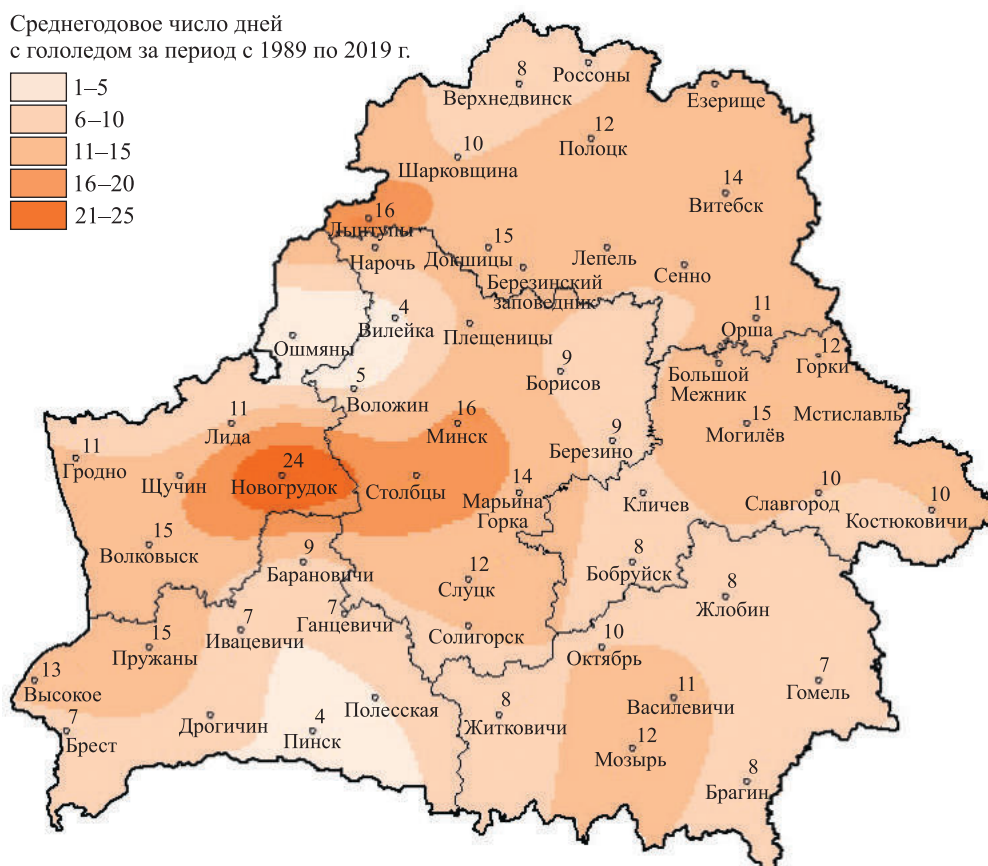


Рис. 2. Пространственное распределение среднегодового числа дней с гололедом на территории Беларуси за период с 1989 по 2019 г.

Fig. 2. Spatial distribution of the average annual number of days with glaze on the territory of Belarus for the period from 1989 to 2019

Существенное влияние на характер пространственного распределения числа дней с гололедом оказывает рельеф. Чаще всего за периоды с 1958 по 1988 г. и с 1989 по 2019 г. гололед отмечался на возвышенных участках рельефа, а именно на Новогрудской и Минской возвышенностях. Наименьшее число дней с гололедом, как правило, наблюдалось на пониженных участках рельефа, в частности на Полесской и Полоцкой низменностях. В целом среднее число дней с гололедом за рассматриваемые периоды возрастало от низин к возвышенностям. Также прослеживалась тенденция к уменьшению среднего числа дней с гололедом с севера на юг страны. В центральных регионах наблюдалось широтное распределение гололеда, тогда как долготные особенности в его пространственном распределении не выявлены.

Зависимость между изменением среднего числа дней с гололедом и температуры воздуха не просматривается. Основную роль в образовании и распределении гололеда играют синоптические условия, благоприятствующие возникновению данного явления.

Изморозь. Как следует из табл. 1, среднее число дней с изморозью, приходящееся на одну метеостанцию за период с 1958 по 1988 г. (18,1 дн.), значительно превосходит величину аналогичного показателя за период с 1989 по 2019 г. (10,0 дн.), что в первую очередь связано с ростом среднегодовой температуры воздуха как в теплый, так и в холодный период года начиная с 1989 г. На основе материалов, предоставленных отделом государственного фонда данных службы метеорологического и климатического мониторинга, фонда данных Белгидромета, были составлены график средней температуры воздуха за

холодный период года (октябрь – март) с 1958 по 2019 г. (рис. 3) и таблица средней температуры воздуха за холодный период года по 37 метеостанциям с 1958 по 1988 г. и с 1989 по 2019 г. (табл. 2). Данные получены путем непосредственного подсчета.

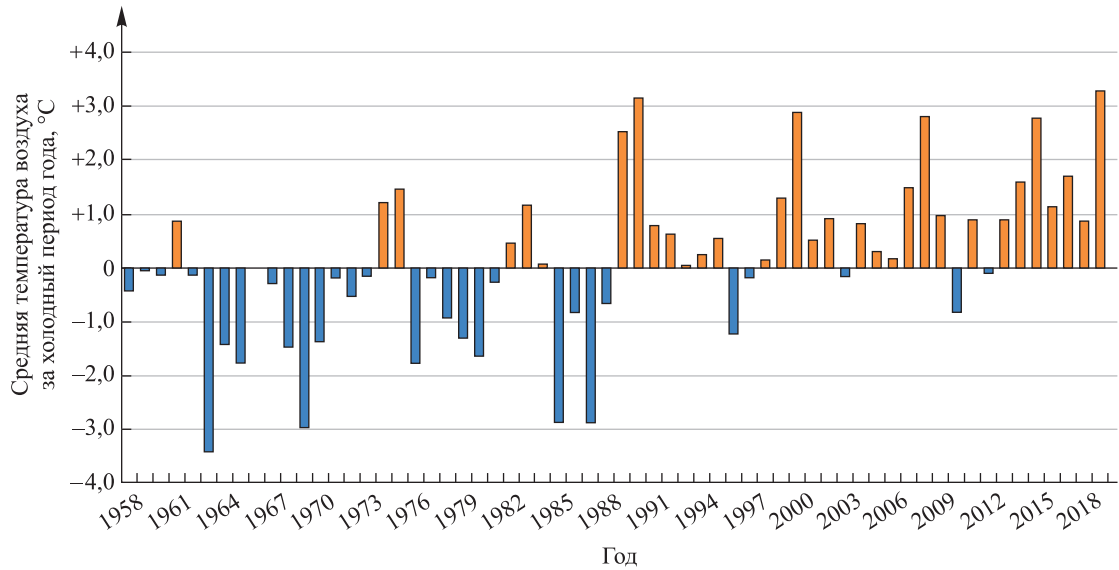


Рис. 3. Средняя температура воздуха за холодный период года с 1958 по 2019 г.
Fig. 3. Average air temperature during the cold period from 1958 to 2019

Таблица 2

Средняя температура воздуха за холодный период года на территории Беларуси, приходящаяся на одну метеостанцию за различные периоды осреднения

Table 2

Average air temperature during the cold period on the territory of Belarus per one weather station for different averaging periods

Метеостанция	Средняя температура воздуха за холодный период года, °С		Разница значений показателя за рассматриваемые периоды, °С
	С 1958 по 1988 г.	С 1989 по 2019 г.	
Витебск	−3,0	−1,0	+2,0
Верхнедвинск	−2,5	−0,7	+1,8
Шарковщина	−2,4	−0,5	+1,9
Лынтупы	−2,2	−0,6	+1,6
Полоцк	−2,6	−0,7	+1,9
Докшицы	−2,6	−0,9	+1,7
Орша	−3,0	−1,2	+1,8
Гродно	−0,7	+0,7	+1,4
Лида	−1,3	+0,5	+1,8
Новогрудок	−1,9	−0,3	+1,6
Волковыск	−0,7	+0,8	+1,5
Минск	−2,0	−0,2	+1,8
Вилейка	−1,9	−0,4	+1,5
Воложин	−2,0	−0,3	+1,7
Борисов	−2,2	−0,5	+1,7
Березино	−2,1	−0,4	+1,7

Окончание табл. 2
Ending of the table 2

Метеостанция	Средняя температура воздуха за холодный период года, °С		Разница значений показателя за рассматриваемые периоды, °С
	С 1958 по 1988 г.	С 1989 по 2019 г.	
Марьина Горка	–2,1	–0,2	+1,9
Слуцк	–1,7	0,0	+1,7
Могилёв	–2,7	–1,1	+1,6
Горки	–3,3	–1,6	+1,7
Славгород	–2,6	–0,8	+1,8
Костюковичи	–3,0	–1,1	+1,9
Бобруйск	–2,0	–0,4	+1,6
Брест	+0,2	+1,8	+1,6
Пружаны	–0,6	+0,8	+1,4
Ивацевичи	–0,8	+0,8	+1,6
Барановичи	–1,4	+0,3	+1,7
Ганцевичи	–1,1	+0,5	+1,6
Высокое	–0,2	+1,3	+1,5
Пинск	–0,7	+1,1	+1,8
Гомель	–1,8	0,0	+1,8
Октябрь	–1,6	+0,1	+1,7
Жлобин	–1,9	0,0	+1,9
Житковичи	–1,0	+0,6	+1,6
Мозырь	–1,4	+0,2	+1,6
Василевичи	–1,5	+0,2	+1,7
Брагин	–1,6	+0,1	+1,7
<i>Среднее значение</i>	<i>–1,8</i>	<i>–0,1</i>	<i>+1,7</i>

Примечание. Полу жирным начертанием выделены минимальное и максимальное значения показателя, а также наименьшая и наибольшая разница значений показателя за рассматриваемые периоды.

Анализ рис. 3 показал, что начиная с 1989 г. средняя температура воздуха за холодный период года в основном была положительной и лишь в отдельные годы опускалась ниже 0 °С.

Из табл. 2 видно, что средняя температура воздуха за холодный период года с 1958 по 1988 г. преимущественно являлась отрицательной (минимум, равный –3,3 °С, отмечен на метеостанции Горки) и только в Бресте она достигала +0,2 °С. Среднее значение за рассматриваемый период составляло –1,8 °С. Однако с 1989 по 2019 г. наблюдался рост средней температуры воздуха за холодный период года от +1,4 до +2,0 °С. Так, в Брестской области уже повсеместно, а в Гродненской и Гомельской областях почти на всех метеостанциях, за исключением метеостанции Новогрудок (–0,3 °С) и метеостанций Гомель и Жлобин (0 °С), фиксировались положительные значения показателя. Минимум по-прежнему отмечался на метеостанции Горки, но уже был равен –1,6 °С. Среднее значение в период после начала потепления климата достигало –0,1 °С. Таким образом, рост средней температуры воздуха за холодный период года с 1989 по 2019 г. составил +1,7 °С.

Анализ различий в числе дней с изморозью выявил, что для большинства метеостанций на территории страны в период после начала потепления климата произошло существенное снижение данного показателя. Наиболее значительное уменьшение числа дней с изморозью (на 17 дн.) наблюдалось на метеостанции Ганцевичи. Также можно отметить метеостанции Славгород и Марьина Горка, где среднее число дней с изморозью уменьшилось на 15–16 дн. На остальных метеостанциях снижение показателя составляло от 3 до 14 дн. Однако на трех метеостанциях число дней с изморозью не изменилось. К ним относятся метеостанции Полоцк, Волковыск и Высокое. Увеличение числа дней с изморозью в период после начала потепления климата отмечалось только на метеостанции Гродно и составляло 1 день.

Характер распределения и повторяемость изморози во многом определяются местными условиями территории, такими как высота над уровнем моря, форма рельефа, защищенность от преобладающего влагонесущего потока, экспозиция склонов возвышенных участков рельефа. Экспозиция склонов возвышенностей и гряд влияет на температуру воздуха, скорость ветра, накопление снежного покрова и жидких атмосферных осадков. Так, например, метеостанция Полоцк, на которой число дней с изморозью осталось неизменным, находится на севере Беларуси, где расположена обширная Полоцкая низина, покрытая большим количеством озер и характеризующаяся повышенной лесистостью территории. Реки и озера оказывают влияние на интенсивность отложений изморози, а леса способствуют уменьшению скорости ветра и формированию большей мощности снежного покрова, что создает благоприятные условия для образования изморози.

В целом наибольшее уменьшение среднего числа дней с изморозью отмечалось на метеостанциях Минской и Могилёвской областей, где его величина составляла от 6 до 15 дн. и от 5 до 16 дн. соответственно. Наименьшие изменения числа дней с изморозью наблюдались в Гродненской области, где снижение данного показателя не превышало 8 дн.

Среднее число дней с изморозью за период с 1958 по 1988 г. находилось в пределах от 7 до 31 дн. Минимальное число дней с изморозью (7 дн.) отмечалось на Гродненской возвышенности (метеостанция Гродно). Также повторяемость изморози была невелика в южных регионах республики на Полесской и Приднепровской низменностях (метеостанции Ивацевичи и Брагин соответственно). Там среднее число дней с изморозью составляло 10 дн. Максимальное число дней с изморозью (31 день) наблюдалось в северо-восточной части страны на Горецко-Мстиславской возвышенности (метеостанция Горки). Велика была повторяемость изморози и на Новогрудской возвышенности (метеостанция Новогрудок), в северной части Минской возвышенности (метеостанция Докшицы), на Пуховичской и Оршано-Могилёвской равнинах (метеостанции Марьина Горка и Славгород соответственно). Там среднее число дней с изморозью достигало 26–28 дн. В целом среднее число дней с изморозью возрастало от южных и западных регионов к северным и северо-восточным регионам республики (рис. 4).

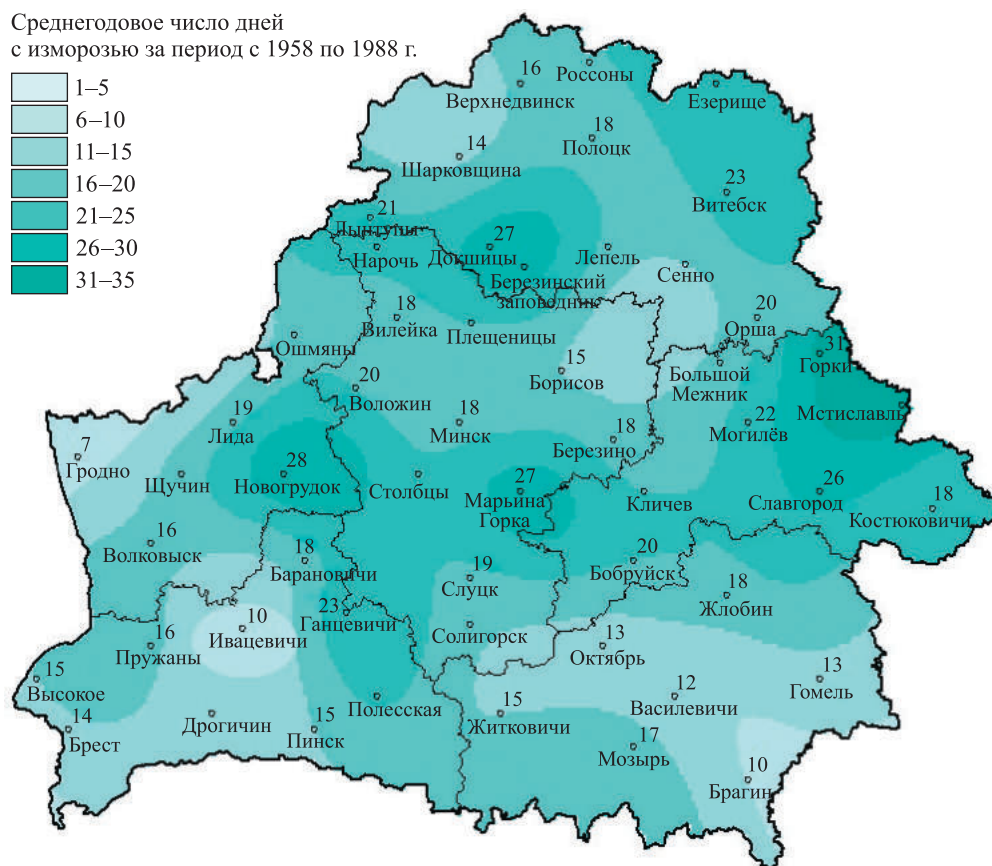


Рис. 4. Пространственное распределение среднегодового числа дней с изморозью на территории Беларуси за период с 1958 по 1988 г.

Fig. 4. Spatial distribution of the average annual number of days with rime on the territory of Belarus for the period from 1958 to 1988

Среднее число дней с изморозью за период с 1989 по 2019 г. колебалось от 4 до 20 дн. Наименьшее число дней с изморозью (4 дн.) также отмечалось в южной части страны на Полесской низменности (метеостанция Пинск). Невелика была повторяемость изморози и на Борисовской и Центральнорезинской равнинах (метеостанции Борисов и Березино соответственно). Там среднее число дней с изморозью составляло 5 дн. Наибольшее число дней с изморозью (20 дн.) наблюдалось на Новогрудской возвышенности (метеостанция Новогрудок). По-прежнему велика была повторяемость изморози в северо-восточных регионах республики на Горецко-Мстиславской возвышенности (метеостанция Горки). Там среднее число дней с изморозью составляло 17 дн. В северных регионах страны на Полоцкой низменности (метеостанция Полоцк) среднее число дней с изморозью достигало 18 дн., а в северной части Минской возвышенности (метеостанция Докшицы) и в западных районах Гродненской области на Волковысской возвышенности (метеостанция Волковыск) составляло 16 дн. На остальной территории отмечалось относительно равномерное распределение среднего числа дней с изморозью в пределах от 6 до 15 дн. (рис. 5).

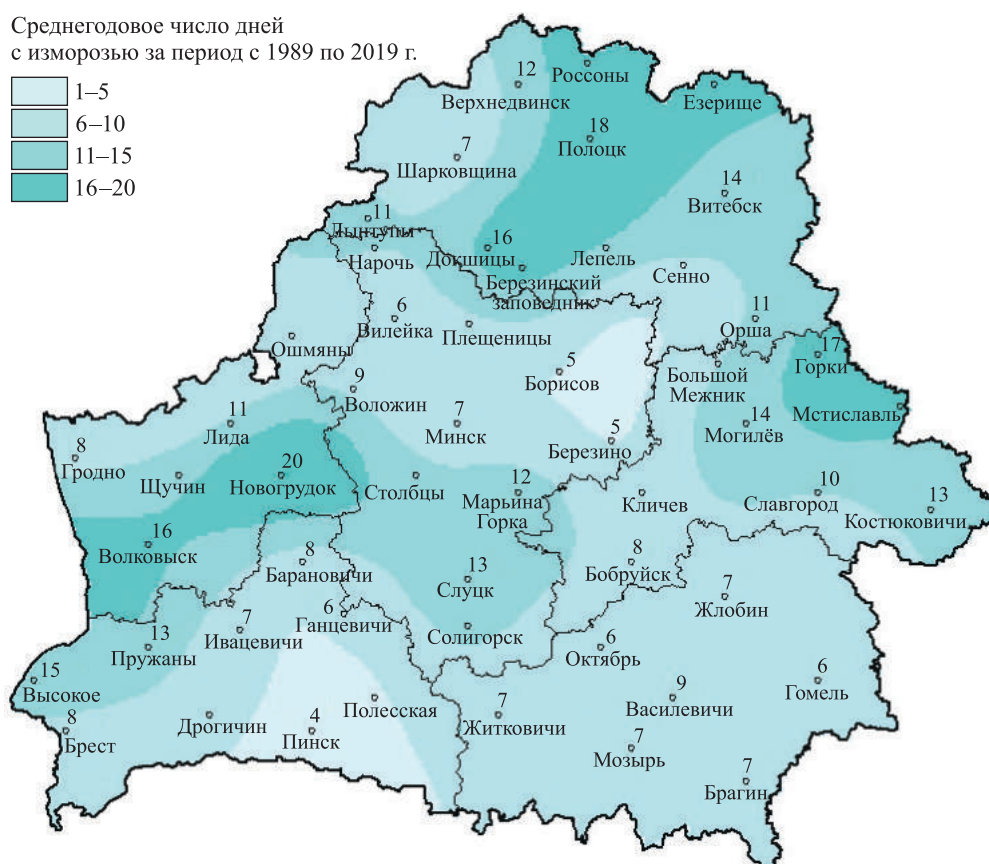


Рис. 5. Пространственное распределение среднегодового числа дней с изморозью на территории Беларуси за период с 1989 по 2019 г.

Fig. 5. Spatial distribution of the average annual number of days with rime on the territory of Belarus for the period from 1989 to 2019

Так же как и гололед, изморозь чаще отмечалась на возвышенных участках рельефа, а именно на Новогрудской и Горецко-Мстиславской возвышенностях, реже – на пониженных участках рельефа, в частности на Полесской и Приднепровской низменностях. В целом среднее число дней с изморозью увеличивалось от южных и западных регионов к северным и северо-восточным регионам, не считая некоторых возвышенных участков рельефа в западной части страны. Особенно это видно на примере периода до начала потепления климата (с 1958 по 1988 г.). Также для изморози более характерно широтное распределение, чем долготное распределение.

Есть прямая зависимость между изменением среднего числа дней с изморозью и температуры воздуха: уменьшение числа дней с изморозью согласуется с ростом температуры воздуха за холодный период года в 1989–2019 гг. Кроме того, на число дней с изморозью оказывают влияние атмосферные процессы, благоприятные для ее образования.

Осадки. На основе материалов, предоставленных отделом государственного фонда данных службы метеорологического и климатического мониторинга, фонда данных Белгидромета, составлена табл. 3, в которой приведено среднегодовое количество осадков по 37 станциям за периоды с 1958 по 1988 г. и с 1989 по 2019 г. Данные получены путем непосредственного подсчета.

Таблица 3

**Среднегодовое количество осадков на территории Беларуси,
приходящееся на одну метеостанцию за различные периоды осреднения**

Table 3

**Average annual amount of precipitation on the territory of Belarus
per one weather station for different averaging periods**

Метеостанция	Среднегодовое количество осадков, мм	
	С 1958 по 1988 г.	С 1989 по 2019 г.
Витебск	646	750
Верхнедвинск	609	666
Шарковщина	603	642
Лынтупы	729	735
Полоцк	663	725
Докшицы	632	670
Орша	615	649
Гродно	595	548
Лида	646	669
Новогрудок	754	757
Волковыск	607	631
Минск	673	694
Вилейка	640	657
Воложин	660	677
Борисов	665	686
Березино	657	640
Марьина Горка	603	610
Слуцк	602	625
Могилёв	611	631
Горки	617	628
Славгород	619	641
Костюковичи	577	644
Бобруйск	626	635
Брест	619	596
Пружаны	621	586
Ивацевичи	633	636
Барановичи	617	643
Ганцевичи	647	661
Высокое	599	603
Пинск	583	612

Окончание табл. 3
Ending of the table 3

Метеостанция	Среднегодовое количество осадков, мм	
	С 1958 по 1988 г.	С 1989 по 2019 г.
Гомель	586	630
Октябрь	623	654
Жлобин	606	641
Житковичи	664	735
Мозырь	605	675
Василевичи	617	661
Брагин	519	552
<i>Среднее значение</i>	<i>627</i>	<i>651</i>

Примечание. Полу жирным начертанием выделены минимальное и максимальное значения показателя за рассматриваемые периоды.

Из табл. 3 видно, что среднегодовое количество осадков, приходящееся на одну метеостанцию за период с 1958 по 1988 г. (627 мм), меньше величины данного показателя за период с 1989 по 2019 г. (651 мм). Анализ различий в количестве осадков выявил, что потепление климата последних лет привело к изменению условий увлажнения и увеличению среднегодового количества осадков на большинстве метеостанций за рассматриваемые периоды. В среднем оно возросло на 20–30 мм. Однако выделяются ряд метеостанций, где увеличение среднегодового количества осадков составляло до 71 мм. Значительное увеличение среднегодового количества осадков в период после начала потепления климата произошло только на метеостанции Витебск. Здесь рост данного показателя достигал 104 мм. Однако на нескольких метеостанциях отмечалось несущественное уменьшение среднегодового количества осадков. К ним относятся метеостанции Березино, Брест и Пружаны, где среднегодовое количество осадков уменьшилось на 17; 23 и 35 мм соответственно, а также метеостанция Гродно, где значение показателя снизилось на 47 мм. В настоящее время именно метеостанция Гродно характеризуется минимальным среднегодовым количеством осадков в стране.

С использованием данных табл. 3 и программного комплекса *ArcView* были построены карты пространственного распределения среднегодового количества осадков за периоды с 1958 по 1988 г. и с 1989 по 2019 г.

Так, среднегодовое количество осадков за период с 1958 по 1988 г. находилось в пределах от 519 до 754 мм. Минимальное количество осадков отмечалось в юго-восточных регионах Беларуси на Приднестровской низменности (метеостанции Брагин и Гомель) и Костюковичской равнине (метеостанция Костюковичи), в южной части страны на Полесской низменности (метеостанция Пинск), а также на крайнем западе республики в пределах Прибугской равнины (метеостанция Высокое) и Гродненской возвышенности (метеостанция Гродно). В этих районах среднегодовое количество осадков составляло от 519 до 599 мм. Максимальное количество осадков отмечалось на Свенцянских грядках (метеостанция Лынтупы) и Новогрудской возвышенности (метеостанция Новогрудок) и достигало 729 и 754 мм соответственно. Также большее количество осадков выпадало в северных и центральных регионах республики и на юге страны в районе метеостанции Житковичи. На остальной территории отмечалось равномерное распределение среднегодового количества осадков (рис. 6).

Среднегодовое количество осадков за период с 1989 по 2019 г. колебалось от 548 до 757 мм. Минимальное количество осадков по-прежнему отмечалось в юго-восточных регионах страны на Приднестровской низменности (метеостанция Брагин) и на крайнем западе республики в пределах Прибугской равнины (метеостанции Брест и Пружаны) и Гродненской возвышенности (метеостанция Гродно). В этих районах среднегодовое количество осадков также не достигало отметки 600 мм и составляло от 548 до 596 мм. Максимальное количество осадков, как и в период до начала потепления климата, отмечалось на Новогрудской возвышенности (метеостанция Новогрудок) и Свенцянских грядках (метеостанция Лынтупы). Помимо этого, выделялись Витебский и Полоцкий районы на севере страны и Житковичский район на юге республики. В указанных регионах среднегодовое количество осадков составляло от 725 до 757 мм. В целом за рассматриваемый период больше всего осадков по-прежнему выпадало в центральных и северных регионах страны, а также на юге республики в районе метеостанции Житковичи, расположенной на Полесской низменности (рис. 7).

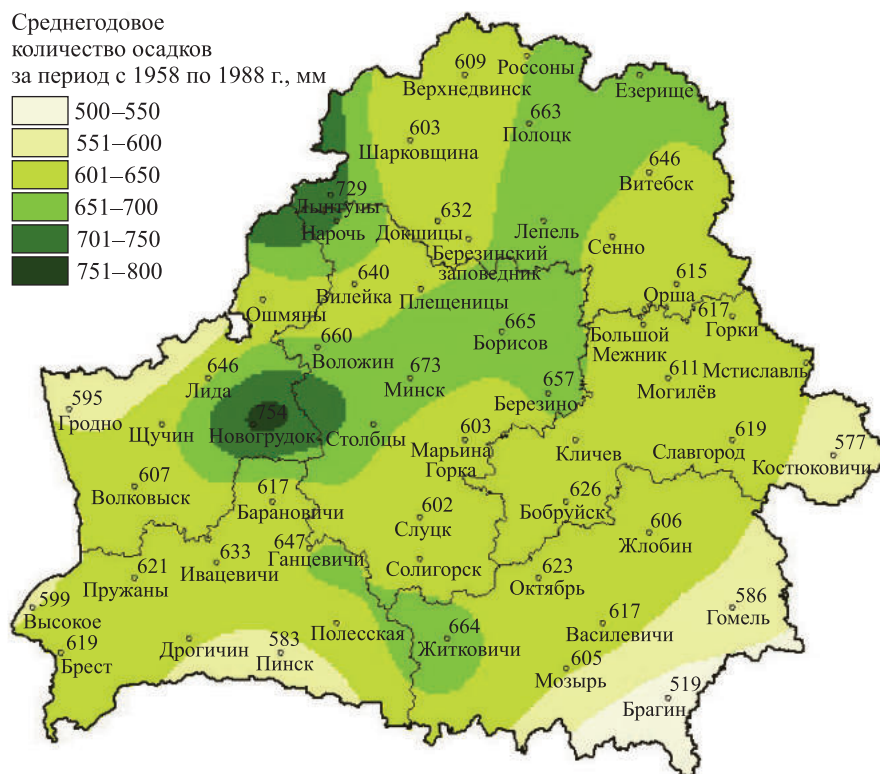


Рис. 6. Пространственное распределение среднегодового количества осадков на территории Беларуси за период с 1958 по 1988 г.

Fig. 6. Spatial distribution of average annual amount of precipitation on the territory of Belarus for the period from 1958 to 1988

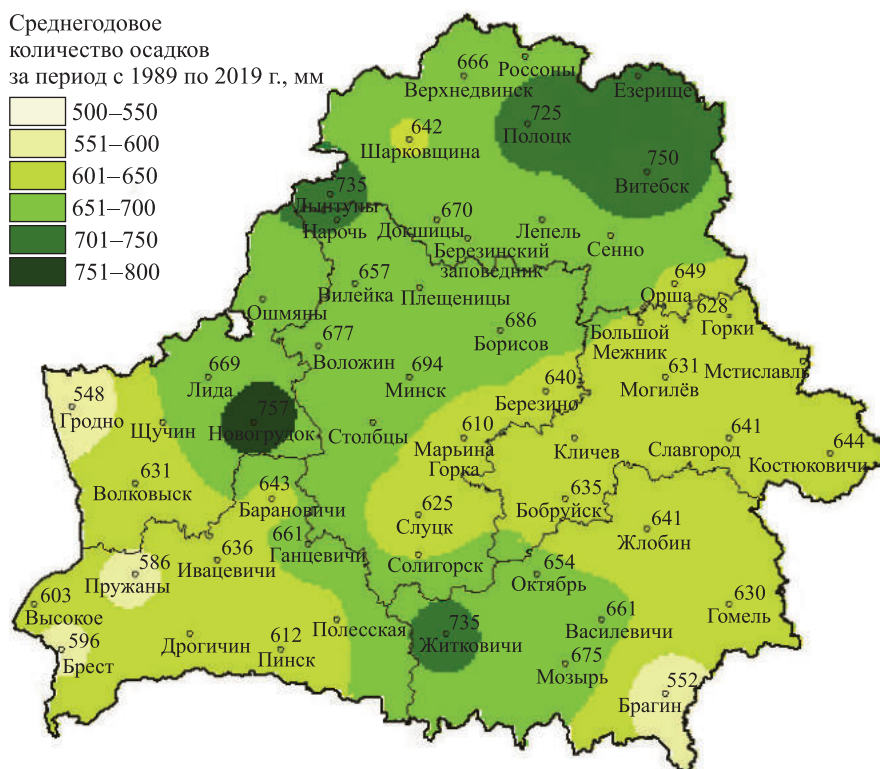


Рис. 7. Пространственное распределение среднегодового количества осадков на территории Беларуси за период с 1989 по 2019 г.

Fig. 7. Spatial distribution of average annual amount of precipitation on the territory of Belarus for the period from 1989 to 2019

Одними из основных факторов, определяющих количество осадков, являются географическое положение и относительная удаленность от Атлантического океана. Так как Беларусь находится в зоне действия западного переноса воздушных масс, то в основном влагонесущие потоки поступают в страну с северо-запада. Благодаря циклонической деятельности количество осадков на территории республики постепенно уменьшается с северо-запада (метеостанции Новогрудок и Лынтупы) на юго-восток (метеостанция Брагин). Кроме того, воздушные массы с Балтийского моря, проходя над Балтийской низменностью, не встречают значимых орографических барьеров на территории Литвы и Латвии [17].

Не менее важным фактором, влияющим на распределение осадков, выступает орография, в связи с чем максимум осадков в Беларуси фиксируется в пределах Новогрудской возвышенности. Немногим уступают ей Свенцяньские гряды и Минская возвышенность. Однако количество осадков в пределах возвышенностей определяется по данным расположенных на них метеостанций, которые в ряде случаев имеют различную абсолютную высоту и часто размещаются в долинах рек и понижениях. По этой причине количество осадков на возвышенности может быть несколько заниженным. Подтверждением вышесказанного является тот факт, что максимум осадков отмечен на метеостанции Новогрудок, имеющей самую большую абсолютную высоту (283 м), а минимум осадков – на метеостанции Брагин с наименьшей абсолютной высотой (114 м).

Кроме того, на распределение осадков оказывает влияние наличие орографических барьеров на пути влагонесущих циклонов. Так, Балтийская гряда и Гродненская возвышенность создают орографическую тень и способствуют снижению количества осадков на метеостанциях Гродно, Высокое и Волковыск, Браславская гряда и Свенцяньские гряды – на метеостанциях Шарковщина и Верхнедвинск, Новогрудская и Минская возвышенности – на метеостанциях Марьино Горка, а Ошмянская возвышенность обуславливает уменьшение количества осадков на метеостанции Вилейка [17].

Однако главным фактором, определяющим распределение осадков на территории Беларуси, является рельеф местности. Прослеживаемая связь количества выпадающих осадков с рельефом местности нарушается лишь на юге республики в значительно залесенной левобережной части долины р. Припяти в районе метеостанции Житковичи, где наблюдается их возрастание [17].

Таким образом, в пространственном отношении максимальное количество осадков в период до начала потепления климата выпадало на возвышенных участках рельефа – Свенцяньских грядах и Новогрудской возвышенности. В период после начала потепления климата максимум осадков также отмечался на Свенцяньских грядах и Новогрудской возвышенности, но к ним еще добавились Витебская возвышенность и Полесская низменность в районе метеостанции Житковичи. Минимальное количество осадков как в период до начала потепления климата, так и в период после начала потепления климата, как правило, фиксировалось на юго-востоке страны в пределах Приднепровской низменности и на западе республики в пределах Прибугской равнины и Гродненской возвышенности. В распределении количества осадков больше просматриваются долготные особенности.

Заключение

Анализ различий в числе дней с гололедом и изморозью выявил, что для большинства метеостанций произошло уменьшение повторяемости данных явлений за рассматриваемые периоды. Анализ различий в количестве атмосферных осадков показал, что потепление климата последних лет привело к изменению условий увлажнения и увеличению количества осадков на большинстве метеостанций за рассматриваемые периоды.

Чаще всего за 1958–2019 гг. гололед, изморозь и осадки отмечались на возвышенных участках рельефа. Наибольшая повторяемость гололеда наблюдалась на Новогрудской и Минской возвышенностях, наибольшая повторяемость изморози – на Новогрудской и Горецко-Мстиславской возвышенностях. Максимальное среднегодовое количество осадков как в период до начала потепления климата, так и в период после начала потепления климата выпадало на Новогрудской возвышенности и Свенцяньских грядах.

Наименьшее число дней с гололедом и изморозью, как правило, отмечалось на пониженных участках рельефа – Полесской, Полоцкой и Приднепровской низменностях. Минимальное количество осадков как в период до начала потепления климата, так и в период после начала потепления климата также отмечалось на пониженных участках рельефа – Приднепровской низменности и Прибугской равнине.

Таким образом, основным фактором, влияющим на характер пространственного распределения гололеда, изморози и атмосферных осадков, является рельеф местности. Рельеф оказывает большое влияние на микроклимат, который во многом определяет возникновение, интенсивность и распределение гололедно-изморозевых отложений и атмосферных осадков. На вершинах или наветренных склонах холмов условия для образования гололеда, изморози и выпадения осадков оказываются лучшими, чем на равнинах либо подветренных склонах. Экспозиция склонов возвышенностей и гряд влияет на температуру воздуха, скорость ветра, накопление снежного покрова и жидких атмосферных осадков. Перечисленные факторы, в свою очередь, определяют гололедно-изморозевый режим местности.

Библиографические ссылки

1. Заморский АД. *Атмосферные явления*. Ленинград: Гидрометеиздат; 1959. 94 с.
2. Гольберг МА, Волобуева ГВ, Фалей АА. *Опасные явления погоды и урожай*. Минск: Ураджай; 1988. 120 с.
3. Абдушелишвили КЛ, Гагуа ВП, Керимов АА, Кордзахия РС, Папинашвили ЛК, Рухадзе НВ и др. *Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе*. 2-е издание. Сванидзе ГГ, Цуцкиридзе ЯА, редакторы. Ленинград: Гидрометеиздат; 1983. 264 с.
4. Дробышев АД, Кошинский СД, Корулина ЛГ, Лучицкая ИО. *Опасные явления погоды на территории Сибири и Урала. Часть I, Алтайский край, Кемеровская, Новосибирская и Томская области*. Кошинский СД, редактор. Ленинград: Гидрометеиздат; 1979. 383 с.
5. Чанышева СГ, Айзенштат БА, Абдумаликов ТИ и др. *Опасные гидрометеорологические явления в Средней Азии*. Джурраев АД, Чанышева СГ, Субботина ОИ, редакторы. Ленинград: Гидрометеиздат; 1977. 336 с.
6. Смоліч АА. *Геаграфія Беларусі*. 4-е выданне. Мінск: Беларусь; 1993. 374 с.
7. Шкляр АХ. *Климат Белоруссии и сельское хозяйство*. Минск: Издательство Министерства высшего, среднего специального и профессионального образования БССР; 1962. 422 с.
8. Шкляр АХ. *Климатические ресурсы Белоруссии и использование их в сельском хозяйстве*. Минск: Вышэйшая школа; 1973. 430 с.
9. Логинов ВФ, редактор. *Климат Беларуси*. Минск: Институт геологических наук Академии наук Беларуси; 1996. 234 с.
10. Логинов ВФ, Волчек АА, Шпока ИН. *Опасные метеорологические явления на территории Беларуси*. Минск: Беларуская навука; 2010. 129 с.
11. Логинов ВФ, Волчек АА, Шпока ИН. Сравнение пространственно-временных особенностей изменений опасных метеорологических явлений в характерное и не характерное для них время года. В: Карабанов АК, Бамбалов НН, Березовский НИ, Бровка ГП, Гаврильчик АП, Волчек АА и др., редакторы. *Природопользование. Выпуск 19*. Минск: А. Н. Вараксин; 2011. с. 5–21.
12. Волчек АА, Шпока ИН. Закономерности формирования опасных метеорологических явлений на территории Белоруссии. *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2011;17:64–88. EDN: LVZDHJ.
13. Шпока ИН. *Пространственно-временное распределение опасных метеорологических явлений на территории Беларуси* [диссертация]. Брест: [б. и.]; 2012. 210 с.
14. Герменчук МГ, Мельник ВИ, Комаровская ЕВ. Изменения основных климатических параметров и повторяемость опасных гидрометеорологических явлений в Республике Беларусь. В: Стрельченко СГ, редактор. *Гидрометеорологическая безопасность Союзного государства в условиях изменяющегося климата. Материалы постоянно действующего семинара при Парламентском собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства (заседание восемнадцатое; 25–26 февраля 2010 г.; Минск, Беларусь)*. Минск: Центр системного анализа и стратегических исследований Национальной академии наук Беларуси; 2010. с. 135–146.
15. Мельник ВИ, Комаровская ЕВ. Изменения климата и меры по адаптации отраслей к этим изменениям в Республике Беларусь. В: Стрельченко СГ, редактор. *Гидрометеорологическая безопасность Союзного государства в условиях изменяющегося климата. Материалы постоянно действующего семинара при Парламентском собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства (заседание восемнадцатое; 25–26 февраля 2010 г.; Минск, Беларусь)*. Минск: Центр системного анализа и стратегических исследований Национальной академии наук Беларуси; 2010. с. 169–176.
16. Мельник ВИ, Комаровская ЕВ. Особенности изменения климата на территории Республики Беларусь за последние десятилетия. В: Савастенко АА, Яковенко АВ, составители. *Научно-методическое обеспечение деятельности по охране окружающей среды: проблемы и перспективы*. Аношко ВС, Ключенович ВИ, Бурак ВМ, Герменчук МГ, Кирвель ИИ, Липский ВК и др., редакторы. Минск: БелНИЦ «Экология»; 2011. с. 77–84.
17. Брилевский МН. Динамика количества осадков на территории Беларуси и режима их выпадения в связи с изменением климата. В: Конькова ВМ, редактор. *Экологическая безопасность 1991–2021. Сборник материалов заочной научно-практической конференции, посвященной юбилейной дате образования РУП «БелНИЦ “Экология”»*. Минск: БелНИЦ «Экология»; 2021. с. 97–101.
18. Гледко ЮА, Бережкова ЕС. Анализ метеорологической обстановки в условиях обледенения и гололеда. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2020;2:14–25. DOI: 10.33581/2521-6740-2020-2-14-25.
19. Гледко ЮА, Соколовская ЯА. Особенности прогнозирования грозовых явлений на территории Беларуси. В: Лопух ПС, Иванов ДЛ, Логинова ЕВ, Новик АА, редакторы. *Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата. Материалы Международной научной конференции; 5–8 мая 2015 г.; Минск, Беларусь*. Минск: Издательский центр БГУ; 2015. с. 244–246.
20. Медведько МВ. Тенденции изменения интенсивности опасных гидрометеорологических явлений на территории Беларуси. В: Сафонов ВГ, Янковский ОН, Захаров АГ, Кухаренко АА, Василевич МН, Вериги АВ и др., редакторы. *Материалы 78-й научной конференции студентов и аспирантов Белорусского государственного университета; 10–21 мая 2021 г.; Минск, Беларусь. Часть I [CD-ROM]*. Минск: БГУ; 2021. с. 433–436.
21. Сумак ЕН, Семёнова ИГ. Циклоническая активность и повторяемость опасных явлений погоды над территорией Беларуси. *Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология*. 2019;2:79–93. DOI: 10.33581/2521-6740-2019-2-79-93.

Получена 05.11.2024 / исправлена 14.02.2025 / принята 06.03.2025.
Received 05.11.2024 / revised 14.02.2025 / accepted 06.03.2025.