

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2023-4-138-153>

УДК 551.574.42(470+571)

## Мониторинг гололедно-изморозевых отложений на территории России

*Н.М. Аржанова, Н.Н. Коришунова*

*Всероссийский научно-исследовательский институт  
гидрометеорологической информации – Мировой центр данных,  
г. Обнинск Калужской обл., Россия  
arzhanova.n@inbox.ru*

Для включения в национальную систему мониторинга климата разработана методика мониторинга гололедно-изморозевых отложений (ГИО). На основе данной методики для оценки текущего состояния характеристик ГИО рассчитаны нормативные постанционные характеристики (суммарное число случаев, суммарная продолжительность и средний вес) для каждого вида ГИО за период с 1991–2020 гг. Оценивается аномальность режима ГИО по всей территории России. Анализируются тенденции изменений, характеризующиеся коэффициентами линейного тренда по данным на метеорологических станциях и по средним для квазиоднородных регионов значениям (1984–2021 гг.). Исследование показало статистически значимый положительный тренд числа случаев, продолжительности и веса отложения мокрого снега в ряде регионов. В отдельных квазиоднородных регионах получены как положительные, так и отрицательные значимые тенденции числа случаев, продолжительности и веса кристаллической изморози. В отдельных квазиоднородных регионах также получен значимый положительный тренд числа случаев и продолжительности гололеда.

*Ключевые слова:* методика мониторинга, гололедно-изморозевые отложения, гололед, изморозь, мокрый снег, аномалия, тренд

## Monitoring of glaze-ice on the territory of Russia

*N.M. Arzhanova, N.N. Korshunova*

*All-Russian Research Institute  
of Hydrometeorological Information – World Data Center (RIHMI-WDC),  
Obninsk, Kaluzhsky region, Russia  
arzhanova.n@inbox.ru*

A methodology for monitoring glaze-rime deposits (GRD) is developed to be included in the national climate monitoring system. Based on this methodology, in order to assess the current state of GRD characteristics, the standard station characteristics (total number of cases, total duration, and average weight) are calculated for each type of GRD for the period of 1991-2020. The anomalous pattern of GRD throughout Russia is assessed. The trends are analyzed that are characterized by linear trend coefficients based on the weather station data and on the average values for quasihomogeneous regions (1984-2021). The study showed a statistically significant positive trend for the number of cases, duration, and weight of wet snow deposits in several regions. In some quasihomogeneous regions, both positive and negative significant trends in the number of cases, duration, and weight

of crystal rime are obtained. In some quasihomogeneous regions, a significant positive trend for the number of cases and duration of glaze ice is also obtained.

*Keywords:* monitoring methodology, glaze-rime deposits, glaze ice, rime, wet snow, anomaly, trend

## Введение

Задача мониторинга климата является частью Всемирной климатической программы, выполняемой под эгидой ВМО. Гололедно-изморозевые отложения (ГИО) являются важным компонентом климатической системы, требующим постоянного наблюдения, поскольку при достижении определенных опасных размеров в сочетании с ветром могут оказывать большое влияние на экономику страны. В последнее время интерес к изучению гололедно-изморозевых отложений повысился в связи с участившимися случаями выпадения ледяных дождей, как в России, так и в других странах. В предыдущих исследованиях авторов [2, 7] отмечалась важность изучения этих явлений и необходимость постоянного слежения за их состоянием в рамках национальной системы мониторинга климата. Однако несмотря на важность данной проблемы исследовательские работы в этом направлении в масштабах всей страны долгое время сдерживались отсутствием качественных данных наблюдений. Создание в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» базы данных «Характеристики гололедно-изморозевых явлений на территории России» позволило приступить к мониторингу этого параметра на территории Российской Федерации.

Целью данной работы являлась разработка методики мониторинга ГИО для включения их в национальную систему мониторинга климата. Созданная подсистема мониторинга гололедно-изморозевых отложений выявляет и изучает региональные особенности в изменении характеристик ГИО. Результаты анализа состояния ГИО на территории России приводятся в разделе ежегодного Доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации [5].

### *Методика мониторинга гололедно-изморозевых отложений*

Методика помимо основных разделов, посвященных информационной базе и технологии мониторинга ГИО, содержит раздел с описанием наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями. Наблюдения за обледенением проводов гололедного станка достаточно специфичны, сложны и трудоемки, поэтому на регулярной основе проводятся не везде. При возникновении отложения и до его окончания осмотр проводов станка должен производиться не только в сроки наблюдений, но и в промежутках между ними, не реже, чем через полтора часа. В зависимости от структуры эти явления подразделяют на пять видов: гололед, зернистую и кристаллическую изморозь, отложение мокрого снега и замерзшее отложение мокрого снега. После определения вида обледенения при последующих

осмотрах фиксируют его изменения. Если вид обледенения изменился, то это свидетельствует об образовании сложного отложения. В ходе обледенения различают три стадии: нарастания, сохранения, разрушения. После окончания стадии нарастания измеряют диаметр и толщину на постоянных проводах гололедного станка в соответствии с требованиями Наставления [6].

База данных ГИО состоит из архивных данных Госфонда, поступающих во ВНИИГМИ-МЦД по каналам связи с метеорологических станций государственной наблюдательной сети Росгидромета. Зафиксированные наблюдателем результаты наблюдений проходят многоступенчатый контроль (на метеостанции, в территориальных УГМС и т. п.), после чего включаются в данные Госфонда гидрометеорологической информации. Созданный во ВНИИГМИ-МЦД архив инструментальных наблюдений содержит информацию о ГИО на технических носителях с 1984 года. В архиве заложена возможность записи информации для 5 видов обледенения и 6 стадий нарастания в рамках одного случая ГИО.

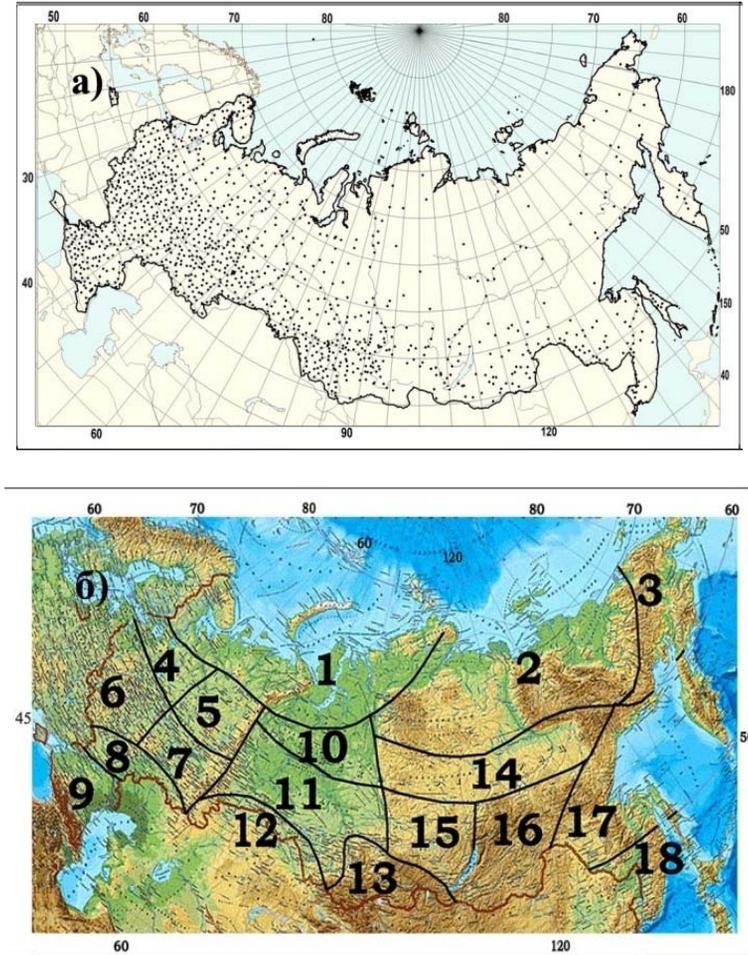
На рис. 1а представлено пространственное распределение станций базового массива. В континентальных районах Азиатской территории России на многих метеорологических станциях отсутствует гололедный станок, так как на территории этого района в зимнее время в зоне влияния Сибирского антициклона преобладают арктические воздушные массы, которые характеризуются очень низкой температурой и малой влажностью, поэтому условий для образования ГИО практически нет.

Для описания состояния ГИО (гололед, кристаллическая изморозь, отложение мокрого снега) используются следующие характеристики: суммарное число случаев, суммарная продолжительность и средний вес.

Анализ основных характеристик ГИО осуществляется с октября прошедшего года по апрель текущего года. Октябрь и апрель включены в холодный период, поскольку в эти месяцы температура воздуха колеблется между положительной и отрицательной, создаются благоприятные температурно-влажностные условия, при которых ГИО могут достигать опасных значений.

При разработке данной подсистемы мониторинга для оценки текущего состояния характеристик ГИО были впервые рассчитаны нормативные стационарные характеристики для каждого вида ГИО. В состав информационной базы входят следующие нормативные характеристики по метеостанциям: среднееголетние значения максимального числа случаев, продолжительности, веса гололеда, кристаллической и зернистой изморози, отложения мокрого снега за период 1991–2020 гг. (по месяцам и за год).

В состав информационной базы также включены массивы временных рядов осредненных по всей территории России и по территории квазиоднородных климатических регионов характеристик: аномалий числа случаев, продолжительности, веса рассматриваемых отложений.



- 1, 2, и 3 – атлантическая, сибирская и тихоокеанская Арктика;  
 4, 5, 6, 7, и 8 – северо-запад, северо-восток, юго-запад, юго-восток  
 и степная часть Восточно-Европейской равнины;  
 9 – степи и предгорье Северного Кавказа;  
 10 и 11 – северная и южная части лесной зоны Западной Сибири,  
 12 – степная зона Западной Сибири,  
 13 – Алтайские и Саянские горы и предгорье,  
 14, 15, и 16 – Восточная Сибирь: центральная часть, бассейн Ангары и За-  
 байкалье,  
 17 и 18 – Дальний Восток между  $50^{\circ}\text{N}$  и  $60^{\circ}\text{N}$  и южнее  $50^{\circ}\text{N}$ .

**Рис. 1.** Расположение метеостанций базового массива исторических данных о состоянии ГИО (а); квазиоднородные климатические регионы (б).

**Fig. 1.** Location of meteorological stations of the basic array of historical data on the state of GRD (a); quasi-homogeneous climatic regions (b).

Осреднение по площади выполнено как взвешенное осреднение станционных аномалий климатических переменных с весами, учитывающими плотность сети в окрестности станции. Аномалии на метеостанциях арифметически осреднялись по квадратам сетки ( $1^{\circ}\text{N}\times 2^{\circ}\text{E}$ ), затем с весовыми коэффициентами в зависимости от широты квадрата проводилось осреднение по 18 регионам, представленным на рис. 1б, и территории России. Выбор 18 квазиоднородных климатических регионов осуществлен на основании классификации Алисова [1].

Все массивы базы данных хранятся в форматах ASCII.

Технология мониторинга климата включает следующие основные этапы:

1. Усвоение режимных данных об основных метеорологических параметрах.

2. Пополнение БД «Характеристики гололедно-изморозевых явлений на территории России» данными текущего года:

– расчет производных характеристик;  
– расчет аномалий суммарного за холодный период числа случаев, продолжительности и веса каждого вида ГИО.

3. Расчет регионально осредненных временных рядов.

4. Расчет оценок трендов по регионам.

5. Подготовка иллюстративных материалов годового бюллетеня (в соответствии с принятым регламентом выходной продукции).

6. Анализ материалов и подготовка раздела «Гололедно-изморозевые отложения на территории России».

Программные средства, разработанные во ВНИИГМИ-МЦД, обеспечивают пополнение базовых массивов данными текущего года и расчет всех производных массивов станционных значений. При формировании базового массива осуществлялся контроль данных [3].

Аномалия климатической переменной (числа случаев, продолжительности и веса ГИО) определяется как отклонение от климатической нормы.

Для получения осредненных по площади значений климатических переменных рассматриваются следующие масштабы горизонтального обобщения:

- территория Российской Федерации;
- Европейская территория России;
- квазиоднородные климатические регионы России.

Ввиду географической неоднородности средних величин климатических переменных и при наличии пропусков во временных рядах наблюдений пространственное осреднение выполняется по данным об аномалиях. При необходимости региональные средние самой климатической переменной получают восстановлением из регионально осредненных аномалий и регионально осредненных норм. Методика осреднения описана в [4].

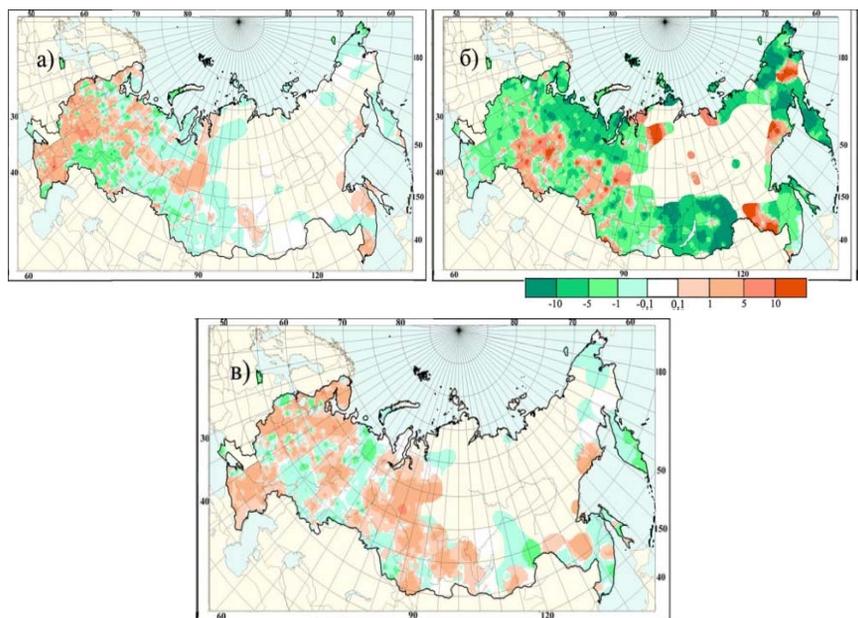
Для всех климатических переменных (станционных и пространственно осредненных) рассчитываются обновленные статистики, включая оценки трендов.

Карты получаются с помощью ГИС в регулярной стереографической проекции, в которой используется стандартный метод обратных взвешенных расстояний с коэффициентами, обратно пропорциональными квадрату расстояния. При подготовке сложных рисунков используются готовые шаблоны, подготовленные в Adobe Photoshop, обеспечивающие достаточный уровень автоматизации. Результирующие файлы выгружаются в формате jpeg.

### Результаты

В качестве результатов работы технологии мониторинга гололедно-изморозевых отложений рассмотрим особенности пространственного распределения характеристик гололедно-изморозевых отложений на территории Российской Федерации в холодный период 2021–2022 гг.

Пространственное распределение аномалий суммарного за холодный период числа случаев гололеда, кристаллической изморози и отложения мокрого снега представлено на рис. 2.

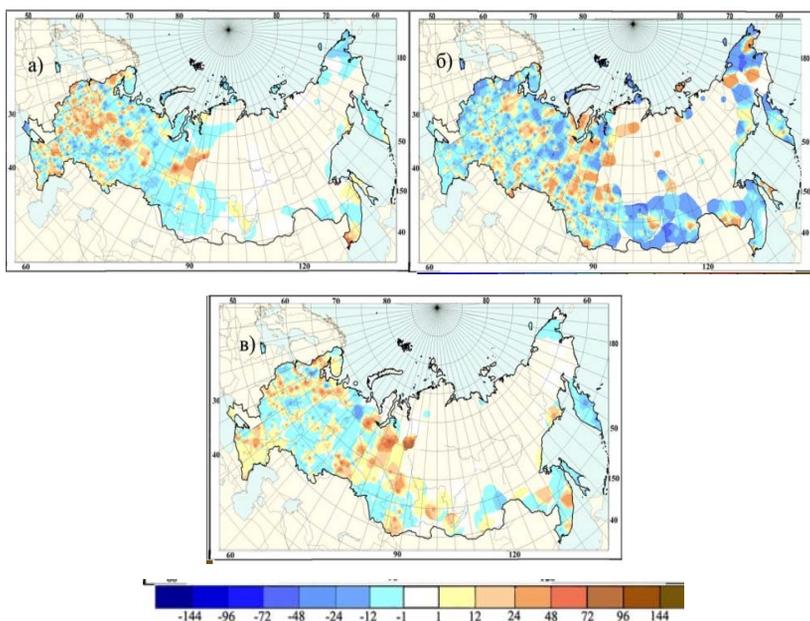


**Рис. 2.** Аномалии суммарного за холодный период числа случаев с гололедом (а); кристаллической изморозью (б); отложением мокрого снега (в).

**Fig. 2.** Anomalies of the total number of cases during the cold period with glaze ice (а); crystal rime (б); deposition of wet snow (в).

Положительные аномалии числа случаев гололеда отмечаются на востоке Европейской территории России (ЕТР) и юге Уральского федерального округа (УФО). Причиной являлось частое влияние циклонов и вынос теплого и влажного воздуха с Атлантики на восток ЕТР и южные районы УФО, когда создавались благоприятные условия для образования гололеда. Очаг отрицательных аномалий числа случаев кристаллической изморози охватил всю ЕТР (от 5 до 10 дней), что связано с аномально теплой погодой в рассматриваемый холодный период. В распределении числа случаев отложения мокрого снега преобладали положительные аномалии, поскольку сезон 2021–2022 гг. оказался не только теплым, но и довольно снежным.

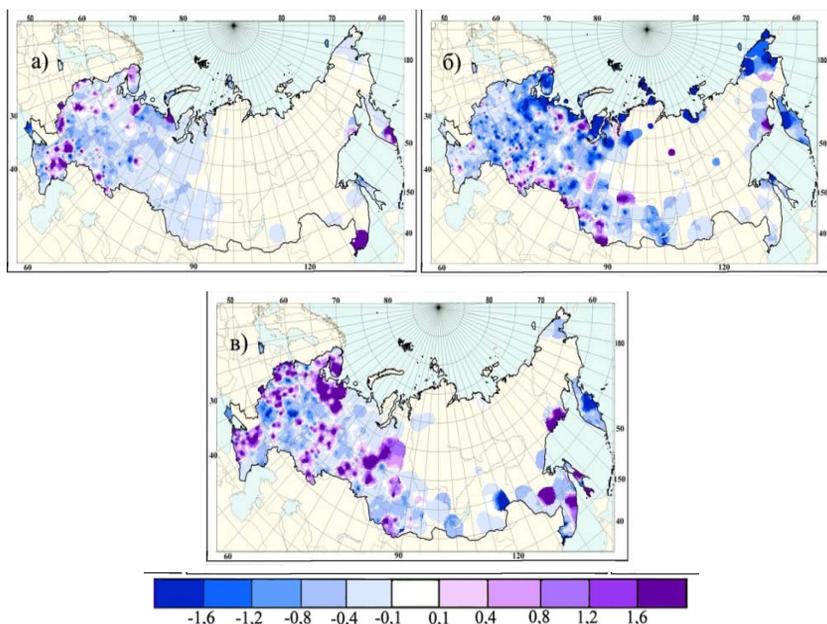
Пространственное распределение продолжительности гололеда на ЕТР носит пятнистый характер, однако можно отметить, что на 10–20 часов меньше сохранялся гололед в западных областях и на Южном Урале (рис. 3а). Наибольшая отрицательная аномалия продолжительности кристаллической изморози наблюдалась в Забайкалье, на северо-западе Красноярского края, севере Чукотки и составила 24–48 часов (рис. 3б). Наибольшие положительные аномалии зафиксированы на востоке Амурской области и в Магаданской области (до 72 часов). На ЕТР и в Западной Сибири преобладали положительные аномалии продолжительности отложения мокрого снега (рис. 3в).



**Рис. 3.** Аномалии суммарной за холодный период продолжительности (часы): гололеда (а); кристаллической изморози (б); отложения мокрого снега (в).

**Fig. 3.** Anomalies of the total duration (hours) of: glaze ice (a), crystal rime (б), deposition of wet snow (в) for the cold period.

В пространственном распределении аномалий веса гололеда (рис. 4а) преобладали отрицательные аномалии веса гололеда. Положительные аномалии (1.2–1.6 г/см) отмечались на востоке ЕТР. Вес кристаллической изморози (рис. 4б) уменьшается (в отличие от гололеда) на севере Урала и Западной Сибири, а также в Архангельской области, на Кольском полуострове, Ненецком автономном округе и севере Чукотки (1.2–1.6 г/см и более). Наиболее выраженные положительные аномалии веса отложения мокрого снега (рис. 4в) отмечались в Южном, на юго-западе Центрального федерального округа (ЦФО), на западе Республики Коми, отдельными очагами в Северо-Западном федеральном округе и Западной Сибири (1.2–1.6 г/см и более).



**Рис. 4.** Аномалии среднего за холодный период веса (г/см): гололеда (а); кристаллической изморози (б); отложения мокрого снега (в).

**Fig. 4.** Anomalies of cold period-averaged weight (g/cm) of: glaze ice (a), crystal rime (b), deposition of wet snow (v).

### Тенденции современных изменений характеристик гололедно-изморозевых отложений на территории России

Исследование показало, что тенденция увеличения суммарного за холодный период числа дней гололеда отмечается в Приволжском федеральном округе (ПФО), на юго-востоке ЦФО, в Краснодарском крае, Калмыкии, Мурманской и Астраханской областях, на юге Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) (1.2–1.6 дней/10 лет). На многих метеостанциях этот тренд статистически значим на 5%-ном уровне. При региональном осреднении (табл. 1) получен значимый положительный тренд

на северо-востоке и юго-востоке Восточно-Европейской равнины ( $b=1.0$  и  $0.5$  дней /10 лет соответственно), в северной части лесной зоны Западной Сибири тренд составил  $0.3$  дня /10 лет.

**Таблица 1.** Оценки линейного тренда аномалий числа случаев с ГИО, 1984-2022 гг.

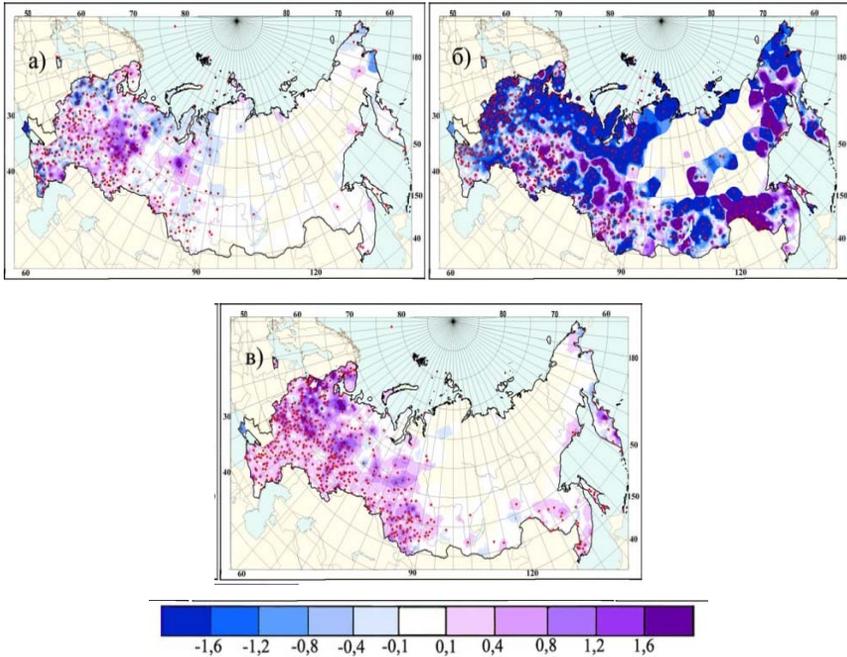
**Table 1.** Estimates of the linear trend of anomalies in the number of cases with GRD, 1984-2022

Регионы	Гололед		Кристаллическая изморозь		Отложение мокрого снега	
	<b>b</b>	<b>d</b>	<b>b</b>	<b>d</b>	<b>b</b>	<b>d</b>
1. Атлантическая Арктика	0.1	4	<b>-1.4</b>	22	<b>0.6</b>	66
2. Сибирская Арктика	-0.0	5	0.6	2	0.0	0
3. Тихоокеанская Арктика	0.0	0	-1.2	5	0.0	0
4. СЗ Восточно-Европейской равнины	0.2	1	<b>-1.4</b>	18	<b>1.3</b>	78
5. СВ Восточно-Европейской равнины	<b>1.0</b>	26	0.3	1	<b>0.7</b>	60
6. ЮЗ Восточно-Европейской равнины	0.2	2	<b>-1.4</b>	28	<b>0.7</b>	54
7. ЮВ Восточно-Европейской равнины	<b>0.5</b>	12	0.2	1	<b>0.5</b>	60
8. Степная часть Вост-Европ. равнины	-0.0	0	<b>-1.1</b>	14	<b>0.2</b>	22
9. Степи и предгорье Северного Кавказа	-0.0	0	-0.4	7	<b>0.3</b>	30
10. Север лесной зоны Западной Сибири	<b>0.3</b>	18	-1.0	8	<b>0.1</b>	14
11. Юг лесной зоны Западной Сибири	0.1	2	0.3	1	<b>0.2</b>	25
12. Степная зона Западной Сибири	0.1	4	-0.1	0	<b>0.4</b>	50
13. Алтай и Саяны	0.0	0	0.2	1	<b>0.4</b>	34
14. Центральная часть Восточной Сибири	0.0	0	<b>4.8</b>	54	0.1	5
15. Бассейн Ангары	0.0	0	0.0	0	0.0	0
16. Забайкалье	0.0	0	-0.3	0	0.0	0
17. Дальний Восток между 50°N и 60°N	0.0	0	<b>2.9</b>	39	0.2	10
18. Дальний Восток южнее 50°N	<b>0.1</b>	14	<b>1.6</b>	42	<b>0.4</b>	19
<b>Российская Федерация</b>	0.1	4	-0.1	1	<b>0.5</b>	73
<b>Европейская территория России</b>	<b>0.3</b>	11	-0.6	7	<b>0.7</b>	75

*Примечание.*  $b$  – коэффициент линейного тренда (случаев/10лет),  $d$  – вклад тренда в общую дисперсию ряда, %. Статистически значимый на 5 %-ном уровне тренд выделен жирным шрифтом.

По данным на метеостанциях получены ярко выраженные значимые как отрицательные, так и положительные значения коэффициентов линейного тренда числа случаев кристаллической изморози (рис. 5б). В отдельных квазиоднородных регионах были выявлены статистически значимые на 5%-ном уровне тенденции (табл. 1). Максимальный коэффициент линейного тренда получен в центральной части Восточной Сибири

( $b=4.8$  дня/10 лет,  $d=54\%$ ). На большей части территории России преобладают положительные тенденции числа случаев отложения мокрого снега (рис. 5в). Наибольший тренд числа дней отложения мокрого снега отмечен на северо-западе Восточно-Европейской равнины ( $b=1.3$  дня /10 лет,  $d=78\%$ ). И в целом по территории России получен статистически значимый тренд числа случаев отложения мокрого снега, равный 0.5 дня/10 лет, а вклад тренда в дисперсию ряда составляет 73 %.

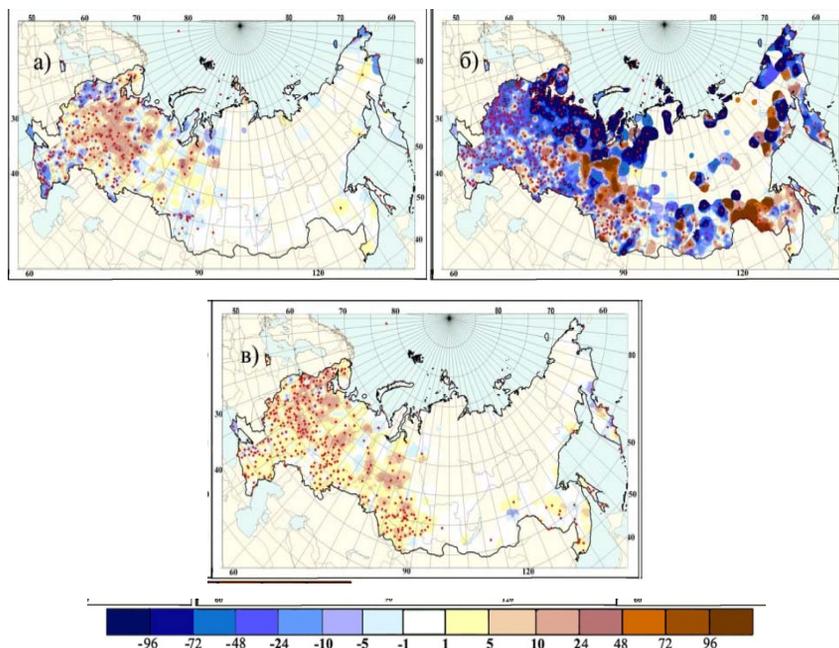


**Рис. 5.** Коэффициенты линейного тренда (случаев/10лет) суммарного за холодный период числа случаев с: гололедом (а); кристаллической изморозью (б); отложением мокрого снега (в). Кругжками красного цвета показаны станции, для которых тренд статистически значим на 5%-ном уровне.

**Fig. 5.** Linear trend coefficients (cases /10 years) of the total number of cases during the cold period with: glaze ice (a), crystal rime (б), deposition of wet snow (в). Red circles show stations for which the trend is statistically significant at the 5% level.

Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда в рядах суммарной за холодный период продолжительности ГИО представлено на рис. 6. Рост продолжительности гололеда (рис. 6а) получен в центральных районах ЕТР и в ЯНАО, но при региональном осреднении тенденция увеличения продолжительности гололеда (значимая на 5%-ном уровне) обнаружена на юго-востоке и северо-востоке Восточно-Европейской равнины и в северной части лесной зоны Западной Сибири ( $b=2.6$

и 3.2 ч/10 лет соответственно). Тенденция уменьшения продолжительности кристаллической изморози отмечается на большей части ЕТР, наиболее выраженная на арктическом побережье, северо-западе Красноярского края и на востоке Чукотки (более 96 часов).



**Рис. 6.** Коэффициенты линейного тренда (часы/10лет) суммарной за холодный период продолжительности: гололеда (а), кристаллической изморози (б); отложения мокрого снега (в). Кругами красного цвета показаны станции, для которых тренд статистически значим на 5%-ном уровне.

**Fig. 6.** Linear trend coefficients (hours/10 years) of the total duration for the cold period of: glaze ice (a), crystal rime (б), deposition of wet snow (в). Red circles show stations for which the trend is statistically significant at the 5% level.

Продолжительность кристаллической изморози растет в ЯНАО и Амурской области. Анализ региональных изменений (табл. 2) показал, что наименьший статистически значимый отрицательный тренд получен на юго-западе Восточно-Европейской равнины ( $b = -4.0$  ч/10 лет,  $d = 29\%$ ), а наибольший положительный – на Дальнем Востоке между  $50^\circ\text{N}$  и  $60^\circ\text{N}$  ( $b = 4.0$  ч/10лет,  $d = 21\%$ ). На большей части ЕТР и в Западной Сибири выявлена тенденция увеличения продолжительности отложения мокрого снега. В ряде квазиоднородных регионов фиксируется увеличение продолжительности отложения мокрого снега, максимальный коэффициент линейного тренда получен на северо-западе Восточно-Европейской равнины и составляет 7.6 ч/10 лет, вклад тренда в дисперсию ряда – 76 %. В целом для

территории России и для ЕТР получен статистически значимый положительный тренд продолжительности мокрого снега ( $b=3.1$  и  $4.1$  ч/10 лет соответственно).

**Таблица 2.** Оценки линейного тренда аномалий продолжительности ГИО, 1984-2022 гг.

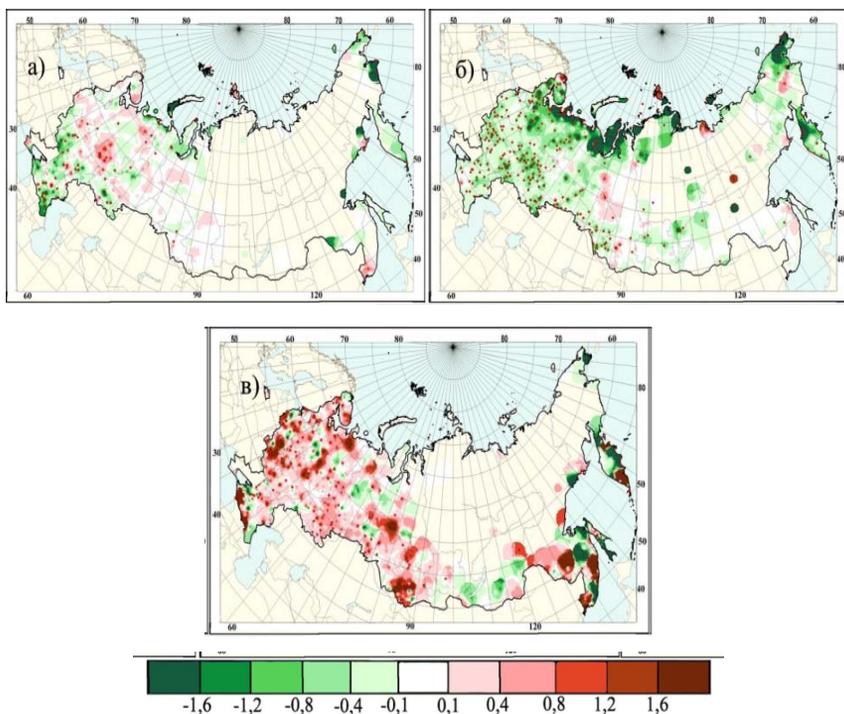
**Table 2.** Estimates of the linear trend of GRD duration anomalies, 1984-2022

Регионы	Гололед		Кристаллическая изморозь		Отложение мокрого снега	
	<b>b</b>	<b>d</b>	<b>b</b>	<b>d</b>	<b>b</b>	<b>d</b>
1. Атлантическая Арктика	0.0	0	<b>-1.8</b>	16	<b>3.2</b>	74
2. Сибирская Арктика	-0.6	2	2.8	9	0.1	0
3. Тихоокеанская Арктика	1.0	2	0.1	0	0.1	1
4. СЗ Восточно-Европейской равнины	-0.6	0	-1.4	7	<b>7.6</b>	76
5. СВ Восточно-Европейской равнины	<b>2.6</b>	12	1.8	9	<b>4.7</b>	53
6. ЮЗ Восточно-Европейской равнины	1.3	3	<b>-4.0</b>	29	<b>4.0</b>	44
7. ЮВ Восточно-Европейской равнины	<b>2.6</b>	12	1.8	9	<b>3.1</b>	48
8. Степная часть Вост-Европ. равнины	1.0	3	<b>-3.9</b>	33	<b>2.0</b>	46
9. Степи и предгорье Северного Кавказа	-0.9	2	-2.5	10	<b>1.9</b>	30
10. Север лесной зоны Западной Сибири	<b>3.2</b>	22	1.7	3	<b>2.8</b>	25
11. Юг лесной зоны Западной Сибири	0.1	0	<b>2.9</b>	14	<b>3.1</b>	63
12. Степная зона Западной Сибири	-0.2	0	1.1	2	<b>2.4</b>	35
13. Алтай и Саяны	0.0	0	1.4	4	<b>3.2</b>	56
14. Центральная часть Восточной Сибири	0.3	5	3.4	5	0.2	1
15. Бассейн Ангары	0.1	0	3.0	10	0.6	8
16. Забайкалье	-0.0	0	0.0	0	-0.2	0
17. Дальний Восток между 50°N и 60°N	-0.3	2	<b>4.0</b>	21	1.5	10
18. Дальний Восток южнее 50°N	0.8	6	<b>3.9</b>	35	<b>3.4</b>	24
<b>Российская Федерация</b>	0.6	3	0.2	0	<b>3.1</b>	78
<b>Европейская территория России</b>	1.2	9	-0.2	0	<b>4.1</b>	78

*Примечание.*  $b$  – коэффициент линейного тренда (час/10лет),  $d$  – вклад тренда в общую дисперсию ряда, %. Статистически значимый на 5 %-ном уровне тренд выделен жирным шрифтом.

На рис. 7 показано пространственное распределение коэффициентов линейного тренда среднего за холодный период веса гололеда. Отметим, что вес гололеда уменьшается в Южном федеральном округе, включая Крым, юго-западе ЦФО, юге ПФО и на северо-востоке Ненецкого автономного округа (0.8–1.6 г/см/10 лет). Тенденция роста веса гололеда получена на северо-западе ПФО и северо-востоке ЦФО (0.4–1.2 г/см/10 лет).

Тенденция уменьшения веса кристаллической изморози выявлена на большей части территории России (рис. 7б).



**Рис. 7.** Коэффициенты линейного тренда (г/см/10лет) среднего за холодный период веса: гололеда (а); кристаллической изморози (б); отложения мокрого снега (в). Кружками красного цвета показаны станции, для которых тренд статистически значим на 5%-ном уровне.

**Fig. 7.** Linear trend coefficients (g/cm/10years) of cold period-averaged weight of: glaze ice (a); crystal rime (б); deposition of wet snow (в). Red circles show stations for which the trend is statistically significant at the 5% level.

Наиболее выраженные отрицательные аномалии отмечаются на арктическом побережье ЕТР, Западной Сибири, Чукотке и западе Камчатки (1.6 г/см/10 лет и более). При региональном осреднении значимые отрицательные тренды получены в отдельных квазиоднородных районах (табл. 3) и в целом для ЕТР ( $b = -0.2$  г/см/10 лет,  $d = 19\%$ ). Тенденция роста веса отложения мокрого снега преобладает на ЕТР, в Западной Сибири, Амурской области, юго-западе и северо-востоке Приморского края (1.2–1.6 г/см/10 лет). При оценке региональных изменений значимые положительные тенденции получены в семи районах (1, 4, 5, 6, 7, 11 и 13), а также в целом для ЕТР (табл. 3).

**Таблица 3.** Оценки линейного тренда аномалий веса ГИО, 1984-2022 гг.  
**Table 3.** Estimates of the linear trend of GRD weight anomalies, 1984-2022

Регионы	Гололед		Кристаллическая изморозь		Отложение мокрого снега	
	<b>b</b>	<b>d</b>	<b>b</b>	<b>d</b>	<b>b</b>	<b>d</b>
1. Атлантическая Арктика	0.0	3	<b>-0.2</b>	15	<b>0.1</b>	19
2. Сибирская Арктика	-0.1	5	-0.2	9	0.1	6
3. Тихоокеанская Арктика	0.0	4	-0.1	2	0.1	3
4. СЗ Восточно-Европейской равнины	0.0	3	<b>-0.3</b>	29	<b>0.2</b>	17
5. СВ Восточно-Европейской равнины	0.0	0	-0.1	6	<b>0.3</b>	31
6. ЮЗ Восточно-Европейской равнины	0.0	1	<b>-0.2</b>	15	<b>0.3</b>	44
7. ЮВ Восточно-Европейской равнины	0.1	4	<b>-0.2</b>	18	<b>0.2</b>	16
8. Степная часть Вост-Европ. равнины	0.0	0	<b>-0.2</b>	14	0.1	7
9. Степи и предгорье Северного Кавказа	-0.1	4	<b>-0.1</b>	17	0.1	7
10. Север лесной зоны Западной Сибири	-0.0	1	-0.1	3	0.0	3
11. Юг лесной зоны Западной Сибири	0.0	0	-0.1	4	<b>0.1</b>	11
12. Степная зона Западной Сибири	-0.0	0	-0.1	4	0.0	2
13. Алтай и Саяны	-0.0	0	-0.0	0	<b>0.3</b>	26
14. Центральная часть Восточной Сибири	-0.0	0	0.3	8	0.0	0
15. Бассейн Ангары	0.0	2	-0.1	1	0.1	1
16. Забайкалье	0.1	2	<b>-0.1</b>	15	-0.0	0
17. Дальний Восток между 50°N и 60°N	0.0	3	-0.2	10	0.2	10
18. Дальний Восток южнее 50°N	-0.1	5	-0.0	1	0.1	2
<b>Российская Федерация</b>	0.0	0	0.0	1	<b>0.1</b>	21
<b>Европейская территория России</b>	0.1	8	<b>-0.2</b>	19	<b>0.1</b>	18

*Примечание.* **b** – коэффициент линейного тренда (г/см/10лет), **d** – вклад тренда в общую дисперсию ряда, %. Статистически значимый на 5 %-ном уровне тренд выделен жирным шрифтом.

## Выводы

Учитывая влияние ГИО на хозяйственную деятельность и потенциальную угрозу нанесения значительного материального ущерба, важнейшей задачей было включение гололедно-изморозевых отложений в национальную систему мониторинга. Созданная в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» технология мониторинга ГИО позволяет регулярно получать подробный географический анализ крупных аномалий, оперативно отслеживать тенденции в изменении характеристик ГИО. Результаты анализа помещаются в ежегодный «Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации» [5], который является официальным изданием Федеральной службы

по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Результаты мониторинга ГИО важны для выявления климатических рисков, исследования крупномасштабных факторов изменения их характеристик и могут использоваться для своевременной выработки превентивных адаптационных мер, чтобы минимизировать ущерб от неблагоприятных погодных и климатических изменений.

### Список литературы

1. *Алисов Б.П.* Климат СССР: Учебное пособие для высших учебных заведений. М.: Изд-во МГУ, 1956. 127 с.
2. *Аржанова Н.М., Коршунова Н.Н.* Оценка многолетних изменений характеристик гололедно-изморозевых отложений на территории России // Труды ВНИИ-ГМИ-МЦД. 2021. Вып. 188. С. 18-29.
3. *Аржанова Н.М., Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н.* Специализированный массив данных гололедно-изморозевых явлений для мониторинга климата и климатических исследований // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2018. Вып. 182. С. 101-110.
4. *Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н.* Снежный покров на территории России и его пространственные и временные изменения за период 1966–2010 гг // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Сборник ИГКЭ. 2011. Том XXIV. С. 211-227.
5. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 г. М.: Росгидромет, 2022. 110 с.
6. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3. Часть 1. Л.: Гидрометиздат, 1985. С. 28-29.
7. *Bulygina O.N., Arzhanova N.M., Groisman P.Ya.* Icing conditions over Northern Eurasia in changing climate Environ // Environmental Research Letters. 2015. Vol. 10, no. 2. P. 025003. DOI: 10.1088/1748-9326/10/2/025003

### References

1. *Alisov B.P.* Klimat SSSR: Uchebnoe posobie dlya vysshih uchebnyh zavedenij [Climate of the USSR]. Moscow, Moscow State University publ., 1956, 127 p. [in Russ.].
2. *Arzhanova N.M., Korshunova N.N.* Ocenka mnogoletnih izmenenij harakteristik gololyodno-izmorozevykh otlozhenij na territorii Rossii [Estimating long term changes of glaze-ice and rime deposition characteristics over the Russian territory]. *Trudy VNI-IGMI-MTSD*. 2021, vol. 188, pp. 18-29 [in Russ.].
3. *Arzhanova N.M., Bulygina O.N., Korshunova N.N.* Specializirovannyj massiv dannyh gololedno-izmorozevykh yavlenij dlya monitoringa klimata i klimaticheskikh issledovanij [Specialized hydrometeorological dataset for climate monitoring and climate research]. *Trudy VNIIGMI-MTSD*. 2018, vol. 182, pp. 101-110 [in Russ.].
4. *Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Korshunova N.N.* Snow cover over the Russian territory and its spatial and temporal changes in 1966-2010. Problems of ecological monitoring and ecosystem modeling. Moscow, IGCE. 2011, vol. 24, pp. 211-227 [in Russ.].
5. Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2021 g., [A report on climate features on the territory of the Russian Federation in 2021]. Moscow, Roshydromet, 2022, 110 p. [in Russ.].

6. Nastavleniya gidrometeorologicheskim stanciyam i postam. Vypusk 3. Chast' 1 [Instructions for hydrometeorological stations and posts. Issue 3. Part 1]. Leningrad, Gidrometizdat publ., 1985, 301 p. [in Russ.].

7. Bulygina O.N., Arzhanova N.M., Groisman P.Ya. Icing conditions over Northern Eurasia in changing climate *Environ. Res. Lett.*, 2015, vol. 10, no. 2, pp. 025003. DOI:10.1088/1748-9326/10/2/ 025003

*Поступила 14.07.2023; одобрена после рецензирования 23.11.2023;  
принята в печать 12.12.2023.*

*Submitted 14.07.2023; approved after reviewing 23.11.2023;  
accepted for publication 12.12.2023.*