

МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ METEOROLOGY AND CLIMATOLOGY

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-3-343-355>
УДК 551.582



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ORIGINAL ARTICLE

Преобладающие виды гололедно-изморозевых отложений по наблюдениям на станциях Обской губы

Н.Н. Соколичина^{1*}, И.И. Леонов²

¹ — Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Россия

² — Научно-технический центр Федеральной сетевой компании
Единой энергетической системы, Москва, Россия

*sokolikhina@geogr.msu.ru

Резюме

В настоящее время возрастает интерес к изучению опасных явлений погоды на территории Российской Арктики, где происходит наиболее интенсивное изменение климата. В связи с этим продолжает быть актуальной задача исследования гололедно-изморозевых отложений. Показано, что в районе Обской губы преобладающим видом атмосферного обледенения является кристаллическая изморозь. Мокрый снег чаще всего наблюдается в переходные сезоны, гололед и зернистая изморозь наблюдаются крайне редко. По данным наблюдений с 1966 по 2021 г. оценивались тенденции ежегодного количества метеорологических сроков, во время которых наблюдались атмосферные явления, потенциально приводящие к образованию опасных гололедно-изморозевых отложений. Для атмосферных явлений, вызывающих отложения гололеда, мокрого снега и изморози высокой интенсивности, тренды оказались положительными, но статистически не значимыми.

Ключевые слова: гололед, гололедно-изморозевые отложения, зернистая изморозь, кристаллическая изморозь, мокрый снег, обледенение, опасные явления погоды.

Для цитирования: Соколичина Н.Н., Леонов И.И. Преобладающие виды гололедно-изморозевых отложений по наблюдениям на станциях Обской губы // Проблемы Арктики и Антарктики. 2023. Т. 69. № 3 С. 343–355. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-3-343-355>.

Поступила 23.05.2023

После переработки 12.07.2023

Принята 28.07.2023

Dominant types of ice accretions according to observations at Ob' Bay stations

Natalia N. Sokolikhina ^{1*}, Igor I. Leonov²

¹ — Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

² — Research and Development Centre at Federal Grid Company of Unified Energy System, Moscow, Russia

*sokolikhina@geogr.msu.ru

Summary

Modern global climate change is accompanied by an increase in the number of hazardous hydrometeorological phenomena. At the same time, especially rapid warming is observed in the Arctic zone of Russia — 0,71 °C per decade. For this reason, research related to the study of hazardous hydrometeorological phenomena is becoming especially important for the northern territories of Russia, where oil and gas production is currently being intensified, which also increases the main environmental risks. Given the growing interest in hazardous weather phenomena, as well as the need to prevent and reduce negative impact on various sectors of the economy, there is a need for a more detailed study of atmospheric icing. In this study, the aim was to investigate the spatial distribution of ice accretions, which include glaze ice, soft rime, hard rime and wet snow. Also, the work considered the seasonal course of the observed ice accretions and assessed the trend in the number of atmospheric phenomena leading to atmospheric icing for the period from 1966 to 2021. To study the prevailing types of ice accretions, data from visual observations of atmospheric phenomena were used. To study the time trend of ice accretions, the data of 3-hour observations were used. For each of the 7 selected meteorological stations in the Ob' Bay, the number of cases of atmospheric phenomena was calculated, during which ice accretions of various types could form. As a result, a map of the most common types of ice accretions in the Ob' Bay region was constructed, which shows that the dominant type of atmospheric icing over the entire territory of the Ob' Bay region is soft rime. Wet snow occupies from 8 to 30 %. Glaze ice and hard rime are extremely rare. In the cold season, from November to March, soft rime is most often formed, and wet snow accretions in spring and autumn. Based on observational data from 1966 to 2021, trends were estimated in the annual number of meteorological periods during which atmospheric phenomena were observed, potentially leading to hazardous icing. Trends were evaluated using the Mann Kendall test. It is shown that for potentially hazardous cases of atmospheric phenomena causing glaze ice, wet snow and rime accretions, the trends were not significant at the 5 % significance level.

Keywords: glaze ice, hard rime, ice accretions, icing, soft rime, weather hazards, wet snow.

For citation: Sokolikhina N.N., Leonov I.I. Dominant types of ice accretions according to observations at Ob' Bay stations. Arctic and Antarctic Research. 2023, 69 (3): 343–355. [In Russian]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2023-69-3-343-355>.

Received 23.05.2023

Revised 12.07.2023

Accepted 28.07.2023

ВВЕДЕНИЕ

Потепление климата сопровождается усилением его экстремальности, что приводит к увеличению количества опасных гидрометеорологических явлений. Арктическая зона России теплеет особенно быстро — 0,71 °C за десятилетие. По этой причине особенно важными становятся исследования, связанные с изучением опасных гидрометеорологических явлений для северных территорий России, на которых в настоящее время интенсифицируется добыча нефти и газа, что увеличивает и основные экологические риски [1].

Считается, что для хозяйственной деятельности человека наибольшую опасность представляет гололед, формирование которого происходит во время выпадения замерзающей мороси или замерзающего дождя [2].

Помимо гололеда большую угрозу представляют высокоинтенсивные отложения изморози, достигающие опасных значений. Изморозь в атмосфере бывает двух видов — зернистая и кристаллическая. Кристаллическая изморозь — продукт сублимации водяного пара. У нее небольшая плотность и прочность, и, как правило, она не приводит к серьезным последствиям. Зернистая изморозь относится к внутриоблачному обледенению, потому что нарастание льда происходит вследствие столкновения переохлажденных капель тумана с различными объектами: проводами ЛЭП, ветвями деревьев и др. У зернистой изморози более высокая плотность и прочность [3]. Именно такие отложения наиболее часто наблюдаются на территориях со сложным рельефом местности, для которых характерна высокая повторяемость переохлажденных туманов [4].

Помимо гололеда и изморози большие проблемы для хозяйственной деятельности представляет и мокрый снег, выпадающий при положительной температуре, близкой к 0 °С, когда снежинки частично подтаивают или когда вместе со снегом выпадает дождь.

Чрезвычайные ситуации в труднодоступных северных регионах России тяжело прогнозировать и ликвидировать. В связи с этим целью исследования было изучение особенностей атмосферного обледенения в районе Обской губы в условиях современного изменения климата. В предлагаемой работе по данным 7 метеорологических станций за период с 1966 по 2021 г. было исследовано пространственное распространение атмосферных явлений, приводящих к образованию гололедно-изморозевых отложений различных видов в районе Обской губы, впервые были выявлены преобладающие явления атмосферного обледенения в различные сезоны года. Также была проведена оценка временных трендов наблюдаемого количества метеорологических сроков с атмосферными явлениями, которые могут приводить к образованию опасных гололедно-изморозевых отложений. Впервые для выделения высокоинтенсивных случаев атмосферного обледенения использовались данные о благоприятных температурно-ветровых условиях, характерных для формирования опасных гололедно-изморозевых отложений каждого вида.

ДАнные И МЕТОДИКА

Данные наблюдений были собраны из нескольких архивов. Основные метеорологические параметры получены из массива данных ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» — Федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных».

Использовались данные основных срочных наблюдений и данные наблюдений за атмосферными явлениями. В этих архивах содержатся данные срочных наблюдений на 521 станции, период наблюдения с 1966 по 2021 г. Перечень станций составлен на основании списка станций Росгидромета, включенных в Глобальную сеть наблюдений за климатом. В ходе исследования были отобраны 7 метеорологических станций — имени М.В. Попова, Антипаюта, Новый порт, Тазовск, Салехард, Ныда и Надым (все станции указаны по расположению с севера на юг).

Для изучения преобладающих типов гололедно-изморозевых отложений использовались данные наблюдений за атмосферными явлениями [5]. В этом архиве содержится описание отдельных случаев всех наблюдаемых на метеорологических станциях явлений погоды. Одна запись базы данных относится к одному случаю на-

блюдения явления и содержит в себе данные о времени начала и окончания явления, его интенсивности и уникальном шифре. В настоящей работе подсчитывалось только количество случаев явлений атмосферного обледенения — гололеда, кристаллической и зернистой изморози и мокрого снега. Данные об интенсивности не использовались, так как во время визуальных наблюдений она определяется качественно — от 0 до 2, где 0 — это слабая интенсивность, 1 — умеренная и 2 — сильная [6].

При подсчете количества случаев явлений гололеда, зернистой изморози и кристаллической изморози отбирались уникальные случаи явлений, которым соответствует собственный шифр (шифр 12 — гололед, 13 — кристаллическая изморозь, 14 — зернистая изморозь). Для подсчета случаев мокрого снега использовались два вида явлений — мокрый снег и ливневой мокрый снег (шифры 72 и 73). Для каждой из отобранных метеорологических станций было получено количество случаев наблюдаемых атмосферных явлений, которые могут приводить к формированию гололедно-изморозевых отложений. Далее рассчитывалось процентное соотношение количества случаев этих явлений и выделялся преобладающий вид атмосферного обледенения. По полученным данным была построена карта-схема количества наиболее распространенных атмосферных явлений, приводящих к формированию гололедно-изморозевых отложений в районе Обской губы.

Кроме этого, по данным визуальных наблюдений за атмосферными явлениями было получено отношение количества случаев атмосферных явлений, связанных с обледенением, к общему количеству наблюдаемых случаев явлений погоды в среднем за год и отдельно для каждого месяца за период с 1966 по 2021 г.

Для изучения временного тренда гололедно-изморозевых отложений использовались данные основных срочных наблюдений [7]. В этом случае рассматривались стандартные наблюдения, где каждому метеорологическому сроку соответствует определенный код погоды. Одному событию образования обледенения могут соответствовать несколько последовательных сроков с одним кодом погоды. Эти сроки учитывались отдельно, так как большая продолжительность явлений оказывает большее воздействие на объекты хозяйственной деятельности человека.

За случаи гололеда принимались сроки, в которые наблюдатель фиксировал замерзающие осадки (коды КН-01 24, 56, 57, 66 и 67). Отложения гололеда имеют большую плотность, поэтому потенциально опасными считались все сроки, во время которых наблюдались замерзающие осадки.

В коде КН-01 отсутствует разделение изморози на два вида. Поэтому для анализа использовались сроки, соответствующие туману с отложением изморози (коды КН-01 48 и 49). В ранее опубликованных работах было показано, что подавляющее количество изморозевых отложений наблюдается в виде кристаллической изморози, как правило не приводящей к негативным экономическим последствиям [3, 6]. Зернистая изморозь в районе Обской губы наблюдается в среднем в 10 раз реже. Наибольший интерес в данной работе представляют потенциально опасные гололедно-изморозевые отложения. С целью отсеивания слабоинтенсивных отложений кристаллической изморози были отобраны только те случаи изморози, которые наблюдались в диапазоне температуры воздуха от $-10,3$ до $-0,7$ °C и скорости ветра 1 м/с и более. Ранее, на основании обработки данных инструментальных наблюдений, было показано, что 90 % опасных (диаметром более 50 мм) отложений зернистой изморози на территории России образуется именно в этом температурно-ветровом

диапазоне [7]. Такая фильтрация данных позволяет убрать из выборки большую часть отложений в виде кристаллической изморози, которая образуется при температуре воздуха менее $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Фильтрация выборок производилась и для выявления сроков с мокрым снегом, для которого в коде КН-01 не предусмотрено отдельного кода. Для выявления мокрого снега отбирались сроки, в которые наблюдались осадки твердой и смешанной фазы (коды КН-01 70, 71, 72, 73, 74, 75, 85 и 86), выпадающие при температуре воздуха от 0 до $0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Такой диапазон ранее был обоснован авторами работы как наиболее благоприятный для образования опасных отложений мокрого снега [7].

В результате была получена сумма сроков с наблюдаемыми отложениями гололеда, изморози и мокрого снега за каждый год в период с 1966 по 2021 г. Полученные линейные тренды проверялись на достоверность с использованием критерия Манна–Кендалла [8, 9]. Данный критерий использовался ранее другими авторами для оценки тенденций характеристик гололедно-изморозевых отложений по данным инструментальных наблюдений на территории России за период с 1984 по 2018 г.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным архива об атмосферных явлениях была построена карта-схема преобладающих видов гололедно-изморозевых отложений на территории Обской губы (рис. 1). На карте-схеме для каждой метеорологической станции представлена круговая диаграмма, показывающая долю зафиксированных случаев атмосферных явлений, которые становятся причиной образования гололедно-изморозевых явлений каждого вида.

Для всех метеорологических станций, располагающихся в районе Обской губы, характерно преобладание гололедно-изморозевых отложений в виде кристаллической изморози. Кристаллическая изморозь наиболее часто наблюдается на всей территории России, за исключением юга европейской части страны. Это связано с высокой повторяемостью благоприятных условий для ее образования — сильного радиационного выхолаживания поверхности, в результате которого происходит сублимация водяного пара. Такие условия наблюдаются повсеместно на территории Обской губы. Зернистая изморозь — довольно редкое явление, поскольку для формирования зернистой изморози необходимо существование переохлажденного тумана, капли которого, сталкиваясь с препятствием, будут превращаться в лед. Наибольшая повторяемость зернистой изморози наблюдается на европейской территории России и в горных районах, где зимой воздух часто имеет достаточное влагосодержание для образования переохлажденных туманов с отложением изморози. В районе Обской губы такие ситуации наблюдаются не так часто. Так, если кристаллическая изморозь в зависимости от местоположения станции наблюдается в 55–82 % случаев образования гололедно-изморозевых отложений, то зернистая — только от 2 до 9 % (табл. 1).

На втором месте по повторяемости располагаются отложения мокрого снега — в зависимости от местоположения станции от 8 до 30 % всех явлений обледенения. Самая маленькая повторяемость мокрого снега наблюдается на станции имени М.В. Попова, которая расположена севернее всех остальных на острове Белый. Известно, что отложения мокрого снега чаще всего начинают образовываться при температуре воздуха от -2 до $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при низкой скорости ветра (от 1 до 4 м/с) или при штиле. Это связано с физическими свойствами снега — снежинки имеют большой размер и высокую парусность, они легко сдуваются сильным ветром с предметов,

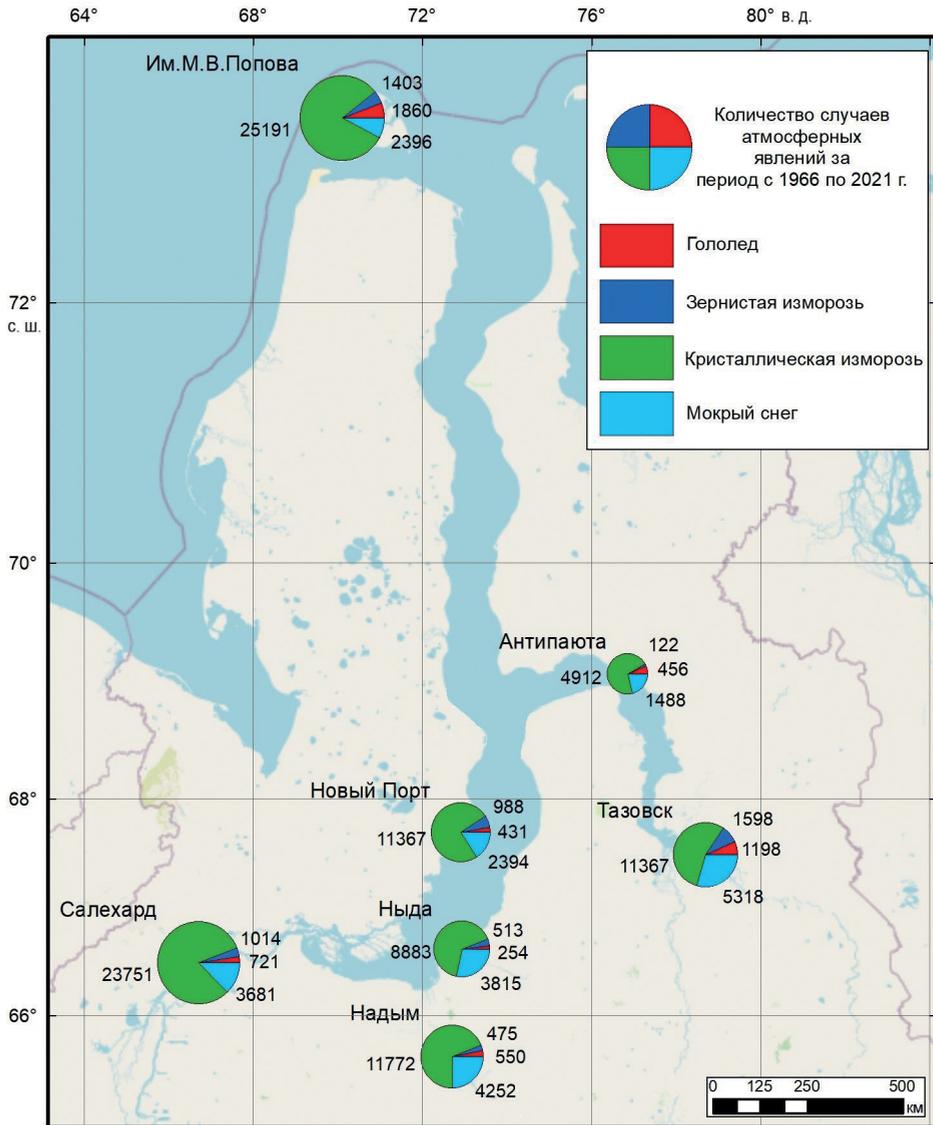


Рис. 1. Карта-схема количества случаев атмосферных явлений гололеда, зернистой изморози, кристаллической изморози и мокрого снега за период с 1966 по 2021 г. по данным визуальных наблюдений

Fig. 1. Map of the number of atmospheric events of glaze ice, hard rime, soft rime and wet snow for the period from 1966 to 2021 according to visual observations

на которых происходит обледенение. Поэтому для образования опасных отложений в виде мокрого снега необходимо, чтобы ветер на протяжении всей фазы нарастания был не слишком сильный.

Самая низкая повторяемость у гололеда, она составляет всего от 2 до 7 %. Наиболее часто инициатором формирования опасных отложений гололеда является

Количество случаев различных атмосферных явлений*
по данным метеорологических станций в районе Обской губы (период с 1966 по 2021 г.)
Table 1

**The number of cases of various atmospheric events* according to data
from meteorological stations in the region of the Ob' Bay (the period from 1966 to 2021)**

Название метеостанции	Координаты метеостанции		Количество случаев различных атмосферных явлений (% от всех наблюдаемых случаев)					Доля атмосферных явлений от их суммарного кол-ва, %			
	Широта	Долгота	ГЛ	ИЗ	ИК	ОМС	Все	ГЛ	ИЗ	ИК	ОМС
Им. М.В. Попова	73,3	70,1	1860 (1,0)	1403 (0,8)	25191 (13,8)	2396 (1,3)	30850 (16,9)	6	4	82	8
Антипаюта	69,08	76,85	456 (0,4)	122 (0,1)	4912 (4,3)	1488 (1,3)	6978 (6,1)	7	2	70	21
Новый Порт	67,7	72,9	431 (0,3)	988 (0,7)	11367 (7,8)	2394 (1,6)	15180 (10,4)	3	7	74	16
Тазовск	67,5	78,7	1198 (0,7)	1598 (1,0)	9847 (6,0)	5318 (3,2)	17961 (10,9)	7	9	54	30
Салехард	66,5	66,7	721 (0,4)	1014 (0,6)	23751 (13,4)	3681 (2,1)	29167 (16,5)	2	3	81	14
Ныда	66,63	72,93	254 (0,2)	513 (0,3)	8883 (5,6)	3815 (2,4)	13465 (8,5)	2	4	66	28
Надым	65,6	72,7	550 (0,4)	475 (0,4)	11772 (8,9)	4252 (3,2)	17049 (12,8)	3	3	69	25

Примечание. В данном случае атмосферные явления — гололед (ГЛ), зернистая изморозь (ИЗ), кристаллическая изморозь (ИК) и отложение мокрого снега (ОМС).

Note. In this case, the atmosphere events — glaze ice (ГЛ), hard rime (ИЗ), soft rime (ИК) and the accretions of wet snow (ОМС).

взаимодействие трех резко контрастирующих по температуре и влагосодержанию воздушных масс, приводящее к образованию стратификации атмосферы по типу «теплого носа», и наличие адвекции тепла в нижней и средней тропосфере и холода у поверхности земли [10]. Такие благоприятные синоптические условия чаще формируются на юге, реже в центральной части и совсем редко на севере территории России.

Далее был рассмотрен годовой ход количества наблюдаемых атмосферных явлений для каждой из 7 метеорологических станций в районе Обской губы (рис. 2). Показано, что в наиболее холодные месяцы — ноябрь, декабрь, январь, февраль и март — наблюдается сильное преобладание кристаллической изморози. В переходные сезоны преобладающим видом атмосферных явлений является мокрый снег. Это связано с большей повторяемостью погодных условий, во время которых наблюдается околонулевая температура воздуха и более интенсивное выпадение осадков, чем в зимнее время года.

В наиболее теплые месяцы года — в июле и августе — обледенение практически не наблюдается. Только на станции им. М.В. Попова отмечаются редкие — около 1 раза в год — случаи гололеда и около 2 раз в год — случаи выпадения мокрого снега.

Также на рис. 2 показана доля атмосферных явлений, связанных с обледенением, в общем количестве наблюдаемых явлений погоды для каждого месяца года

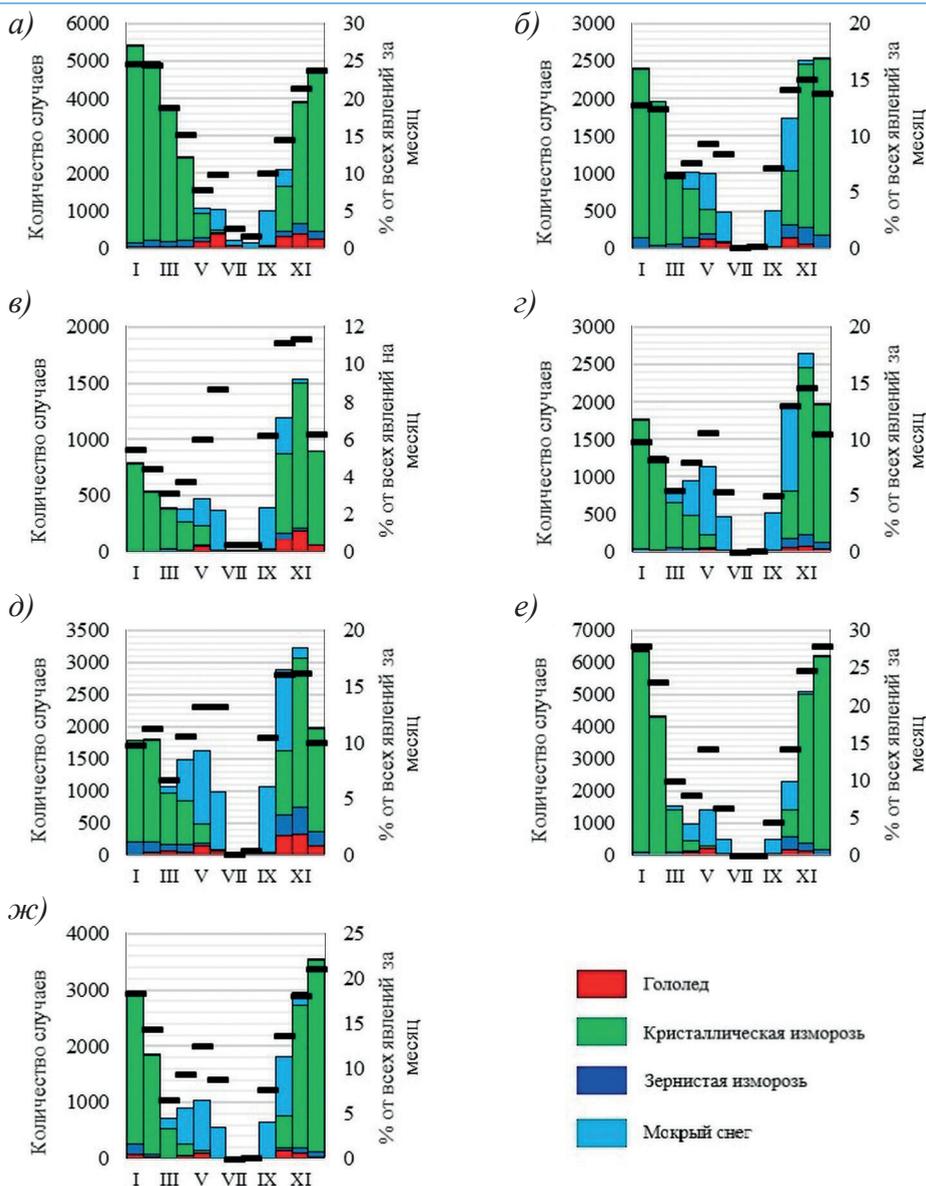


Рис. 2. Годовой ход количества случаев атмосферных явлений, приводящих к образованию гололедно-изморозевых отложений в районе Обской губы за период с 1966 по 2021 г., и доля случаев атмосферных явлений обледенения в общем количестве наблюдаемых атмосферных явлений (черные маркеры) для метеорологических станций: (а) им. М.В. Попова, (б) Новый Порт, (в) Антипаюта, (г) Ныда, (д) Тазовск, (е) Салехард, (ж) Надым

Fig. 2. The annual change of the of the number of atmospheric phenomena leading to the formation of ice accretions in the area of the Ob' Bay for the period from 1966 to 2021 and the proportion of atmospheric icing events in the total number of atmospheric phenomena (black markers) for meteorological stations: (a) M.V. Popova, (b) New Port, (c) Antipayuta, (g) Nyda, (d) Tazovsk, (e) Salekhard, (z) Nadym.

за период с 1966 по 2021 г. Установлено, что в наиболее холодные месяцы года кристаллическая изморозь наблюдается более чем в 10 % от всех случаев наблюдаемых явлений погоды, а на некоторых станциях (им. М.В. Попова, Салехарде и Надыме) более чем в 20 %. Это значит, что в среднем каждый 10-й случай наблюдаемого явления в зимний период на территории Обской губы связан с процессами атмосферного обледенения. Высокая повторяемость обледенения сохраняется в переходные сезоны, и лишь в самые теплые месяцы года (в июле и августе) повторяемость случаев гололеда, изморози и мокрого снега составляет от 0 до 3 % от всех наблюдаемых случаев явлений погоды.

Для выявления временного тренда количества сроков с атмосферным обледенением использовались данные основных срочных наблюдений на метеорологических станциях Обской губы, по которым невозможно отделить кристаллическую изморозь от зернистой. По этой причине изморозь рассматривалась вся в целом, но, как было указано выше, отбирались только те случаи, которые можно отнести к потенциально опасным явлениям. На рис. 3 отчетливо видно, что в новом веке увеличилась повторяемость изморозевых отложений и мокрого снега. В прошлом веке максимум повторяемости изморозевых отложений (и кристаллической, и зернистой) имеет

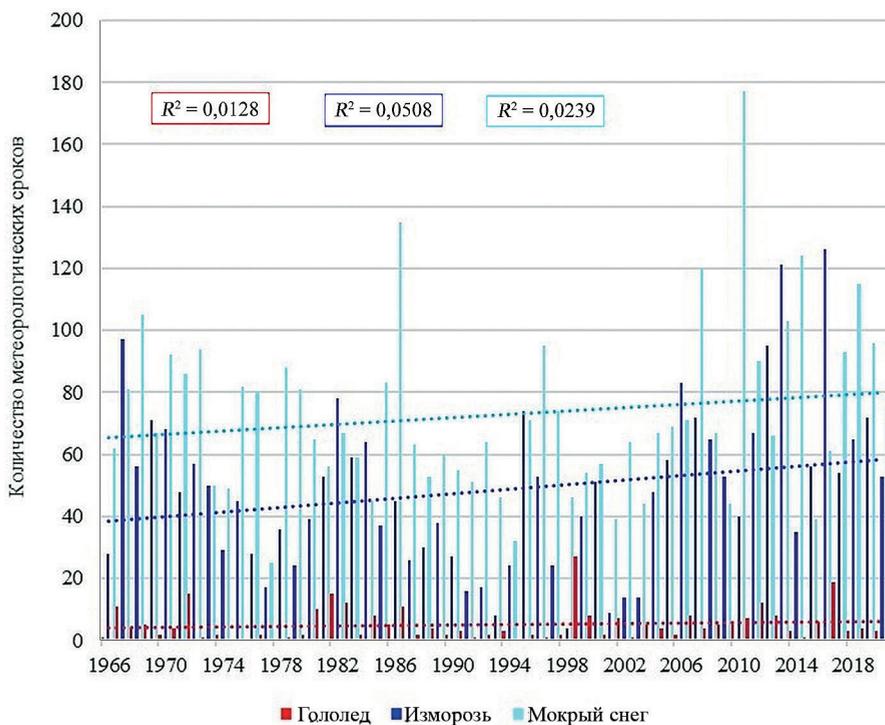


Рис. 3. Ежегодное количество и временные тренды метеорологических сроков с благоприятными для образования гололедно-изморозевых отложений условиями за период с 1966 по 2021 г. Приведены суммарные данные по 7 метеорологическим станциям. Пунктирными линиями показаны линейные тренды

Fig. 3. Annual number and temporal trends of meteorological periods, with favorable conditions for the formation of ice accretions for the period from 1966 to 2021. The summary data for 7 meteorological stations are given. Dashed lines show linear trends

в среднем 14-летнее колебание (самые большие повторяемости наблюдались в 1967, 1982 и 1995 гг.). В начале XXI в. три года подряд был резкий спад повторяемости этого явления, но с 2004 г. началось увеличение случаев изморозевых отложений, которые можно отнести к потенциально опасным явлениям. Это отразилось и во временном тренде, но сам тренд нельзя назвать значимым ($R^2 = 0,0508$). То же можно сказать и о повторяемости отложений в виде мокрого снега, хотя и видна небольшая тенденция к росту, но она тоже не значима ($R^2 = 0,0239$). Тест Манна–Кендалла показал, что для 5%-ного уровня значимости все полученные тренды оказались незначимыми. Относительно образования гололеда тренда к увеличению не выявлено, но необходимо отметить, что начиная с 1999 г., когда наблюдалось самое большое количество выпадения замерзающих осадков с отложением гололеда, практически не было ни одного года, когда бы он не наблюдался, в отличие от прошлого века.

Основное внимание в работе уделялось именно высокоинтенсивным явлениям, которые могут приводить к образованию опасных гололедно-изморозевых отложений. В ходе исследования впервые применялся подход фильтрации данных основных наблюдений, с учетом полученных ранее диапазонов температуры воздуха и скорости ветра, характерных для опасных гололедно-изморозевых отложений каждого вида. В ранее опубликованных работах были оценены тренды среднегодового количества дней с гололедом на территории России [11]. В целом для атлантической Арктики был получен слабый отрицательный тренд ($-0,2$ дней/год) числа дней с замерзающим дождем. Однако для метеорологических станций в районе Обской губы значение тренда располагалось в интервале от $-0,1$ до $0,1$ дней в году. Можно предположить, что полученный в данной работе слабopоложительный тренд характерен именно для высокоинтенсивных явлений.

Тенденции современных изменений характеристик гололедно-изморозевых отложений на территории России, полученные с использованием инструментальных наблюдений, по данным доклада об особенностях климата на территории Российской Федерации и научных публикаций, показывают, что для квазиоднородной климатической области атлантической Арктики наблюдается незначимый положительный тренд количества дней с гололедом и значимый тренд количества дней с отложениями мокрого снега [12, 13]. Однако отдельно в районе Обской губы полученные тенденции не имеют четкой направленности, что в целом согласуется с так же незначимыми трендами, полученными в представленной работе.

Наиболее вероятно, что полученные положительные тренды количества метеорологических сроков с изморозью и мокрым снегом, потенциально приводящими к образованию опасных гололедно-изморозевых отложений, связаны с увеличивающейся повторяемостью сочетания относительно высокой температуры воздуха (от -10 до 0 °C) и большого влагосодержания воздушных масс в Арктике. Можно ожидать, что текущие изменения климата, вызывающие рост температуры и влагосодержания в Арктике, приведут к росту количества наблюдаемых опасных явлений атмосферного обледенения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы было исследовано пространственное распределение случаев атмосферных явлений, приводящих к образованию гололедно-изморозевых отложений. Показано, что на территории Обской губы наиболее часто повторяющимися случаями атмосферного обледенения является кристаллическая изморозь. В среднем по всем станциям доля кристаллической изморози составляет около 70 % от всех

случаев обледенения. На втором месте по числу случаев находится мокрый снег (около 20 %). Оставшиеся 10 % случаев атмосферного обледенения приходятся на гололед и зернистую изморозь.

В холодное время года, с ноября по март, подавляющее количество наблюдаемых на метеорологических станциях случаев обледенения приходится на кристаллическую изморозь. В переходные сезоны наиболее часто выпадает мокрый снег. Гололед и зернистая изморозь образуются довольно редко в течение всего года. Явления погоды, связанные с обледенением, в холодное время года составляют до 30 % всех наблюдаемых на метеорологических станциях случаев атмосферных явлений. Атмосферное обледенение на севере Обской губы (метеостанция имени М.В. Попова) наблюдается и в наиболее теплые месяцы года, где его доля составляет в среднем от 1 до 3 % от общего количества наблюдаемых случаев атмосферных явлений.

По данным срочных наблюдений были выделены метеорологические сроки, во время которых было возможно формирование опасных гололедно-изморозевых отложений. Временные тренды годового количества таких сроков с явлениями гололеда, изморози (и кристаллической, и зернистой) и мокрого снега за период с 1966 г. по настоящее время имеют тенденцию к росту, хотя сами тренды и не значимы.

Конфликт интересов. Авторы статьи не имеют конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания кафедры метеорологии и климатологии МГУ имени М.В. Ломоносова № 121051400081-7 («Погодные и климатические процессы различных пространственно-временных масштабов в условиях антропогенного воздействия»).

Competing interests. The authors declare no conflict of interest.

Funding. The work was carried out within the framework of the state task of the Department of Meteorology and Climatology of Lomonosov Moscow State University No. 121051400081-7 (“Weather and climatic processes of the various spatio-temporal scales under anthropogenic impact”).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Под ред. В. М. Катцова; Росгидромет. СПб.: Научное издание, 2022. 676 с.
2. Шакина Н.П., Хоменко И.А., Иванова А.Р., Скриптунова Е.Н. Образование и прогнозирование замерзающих осадков: Обзор литературы и некоторые новые результаты // Труды Гидрометцентра России. 2012. Вып. 348. С. 130–161.
3. Бучинский В.Е. Атлас обледенения проводов. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 114 с.
4. Makkonen L. Models for the growth of rime, glaze, icicles and wet snow on structures // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences. 2000. V. 358. No. 1776. P. 2913–2939.
5. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3. Ч. 1. Л.: Гидрометиздат, 1985. 301 с.
6. Аржанова Н.М., Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н. Специализированный массив данных гололедно-изморозевых явлений для мониторинга климата и климатических исследований // Труды Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных. 2018. № 182. С. 101–110.

7. Леонов И.И., Аржанова Н.М. Метеорологические условия образования гололедно-изморозевых отложений на территории России // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2023. Т. 9. № 1. С. 107–126. doi:10.21513/2410-8758-2023-1-107-126.
8. Kendall M.G. Rank correlation methods. London: Charles Griffin, 1970. 210 p.
9. Mann H. Nonparametric tests against trend // *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. 1945. V. 13. P. 245–259. doi: 10.2307/1907187.
10. Семенов Е.К., Соколичина Н.Н., Леонов И.И., Соколичина Е.В. Атмосферная циркуляция над центром Европейской России в период ледяного дождя в декабре 2010 г. // *Метеорология и гидрология*. 2018. № 5. С. 91–101.
11. Groisman P., Bulygina O., Yin X., Vose R., Gulev S., Hanssen-Bauer I., Førland E. Recent changes in the frequency of freezing precipitation in North America and Northern Eurasia // *Environmental Research Letters*. 2016. V. 11. No. 4. P. 045007. doi: 10.1088/1748-9326/11/4/045007.
12. Аржанова Н.М., Коршунова Н.Н. Характеристики гололедно-изморозевых явлений на территории России в условиях современных изменений климата // *Труды Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных*. 2019. № 184. С. 33–44.
13. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. М.: Росгидромет, 2022. 104 с.

REFERENCES

1. *Tretij ocenochnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii*. The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Roshydromet. St. Petersburg: High-tech Technologies, 2022: 676 p. [In Russian].
2. Shakina N.P., Homenko I.A., Ivanova A.R., Skriptunova E.N. Freezing precipitation formation and prediction: literature review and some new findings. *Trudy Gidrometcentra Rossii*. Hydrometeorological Research and Forecasting. 2012, 348: 130–161. [In Russian].
3. Buchinsky V.E. *Atlas obledeneniya provodov*. Atlas of wire icing. Leningrad: Gidrometizdat, 1966: 114 p. [In Russian].
4. Makkonen L. Models for the growth of rime, glaze, icicles and wet snow on structures. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2000, 358 (1776): 2913–2939.
5. *Nastavleniya gidrometeorologicheskim stancyam i postam*. Instructions for hydrometeorological stations and posts. Issue 3. Part 1. Leningrad: Gidrometizdat, 1985: 301 p. [In Russian].
6. Arzhanova N.M., Bulygina O.N., Korshunova N.N. Specialized data set of glaze and rime phenomena for climate monitoring and climate research. *Trudy VNIIGMI-MCD*. Researches of RIHMI-WDC. 2018, 182: 101–110. [In Russian].
7. Leonov I.I., Arzhanova N.M. Meteorological conditions for the formation of ice accretions in Russia. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*. Fundamental and Applied Climatology. 2023, 9 (1): 107–126. [In Russian]. doi: 10.21513/2410-8758-2023-1-107-126.
8. Kendall M.G. Rank correlation methods. London: Charles Griffin, 1970: 210 p.
9. Mann H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. 1945, 13: 245–259. doi: 10.2307/1907187.
10. Semenov E.K., Sokolihina N.N., Sokolihina E.V., Leonov I.I. Atmospheric circulation over the center of European Russia during the freezing rain in December 2010. *Meteorologiya i gidrologiya*. Meteorology and hydrology. 2018, 5: 91–102. [In Russian].
11. Groisman P., Bulygina O., Yin X., Vose R., Gulev S., Hanssen-Bauer I., Førland E. Recent changes in the frequency of freezing precipitation in North America and Northern Eurasia. *Environmental Research Letters*. 2016, 11 (4): 045007. doi: 10.1088/1748-9326/11/4/045007.

12. *Arzhanova N.M., Korshunova N.N.* Characteristics of glaze-ice and rime phenomena over the Russian territory under current climate change. *Trudy VNIIGMI-MCD*. Researches of RIHMI-WDC. 2019, 184: 33–44. [In Russian].

13. *Doklad ob osobennostjakh klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2021 god.* Report on climate change in the territory of the Russian Federation for 2021. Moscow: Roshydromet, 2022: 104 p. [In Russian].