

УДК 551.578.46(470.21)  
DOI 10.17513/use.38379

## МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА РАЗЛИЧНЫХ ВЫСОТАХ В ГОРАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

<sup>1</sup>Сергеев А.С., <sup>2</sup>Юрченко Н.В., <sup>2</sup>Керефова З.М.

<sup>1</sup>ООО «ГЕОИНТЕГРА», Санкт-Петербург, e-mail: [alel-ludi@mail.ru](mailto:alel-ludi@mail.ru);

<sup>2</sup>ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик,  
e-mail: [ynatalya64@mail.ru](mailto:ynatalya64@mail.ru), [zknyaz-kbsu@mail.ru](mailto:zknyaz-kbsu@mail.ru)

Объектом исследования являются сезонные вариации высоты снежного покрова на территории Хибин. Исследование выполнено по данным двух метеостанций, расположенных на различных высотах: 400 м над ур. м. и 1091 м над ур. м. Были взяты их наиболее продолжительные непрерывные наблюдения: 53 года ГИС «Центральная» и 32 года МС «Кировск». Выявлено, что не только количество осадков увеличивается с высотой местности, но и время появления снежного покрова и его схода. Продолжительность нахождения снега на земле может расти до одного месяца по сравнению с обычным сроком его пребывания в окрестностях базовой метеостанции «Кировск». На протяжении 256 дней, с октября по май, на территории, которую изучаем, сохраняется постоянное покрытие снегом. Высота снежного покрова в этот период составляет от 56 до 176 см. Температура в этот период в 70% случаев варьируется от -7,4 до -10,2 °С. Для оценки водозапаса в зонах зарождения лавин использовались сведения о плотности снежного покрова по метеостанциям «Кировск» и «Центральная», которые составляют 0,33 и 0,375 г/см<sup>3</sup> соответственно. Получены аналитические выражения для расчета на различных высотах: плотности снега, водозапаса и высоты снежного покрова 1 и 2% обеспеченности.

**Ключевые слова:** высота снежного покрова, сезонные вариации, анализ многолетних данных, водозапас, плотность снега, период устойчивого снегозалегаания

## LONG-TERM DYNAMICS OF SNOW COVER AT VARIOUS ALTITUDES IN THE MOUNTAINS OF THE MURMANSK REGION

<sup>1</sup>Sergeev A.S., <sup>2</sup>Yurchenko N.V., <sup>2</sup>Kerefova Z.M.

<sup>1</sup>LLC GEOINTEGRA, Saint Petersburg, e-mail: [alel-ludi@mail.ru](mailto:alel-ludi@mail.ru);

<sup>2</sup>High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik,  
e-mail: [ynatalya64@mail.ru](mailto:ynatalya64@mail.ru), [zknyaz-kbsu@mail.ru](mailto:zknyaz-kbsu@mail.ru)

The object of the study is seasonal variations in the depth of snow cover in the Khibiny territory. The study was carried out using data from two meteorological stations located at different altitudes: 400 m above sea level and 1091 m above sea level. It was found that not only the amount of precipitation increases with the altitude of the area, but also the time of the appearance of snow cover and its melting. The duration of snow on the ground can increase up to 1 month compared to the usual period of its stay in the vicinity of the Kirovsk base meteorological station. For 256 days, from October to May, the territory under study is constantly covered with snow. The depth of snow cover during this period ranges from 56 cm to 176 cm. The temperature during this period in 70% of cases varies from minus 7.4 to minus 10.2 °C. To estimate the water reserve in avalanche origin zones, we used data on the snow cover density from the Kirovsk and Central weather stations, which are 0.33 g/cm<sup>3</sup> and 0.375 g/cm<sup>3</sup>, respectively. Analytical expressions were obtained for calculating at different altitudes: snow density, water reserve, and snow cover depth of 1% and 2% probability.

**Keywords:** snow depth, seasonal variations, long-term data analysis, water content, snow density, period of stable snow cover

### Введение

На территории Мурманской области наиболее лавиноопасным районом является Хибинский горный массив, где идет интенсивная добыча полезных ископаемых. Он входит в число лидеров в РФ по количеству зарегистрированных случаев чрезвычайных ситуаций, вызванных сходом снежных лавин. Данная ситуация объясняется высоким уровнем промышленного освоения Хибин и высокой степенью доступности здесь горного туризма. Проблема обеспечения лавинной безопасности стоит максимально остро как перед крупными промышленными компаниями, занимающи-

мися добычей полезных ископаемых в Хибинах, эксплуатирующих линейные объекты инфраструктуры (автомобильные и железные дороги, линии электропередачи), так и перед многочисленными турфирмами, организующими пешие и снегоходные туры, а также организациями, эксплуатирующими горнолыжные комплексы. Большая часть Хибин входит в одноименный национальный парк, в ведении руководства которого в том числе находится обеспечение лавинной безопасности его посетителей [1, 2].

Изучению лавинной опасности Хибинского горного массива посвящено много научных статей, монографий и книг [3, 4].

В Хибинах располагается исследовательская станция географического факультета МГУ им. Ломоносова, на базе которой десятилетиями изучается данная проблема [5, 6].

Несмотря на то, что высота гор не превышает 2000 м большая часть территории Хибинских и Ловозёрских тундр, Мончегундры и Чунатундры на Кольском полуострове относится к районам со значительной лавинной опасностью.

В 1930-х гг. на Кольском полуострове была начата добыча полезных ископаемых. Одним из серьезных препятствий в добыче руд стали частые сходы лавин. Они приводили к гибели людей и разрушению объектов производства. В этой связи на территории деятельности объединения «Апатит» образовалась противолавинная служба – Цех противолавинной защиты производственного объединения «Апатит». Подразделение занималось не только принудительным спуском лавин, но и исследованием динамики снегонакопления в горах.

На Кольском полуострове, где зима длится в течение 6–7 месяцев, сходы лавин и снежные обвалы происходят достаточно часто. Снежные лавины на полуострове сходят в течение всего холодного периода – с ноября по май. Сходы лавин здесь нередко связаны с гибелью людей, разрушением жилых и хозяйственных построек, горных разработок, автомобильных и железных дорог [7–9]. Ежегодно здесь под лавинами гибнут туристы и горнолыжники.

В связи с развитием деятельности АО «Апатит» по добыче и переработке апатит-нефелиновых руд на месторождении Хибин, а также растущей популярностью горнолыжных курортов и зимнего туризма границы лавиноопасных территорий в Хибинских горах постоянно изменяются, что требует изучения районов перспективного освоения и применения новых методов предотвращения воздействия лавин [10, 11].

Территория АО «Апатит» относится к районам с высокой степенью лавинной опасности. Даже при высококвалифицированных сотрудниках самой первой противолавинной службы в мире практически ежегодно снежные лавины наносят ущерб объектам инфраструктуры АО «Апатит», а порой – здоровью и жизни людей.

Ежегодно территории промплощадок АО «Апатит» наносится значительный экономический ущерб за счет простоев из-за лавинной опасности, затрат на расчистку лавинных отложений после схода лавин, восстановление линейных объектов (желез-

нодорожных путей, линий электропередач), ремонт или полная замена транспортных средств и оборудования, восстановление или ремонт зданий Общества, а также жилого фонда г. Кировска [12, 13].

Одним из важных факторов формирования снежных лавин является высота снежного покрова. В данной работе представлены результаты исследования сезонной вариации высоты снежного покрова на территории Хибин в историческом аспекте.

**Цель работы** – исследование сезонных вариаций высоты снежного покрова на территории Хибин и сопоставление данных, полученных на ГЛС «Центральная» и МС «Кировск».

Задачей исследования было получение аналитических выражений для расчета высоты снежного покрова 1 и 2% обеспеченности, а также для определения значений плотности снега и водозапаса на различных высотах. Данные аналитические выражения используются при проведении инженерных изысканий и выполнении проектных решений.

#### **Материалы и методы исследования**

Согласно п. 7.2.1 СП116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов» для защиты строений повышенного и нормального уровня ответственности при снеголавинных расчетах высоты снежного покрова приняли 1% и 2% обеспеченности. Водозапас, используемый при определении дальности выброса лавин, по методике СП 428.1325800.2018 определяется по толщине слоя снега.

Для определения толщины снежного покрова на разной высоте использовался метод интерполяции, основанный на информации, собранной на горнолавинной станции «Центральная», расположенной на высоте 1091 м над ур. м., за период с 1962 по 2015 г. (протяженностью в 53 года). Кроме того, данные были взяты с метеостанции в Кировске, находящейся на высоте 400 м над ур. м., данные охватывали период с 1981 по 2013 г. (32 года).

Были взяты наиболее длинные непрерывные периоды наблюдения на метеостанциях, расположенных на территории Мурманской области. В настоящее время указанные метеостанции не работают. Непрерывные ряды наблюдения, не менее 10 лет, необходимы для оценки снеголавинных характеристик территорий с обеспеченностью 1, 2 и 5%, для их учета в проектных решениях.

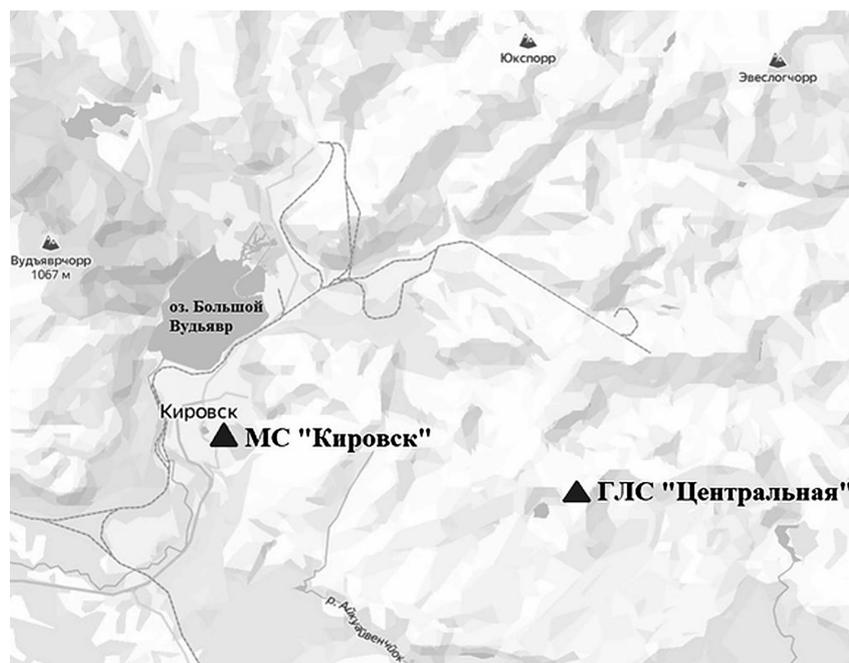


Рис. 1. Расположение используемых метеостанций на территории Хибин  
Источник: составлено авторами

На рис. 1 представлено местоположение используемых метеостанций.

#### Результаты исследования и их обсуждение

С начала 1980-х гг. в Хибинах преобладают среднеснежные зимы. Многоснежные зимы за период с 1984 г по 2009 г. повторяются в среднем 1 раз в 8 лет, а малоснежные – в среднем 1 раз в 5 лет [14].

В работе [15] представлен анализ многолетней динамики снегонакопления по данным Хибинской станции МГУ и выполнено сравнение этих данных с данными, полученными на других метеостанциях.

Показано, что в 1991–1992 гг. на Хибинской станции и ГЛС «Центральная» наблюдалась максимальная высота снежного

покрова, которая равнялась 149 см и 256 см соответственно. Минимальное значение высоты снежного покрова на Хибинской станции было зарегистрировано в 1995–1996 гг. и составило 48 см, в то время как на станции «Центральная» в 2002–2003 гг. оно достигло 70 см.

Согласно данным Хибинской станции за 1984–2009 гг., зимы здесь в большинстве своем характеризуются средней снежностью и умеренными температурами; многоснежные теплые и малоснежные холодные зимы наблюдаются нечасто. Анализ архивных данных показал, что процесс формирования снежной толщи начинается с укладки устойчивого покрова на горных склонах, чаще всего в октябре, и завершается, когда снег сходит, обычно в июне (табл. 1) [15].

Таблица 1

Периоды формирования и таяния стабильного снежного покрова, а также количество снежных дней в зависимости от высоты над уровнем моря в районе Хибин

Станции наблюдений	Средняя характеристика			
	Устойчивый снежный покров		Число дней с устойчивым снежным покровом	Период снеготаяния
	Сроки установления	Сроки схода		
Кировск	20/X	5/VI	221	с 01/V по 05/VI
Центральная	03/X	18/VI	258	с 01/VI по 18/VI

Источник: составлено авторами на основе [15].

Таблица 2

Типизация зим по снежности

Характеристики	Тип зим		
	малоснежная	среднеснежная	многоснежная
Максимальная высота снежного покрова, см	< 80	80–105	> 105
Число зим, %	28	52	20

Источник: составлено авторами на основе [7].

Таблица 3

Типизация зим по температурным условиям

Характеристики	Тип зим		
	Холодная	Умеренная	Теплая
Средняя температура воздуха, °С	Ниже -10,2	От -7,4 до -10,2	Выше -7,4
Число зим, %	17	70	13

Источник: составлено авторами на основе [7].

Периодами устойчивого снегозалежания на территории исследования являются I–V и X–XII месяцы. Средняя высота снега в этот период составляет от 56 до 176 см. Среднее число дней со снегом в год – 265 дней. В зимний период высота снега по месяцам меняется от 10 см (май – октябрь) до 1,5 м в марте.

По данным исследования, приведенным в работе [15], максимальная высота снежного покрова может достигать более 1 м при многоснежных зимах. Доля таких зим на исследуемой территории составляет около 20%. Типизация зим по температуре показывает, что 70% зим являются умеренными с температурами от -7,4 до -10,2 °С. Данные исследований представлены в табл. 2 и 3.

Прямых данных о плотности снежного покрова на участке исследования нет. Для оценки водозапаса в зонах зарождения лавин использовались сведения о плотности снежного покрова по метеостанциям «Кировск» и «Центральная» по данным, которые составляют 0,33 и 0,375 г/см<sup>3</sup> соответственно. Расчеты плотности снежного покрова в зависимости от высоты приведены в табл. 4.

Изучение многолетних наблюдений за высотой снежного покрова, собранных метеостанцией «Кировск», выявило, что:

- с вероятностью 1% высота снежного покрова может достичь 206 см, при 2% вероятности – 190 см;
- количество дней, когда землю покрывал снег, составило 218.

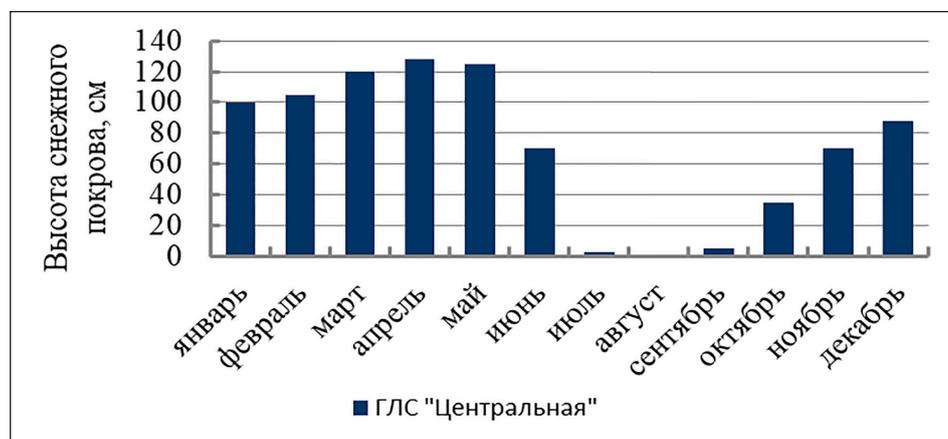


Рис. 2. Среднемесячная высота снежного покрова по данным ГЛС «Центральная»

На рис. 2 представлена среднемесячная высота снежного покрова по данным ГЛС «Центральная».

На рис. 3 представлена кривая обеспеченности максимальной высоты снежного покрова на ГЛС «Центральная» вероятностью 1% – 305 см, вероятностью 2% – 280 см; количество дней со снежным покровом: 269.

Значение водозапаса в снежном покрове для снеголавинных расчетов предлагается определять по формуле

$$W = 10hp, \quad (1)$$

где  $W$  – водозапас в мм;  $h$  – высота снежного покрова в см,  $\rho$  плотность снежного покрова в г/см<sup>3</sup>.

Таблица 4

Расчетные показатели состояния снежного покрова, соответствующие уровням обеспеченности 1 и 2%, с учетом различных высотных отметок

Высота, м	Высота снежного покрова, 1%, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Водозапас 1%, мм	Высота снежного покрова, 2%, см	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Водозапас 2%, мм
400 (МС «Кировск»)	206	0,33	680	190	0,33	627
500	220	0,336	740	203	0,336	687
600	235	0,343	801	216	0,343	748
700	249	0,349	861	229	0,349	808
800	263	0,356	921	241	0,356	869
900	277	0,362	982	254	0,362	929
1000	292	0,368	1042	267	0,368	990
1091 (ГЛС «Центральная»)	305	0,375	1102	280	0,375	1050

Источник: составлено авторами.

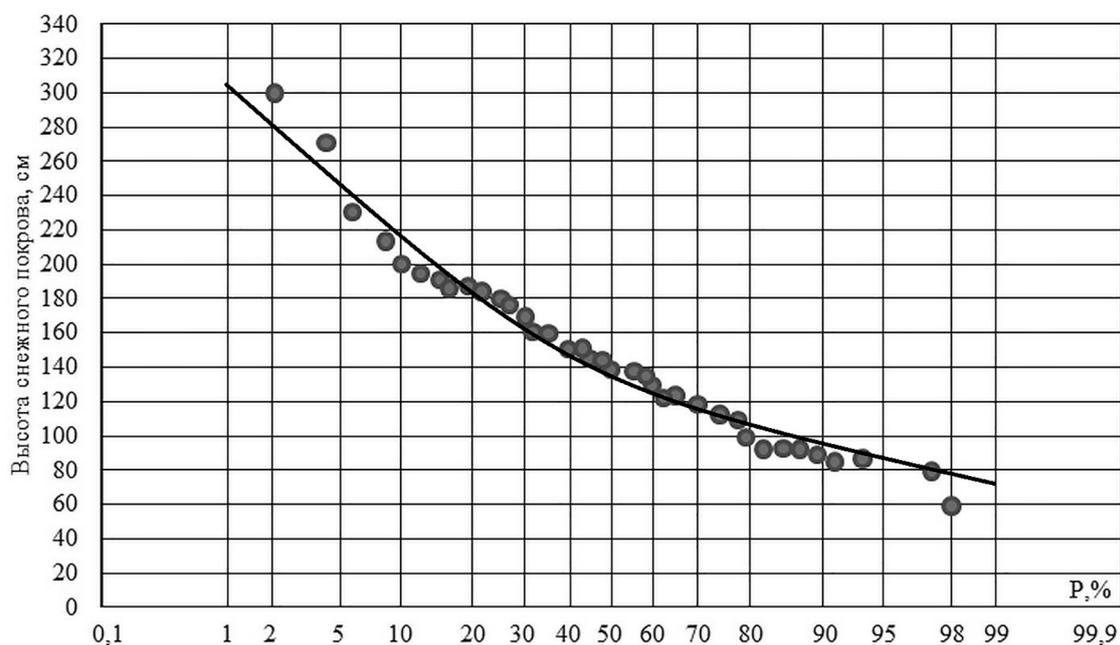


Рис. 3. Кривая обеспеченности максимальной высоты снежного покрова на ГЛС «Центральная»

Для расчета высоты снежного покрова 1% и 2% обеспеченности  $h_{2\%}$  и  $h_{1\%}$  на различных высотах  $H_{отр}$  получены выражения

$$h_{1\%}(H_{отр}) = \frac{305 - 206}{1091 - 400}(H_{отр} - 400) + 206 = 0,143(H_{отр} - 400) + 206, \text{ см}, \quad (2)$$

$$h_{2\%}(H_{отр}) = \frac{280-190}{1091-400}(H_{отр} - 400) + 190 = 0,130(H_{отр} - 400) + 190, \text{ см.} \quad (3)$$

Аналогично получены выражения для расчетов плотности снега  $\rho$  ( $\text{г/см}^3$ ) и водозапаса 1 и 2% обеспеченности  $W_{1\%}$  и  $W_{2\%}$  (мм) на различных высотах  $H_{отр}$ :

$$\rho(H_{отр}) = 0,0000652(H_{отр} - 400) + 0,33, \quad (4)$$

$$W_{1\%}(H_{отр}) = 0,6037(H_{отр} - 400) + 680, \quad (5)$$

$$W_{2\%}(H_{отр}) = 0,6051(H_{отр} - 400) + 627, \quad (6)$$

Формулы (2)–(6) предлагаются для определения высоты снежного покрова, его плотности и водозапаса в ходе инженерных изысканий и разработки проектных концепций на разных высотах.

### Заключение

Анализ высотных показателей снежного покрова на территории Хибин был проведен на основе многолетних данных метеостанций «Центральная» (1090 м над ур. м.) и «Кировск-2» (400 м над ур. м.). Для этого использовались наблюдения, собранные с 1962 по 2015 г. (в течение 53 лет) и с 1981 по 2013 г. (в течение 32 лет), так как это наиболее продолжительные непрерывные периоды наблюдения на метеостанциях, расположенных на территории Мурманской области. Такие ряды наблюдения позволяют получить снеголавинные характеристики 1 и 2% обеспеченности для их учета при проектировании объектов повышенного и нормального уровней ответственности, расположенных в лавиноопасных участках.

Изучение многолетних измерений высоты снежного покрова, полученных метеостанцией «Кировск», выявило:

С вероятностью 1% высота снежного покрова может достигать 206 см, а с вероятностью 2% – 190 см.

Снежный покров сохранялся в течение 218 дней.

По данным прогноза, высота снежного покрова на ГЛС «Центральная» может составить 305 см с вероятностью 1%, а 280 см – с вероятностью 2%.

Количество дней, когда землю покрывал снег, составило 269.

Получены аналитические выражения для расчета высоты снежного покрова 1% и 2% обеспеченности, а также для определения значений плотности снега и водозапаса на различных высотах при инженерных изысканиях и проектных решениях.

### Список литературы

1. Черноус П.А. Опыт предупредительного спуска лавин в Хибинах. Проблемы и перспективы // Метеорология и гидрология. 2022. № 8. С. 14–25. DOI: 10.52002/0130-2906-2022-8-14-25.

2. Викулина М.А. Лавинная опасность и риск в Хибинах в условиях развития рекреации в начале XXI века // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2022. Т. 4, Вып. 3. С. 276–287. DOI: 10.34753/HS.2022.4.3.276.

3. Викулина М.А., Романенко Ф.А., Зимин М.В., Ефимова Л.Е., Покровский Б.Г. Строение и динамика снежно-ледяных образований в Хибинских горах в XXI веке // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2023. Т. 78, № 2. С. 89–102. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.2.8.

4. Гусев Е.М., Насонова О.Н. Расчеты формирования снежного покрова на основе модели взаимодействия поверхности суши с атмосферой SWAP // Лед и снег. 2019. Т. 59, № 2. С. 167–181. DOI: 10.15356/2076-6734-2019-2-401.

5. Сосновский А.В., Осокин Н.И. Высота снежного покрова и ее динамика на материковой части Российской Арктики в условиях современного климата // Лед и снег. 2024. Т. 64, № 2. С. 238–251. DOI: 10.31857/S2076673424020074.

6. Китаев Л.М., Радионов В.Ф., Форланд Э., Разуваев В.Н., Мартуганов Р.А. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова на севере Евразии в условиях современных изменений климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 11. С. 65–72. DOI: 10.15372/KZ20210304.

7. Черноус П.А., Волков А.В. Аналогичность в образовании метелевых лавин в Хибинах // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Т. 1, № 3. С. 381–391. DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.005.

8. Жирова А.М. Вклад геофизических исследований в изучение строения Хибин // Труды Фермановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. № 16. С. 186–190. DOI: 10.31241/FNS.2019.16.038.

9. Галкин А.Ф., Плотников Н.А. Расчет коэффициента теплопроводности снежного покрова // Арктика и Антарктика. 2023. № 3. С. 16–23. DOI: 10.7256/2453-8922.2023.3.43733.

10. Сапунов В.Н., Селиверстов Ю.Г., Трошкина Е.С., Черноус П.А. Температурный режим воздуха в зимние сезоны и его влияние на лавинную активность в Хибинах Кривосферы Земли. 2006. Т. 10, № 4. С. 68–73. URL: [https://earthcryosphere.ru/archive/2006\\_4/10.Sapunov\\_4\\_2006.pdf](https://earthcryosphere.ru/archive/2006_4/10.Sapunov_4_2006.pdf) (дата обращения: 21.01.2025).

11. Аджиев А.Х., Кондратьева Н.В., Юрченко Н.В., Шидугов И.Ж. Многолетняя динамика снежного покрова в Прильбрусье // Наука. Инновации. Технологии. 2023. № 3. С. 47–64. DOI: 10.37493/2308-4758.2023.3.3.

12. Викулина М.А. Оценка лавинного риска в Хибинах // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2019. Т. 25, № 2. С. 66–76. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-66-76.

13. Китаев Л.М. Оценка изменчивости температуры почвы зимнего периода в современных климатических условиях евразийской субарктики // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2021. № 1. С. 13–22. DOI: 10.33581/2521-6740-2021-1-13-22.

14. Викулина М.А., Зимин М.В., Романенко Ф.А. Оценка состояния малого оледенения в Хибинах // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27, № 1. С. 409–417. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-1-27-409-417.

15. Заика Ю.В., Викулина М.А., Черноус П.А. Многолетняя динамика нивальных процессов в Хибинах // Лед и снег. 2012. № 1 (117). С. 69–74. DOI: 10.15356/2076-6734-2012-1-69-74.