Ю. Л. ЗЮЗИН

СУРОВЫЙ ЛИК ХИБИН

ОАО «АПАТИТ»
ЦЕНТР ЛАВИННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
1936

ББК 26.222.8
З–98

Автор – Ю. Л. Зюзин

В книге использованы фотографии из фонда
Центра лавинной безопасности
ОАО «Апатит» и частных архивов

Зюзин Ю. Л.
З–98 Суровый лик Хибин. –
Мурманск: Реклм. Полиграфия, 2006. –236 с.: фот.

ISBN 5-93736-011-7

В книге описаны инженерно-географические и горнотехнические факторы, оказывающие отрицательное влияние на жизнедеятельность в Хибинах.

Учитывая повышенное внимание современного общества к стихийным природным явлениям и экологическим проблемам, данная книга не только актуальна, но имеет также и научно-прикладное значение.

Издание рассчитано на широкий круг специалистов в области климата, лавин, горного дела, экологии, проектирования и строительства, а также туристов и любителей горных видов спорта.

ББК 26.222.8

ISBN 5-93736-011-7

© Зюзин Ю. Л., 2006
© Издательство «Рекламная полиграфия», 2006



К ЧИТАТЕЛЯМ

С Хибинами у меня связаны воспоминания о моей геологической юности, когда я прошагал с приборами и молотком в руках не одну сотню километров по горным тропам и перевалам. Поэтому я хорошо понимаю, насколько значима проблема бережного использования и сохранения наших природных кладовых для будущих поколений. Особенно, когда речь идет о Хибинском горном массиве, который является стратегически важным природным ресурсом не только для Мурманской области, но и для всей России.

Книга Ю. Л. Зюзина «Суровый лик Хибин» содержит в себе богатейший научно-познавательный материал о природно-климатических особенностях уникального Хибинского массива, подробно рассказывает о наиболее эффективных инженерных мерах борьбы с лавинами, направленных на обеспечение безопасных условий для хозяйственной деятельности, труда горняков, а значит, и сохранение главной ценности – жизни человека.

Для меня особенно важен тот факт, что издание книги стало возможным в результате активного сотрудничества ОАО «Апатит», Правительства Мурманской области и Российской партии ЖИЗНИ, которая ставит своей целью выработку и реализацию экологически ориентированного политического курса России. Партия ЖИЗНИ последовательно выступает за превращение государственной стратегии в области экологической безопасности из декларации в реально работающую программу, направленную на достижение высокого качества жизни и увеличение ее продолжительности.

Уверен, что данное издание станет неоценимым источником информации по формированию экологической культуры населения, будет полезным для широкого круга читателей – специалистов, изучающих горные массивы, экологов, студентов и школьников, всех граждан России, заинтересованных в сохранении природы нашей великой страны.

Председатель Совета Федерации,
Председатель Российской партии ЖИЗНИ
С. М. Миронов



Уважаемые читатели!

О Хибинском горном массиве написаны десятки научных монографий и сотни статей. Этот необычный во всех отношениях горный массив того стоит. Казалось бы, все изучено вдоль и поперек, все освоено и вовлечено в хозяйственный оборот. Но в действительности все, как всегда, гораздо сложнее и интереснее.

За почти 80-летний период активного хозяйственного освоения Хибины приобрели особое, социально-экономическое звучание, объединив под этим географическим понятием историю, географию, геологию, горное дело, экономику, медицину и многое другое. Все это нужно было непременно учитывать и преломлять применительно к несметным богатствам уникального щелочного массива и к тем экстремальным условиям, в которых разворачивалась вся Хибинская эпопея.

К счастью, нашлись энтузиасты, специалисты «от бога», профессионалы самой высокой пробы да и просто подвижники, которые упорно, шаг за шагом раскрывали секреты этого «края непуганых птиц», познавали природу необычных явлений экстремального плана, учились сами и учили других быть готовыми к любым неожиданностям.

Книга Юрия Леонидовича Зюзина «Суровый лик Хибин» – яркое подтверждение сказанному выше. Стоит прочитать одно лишь ее оглавление, чтобы представить в совокупности как этот самый лик формируется. А ведь дальше по каждой позиции, каждому разделу идет подробное описание того, что автору знакомо не понаслышке. Все изложенное – это свое, лично осмысленное, изученное, пережитое, обобщенное. Вот в этом и видится мне особая ценность этой книги, которая, вне всякого сомнения, представляет собой очень весомый и солидный вклад в громадную энциклопедию под названием «Хибинская эпопея».

Искренне рад за всех, кто возьмет эту книгу в руки и найдет в ней информацию интересную, полезную и эксклюзивную…

Губернатор Мурманской области
Юрий Евдокимов,
г. Мурманск, июль 2006 г.



Уважаемые читатели!

ОАО «Апатит» осуществляет разработку месторождений апатито-нефелиновых руд Хибинского горного массива. Также Хибины являются одним из наиболее привлекательных туристических районов Мурманской области. Количество российских и иностранных туристов, посещающих этот горный массив, увеличивается каждый год, кроме того, Хибины давно стали традиционным местом отдыха и для жителей области.

В течение семидесяти лет Центр лавинной безопасности ОАО «Апатит» ведет территориальный экологический мониторинг за изменчивым характером Хибин. Специалистами Центра накоплен уникальный материал изучения климатических условий района. Итогом исследований стала книга начальника Центра лавинной безопасности Юрия Зюзина, которую вы держите сейчас в руках.

Безусловно, данная книга будет интересна специалистам-экологам, учащимся и студентам, местным жителям и туристам, планирующим посетить нашу область, всем любителям природы. В книге освещаются такие вопросы, как правила поведения в горах, особенности природопользования, погоды, климата и рельефа Хибин, характеристика снежных лавин и снежного покрова, методы спасения при сходе лавин.

Хибины – идеальное место для развития спортивного, экстремального и приключенческого, экологического и научно-экспедиционного туризма. Уверен, что эта книга восполнит существующий недостаток информации о правилах безопасного туризма в Хибинах и будет полезна всем, кто планирует посетить наш замечательный заполярный край.

Директор Кировского филиала ЗАО «ФосАгро АГ» –
генеральный директор ОАО «Апатит»
А. В. Григорьев

Автор выражает благодарность
ОАО «Апатит»,
Правительству Мурманской области
и Российской партии жизни,
в тесном сотрудничестве с которыми стало
возможным издание этой книги

Предисловие

Стихийные процессы стоят на пути человека, использующего природу в своих целях. Экономическое развитие может как увеличить, так и уменьшить их катастрофический потенциал. Человек все больше вмешивается в природные процессы и по причине изменчивости и неопределенности последствий этих изменений подвергает себя новой опасности. В ходе интенсивной хозяйственной деятельности стали стремительно нарастать острые социальные и экологические проблемы, обусловленные практикой остаточного финансирования природоохранных и оздоровительных программ, недостаточной научной проработкой вопросов, связанных с охраной труда и здоровья жителей Заполярья. С каждым годом растет число жертв от неблагоприятных и опасных природно-техногенных процессов. Не случайно «героем нашего времени» стал спасатель.

Хозяйственная деятельность нарушает и изменяет естественную динамику природных процессов. При этом саморегуляция природной среды нарушается либо ослабевает. Настало время, когда человек должен взять на себя роль регулятора природных процессов. Точный прогноз природных и техногенных процессов позволит устранить или уменьшить их опасность. Ущерб, вызываемый неблагоприятными природными процессами, стимулирует научные исследования теории принятия решений, определяющих минимизацию вредных для человека последствий.

Проживание и хозяйственная деятельность человека в суровых и опасных условиях определяются следующими причинами:

1. Особо благоприятными экономическими возможностями.
2. Отсутствием иного выхода.
3. Коротким сроком пребывания.

Закончилось время романтиков, когда миллионы молодых людей ехали на Крайний Север «за туманом и за запахом тайги». Конечно, Хибины будут привлекать внимание любителей горнолыжного спорта и туристов, но работать и жить здесь постоянно мало кто согласится в будущем, если не будут созданы экономические стимулы, адекватные условиям жизни и труда.

Хорошо известно, что в Заполярье для достижения равных хозяйственных результатов требуется приложить в 2–3 раза больше усилий, чем в средней полосе или южных районах страны. Жизнь на Крайнем Севере действительно дорого обходится человеку. Здесь очень сложно создать нормальные условия для труда и жизни. Еще труднее это сделать в условиях горной местности. Как точно отметил в своих стихах В. Высоцкий:

Вам здесь не равнина, здесь климат иной –
Идут лавины одна за одной,
И здесь за камнепадом ревет камнепад…

Если сравнить климатические условия проживания в г. Апатиты и в г. Кировске, который расположен в предгорьях Хибин всего в 20 км от Апатитов, то на равнине условия жизни гораздо более комфортны. В Кировске не только пониженное давление воздуха, но и значительно больше выпадает дождя и снега, сильнее и продолжительнее метели, более ветрено, а летом холоднее. Не случайно рыночная стоимость жилья в Апатитах гораздо выше, чем в Кировске. Что уж тут говорить об условиях работы на Центральном руднике, который находится на плато Расвумчорр. Лучше Юрия Визбора об этом не скажешь:

На плато Расвумчорр не приходит весна,
На плато Расвумчорр все снега да снега,
Все зима да зима, да ветров кутерьма…

Освоение уникальных минеральных богатств Хибин требует сильных, здоровых молодых людей. С возрастом резерв здоровья иссякает. Особенно это касается работников тяжелых и вредных профессий.

Всем известно, что жители Хибин не отличаются кавказским долголетием. Не случайно государство установило для них систему льгот и компенсаций, принята государственная программа по переселению жителей Крайнего Севера в более благоприятные климатические условия. К сожалению, далеко не каждый ветеран успевает воспользоваться этим правом.

В своей работе я попытался обобщить огромный материал, собранный трудом нескольких поколений хибинских метеорологов, климатологов и профессиональных лавинщиков. Всем им я искренне признателен. В работе использованы описания снежных лавин и фотографии, сделанные инженерно-техническими работниками Центра лавинной безопасности И. Г. Поповым, Б. Б. Вахмистровым, Н. А. Харченко, В. И. Корчевским и П. А. Черноусом.

Особую благодарность я выражаю коллегам по работе О. Ю. Тяпкиной и Т. А. Муравьевой за их неоценимую помощь в обработке полевых материалов, оформлении и подготовке рукописи к печати. Отдельные слова благодарности хочу выразить моему товарищу по работе Н. В. Морозу. Благодаря его помощи у меня появилось время завершить эту рукопись.

Автор выражает особую признательность основателю Мурманской поисково-спасательной службы А. А. Островскому за предоставленную информацию по несчастным случаям, произошедшим в Хибинах с туристами, и ценные советы. Я также благодарен сотрудникам историко-краеведческого музея г. Кировска: Н. Н. Зотовой, В. С. Худобиной, Е. Д. Никулиной и заведующей музеем ОАО «Апатит» Т. Г. Барановой за возможность поработать с архивными материалами и любезно предоставленные к печати фотографии.

Я искренне признателен за спонсорскую помощь руководству ОАО «Апатит» и лично А. Г. Макаревичу за его полезные замечания по содержанию книги и хлопоты по ее изданию. Трудно упомянуть всех, кто оказал мне помощь. Без их внимания и поддержки вряд ли бы моя рукопись была подготовлена к печати.

I. КЛИМАТ ХИБИН

Глава 1. Исследование климата в Хибинах

Первые систематические метеорологические наблюдения в предгорьях Хибин были начаты 1 июня 1900 года на метеостанции «Хибины», первоначально расположенной в районе железнодорожной станции Имандра. В 1923 году по инициативе И. Г. Эйхвельда вблизи железнодорожной станции Хибины были заложены первые участки Полярной опытной станции Всесоюзного института растениеводства (ПОСВИР), и метеостанция была переведена на их территорию.

Для изучения климата в горах 1 июня 1929 года на высоте 761 метр над уровнем моря была открыта метеостанция «Хибины, горная».

Открытие залежей апатита в Хибинском горном массиве и постройка в южной его части г. Кировска и ряда промышленных предприятий сопровождались созданием нескольких метеорологических станций.

Первая метеорологическая станция – «Апатитовая гора» была открыта 11 января 1930 года в поселке Кукисвумчорр. Место для метеорологической площадки выбрал известный советский метеоролог профессор В. Н. Кедроливанский. Первые годы на станции производились только стандартные метеорологические наблюдения, необходимые для изучения климатических характеристик района промышленного освоения Хибин.

В 1933 году в районе 20 км г. Кировска была организована станция «Кировск». После лавинной катастрофы 5 декабря 1935 года на вершине горы Юкспор 1 марта 1936 года была открыта первая горная метеорологическая станция «Юкспор». Несмотря на малочисленную сеть метеорологических станций и короткие ряды наблюдений, уже к концу 30-х годов XX века И. К. Зеленым и А. П. Павловым [44, 74, 75] были опубликованы первые работы по описанию климата Хибин. Однако данных метеорологических наблюдений было явно недостаточно, чтобы дать полную климатическую характеристику района, и, как справедливо отметил по этому поводу в 1940 году проф. И. К. Тихомиров: «В настоящее время метеорологические станции имеются лишь в юго-западной части Хибинского массива – в районе г. Кировска, и в зачаточном состоянии. Наиболее же старая метеорологическая станция Хибинского массива – «Апатитовая гора» – вела наблюдения на протяжении лишь 8 лет, что совершенно недостаточно даже для общего освещения сложного и весьма изменчивого режима климата этого района» [91].

Первый подробный очерк о климате Хибин мы находим в монографии кандидата географических наук Б. А. Яковлева «Климат Мурманской области» [105]. Чуть позднее профессор Ленинградского университета А. А. Борисов в книге «Климаты СССР» также

дает описание климата Хибин. Однако в своей работе он допустил ряд досадных ошибок. В частности, по его данным, средняя годовая температура воздуха на вершинах Хибин достигает –14 ^{0}C [21]. Если бы это было так, то высота Хибинских гор должна была быть около 3 километров.

Следует отметить, что наиболее весомый вклад в изучение климата Хибин внес ведущий специалист Цеха противолавинной защиты комбината «Апатит» Б. М. Беленький [11,12,13, 14]. Его исследования климата горных карьеров комбината «Апатит», метелей, гололедо-изморозевых явлений, других опасных гидрометеорологических явлений имели важное практическое значение. Большим шагом в систематизации знаний о природе Кольского полуострова было создание географами Ленинградского университета и специалистами других организаций в 1971 году «Атласа Мурманской области», в котором содержатся карты 18 климатических показателей.



Рис.1.1. Борис Михайлович Беленький

Глава 2. Место и время производства метеорологических наблюдений в Хибинах

1. Метеостанция «Хибины» вначале располагалась при телеграфе железнодорожной станции Имандра, а затем была перенесена на 22 км южнее в Хибины. Метеорологическая площадка располагалась среди опытных сельскохозяйственных участков на восточном берегу оз. Имандра в 3 км к юго-западу от Хибинского массива. Наблюдения стали проводить с 1 июня 1900 года. В годы Первой мировой войны и интервенции наблюдения на станции неоднократно прерывались. Координаты станции: 67^{0}43’ с. ш., 33^{0}15’ в. д., высота над уровнем моря – 135 м.

2. Метеостанция «Хибины, горная» была расположена на западном, внешнем склоне горы Тахтарвумчорр, обращенном к оз. Имандра, в 6 км к востоку от метеорологической станции «Хибины». Площадка станции находилась среди обширного плато, совершенно лишенного какой-либо растительности, если не считать нескольких небольших пятен мхов. Наблюдения проводились с 1.06. 1929 года по 31.12 1937 года. Координаты станции: 67^0 40’ с. ш., 33^0 22’ в. д., высота над уровнем моря – 761 м.

3. Метеостанция «Апатитовая гора» начала вести наблюдения 11.01. 1930 года. Станция располагалась в поселке Кукисвумчорр в 200 метрах к востоку от конечной остановки автобуса № 1. Координаты станции: 67^{0}41’ с. ш., 33^{0}43’ в. д., высота над уровнем моря – 360 м. Станция закрыта 10.04.1963 года.

4. Метеостанция «Апатиты» расположена в Тик-Губе. Наблюдения начаты в 1932 году. Координаты станции: 67^0 33’ с.ш., 33^0 20’ в. д., высота над уровнем

моря – 136 м. На микроклимат данного района сильное влияние оказывает близость оз. Имандра.

5. Метеостанция «Кировск-1» организована 15.03.1933 года в составе снегозащитной станции Кировской железной дороги. Координаты станции: 67°37' с. ш., 33°41' в. д., высота над уровнем моря – 349 м. Станция закрыта 1.09.1953 года.

6. Горно-лавинная станция «Юкспор» организована 1.03.1936 года трестом «Апатит» на плато Юкспор. Координаты станции: 67°41' с. ш., 33°45' в. д., высота над уровнем моря – 902 м. В 1962 году станция переехала в новый дом на 300 метров севернее. Координаты: 67°42' с. ш., 33°45' в. д., высота – 910 м над уровнем моря. Станция была закрыта в 1980 году в связи с приближением зоны горных работ и опасностью обрушения.

7. Горно-лавинная станция «Расвумчорр». Станция организована в составе геологоразведочной партии комбината «Апатит» в 1950 году. Станция располагалась на плато Расвумчорр на высоте 1052 метра над уровнем моря. Координаты: 67° 37' с. ш., 33° 51' в. д. Наблюдения проводились с 1 ноября 1950 года по 31 мая 1955 года. Начальником станции был Г. Т. Рогов.

8. Горно-лавинная станция «Расвумчорр-цирк». Станция организована в составе Снежно-метеорологической службы комбината «Апатит» в 1957 году. Станция располагалась в Апатитовом цирке на высоте 740 метров над уровнем моря. Координаты станции: 67° 38' с. ш., 33° 51' в. д. 22 марта 1960 года станция перенесена с 740-го горизонта на 600-й горизонт в район штольни. Наблюдения проводились с 1 февраля 1957 года по 31 мая 1962 года. Ввиду малого штата сотрудников программа наблюдений была сокращенной. Начальником станции весь период работы был В. Д. Пантелеев.

9. Горно-лавинная станция «Центральная» расположена на плато Ловчорр. Станция организована в 1962 году в связи с проектированием и строительством Центрального рудника. С 1962 по 1964 год располагалась в доме геологов. Координаты станции: 67°38' с. ш., 33°53' в. д., высота над уровнем моря – 1050 м. В 1964 году станция переехала в новое здание. Координаты станции: 67°36' с. ш., 33°52' в. д., высота над уровнем моря – 1091 м. Первым начальником станции был В. И. Чадаев.

10. Горно-лавинная станция «Коашва». Наблюдения были начаты снеголавинной группой Хибинской геологоразведочной партии с 1.09. 1969 года. Первым руководителем был Г. Т. Рогов. Метеоплощадка располагалась в поселке Геологов. Координаты: 67°39' с. ш., 34° 02' в. д., высота над уровнем моря – 310 м. В настоящее время на ее месте располагается северный борт Коашвинского карьера. Станция проводила наблюдения вплоть до 1.12.1973 года. С 1.03.1978 года, в связи с началом подготовительных работ на Коашвинском месторождении, наблюдения были вновь возобновлены Цехом противолавинной защиты. В связи с расширением горных работ метеоплощадка неоднократно меняла свое местоположение в границах существующего Коашвинского карьера и проработала там вплоть до 1.01.1990 года.

11. Горно-лавинная станция «УДО-1» была расположена в долине реки Кукисйок у дороги на Куэльпор вблизи озера М. Вудъявр. Координаты: 67° 41' с. ш., 33° 39' в. д., высота над уровнем моря – 378 м. Станция организована в составе горно-лавинного участка «Новый рудник» в 1970 году и продолжала вести наблюдения до конца 1990 года. В течение этого срока по разным причинам наблюдения 3 раза прекращались: с 1.09 1972 г. по 1.10. 1973 г., с 1.06.1978 г. по 1.10. 1978 г. и с 1.03.1989 г. по 1.01. 1990 г.

12. Горно-лавинная станция «УДО-2» была организована в составе горно-лавинного участка «Новый рудник». Станция располагалась рядом с истоком р. Куньйок у Круглого озера. Координаты: 67^0 44’ с. ш., 33^0 36’ в. д., высота над уровнем моря – 455 м. Метеорологические наблюдения начаты 1.02. 1970 года и продолжались до 1.09. 1972 года. В октябре 1973 года станция была перенесена в бывший поселок Геологов, ныне база ПСС МЧС. Координаты: 67^0 48’ с. ш. 33^0 36’ в. д., высота над уровнем моря – 275 м. Наблюдения продолжались с перерывами до 1.04. 1982 года. Наблюдения часто прерывались в летние месяцы из-за недостатка в штате метеонаблюдателей.

13. Метеостанция «Кировск-2» организована в 1981 году на северной окраине городского парка. Адрес станции: ул. 50 лет Октября, д. 33а. Координаты: $67^0$37’ с. ш., $33^0$42’ в. д., высота над уровнем моря – 400 м.

14. Горно-лавинная станция «Восточная» расположена рядом с АБК Восточного рудника. Наблюдения были начаты 1.01.1990 года. Координаты: 67^0 38’ с. ш., 34^0 10’в. д., высота над уровнем моря – 210 м.

Глава 3. Основные особенности рельефа Хибин

Хибины представляют собой небольшой среднегорный массив 30×45 км в поперечнике. Они расположены за Полярным кругом, близ северной границы редколесной тайги. До высоты 350–450 м над уровнем моря горы покрыты смешанным лесом, выше идет узкая полоса криволесья, а верхние части склонов заняты горной тундрой. На вершинах плато (900–1200 м над уровнем моря) господствуют ландшафты щебнистых тундр и полярной пустыни. Самая высокая гора – Юдычвумчорр – имеет отметку 1200,6 м. В геологическом отношении Хибины представляют собой крупную интрузию щелочных пород (нефелиновых сиенитов) последевонского периода. Кольцевой структурный план интрузии предопределил радиально-концентрический рисунок речной сети. Долины обычно широкие. Борта долин прямые, не осложнены уступами. Средняя крутизна бортов около 30^0. Для склонов гор характерна сеть временных водосборных бассейнов с воронками в верхних частях склонов и конусами выноса на дне долин. Зимой воронки временных водотоков служат, как правило, снегосборными воронками для образования снежных лавин. Днища долин плоские, местами перегорожены моренными грядами. Верховья речных долин заканчиваются обычно цирком или системой цирков и каров. Часть мелких долин боковых притоков превращена ледником в многокамерные цирки. Высота задних стенок цирков достигает 300–400 м. Цирки обычно асимметричны, с наиболее крутыми и глубоко врезающимися в горный массив бортами северной экспозиции. У основания скалистых стен, как правило, в течение весенне-летнего периода лежат снежники.

Вершины горных массивов лежат на высоте 900–200 м над уровнем моря и образуют общий уровень плоского купола. Они заняты крупнообломочными или щебнистыми россыпями с участками каменных многоугольников и полос.

Хибины возвышаются над окружающей равниной на 700–900 м, что приводит к обострению атмосферных процессов на территории гор. Наличие плоских вершинных поверхностей благоприятствует развитию метелевого переноса снега и формированию лавин на подветренных склонах гор.



Рис.1.2. Географическая карта Хибин с местоположением метеорологических станций

Глава 4. Погода и климат Хибин

Климат Хибинских гор, расположенных между 67–68^0 с. ш., определяется главным образом их полярным положением, рельефом, влиянием Баренцева и Белого морей, а также особенностями макрометеорологических процессов, характерных для данного района. В горах совмещаются черты регионального и местного климата. Нижняя часть внешних склонов испытывает термическое влияние окружающих равнин. С увеличением высоты увеличивается влияние верхних слоев атмосферы, за счет чего снижается температура, возрастает относительная влажность, уменьшаются амплитуды колебаний этих элементов. Более высокие участки внешних склонов и все склоны внутренних долин имеют значительные различия метеорологического режима, отражающие их относительную высоту и ориентацию относительно солнца и господствующих потоков воздуха. В малооблачные периоды возрастает разница в приходе солнечной радиации на склоны различной высоты и экспозиции. С высотой возрастают количество и интенсивность осадков, скорость ветра, интенсивность метелевого переноса снега, туманов, от-



Рис. 1.3. Панорама Центрального рудника в начале лета

ложений гололеда и изморози, т. е. явлений, определяющих условия жизнедеятельности человека. Недаром плато Расвумчорр, где расположен рудник Центральный, называют второй Антарктидой. Снежные лавины являются характерной чертой сурового климата Хибин и генетически связаны с погодными условиями.

Глава 5. Циркуляция атмосферы над Кольским полуостровом

Одним из основных условий формирования климата Кольского полуострова является атмосферная циркуляция. По классификации Г. Я. Вангейгейма погоду Кольского полуострова определяют три основных типа атмосферной циркуляции: западный (W), восточный (E) и меридиональный (C).

При западном типе (W) атмосферной циркуляции циклоническая деятельность развивается в средних широтах, определяя при этом западный перенос атлантического воздуха в средние и высокие широты. В связи с этим летом и осенью на Кольском полуострове преобладает преимущественно прохладная неустойчивая погода. Зимой и весной западный тип атмосферной циркуляции формирует положительную аномалию температуры.

При восточном типе (E) атмосферной циркуляции в Западную Сибирь и восточные районы Европейской части России занимает область повышенного давления, а над Северной Атлантикой углубляется исландский циклон. Такая синоптическая ситуация определяет мощный поток очень теплого воздуха из средних и южных широт Атлантического океана, направленный на северо-восток. Преобладание восточного типа циркуляции вызывает на Кольском полуострове значительное повышение температуры во все сезоны года.

При меридиональном типе атмосферной циркуляции (С) исландский циклон ослабевает или совсем заполняется. Атмосферное давление в Арктике повышается, а над Европейской частью России и над Западной Сибирью атмосферное давление значительно понижается. Над Кольским полуостровом устанавливается северный, северо-восточный, а иногда восточный перенос холодных арктических масс воздуха. Поэтому при меридиональном типе атмосферной циркуляции летом и осенью на Кольском полуострове преобладает прохладная, а зимой и весной очень холодная погода.

Анализируя годовую повторяемость основных типов атмосферной циркуляции W, E и C, А. А. Гирс установил, что в ряде смежных лет любой из этих типов или два из них имеют повышенную повторяемость относительно средней годовой их нормы. Такие периоды, продолжительностью около 10 лет, в которых удерживается высокая годовая повторяемость одного или двух типов циркуляции, формируют соответствующие аномалии многолетнего метеорологического режима [27].

Циркуляция воздуха в системе циклонов и антициклонов является составной частью общей циркуляции атмосферы. Наибольшее значение в этом циркуляционном звене имеет циклоническая деятельность.

Зимой траектории движения циклонов обычно проходят над Норвежским и Баренцевым морями. По мере движения циклона на восток теплый влажный воздух Атлантики сменяется на сухой холодный воздух Арктики в его тылу. Кроме того, холодный воздух может поступать из Сибири по южной периферии антициклонов.

Летом интенсивность циклонической деятельности над Северной Атлантикой снижается. Траектория циклонов отклоняется к югу от Кольского полуострова. Соответственно увеличивается число ситуаций, при которых на Кольский полуостров поступают сравнительно теплые и сухие массы континентального воздуха. Холодную погоду приносят частые вторжения воздушных масс из Арктики.

В переходные сезоны атмосферная циркуляция над полуостровом менее устойчива. Осенью преобладают относительно теплые воздушные массы Атлантики, а весной – арктический воздух.

Экстремальные погодные условия в Хибинах отмечаются при определенных нарушениях в системе атмосферной циркуляции. Холодные зимы связаны с отклонением к югу траекторий движения циклонов, что приводит к длительному затоку холодных воздушных масс Арктики. Аномально теплая погода зимой определяется отклонением путей движения циклонов к северу от Кольского полуострова.

Особенно теплая летняя погода бывает при усилении выноса воздушных масс с континента, а холодная – при устойчивых ветрах с севера. Холодная погода летом определяется атлантическими циклонами, проходящими южнее полуострова. Они препятствуют проникновению сюда теплых континентальных воздушных масс.

Глава 6. Климатическая характеристика сезонов

Зимний сезон в Хибинах ограничивается датами перехода средней суточной температуры воздуха через 0^0C. Зимний сезон в предгорьях начинается в среднем 8 октября и продолжается до 2 мая. Длительность зимы увеличивается с поднятием на 100 метров на 8 дней и на плато Расвумчорр достигает 260 дней.

В течение почти всей зимы случаются оттепели, но морозы ниже –20^0 редки. Средняя суточная температура воздуха обычно колеблется в диапазоне от –5 до –15^0. В среднем в каждый второй-третий день наблюдаются метели. Число дней с туманами от 17 до 23 в месяц. В начале зимы довольно часто осадки превышают 10 мм/сутки, а скорость ветра в отдельные сроки превышает 25 м/сек. В связи с постоянно высокой влажностью воздуха в верхних частях склонов часты гололедно-изморозевые явления. Вес нарастающего льда на проводах на плато Расвумчорр достигает 9 кг/м, диаметр отложений зернистой изморози на столбах линии электропередачи порой превышает метр.

Лето в Хибинах продолжается около трех месяцев: июнь, июль и август. Температура воздуха в это время в предгорьях колеблется в пределах +5 +20^0 и характеризуется относительно большими суточными амплитудами. На плато даже в летние месяцы возможно снижение температуры до отрицательных значений с выпадением снега. Очень часто отмечаются моросящие дожди, но 5–10 раз за сезон отмечаются грозы, когда выпадает более 10 мм осадков. Зато при устойчивой антициклональной погоде температура воздуха прогревается до +20^0 и выше на плато Расвумчорр и +30^0 в предгорьях. С такими ситуациями связаны эпизодические засухи, вызывающие повышенную опасность лесных пожаров.

Переходные сезоны в долинах выражены лучше, чем на плато, где осенью выпадает снег раньше, а весной дольше не тает. Весна в долинах прохладнее осени, так как весной значительны тепловые затраты на таяние снега, испарение талой воды и прогрев грунта. Апрель и май имеют в среднем отрицательную, сентябрь-октябрь – положительную температуру воздуха. Осень значительно обильнее осадками и пасмурными днями.

Весьма важной чертой климата Хибин во все сезоны является переменчивость погоды. Она редко остается однообразной более 3–5 дней, а иногда неоднократно меняется в течение суток. Эту черту климата следует иметь в виду во время походов, как зимой, так и летом. В Хибинах нужно быть крайне осторожным, чтобы не попасть в беду.

Вот скупые строки акта о причинах несчастного случая, который произошел с группой школьников г. Воронежа в районе перевала Ферсмана 3 июля 1987 года. «Группа запланировала прохождение одного из самых сложных перевалов Хибин, не получив консультаций о погоде и обстановке в горах. Руководитель принял решение подниматься на перевал в условиях плохой видимости, в дождь. Перевал не был сразу найден, и группа затратила много сил на его поиски. Поднимавшейся на перевал под дождем и насквозь промокшей группе пришлось спускаться при резком ухудшении погоды: усилении ветра в порывах до 18 м/с, понижении температуры воздуха до отрицательных значений и снегопаде. После спуска с седловины перевала руководитель скомандовал: «Всем вниз бегом». Через полчаса школьники растянулись так, что начали терять друг друга из виду. Только 5 человек добежали до леса и развели костер. Несчастный случай произошел по вине руководителя группы А. В. Елисеенко, допустившего выход группы школьников на перевал при отсутствии видимости в горах и не организовавшего порядок движения на спуске. В результате таких безграмотных и безответственных действий руководителя в середине лета замерзли в Хибинских горах четыре шестнадцатилетних школьника».

Глава 7. Заполярное солнце

§ 1. Солнечная освещенность

Солнце не только источник энергии, поддерживающий жизнь на Земле, но и источник света, определяющий жизнедеятельность строительных, энергетических, промышленных, транспортных и других организаций. Административный центр Хибин – Кировск (67^0 37' с. ш., 33^0 41' в. д.) расположен за Полярным кругом.

Как известно, в Заполярье условия освещенности существенно отличаются от районов, расположенных южнее. Высота солнца над горизонтом, соответствующая широте места, достигает летом 45^0 07' на севере и 46^0 17' на юге Хибин. Зимой солнце находится ниже линии горизонта с 10 декабря по 3 января. Однако даже при самом низком положении солнца 22 декабря фактически полярной ночи в Кировске нет, т. к. светлое время в эту дату составляет при ясной погоде 6 часов. При сплошной плотной облачности светлое время сокращается до 3 часов и менее. В это время освещенность достаточна для производства работ на открытом воздухе и составляет около 0,5 люкс. Этот период суток носит название «гражданских сумерек». Такой режим освещенности отрицательно сказывается на общем и психическом состоянии здоровья человека. Недостаток ультрафиолета в зимние месяцы приводит к развитию патологических явлений, получивших название солнечного голодания.

В частности, это заболевание проявляется в резком снижении или полном прекращении выработки в организме некоторых наиболее важных провитаминов, что влияет на производительность труда, а при работе с машинами и механизмами ведет к созданию потенциальной опасности аварий [36].



Рис. 1.4. Ул. Солнечная. Полдень в день зимнего солнцестояния. 22.12.2005 г.

В летнее время солнце в Кировске не заходит за горизонт с 31 мая по 13 июля, и день в это время длится круглые сутки. За восход солнца принимается момент видимого восхода его верхнего края для наблюдателя, находящегося на уровне моря.



Рис .1.5. Оз. Верхнее. Полночь в день летнего солнцестояния. 22.06. 2005 г.

Таблица 1.1

Восход и заход солнца, начало и конец сумерек, продолжительность дня и продолжительность светлого времени в г. Кировске [90]

Дата	Начало сумерек	Восход солнца	Заход солнца	Конец сумерек	Длительность дня	Длительность светлого времени
10.01	9.38	11.33	14.15	16.18	2.42	6.47
20.01	9.09	10.49	15.06	16.46	4.17	7.37
30.01	8.43	10.09	15.51	17.15	5.42	8.32
10.02	8.09	9.24	16.38	17.53	7.14	9.44
20.02	7.34	8.43	17.18	18.27	8.35	10.53
28.02	7.04	8.11	17.49	18.55	9.38	11.51
10.03	6.24	7.30	18.25	19.31	10.55	13.07
20.03	5.43	6.49	19.00	20.08	12.11	14.25
30.03	4.58	6.08	19.36	20.45	13.28	15.47
10.04	4.04	5.21	20.16	21.32	14.55	17.28
20.04	3.09	4.39	20.56	22.34	16.17	19.25
30.04	1.46	3.56	21.34	23.36	17.38	21.50
10.05	СВН	3.09	22.19	СВН	19.10	24.00
20.05	СВН	2.18	23.12	СВН	20.54	24.00
30.05	СВН	1.34	24.00	СВН	22.27	24.00
10.06	СВН	НГ	НГ	-	24.00	-
20.06	СВН	НГ	НГ	-	24.00	-
30.06	СВН	НГ	НГ	-	24.00	-

10.07	СВН	НГ	НГ	-	24.00	-
20.07	СВН	1.58	23.36	СВН	21.38	24.00
30.07	СВН	2.56	22.45	СВН	19.49	24.00
10.08	1.31	3.46	21.52	24.11	18.06	22.40
20.08	2.49	4.26	21.09	22.48	16.43	19.59
30.08	3.43	5.04	20.26	21.46	15.22	18.03
10.09	4.33	5.43	19.41	20.52	13.58	16.19
20.09	5.12	6.18	18.59	20.05	12.41	14.53
30.09	5.48	6.52	18.18	19.24	11.26	13.36
10.10	6.22	7.27	17.37	18.43	10.10	12.21
20.10	6.56	8.04	16.56	18.05	8.52	11.09
30.10	7.30	8.42	16.15	17.28	7.33	9.58
10.11	8.05	9.28	15.31	16.53	6.03	8.48
20.11	8.36	10.12	14.54	16.24	4.42	7.48
30.11	9.06	10.59	14.08	16.03	3.09	6.57
10.12	9.29	ПГ	ПГ	15.50	-	6.21
20.12	9.40	ПГ	ПГ	15.48	-	6.08
30.12	9.41	ПГ	ПГ	15.56	-	6.15

Примечание: НГ – солнце остается над горизонтом, ПГ – солнце остается под горизонтом, СВН – сумерки всю ночь

При увеличении высоты места время восхода солнца будет несколько раньше, а захода позже. В моменты восхода и захода солнца освещенность земной поверхности составляет примерно 450 – 550 люкс при малооблачной погоде и около 75 люкс при сплошной облачности.

Кратковременное уменьшение освещенности земной поверхности происходит и при солнечных затмениях. Солнечные затмения бывают полными, кольцеобразными и частными. Луна в 400 раз меньше Солнца и как раз в 400 раз расположена ближе к Земле, чем к Солнцу, поэтому на небе Солнце и Луна кажутся дисками одинаковых размеров.



Рис. 1.6. Частное солнечное затмение в Хибинах. 14.14 29.03.2006 г.

Так, при полном солнечном затмении Луна целиком заслоняет яркую поверхность Солнца, оставляя при этом видимой всю солнечную атмосферу. Проходя между Солнцем и Землей, маленькая Луна не может полностью затемнить Землю. Короткая лунная тень притемняет на Земле лишь небольшой кружок. Только здесь можно наблюдать полное затмение Солнца. Но Луна движется по орбите, и Земля вращается под тенью. Поэтому тень как бы прочерчивает на Земле полосу полного затмения шириной около 100 км. Если мы окажемся вблизи полосы полного затмения, для нас только часть Солнца заслоняется Луной, и будет наблюдаться частное затмение. Если в день затмения Луна, перемещаясь по вытянутой орбите, будет находиться на значительном удалении от Земли, то видимый диск ее окажется мал и не сможет полностью

закрыть Солнце. Поэтому в середине затмения края Солнца будут выглядывать из-за Луны. Это кольцеобразное солнечное затмение.

В настоящее время солнечные затмения с большой точностью вычислены на тысячу лет назад и сотни лет вперед. Затмения, рассчитанные для далекого прошлого, позволяют историкам совершенно точно датировать события, произошедшие в день и год затмения.

§ 2. Продолжительность солнечного сияния

Время в течение суток, месяца, года, когда солнце в данной местности находится над горизонтом и не скрыто за облаками, туманом и мглой, определяет продолжительность солнечного сияния. Продолжительность солнечного сияния определяется по следу солнечного луча на ленте гелиографа.

В горных долинах продолжительность солнечного сияния прямо зависит от закрытости горизонта горами. В Хибинах есть места, полностью закрытые для прямых солнечных лучей.

Продолжительность солнечного сияния на плато Юкспор и плато Ловчорр практически одинакова, в то время как в долине Кукисйок, где располагалась метеорологическая станция «УДО-1», значительно меньше из-за закрытости горизонта горами.

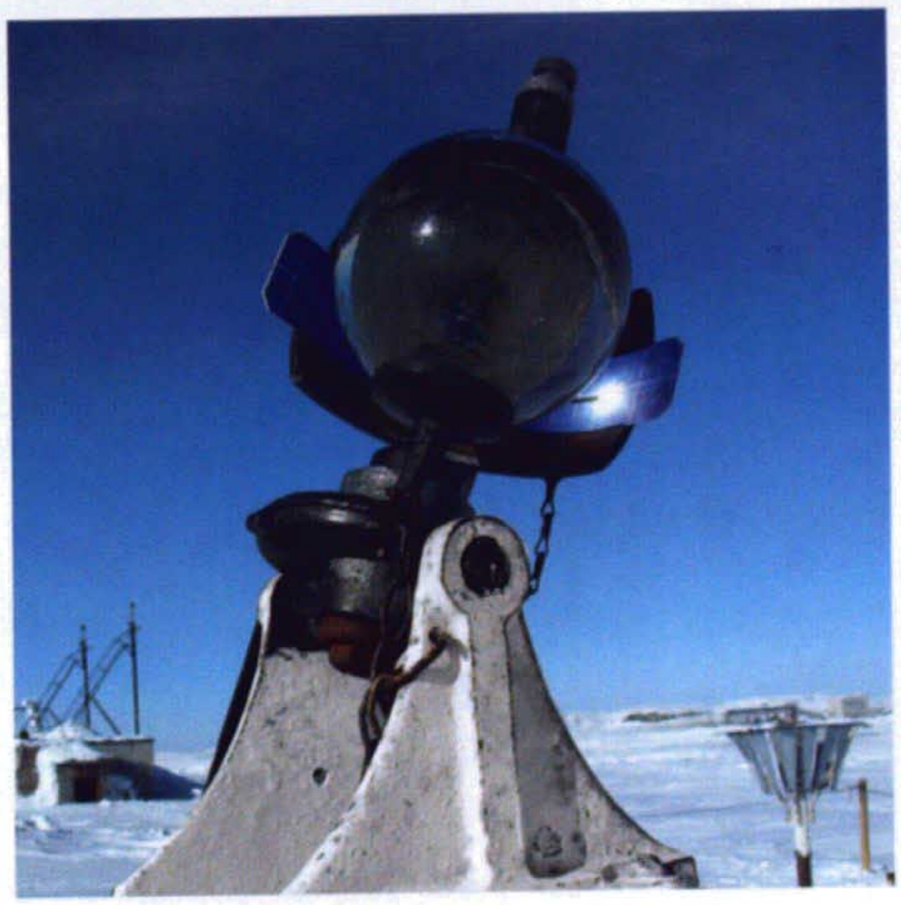


Рис. 1. 7. Гелиограф

Таблица 1.2

Средняя продолжительность солнечного сияния (час)

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	7	48	113	157	212	233	228	145	71	45	16	0,05	1275
Юкспор	6	43	119	153	194	232	251	153	80	45	14	0,03	1290
УДО-1	0,3	21	75	135	163	180	185	132	66	27	2	0	986
Хибины	3	38	122	170	214	256	279	181	96	52	10	0	1421

Продолжительность солнечного сияния также оценивается в процентах от продолжительности дневного времени за данный период.

Таблица 1.3

Отношение средней продолжительности солнечного сияния к максимально возможной, в %.

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	7	23	31	33	34	33	32	28	18	16	11	0	28
Юкспор	6	21	33	32	31	33	35	30	20	16	10	0	28
Хибины	3	18	34	36	34	36	40	34	24	18	6	0	31

На вершинах Хибин среднее годовое значение продолжительности солнечного сияния составляет 28% от возможного, в предгорьях 31%. В зимние месяцы, когда

солнце расположено низко над горизонтом и долины гор часто закрыты инверсионными туманами, продолжительность солнечного сияния на вершинах гор больше, чем в предгорьях. Летом горы большую часть времени закрыты облачностью, поэтому на равнине и в предгорьях Хибин продолжительность солнечного сияния больше, чем на вершинах.

§ 3. Оптические явления

При прохождении солнечных лучей через облака и зоны дождя возникают особые световые явления, такие как радуга, гало, венцы и т. д. Все эти явления объясняются преломлением, отражением и дифракцией света, происходящими на элементах облака. Если между солнцем и глазом наблюдателя находится легкое облако, элементами которого являются кристаллы льда, то в результате преломления и отражения лучей, проходящих сквозь такое облако, возникает целый ряд световых явлений, которые носят название гало. Из них особенно часто наблюдается гало в виде радужного круга в 22^0. Иногда в зимние месяцы на небе можно увидеть одновременно одно или даже два ложных солнца. Парагелий, или ложное солнце, относится также к классу гало.



Рис. 1.8. Парагелий, или ложное солнце, в Хибинах. 24.11. 2004 г.

К оптическим явлениям в атмосфере, связанным с преломлением, отражением и дифракцией солнечных лучей в водяных каплях, относится радуга. Радуга представляет собой большую разноцветную дугу, видимую на фоне облака, из которого выпадает дождь. Радуга всегда находится в стороне, противоположной солнцу. Внешняя часть радуги окрашена в красный цвет, внутренняя – в фиолетовый. Остальные цвета радуги располагаются соответственно длинам волн. Однако окраска радуги, ширина и интенсивность ее цветных полос не всегда одинаковы, и не все цвета спектра в ней присутствуют постоянно. Нередко с внешней стороны основной радуги наблюдается вторичная радуга с обратным чередованием цветов.



Рис. 1.9. Радуга над Кировском. 06.10. 2005 г.

§ 4. Радиационный баланс

Радиационный баланс характеризуется количеством солнечной энергии, поступающей на поверхность Земли. С ним связаны многие особенности климата Хибин.

$$R = (I + D)(1 - A) - (Q_s - Q_a).$$

Здесь R – радиационный баланс, I и D – прямая и рассеянная радиация, A – альбедо поверхности, Q_s – собственное излучение поверхности Земли, Q_a – противоизлучение атмосферы, зависящее от температуры и влажности воздуха и от облачности.

Максимальная величина приходящей коротковолновой радиации, равная сумме (I + D), наблюдается при безоблачном небе. На вершинах гор величина приходящей коротковолновой радиации несколько меньше, чем в предгорьях Хибин, поскольку над ними чаще держится плотная облачность.

Альбедо поверхности A изменяется в пределах от 0 до 1. Альбедо определяет отражательную способность поверхности. Чистый снег имеет максимальное альбедо. На плато гор он более чистый и лежит значительно дольше, чем в предгорьях и долинах Хибин. В результате годовой баланс коротковолновой радиации (I + D) (1 – A) на плато составляет 33 ккал/ см^2, а в предгорьях 46 ккал/ см^2. Иными словами, предгорья получают значительно больше солнечной энергии, чем плато. Баланс длинноволнового излучения определяется формулой ($Q_s - Q_a$). Снег излучает значительно большее количество длинноволновой энергии, чем почва или растительность, поэтому баланс длинноволнового излучения над заснеженными плато гораздо меньше, чем над бесснежными предгорьями. В результате из-за более длительного залегания снега хибинские плато получают примерно в три раза меньше тепла, чем предгорья. Как следствие, каменистая мохово-лишайниковая тундра – характерный ландшафт хибинских плато и поверхности хребтов гор.

Таблица 1. 4

Радиационный баланс
для метеостанций «Хибины» и плато Юкспор, ккал/ см^2

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Хибины	–1,0	–1,1	–1,0	1,5	6,0	7,5	7,0	4,0	1,5	0,5	–1,0	–1,0	22,0
Плато Юкспор	–1,3	–1,6	–1,1	0,3	1,4	5,0	5,4	3,8	0,5	–1,2	–1,6	–1,6	7,4

Определение радиационного баланса склонов более сложно, чем для горизонтальных поверхностей. Проще рассчитывается поступление на склоны суммарной радиации, что позволяет при наличии сведений об альбедо поверхности оценивать и баланс коротковолновой радиации. В декабре и январе приход суммарной радиации в Хибинах ничтожно мал, поэтому термический режим приземного воздуха определяется в основном атмосферной циркуляцией. Суточная амплитуда температуры воздуха в зимние месяцы практически не выражена.

Таблица 1. 5

Приход суммарной радиации на открытую горизонтальную поверхность и открытые склоны гор в Хибинах, ккал/см^2

Поверхность	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Сумма
Горизонтальная	0,9	3,7	8,1	10,9	12,9	12,2	8,2	4,1	1,8	0,2	63,0
Южный склон											
10^0	1,0	4,4	8,6	11,5	13,2	12,7	8,9	4,4	2,2	0,3	67,2
30^0	1,5	5,5	9,7	12,1	13,4	12,9	9,9	5,4	2,8	0,4	70,6
50^0	1,8	6,3	10,1	11,2	12,4	12,2	9,6	5,2	3,3	0,4	72,5
Северный склон											
10^0	0,6	2,6	6,3	9,8	11,7	11,5	7,4	3,4	1,3	0,2	54,1
30^0	0,6	1,7	3,9	7,3	10,2	9,0	5,2	2,4	1,2	0,2	41,7
50^0	0,5	1,4	2,9	4,9	6,8	6,1	3,6	2,1	1,0	0,2	29,5
Западные и восточные склоны											
10^0	0,8	3,5	7,6	10,8	12,6	12,3	8,0	3,9	1,8	0,2	61,5
30^0	0,8	3,4	7,4	9,6	11,6	11,8	7,8	3,7	1,7	0,2	58,2
50^0	0,7	3,2	6,9	9,1	10,5	10,7	7,2	3,4	1,6	0,2	53,5

Анализ табл. 1. 5 показывает, что различия в энергоснабжении склонов наиболее существенны в зимние месяцы. На южных склонах возрастание их крутизны приводит к увеличению, а на северных – к уменьшению обеспеченности солнечной энергией, что необходимо учитывать при разработке участков под возделывание сельскохозяйственных культур. С увеличением высоты солнца различия в обеспеченности солнечной энергией горизонтальной поверхности и склонов всех экспозиций уменьшаются. Различия в обеспеченности солнечной энергией сравнительно малы для горизонтальной поверхности и склонов западной и восточной экспозиции при всех углах наклона.

Именно эти черты распределения суммарной радиации в значительной степени определяют положение верхней границы леса и условия формирования разных генетических типов лавин.

§ 5. Солнечная активность

На Солнце постоянно происходят физические изменения, однако наблюдению поддаются такие их проявления, как солнечные пятна, флоккулы, факелы, протуберанцы, вспышки, изменения солнечной короны. В зависимости от этих явлений меняется ультрафиолетовое, рентгеновское и корпускулярное излучение Солнца.

Особенно эти изменения влияют на состояние магнитосферы и ионосферы Земли в полярных областях, где толщина атмосферы в 2 раза тоньше, а напряженность магнитного поля Земли значительно больше, чем на экваторе. Как следствие происходящих физических процессов в Заполярье довольно часто наблюдаются магнитные бури и полярные сияния. Магнитные бури определяются как быстрые и сильные колебания элементов земного магнетизма, связанные с проникновением в магнитосферу потоков солнечной корпускулярной радиации. Магнитные бури происходят практически одновременно с возмущениями в ионосфере. При проникновении мощного потока протонов и электронов разреженный воздух в ионосфере начинает люминесцировать, и на ночном небе появляется полярное сияние.

Магнитные бури оказывают отрицательное влияние на самочувствие и здоровье людей, создают серьезные помехи в работе радиопередающих приборов. В настоящее время информацию о состоянии геомагнитного поля ежедневно сообщают населению по Мурманскому радио и телевидению.

Циклические изменения во времени наблюдаемых характеристик солнечной активности имеют различную продолжительность. Это позволяет прогнозировать



Рис. 1.10. Полярное сияние в Хибинах

изменения солнечной активности на длительный период. При годовом движении Земли расстояние до Солнца меняется, соответственно меняется и поток солнечной радиации в тропосферу. Таким образом, средний поток солнечной радиации, поступающий на Землю, находится в пределах 2,00±0,4 кал/см^{2}мин.

В научной литературе описывается несколько циклов солнечной активности, но существование 11-летнего цикла относительного числа солнечных пятен (числа Вольфа) в настоящее время считается бесспорным. W – число Вольфа определяется по формуле:

$$W = k\,(10n + f),$$

где k – множитель, зависящий от условий наблюдений и от инструмента, n – число наблюденных групп и отдельных пятен, f – общее число всех пятен в группах и отдельных пятен. Изменения числа Вольфа регистрируются более 200 лет.

Предполагается также существование гелиоклиматических связей, т. е. связей между солнечной активностью и циркуляцией атмосферы. Обнаружены совпадения аномальных явлений погоды с солнечными вспышками. Однако эти вопросы изучены недостаточно и в проблеме влияния солнечной активности на климат нижних слоев атмосферы имеется еще много неясного.

Глава 8. Атмосферное давление

Давление воздуха на земной поверхности или на уровне моря есть одна из важнейших характеристик состояния атмосферы. Распределение давления тесно связано со скоростью и направлением ветра, а также с изменением температуры, облаками и осадками. Атмосферное давление при статическом равновесии в каждой точке атмосферы равно весу столба воздуха с основанием, равным единице. На уровне моря атмосферное давление в среднем близко к тому давлению, какое производит столб ртути высотой 760 мм, или 1013,25 мб.

Атмосферное давление убывает с высотой по определенному закону в зависимости от вертикального распределения температуры и влагосодержания воздуха.

$$P_1 = P_0 e^{-g(z_1 - z_0) / R\,T_m},$$

где P_0 и P_1 – давление на нижнем (z_0) и верхнем (z_1) уровнях, T_m – средняя температура воздуха между взятыми уровнями, R – газовая постоянная и g – ускорение силы тяжести и e – основание натурального логарифма. По этой формуле, зная давление и температуру воздуха в стационарной точке наблюдений, можно рассчитать давление с высокой точностью на любой высотной отметке. Таким образом, с высотой плотность и давление воздуха уменьшаются, а температура кипения воды понижается. В Апатитах температура кипения воды – 99^0, в Кировске – 98^0 и на плато Расвумчорр – 96^0. Кроме того, парциальное давление кислорода с высотой тоже понижается, что отражается на самочувствии и здоровье людей. Многие пожилые люди, живущие в Кировске, ощущают недостаток кислорода, особенно при прохождении через Кольский полуостров глубоких циклонов.

В каждой точке атмосферы давление воздуха испытывает как периодические (суточный ход, годовой ход), так и непериодические колебания. Особенно значительны

последние, связанные с циклонической деятельностью и характеризуемые междусуточной изменчивостью давления. Резкие скачки давления, характерные для климата Хибин, также неблагоприятно отражаются на самочувствии и здоровье населения.

Годовой ход атмосферного давления для всех станций, расположенных в Хибинах, одинаков. Он имеет резко выраженный максимум в летние месяцы и минимум в зимние.

Зимой в Хибинах возможны как наиболее высокие, так и наиболее низкие значения атмосферного давления. Наблюдавшиеся зимой значительные аномалии атмосферного давления отличаются большой устойчивостью. В зависимости от преобладания циклонов или антициклонов, а также их интенсивности в любом из месяцев среднее атмосферное давление подвержено значительным колебаниям.

Таблица 1.6

Многолетние характеристики давления воздуха в Хибинах, в миллибарах

Месяц	Апатитовая гора (360 м абс.)			Юкспор (910 м абс.)			Центральная (1091 м абс.)		
	$P_{ср}$	$P_{макс}$	$P_{мин}$	$P_{ср}$	$P_{макс}$	$P_{мин}$	$P_{ср}$	$P_{макс}$	$P_{мин}$
I	962,8	1001,7	912,3	897,8	935,8	852,8	875,9	915,2	832,5
II	963,6	1007,7	917,7	898,0	939,5	860,0	877,8	913,7	825,6
III	965,0	997,9	921,1	899,2	936,3	859,0	878,6	917,5	834,1
IV	966,6	992,3	933,0	901,5	929,7	861,0	881,9	908,4	848,3
V	969,8	995,3	937,9	907,1	931,7	876,3	887,5	910,3	854,0
VI	967,1	990,6	939,0	906,0	928,3	877,9	886,8	908,3	861,1
VII	967,9	986,9	941,0	907,4	926,2	882,5	887,9	905,1	862,8
VIII	968,2	994,9	936,9	907,2	929,0	879,0	887,3	907,8	860,3
IX	965,2	989,3	921,7	902,8	925,8	870,2	882,7	907,9	854,2
X	963,7	993,3	925,0	900,6	929,0	865,0	879,4	908,3	843,2
XI	965,3	998,1	919,8	898,9	932,1	855,4	875,4	916,4	840,9
XII	963,6	1002,6	918,7	896,9	937,4	846,4	873,5	910,2	828,6

Глава 9. Облачность

Облака представляют собой системы взвешенных в атмосфере частиц воды в капельном или кристаллическом состоянии, которые являются продуктами конденсации водяного пара. Основные явления погоды связаны с облаками. С облаками связаны грозы и шквалы, дождь и снег, различные оптические явления в атмосфере. Роль облаков в существовании жизни исключительно велика, т. к. они контролируют тепловой и водный режим всей нашей планеты. Облака – одно из главных звеньев кругооборота воды в природе. Отсутствие облаков в зимнее время, как правило, обусловливает морозную погоду, а летом сухую, порой даже жаркую погоду.

При наблюдениях определяется общее количество облаков всех ярусов, покрывающих весь видимый небосвод (общая облачность), и количество облаков только нижнего яруса (нижняя облачность) и их формы. В международной классификации облаков различают десять основных форм облаков, которые распределяются по высоте в трех ярусах. Высота каждого яруса уменьшается от экватора к полюсам. Верхний ярус – это область ледяных облаков. На широте Хибин верхний ярус располагается на высоте от 4 до 9 км, а нижний охватывает нижние два километра атмосферы. В верхнем ярусе образуются: перистые (Ci), перисто-кучевые (Cc) и перисто-слоистые (Cs) облака; в среднем ярусе: высоко-кучевые (Ac) и высоко-слоистые (As) облака; в нижнем: слоисто-кучевые (Sc), слоистые (St) и слоисто-дождевые (Ns) облака. Облака вертикального развития, к которым относятся кучевые (Cu) и кучево-дождевые облака (Cb), могут простираться по всей высоте тропосферы.



Рис. 1.11. Орографические облака над Хибинами. 15.02.2006 г.

Орографические облака являются характерной чертой Хибин. Когда воздушный поток натекает на горный хребет, то на наветренной стороне хребта ускоряется процесс конденсации, облака уплотняются и осадки в них усиливаются. Над горным хребтом не только усиливается процесс образования кучевых и кучево-дождевых облаков, но и формируются различные формы чечевицеобразных (lenticularis) облаков, которые образуются при перетекании воздушного потока через горный хребет. Они имеют форму линз или миндалин.

Поле облачности является чрезвычайно сложным дискретным полем, подверженным большой временной изменчивости. Для поля облачности характерно существование фронтальных и внутримассовых облачных систем.

Фронтальные облачные системы связаны с обширными зонами восходящих вертикальных движений влажного воздуха у атмосферных фронтов, главным образом в областях пониженного давления: циклонах и ложбинах. Основную часть обширной

фронтальной облачной системы составляет система высоко-слоистых и слоисто-дождевых облаков. Горизонтальная протяженность такой системы может достигать одной тысячи километров, а вертикальная мощность – на всю высоту тропосферы.

Рассматривая систему облаков теплого фронта, можно отметить, что она располагается преимущественно перед приземной линией фронта вдоль клина холодной воздушной массы. Основными составляющими этой системы являются перисто-слоистые, высоко-слоистые и слоисто-дождевые облака, под которыми в зоне обложных осадков обычно наблюдаются разорванные облака (St fr).

Строение холодных фронтов отличается большим разнообразием по сравнению со строением теплых фронтов. Для наиболее типичного случая холодного фронта основной формой облаков являются мощные кучево-дождевые облака, при растекании которых могут формироваться в небольшом количестве перистые, перисто-кучевые, высоко-кучевые и слоисто-кучевые облака, а под ними в зоне выпадающих ливневых осадков обычно наблюдаются разорванные облака (St fr) и кучево-разорванные (Cu fr) облака плохой погоды.

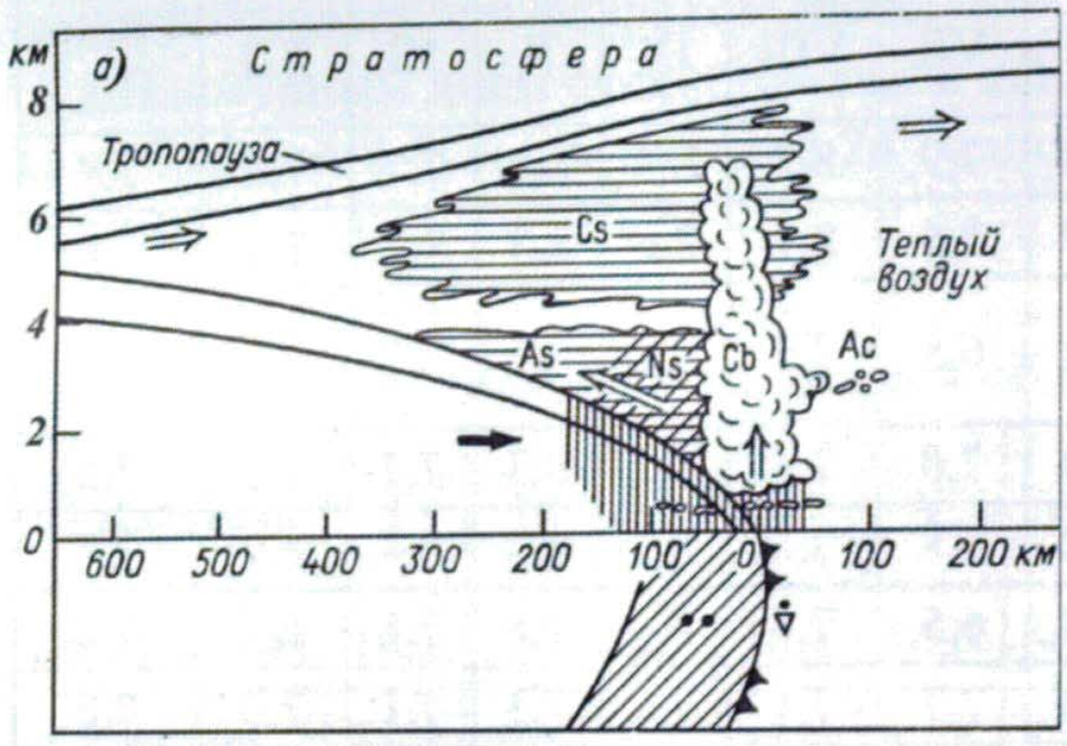


Рис. 1.12. Вертикальный разрез атмосферы в зоне холодного фронта

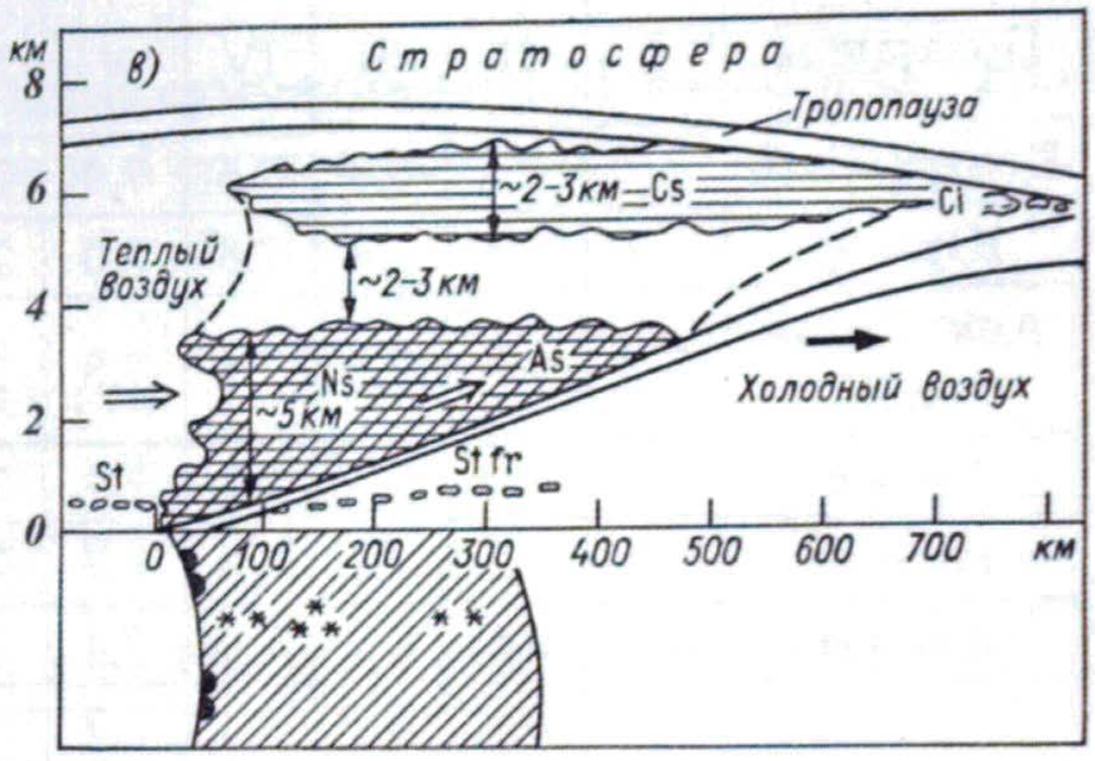


Рис. 1.13. Вертикальный разрез атмосферы в зоне теплого фронта

Внутримассовые облачные системы подразделяются на два типа: слоистообразные и конвективные.

Слоистообразные облачные системы – это слоистые или слоисто-кучевые облака мощностью до 1–2 км. Образуются они чаще всего при перемещении относительно теплого, устойчиво стратифицированного влажного воздуха над холодной подстилающей поверхностью. Как правило, слоистообразные облачные системы наблюдаются в Хибинах в холодное время года.

Конвективные облачные системы – это гряды или ячейки кучевых, мощных кучевых и кучево-дождевых облаков, которые образуются в неустойчиво стратифицированном влажном воздухе. Такие системы в Хибинах наблюдаются только в теплое время года.

Хибинские горы расположены выше среднего уровня конденсации и поэтому большее время года закрыты облаками. Годовой ход нижней облачности тесно связан с годовым ходом повторяемости циклонических и антициклонических ситуаций. Высокая повторяемость циклонов обусловливает частое прохождение фронтов, с которыми

связана облачная погода. Интенсивному образованию облаков содействует большая влажность воздуха, которая создает благоприятные условия для развития кучевых форм облаков в период радиационного прогревания в летний период.

Общее количество облаков на небе определяется по 10-балльной системе. Для наблюдения берется часть небосвода выше 15° над горизонтом, участок небосвода ниже 15° над горизонтом при этом не учитывается. Безоблачной погоде соответствует 0 баллов, сплошной облачности – 10 баллов. На метеорологических станциях, кроме количества общей облачности, отдельно определяется еще и нижняя облачность – количество облаков нижнего яруса (включая кучевые). Поскольку количество облаков зависит от частоты прохождения циклонов, то главные фронтальные зоны, вдоль которых чаще всего идут циклоны, являются самыми облачными местами земного шара. Кольский полуостров является одним из таких регионов.

Таблица 1.7

Общая облачность (баллы)

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средн. год.
Центральная	7,2	7,1	6,9	7,6	7,9	7,9	7,9	8,2	8,5	8,2	7,7	7,3	7,7
Юкспор	7,4	7,4	7,4	7,8	8,0	7,7	7,5	8,1	8,6	8,3	8,1	7,8	7,8
Апатитовая гора	7,5	7,3	7,2	7,5	7,8	7,3	6,8	7,5	8,2	8,1	8,2	7,8	7,6
УДО-1	7,3	7,4	7,4	7,2	7,7	7,4	7,0	7,6	8,2	8,3	7,7	7,3	7,5
Кировск-1	7,5	7,5	7,2	7,8	7,7	7,2	6,8	7,6	8,0	8,2	8,4	8,0	7,7
Коашва	6,7	6,6	6,9	7,0	7,4	7,3	6,5	7,5	8,4	7,8	7,1	6,7	7,2
Восточная	6,4	6,9	6,7	7,4	7,7	7,4	7,7	7,1	7,7	7,3	7,1	7,0	7,2

Таблица 1.8

Облачность нижнего яруса (баллы)

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средн. год.
центральная	5,9	5,4	5,4	5,8	6,0	6,0	6,1	6,9	7,6	7,2	6,6	6,3	6,3
Юкспор	6,3	5,8	5,6	6,0	6,2	5,8	5,6	6,6	7,6	7,4	7,2	6,9	6,4
Апатитовая гора	6,7	5,9	5,3	5,9	5,8	5,4	4,9	5,9	6,9	7,1	7,4	7,0	6,2
УДО-1	6,1	5,6	5,8	5,6	6,0	5,6	5,4	6,4	7,3	7,4	6,8	6,2	6,3
Кировск-1	6,3	6,1	5,2	5,6	5,6	5,1	4,7	5,8	6,7	7,2	7,7	7,1	6,1
Коашва	5,2	4,6	5,3	5,2	5,6	5,6	4,7	6,4	7,4	6,4	5,8	5,5	5,6
Восточная	5,3	5,8	5,6	5,2	6,5	5,8	6,5	6,0	7,2	6,5	6,3	6,1	6,0

Принято называть небо ясным, когда облачность не превышает 2 баллов и пасмурным – при облачности от 8 до 10 баллов.

Ясным днем считается такой день, когда сумма отметок облачности за 3 срока наблюдений не превышала 5 баллов, а за 4 срока наблюдений – не превышала 7 баллов.

Таблица 1.9

Число ясных дней по нижней облачности

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средн. год.
Центральная	3,6	4,4	4,6	4,3	3,9	3,5	2,7	2,0	1,3	1,3	2,4	3,0	3,1
Юкспор	3,8	4,7	5,7	5,0	4,9	4,5	5,2	2,9	1,4	1,6	2,3	2,7	3,7
Апатитовая гора	3,8	5,0	6,6	6,1	4,4	5,5	7,4	4,2	1,9	2,2	2,1	2,9	4,3
УДО-1	3,7	4,7	5,3	4,9	4,3	3,6	4,9	2,7	1,4	2,1	2,8	3,9	3,7
Кировск-1	4,1	4,8	7,8	6,1	5,5	6,6	8,8	4,7	2,1	2,2	1,9	2,0	4,7
Апатиты	4,8	5,4	8,9	7,9	7,1	7,7	9,4	5,1	3,4	3,3	1,6	2,8	5,6
Хибины	3,9	5,4	8,2	6,8	5,4	6,8	8,6	4,6	3,0	2,2	1,7	2,6	4,9

Из таблицы видно, что ясная и малооблачная погода в Хибинах, как правило, чаще всего наблюдается в феврале – июле.

Пасмурным днем считается такой день, когда сумма отметок облачности за 3 срока наблюдений была не меньше 24 баллов, а за 4 срока наблюдений – не меньше 33 баллов.

Таблица 1.10

Число пасмурных дней по нижней облачности

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Средн. год.
Центральная	10,1	7,1	8,7	10,1	10,0	9,4	9,8	13,9	16,8	14,7	12,2	11,7	11,2
Юкспор	11,3	9,8	9,8	11,6	12,4	9,5	9,5	12,8	16,6	16,1	15,0	14,5	12,4
Апатитовая гора	13,3	10,8	8,8	9,8	10,8	7,5	7,0	10,4	13,4	15,3	13,6	15,3	11,3
УДО-1	10,2	8,1	9,2	9,1	11,1	8,8	8,1	11,9	14,9	15,5	12,6	11,4	10,9
Кировск-1	11,6	10,5	8,3	9,8	9,0	6,7	6,6	8,8	11,5	15,2	17,3	15,0	10,9
Апатиты	11,9	8,7	5,9	6,7	6,7	4,4	4,7	6,7	9,6	12,9	18,4	14,6	9,3
Хибины	11,4	8,0	5,8	7.4	9,2	6,6	5,6	7,7	10,7	13,2	16,5	14,4	9,7

Наиболее пасмурная погода наблюдается в Хибинах в осенние месяцы. В зависимости от расположения станции число дней с пасмурной и ясной погодой существенно отличаются друг от друга.

Глава 10. Осадки

Осадки измеряются специальными приборами – осадкомерами. В Хибинах с 1948 года применяется осадкомер Третьякова, который представляет собой дождемерное ведро с приемной площадью 200 $см^2$, помещенное внутри планочной защиты. Приемная часть осадкомера устанавливается на высоте 2 м. Осадки на станциях, как правило, измеряются 4 раза в сутки.

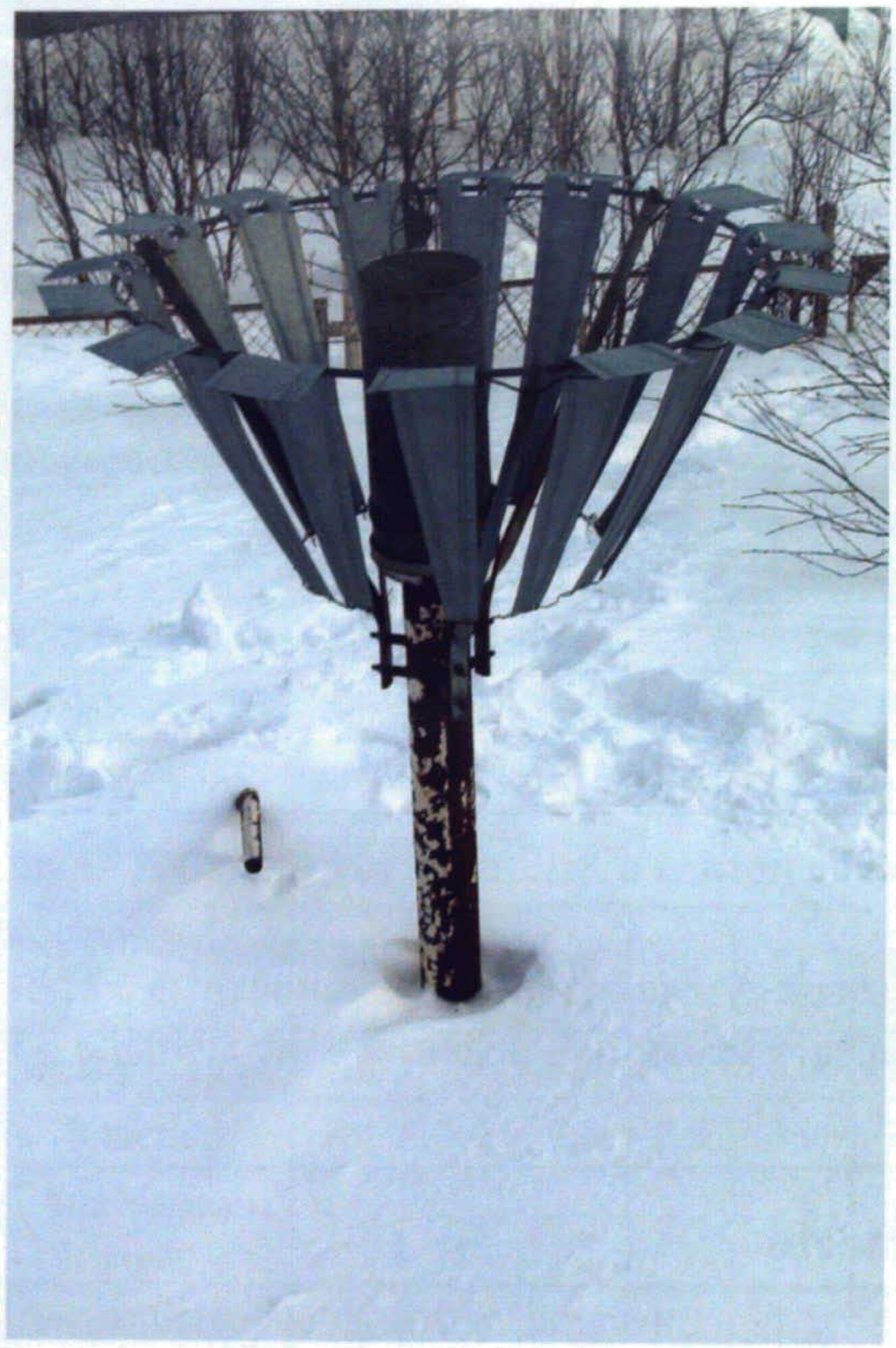


Рис. 1.14. Осадкомер Третьякова



Рис. 1.15. Суммарный осадкомер

Для измерения осадков в труднодоступных местах используются суммарный осадкомер, который представляет собой цилиндр значительного объема с защитой. Внутрь цилиндра наливается техническое масло, которое защищает осадки от испарения. Измерение осадков суммарными осадкомерами производится, в зависимости от возможности, от 1 до 4 раз в год.

Ошибки измерения осадков главным образом обусловлены ветровым воздействием на процесс аккумуляции снежинок и капель, испарением и потерями воды на стенках измерительного стакана. Для осадкомера Третьякова эти потери достигают 0,25 мм для каждого единичного наблюдения.

В связи с интенсивной циклонической деятельностью над Кольским полуостровом и повышенной динамической конвекцией, обусловленной горами, осадков в Хибинах выпадает гораздо больше, чем на равнине. На плато Ловчорр средняя многолетняя сумма осадков равна 1461 мм, на плато Юкспор – 1093 мм, в районе Коашвинского карьера – 1040 мм, в районе оз. Малый Вудъявр – 1001 мм, в поселке Кукисвумчорр – 920 мм, в Кировске – 909 мм, в районе АБК Восточного рудника – 849 мм и в Апатитах – 587 мм.

Избыток осадков в теплый период года определяется повышенной повторяемостью южных циклонов. При прохождении южных циклонов выпадают обильные фронтальные осадки, обусловленные высоким влагосодержанием и влажнонеустойчивостью континентального воздуха в теплых секторах циклонов, и создаются благоприятные условия для грозовых ливней.

Таблица 1.11

Среднее число дней с грозой

Показатель	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Год
Апатитовая гора	0	0	0,07	1,6	2,1	1,0	0,07	0	0	4,84
Юкспор	0	0,02	0,13	1,6	2,1	1,2	0,07	0	0	5,12
УДО-1	0	0	0,37	1,0	1,4	0,63	0,06	0	0	3,46
Центральная	0	0,03	0,21	1,2	2,0	1,0	0,09	0	0	4,53
Кировск-2	0	0,05	0,25	1,0	2,0	1,2	0,10	0	0	4,6
Апатиты	0	0	0,24	2,1	3,2	2,1	0,18	0	0	7,82
Коашва	0	0	0,18	0,9	1,9	0,8	0	0	0	3,78
Кировск-1	0	0	0,05	1,7	2,4	0,05	0	0	0	4,20
Хибины	0	0	0,17	1,8	3,1	2,3	0,11	0	0,03	7,51
Хибины, горная	0	0	0	1,3	3,9	1,4	0	0	0	6,6

Грозы в Хибинах – явление достаточно редкое. Они бывают 5–6 раз в году, в основном в летние месяцы. Несмотря на малое число гроз, они в Хибинах не менее опасны, чем в средней полосе. Грозовые разряды выводят из строя сложную электронную технику и наносят существенный ущерб предприятиям энергетики. Были отмечены случаи поражения молнией людей.

Иногда грозы сопровождаются градом. Ущерб, причиняемый градом сельскому хозяйству Хибин, бывает довольно существенным. В течение нескольких минут град может повредить посевы и ягодные культуры на площади в несколько десятков гектаров.

Таблица 1.12

Число дней с градом

Показатель	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	Год
Юкспор	0	0	0	0,5	0,2	0,3	0,2	0	0	1,2
Хибины, горная	0	0,1	0,3	0,2	0,7	0,6	0	0	0	1,9
Кировск-1	0	0	0	0,2	0,4	0,4	0	0	0	0,8
Апатитовая гора	0	0	0,1	0,2	0,2	0	0	0	0	0,5
Апатиты	0	0	0,06	0,2	0	0,1	0,1	0	0	0,5
Хибины	0	0	0,2	0,3	0,1	0,07	0,07	0,02	0,02	0,7

В холодный период времени избыток осадков вызван атлантическими циклонами, обеспечивающими длительную адвекцию арктического воздуха с Баренцева моря, при которой в горах выпадают обильные ливневые осадки. Такой тип осадков носит местное название – осадки «зарядами».

В Хибинах можно выделить несколько типов осадков: обложные, орографические, ливневые при адвекции влажнонеустойчивых воздушных масс с материка, ливневые при адвекции арктического воздуха с Баренцева и Норвежского морей и горизонтальные.

Обложные осадки, связанные с фронтами, наиболее обильны и продолжительны в непосредственной близости от центров циклонов, перемещающихся через Хибинский горный массив. Обложные осадки дают наибольшие суточные количества осадков.

Орографические осадки наблюдаются при адвекции влажнонеустойчивых масс воздуха, преимущественно континентальных, в теплую часть года и атлантических – в холодную. Орографические осадки обусловливаются вынужденным подъемом влажнонеустойчивого воздуха вдоль наветренных склонов гор. Орографические осадки не всегда бывают связаны с непосредственным прохождением фронтов, хотя в последнем случае наблюдается их обострение и увеличение интенсивности фронтальных осадков. Они могут выпадать продолжительное время в горах при отсутствии осадков на окружающих равнинах. Удельный вес орографических осадков в общей месячной сумме осадков в горных районах существенно увеличивается в холодную часть года, когда адвекция атлантического воздуха наблюдается при больших скоростях ветра в нижней тропосфере и уровень конденсации ниже, чем в летние месяцы.

Ливневые осадки при адвекции континентальных воздушных масс выпадают в основном в теплую часть года. Они нередко сопровождаются грозами и могут достигать большой интенсивности в короткие промежутки времени.

Осадки зарядами выпадают в тылу высоких циклонов, расположенных восточнее Кольского полуострова, при адвекции арктического воздуха в нижней тропосфере. Наиболее интенсивные осадки зарядами выпадают в холодную часть года.

Кроме вертикальных осадков, улавливаемых осадкомером, в горах наблюдаются горизонтальные осадки. Значительное количество горизонтальных осадков выпадает в горах выше нижней границы облаков нижнего яруса, где осаждение изморози наиболее обильно. Так, на плато Ловчорр, по данным натурных измерений, на поверхность снежного покрова в среднем откладывается около 56 мм зернистой изморози в год [106].

Осадки в Хибинских горах выпадают крайне неравномерно и могут сильно отличаться от года к году. Тем не менее существуют определенные закономерности в распределении осадков. Как видно из графика зависимости среднегодовых сумм осадков от высоты, с высотой осадки увеличиваются. Сплошная линия на графике соединяет цифры, полученные на равнинной метеостанции «Апатиты» (136 м. абс.), на плато Юкспор (910 м абс.) и плато Ловчорр (1091 м абс.), т. е. на достаточно обширных ровных площадках, расположенных на различных уровнях. Эти три станции имеют статус реперных метеостанций. Полученная кривая показывает, что с высотой количество осадков возрастает неравномерно: между метеостанциями «Апатиты» и «Юкспор» плювиометрический градиент равен 65 мм/100 м, между метеостанциями «Юкспор» и «Центральная» – 203 мм/100 м. В холодную часть года нарастание осадков с высотой происходит еще сильнее. В интервале высот от 350 до 400 метров на графике плотной группой находятся пять точек, соответствующих результатам, полученным на метеостанциях: «Кировск-1», «Кировск-2», «Апатитовая гора», «Коашва» и «УДО-1». Эти долинные станции находятся внутри горного массива. Кроме высоты места на количество осадков влияют локальные особенности расположения метеорологической площадки.

В отдельных случаях основная закономерность увеличения осадков с высотой может нарушаться. Это происходит в зимний период года при устойчивой стратификации атмосферы, когда погода на Кольском полуострове определяется теплыми и влажными воздушными массами атлантического воздуха. При такой ситуации нижняя граница облачности начинается практически от подножия гор. При подъеме вверх по склону толщина слоя облачности уменьшается, и на вершинах гор ее вообще может не быть.

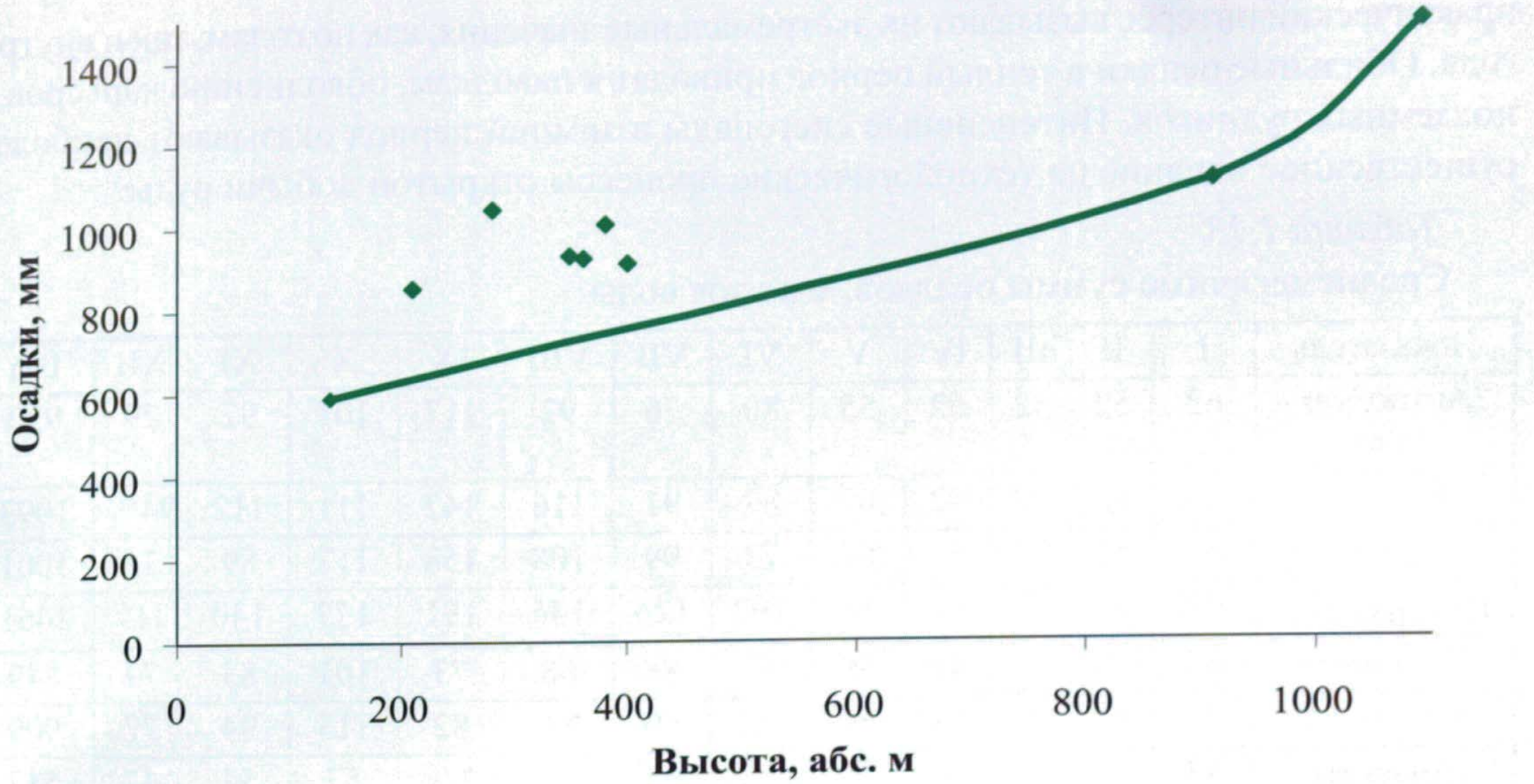


Рис. 1.16. Распределение среднегодовых сумм осадков с высотой

В зимний период во время сильных метелей снег частично сносится в нижние части гор и долины, таким образом увеличивая общее количество осадков. На подветренных склонах гор локальные суммы осадков за счет метелевого снега могут быть существенно выше фоновых. Это подтверждается снегосъемками, проводимыми на склонах гор сотрудниками Центра лавинной безопасности.

В летнее время в местах расположения долинных станций общее количество осадков уменьшается и за счет испарения капель дождя за время их падения на более низкие высотные отметки по сравнению с горными станциями «Центральная» и «Юкспор».

Еще две точки в начале графика соответствуют значениям, измеренным на предгорных метеостанциях «Хибины» и «Восточная». Среднегодовая сумма осадков на метеостанции «Восточная» на 209 мм больше, чем на метеостанции «Хибины», при абсолютной разнице высот 75 метров. Это различие, вероятно, связано с местоположением станций относительно влажных потоков воздуха. Метеостанция «Хибины» расположена в предгорьях к западу от горного массива, а метеостанция «Восточная» – на подветренной, восточной окраине Хибин. При сильных западных ветрах над горами формируются шлейфы осадков, которые достигают восточных предгорий.

Осадки в Хибинах выпадают от года к году крайне неравномерно, однако особый

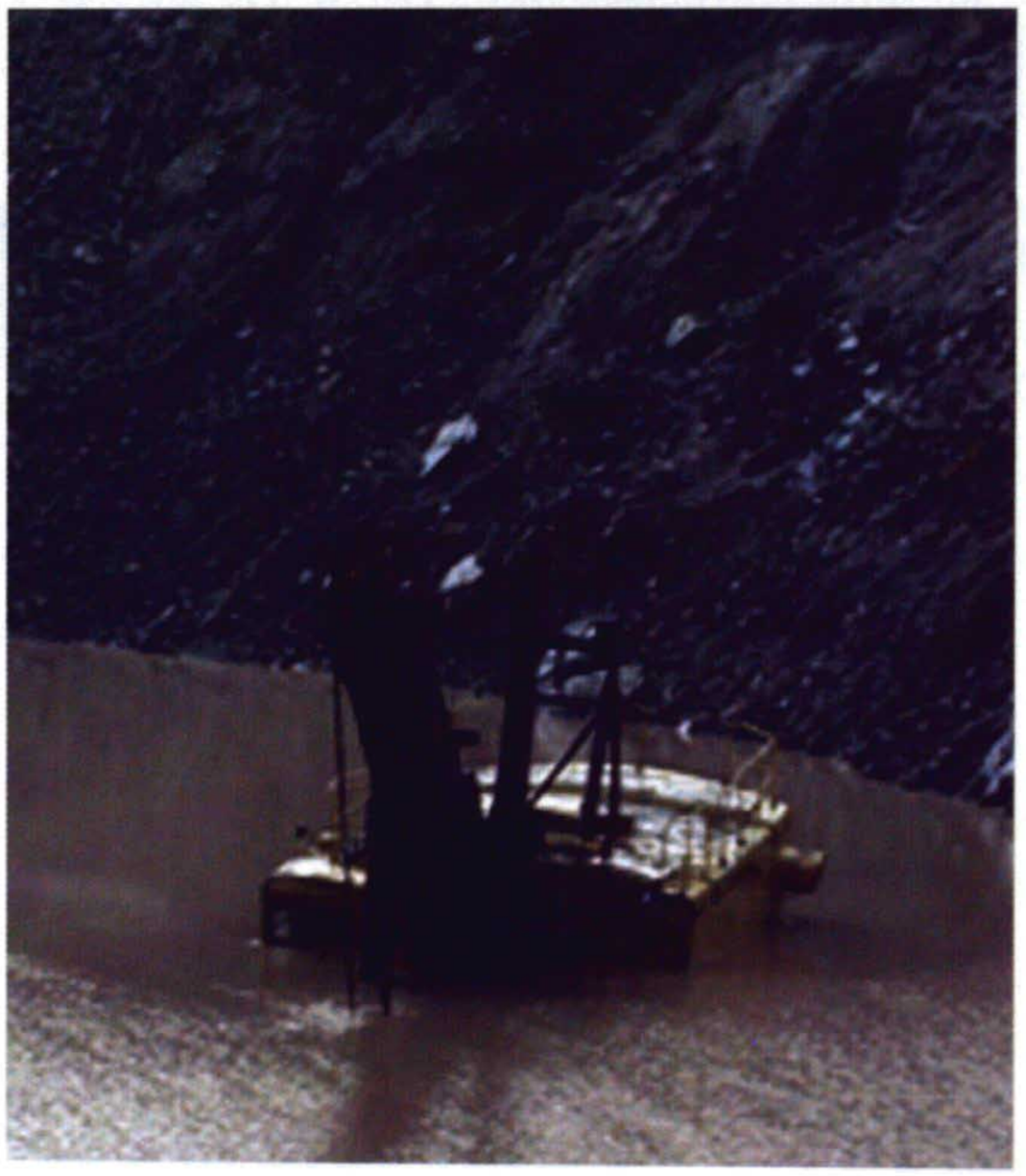


Рис. 1.17. Затопление экскаватора в карьере Расвумчоррского рудника. 24.09.2004 г.

практический интерес вызывают их экстремальные значения, как по годам, так и внутри года. Обильные осадки в теплый период приводят к паводкам, обводнению карьеров и подземных рудников. Интенсивные снегопады в зимний период оказывают наиболее существенное влияние на технологические процессы открытой добычи руды.

Таблица 1.13

Среднемесячные суммы осадков, мм слоя воды

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Апатитовая гора	62	52	52	62	55	80	76	92	117	101	92	79	920
Юкспор	77	62	62	72	67	87	91	116	142	111	112	94	1093
УДО-1	61	52	52	53	64	73	99	108	158	117	89	75	1001
Центральная	109	85	93	92	83	102	126	146	191	177	140	117	1461
Восточная	65	70	69	49	49	57	88	68	73	101	83	77	849
Кировск-2	70	68	67	51	54	62	90	81	82	113	94	77	909
Апатиты	43	36	32	34	38	52	65	69	60	57	54	47	587
Коашва	70	52	72	56	58	81	90	128	153	115	99	66	1040
Кировск-1	77	72	65	57	63	68	78	85	92	96	95	80	928
Хибины	42	38	36	40	45	57	66	71	67	65	63	50	640

Зимой в буровые скважины проникает снег и смерзается. Весь снег, скапливающийся в рабочей зоне экскаваторов, автосамосвалов и буровых станков, необходимо вывозить за контуры карьера, так как на вскрышных уступах без тщательной уборки снега невозможно установить рабочее оборудование. Снежные заносы на дорогах и дополнительные массы снега, которые приходится вывозить из карьеров, существенно увеличивают производственные затраты. В многоснежные зимы увеличивается опасность схода крупных снежных лавин.

В месяцы с положительной температурой устья скважин размываются и разрушаются талыми водами и дождями, скважины заиливаются буровым шламом, попадающим вместе с поверхностной водой [77].

Таблица 1.14

Месячные и годовые максимумы осадков, в мм слоя воды

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	271	174	176	245	173	238	326	261	413	346	311	332	2136
Юкспор	135	120	221	120	181	164	236	269	339	202	209	195	1465
УДО-1	110	106	67	82	138	134	219	208	290	192	145	194	1381
Апатитовая гора	129	195	123	137	110	187	226	184	367	228	144	203	1411
Восточная	130	135	126	123	114	110	153	113	161	206	245	131	1026
Кировск-2	130	174	184	78	96	113	196	146	148	255	158	216	1244
Коашва	172	102	110	110	115	173	160	190	256	229	239	124	1142
Кировск-1	88	100	203	120	78	141	135	198	153	148	143	130	1070
Апатиты	61	49	74	66	61	115	141	134	116	114	69	59	704
Хибины	59	83	78	89	80	164	151	147	151	104	70	70	723

Особо следует остановиться на суточных максимумах осадков, так как в летнее время их нужно учитывать при проектировании ливневой канализации, а в зимнее время – для расчетов прочности кровли и перекрытий. С обильными осадками связаны и другие неблагоприятные явления.

Для возникновения ливневых селей критической величиной являются жидкие осадки 80 мм и более в течение суток. За время наблюдений эта величина неоднократно превышалась в августе и сентябре. Абсолютный максимум осадков 121,4 мм был отмечен в сентябре 1948 года на метеостанции «Апатитовая гора» в пос. Кукисвумчорр.

Таблица 1.15

Суточные максимумы осадков, в мм слоя воды

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Центральная	45	36	33	49	29	76	76	82	91	52	57	43
Юкспор	32	34	29	34	50	49	54	80	68	41	37	25
УДО-1	36	30	23	20	41	31	59	76	60	56	34	35
Апатитовая гора	27	31	22	44	32	40	41	57	121	57	31	34
Восточная	23	19	31	31	44	39	54	45	33	57	48	33
Кировск-2	22	30	36	30	18	29	40	43	29	43	42	28
Апатиты	11	10	16	14	17	32	37	41	33	25	14	15
Коашва	33	24	27	19	30	44	55	108	82	53	40	28
Кировск-1	20	25	45	41	24	29	33	38	48	42	36	28
Хибины	10	8	14	17	37	51	44	40	38	31	15	10

Для схода лавин из свежевыпавшего снега критической величиной являются твердые осадки интенсивностью 10 мм/сутки и более. Высокая интенсивность осадков в Хибинах, как правило, связана с циклонами, а значит, с сильными ветрами и метелями, поэтому число лавин, связанных с метелями, существенно превышает число лавин из свежевыпавшего снега.

Таблица 1.16

Число дней с осадками различной величины на метеостанции «Центральная»

Месяц	Осадки (мм)					
	≥0,1	≥0,5	≥1,0	≥5,0	≥10,0	≥20,0
Январь	28	26	22	9	4	0,7
Февраль	24	21	18	7	3	0,5
Март	25	21	18	6	2	0,3
Апрель	24	21	17	7	3	0,8
Май	21	18	16	6	2	0,3
Июнь	20	17	15	7	3	0,9
Июль	18	16	15	7	4	1,2
Август	22	20	17	10	5	1,9
Сентябрь	25	23	21	12	8	3,8
Октябрь	28	26	26	11	7	2,2
Ноябрь	27	25	23	12	6	1,4
Декабрь	29	26	24	10	4	1,1
Год	291	260	247	104	51	15

Глава 11. Температура воздуха

Температура воздуха в Хибинских горах отличается крайней изменчивостью. Это связано главным образом с интенсивной циклонической деятельностью над Кольским полуостровом, образованием температурных инверсий и фёнов – характерных явлений для горного рельефа.

Изменение температуры воздуха, связанное с горизонтальным переносом воздушных масс, называется адвективным изменением температуры. Положительное адвективное изменение температуры обусловлено адвекцией тепла, а отрицательное – адвекцией холода. Изменение температуры воздуха при прохождении атмосферных фронтов может составить более 10^0 всего за 2–3 часа. У земной поверхности существует значительный теплообмен между приземным слоем воздуха и подстилающей поверхностью, который определяется вертикальным движением воздуха. Турбулентный теплообмен может существенно сказываться на изменении температуры при практическом отсутствии адвекции только за счет изменения теплового режима подстилающей поверхности в течение суток. Такое изменение температуры называется ее суточным ходом.

Изменение температуры воздуха происходит также и за счет фазовых превращений воды в атмосфере. Известно, что при конденсации и замерзании выделяется теплота, а при испарении и таянии тепло, наоборот, расходуется.

§ 1. Средние температуры воздуха

Средняя температура воздуха на дне долин и на горных склонах и плато отличается на величину, равную произведению вертикального градиента температуры на разницу высот.

Таблица 1.17

Средняя месячная и годовая температура воздуха по данным наблюдений в различных местах Хибин

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	-13,2	-13,3	-11,1	-8,1	-2,9	3,6	7,4	5,2	0,3	-5,2	-9,2	-11,7	-4,9
Юкспор	-12,2	-12,6	-10,9	-6,9	-1,9	4,8	9,0	7,2	1,5	-4,1	-7,7	-10,5	-3,7
Кировск-2	-10,5	-10,0	-6,3	-2,4	2,6	9,8	13,2	10,5	5,8	-0,3	-6,1	-8,7	-0,2
Коашва	-11,2	-12,0	-7,7	-3,1	2,6	8,5	12,2	8,9	5,3	-0,4	-5,9	-9,2	-1,0
Кировск-1	-11,1	-11,8	-9,3	-3,1	2,1	9,6	13,2	11,4	5,9	-0,4	-4,6	-8,3	-0,5
УДО-1	-12,3	-11,6	-7,9	-4,0	1,5	8,7	12,5	9,6	5,1	-1,2	-7,0	-10,2	-1,4
Восточная	-11,2	-10,2	-6,4	-2,2	3,3	10,4	13,9	11,5	6,2	0,3	-6,4	-8,9	-0,0
Апатитовая гора	-10,4	-11,4	-9,2	-3,1	2,1	9,1	13,2	11,3	5,2	-0,6	-4,6	-8,2	-0,6
Апатиты	-13,0	-13,9	-10,3	-2,8	3,3	10,7	13,9	12,3	6,6	0,4	-4,4	-9,0	-0,5
Хибины, горная	-10,1	-12,0	-10,5	-5,2	-0,5	5,7	10,5	9,1	2,1	-2,6	-5,7	-8,1	-2,3
Хибины	-12,2	-12,7	-9,2	-2,4	3,0	9,5	13,7	11,9	6,6	0,5	-5,1	-9,5	-0,5

Вертикальный градиент температуры – переменная величина которая, главным образом зависит от синоптической обстановки, теплового баланса и режима солнечной

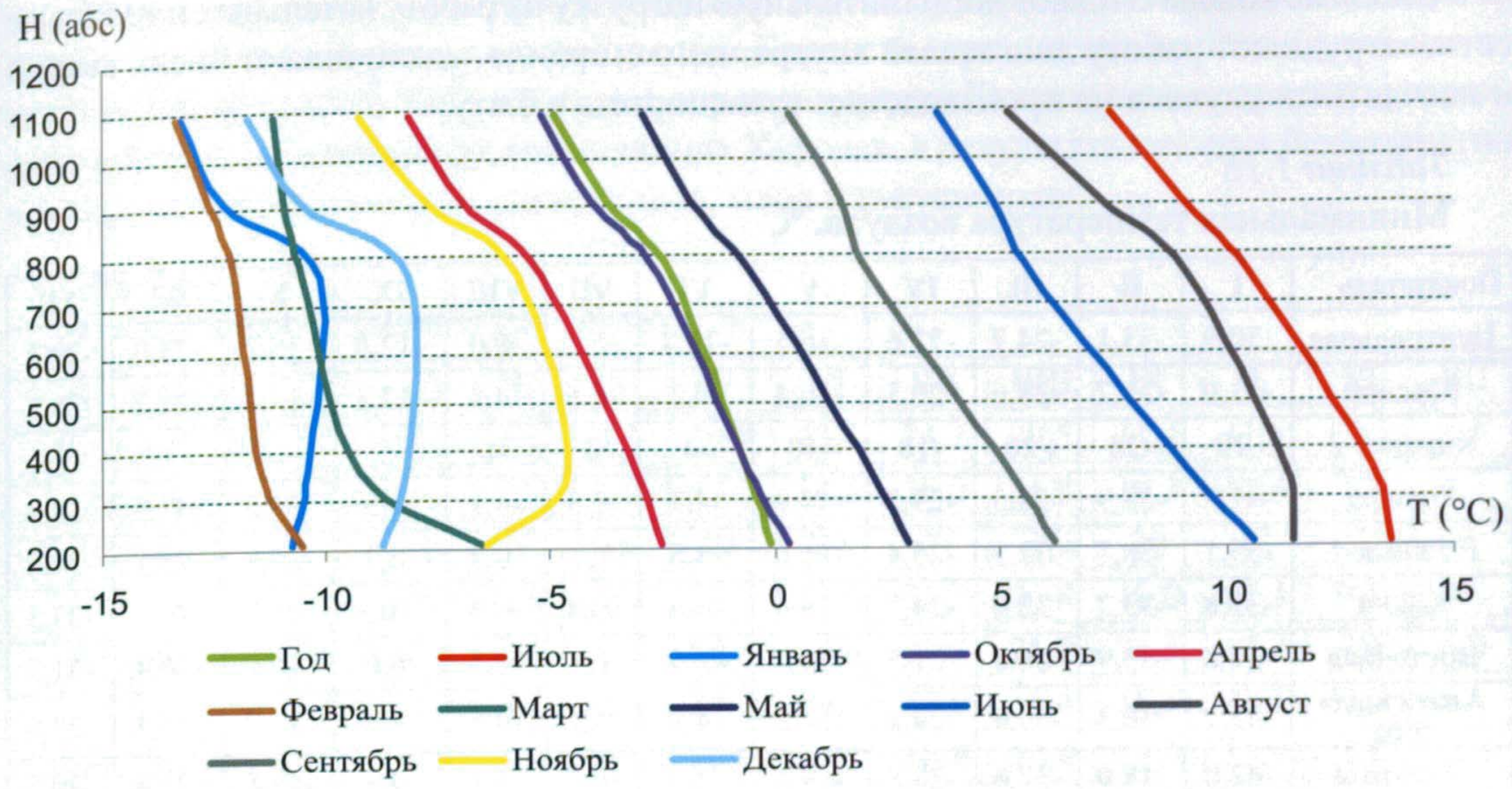


Рис. 1.18. Распределение средней месячной температуры воздуха в Хибинах по высоте

радиации в Хибинах. Это отражается на распределении средней температуры воздуха по высоте в различные месяцы года.

Как видно из графика распределения температур с высотой, среднегодовая температура воздуха постепенно понижается с высотой на $0{,}56^0$C на каждые 100 метров подъема. Интересно заметить, что график распределения среднегодовой температуры воздуха практически совпадает с графиком распределения среднемесячной температуры октября.

В июле вертикальный градиент температуры воздуха несколько выше и составляет $0{,}74^0$/100 м. Особенно высокие значения вертикального градиента температуры воздуха наблюдаются в июне – $0{,}77^0$/100 м. Это объясняется тем, что на дне долин в это время снежный покров уже сходит. Земля и приземный слой воздуха начинают активно прогреваться солнечными лучами. В то же время на верхних участках склонов и на плато еще лежит снег, поэтому часть тепла затрачивается на таяние снежного покрова, и еще часть солнечной энергии отражается от снежной поверхности ввиду большого альбедо снега.

§ 2. Экстремальные значения температуры воздуха

Наибольшие и наименьшие значения в суточном, годовом или многолетнем температурном ходе соответственно называются суточным, годовым или абсолютным максимумом или минимумом температуры воздуха. Незнание или пренебрежение данными об экстремальных температурах воздуха довольно часто приводят к серьезным негативным последствиям. Прежде всего это касается эксплуатации жилых и промышленных сооружений, безопасности производства работ на открытом воздухе, работы автомобильного и железнодорожного транспорта.

Сильные холода создают дополнительную нагрузку на работу котельных и тепловые сети, затрудняют работу двигателей внутреннего сгорания, увеличивают число аварий и несчастных случаев на производстве, транспорте и в быту.

Таблица 1.18

Минимальная температура воздуха, ^{0}C

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Центральная	-30,9	-33,1	-24,7	-22,6	-16,5	-10,4	-6,2	-6,0	-12,0	-19,2	-23,9	-29,3
Юкспор	-31,0	-31,7	-28,6	-20,5	-16,4	-9,2	-3,5	-4,4	-12,5	-17,4	-21,2	-28,3
Кировск-2	-29	-28	-20	-18	-10	-4	0	-1	-6	-14	-19	-25
Коашва	-41,7	-38,9	-38,5	-29,2	-18,9	-4,7	-1,3	-4,1	-7,5	-20,5	-31,4	-38,2
Кировск-1	-35,1	-38,7	-32,3	-25,4	-15,6	-3,8	1,2	-0,9	-8,3	-15,8	-25,1	-34,0
УДО-1	-35,8	-33,7	-32,0	-24,7	-18,6	-4,4	-0,8	-4,9	-10,3	-18,2	-26,9	-33,3
Восточная	-39,8	-35,9	-26,8	-21,5	-14,0	-2,5	1,9	-0,7	-6,6	-15,6	-26,4	-31,7
Апатитовая гора	-35,2	-36,3	-30,6	-24,4	-14,2	-4,9	0,2	-0,5	-8,6	-17,7	-25,5	-29,6
Апатиты	-42,0	-48,0	-37,6	-28,8	-19,1	-2,3	-0,3	-3,8	-9,9	-19,8	-27,6	-40,5
Хибины, горная	-23,6	-23,8	-27,2	-19,0	-13,1	-8,3	-3,3	-2,7	-7,4	-12,6	-15,6	-22,6

Иногда бывают годы, когда минимальная температура даже в летние месяцы опускается в долинах Хибин до отрицательных значений, что негативно влияет на урожай сельскохозяйственной продукции, а также приводит к гибели потомства диких животных и птиц.

Жаркая летняя погода в Хибинах бывает не так уж часто, но экстремально высокие температуры воздуха пагубно влияют на здоровье пожилых людей и лиц, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями. Скудная растительность не способна защитить людей от вредного воздействия длинноволнового излучения, источником которого являются нагретые солнцем стены каменных домов и окружающие скалистые горы.



Рис. 1.19. Результат детской «шалости». Пожар на западном склоне г. Айкуайвенчорр. 19.06. 2005 г.

Жара и связанная с ней сухая погода являются причиной повышенной пожарной опасности. Почти ежегодно в окрестностях Кировска горят не только леса. Сухой ягель, покрывающий склоны Хибинских гор, горит как порох. Каждое лето подростки устраивают пожары на склонах гор, окружающих Кировск, в результате которых безвозвратно выгорают десятки гектаров лишайников, мхов и кустарников.

Таблица 1.19

Максимальная температура воздуха, ^{0}C

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Центральная	2,1	2,2	4,4	8,2	16,9	22,1	24,7	20,5	14,4	11,6	12,1	3,1
Юкспор	2,6	5,7	7,0	8,1	17,7	24,8	26,0	21,8	19,1	12,8	7,4	4,5
Кировск-2	7	6	5	15	24	29	29	27	20	12	7	7
Коашва	8,0	8,5	8,4	10,6	24,0	29,4	31,3	26,8	19,0	12,4	9,3	9,1
Кировск-1	5,3	2,3	4,9	11,0	22,1	29,6	29,3	25,7	21,5	12,2	7,6	6,0
УДО-1	8,1	6,6	6,5	11,6	24,3	29,1	30,0	26,4	18,5	11,5	11,7	6,1
Восточная	8,0	9,9	8,0	16,3	23,4	31,1	30,8	29,4	23,5	13,9	7,5	10,9
Апатитовая гора	5,8	7,0	7,8	12,7	21,8	29,5	29,4	27,6	21,9	12,2	8,3	6,5
Апатиты	4,6	2,8	5,2	9,2	23,5	29,7	29,8	25,7	22,3	11,4	6,5	3,3
Хибины, горная	0,0	1,5	2,8	9,5	16,3	25,2	24,6	23,6	14,6	6,4	4,8	5,4

Определенный интерес представляют экстремальные значения температуры воздуха, полученные в результате многолетних наблюдений в различных точках Хибин. Несмотря на различные ряды наблюдений, а значит, и достоверность полученных данных, выявляется определенная зависимость абсолютных значений температуры воздуха от высоты места.

Таблица 1.20

Экстремальные значения температуры воздуха
из многолетних рядов наблюдений

Показатель	Абсолютный максимум t, °C	Абсолютный минимум t, °C	Абсолютная амплитуда t, °C
Центральная	24,7	-32,2	56,9
Юкспор	26,0	-31,7	57,7
Кировск-2	29,0	-29,0	58,0
Восточная	31,1	-39,8	70,9
УДО-1	30,0	-35,8	65,8
Кировск-1	29,6	-38,7	68,3
Апатитовая гора	29,4	-36,3	65,7
Апатиты	32,0	-48,0	80,0
Коашва	31,3	-41,7	73,0
Хибины, горная	25,2	-27,2	52,4

Абсолютный максимум температуры воздуха с высотой места понижается от 32 °C в Апатитах до 24,7 °C на плато Ловчорр, а абсолютный минимум температуры, наоборот, повышается от – 48,0 °C в Апатитах до –31,7 °C на плато Юкспор. Выше уровня 900 метров над уровнем моря абсолютный минимум начинает снова понижаться до – 32,2 °C

на плато Ловчорр. Такое изменение экстремальных температур воздуха с высотой в горах объясняется ослаблением влияния температуры подстилающей поверхности на термическое состояние приземного слоя воздуха.

Еще более четко проявляется зависимость распределения с высотой абсолютной амплитуды температуры воздуха $A_{э}$.

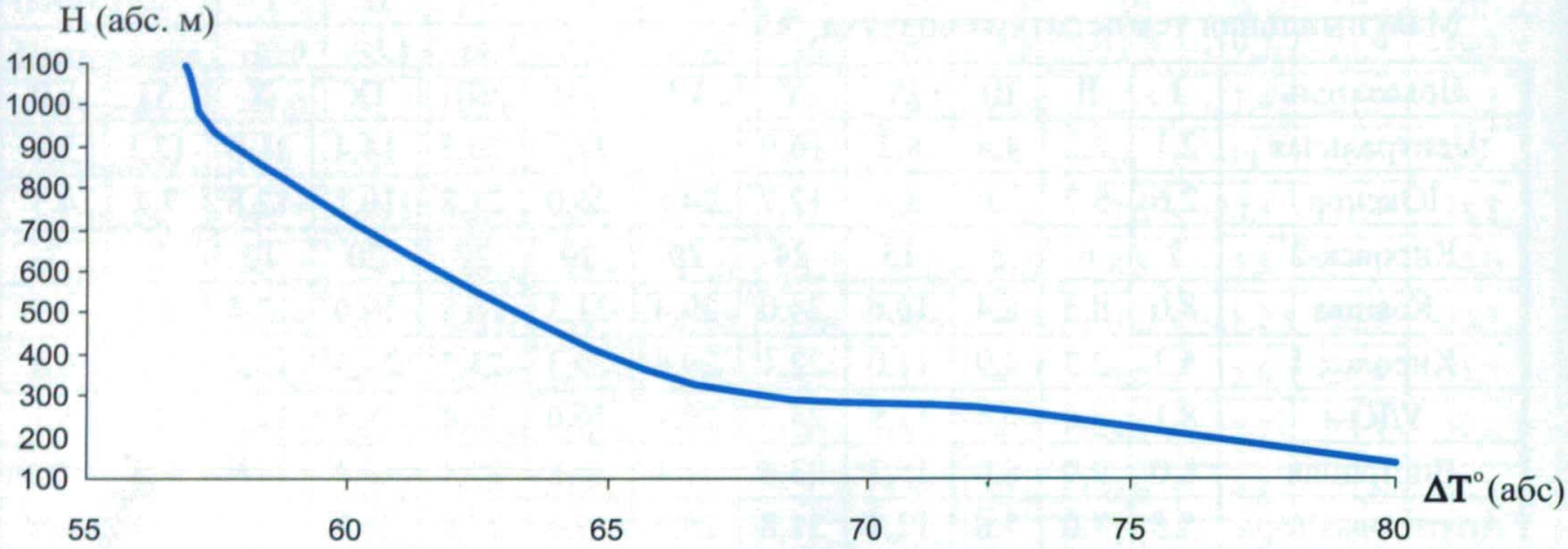


Рис. 1.20. Зависимость $A_{э}$ от высоты места над уровнем моря

С увеличением высоты местности абсолютная амплитуда температуры воздуха уменьшается неравномерно. Особенно резко она уменьшается в нижних частях гор. В Апатитах абсолютная амплитуда температуры воздуха составляет 80°С, в Кировске – 68°С, а на руднике Центральном – 56,9°С.

§ 3. Температурные инверсии

Повышение температуры воздуха с высотой в приземном слое атмосферы называется температурной инверсией. Разность температур у поверхности земли и на верхней границе инверсии в Хибинах достигает 20°С и более, а толщина слоя атмосферы, в котором наблюдалась инверсия, составляет нескольких сотен метров.

В зимние месяцы, когда солнце в Хибинах скрывается за горизонтом или находится низко над горизонтом, плавное падение температуры с высотой нарушается инверсиями, которые обычно бывают при антициклональном типе погоды. Инверсия образуется в результате радиационного выхолаживания воздуха в вогнутых формах рельефа и достигает величины $+8^0$/100 м и более. Охлаждающийся воздух стекает в низины и котловины, где ослабленное турбулентное перемешивание способствует его дальнейшему охлаждению. Зимой на плато Ловчорр временами бывает на 5– 6^0 теплее, чем в Кировске.

В Хибинах и летом солнечные лучи падают под малым углом к горизонту, поэтому северные борта карьеров и южные склоны гор испытывают на себе действие солнечных лучей, падающих почти под прямым углом. Таким образом, дно и южный борт карьера, а также северные склоны гор получают меньше тепла, что приводит при слабых скоростях ветра к скапливанию холодного воздуха на дне карьеров и в закрытых долинах. Такие инверсии называются радиационными.



Рис. 1.21. Задымленность воздуха в Кировске во время инверсии. 02.03.2006 г.

Кроме того, температурные инверсии в Хибинах могут быть связаны с адвекцией теплого воздуха на холодную подстилающую поверхность, с теплыми воздушными фронтами, с турбулентностью в атмосфере и орографией. Инверсии в Хибинах довольно частое явление и отмечаются в любое время года.

С инверсиями температуры связаны периоды загазованности воздуха в районах промышленных площадок и в карьерах. При работе автотранспорта в атмосферу карьера выбрасывается в больших количествах окись углерода, формальдегид и окислы азота, содержание которых в воздухе при инверсии может оказаться больше предельно допустимой концентрации. Ущерб от загазованности и запыленности карьеров



Рис. 1.22. Задымленность воздуха над промплощадкой г. Апатиты во время температурной инверсии. 11.03.2005 г.

выражается в основном через увеличение числа заболеваний работающих в них людей и простоях горного оборудования.

Таблица 1.21

Данные наблюдений за приземными инверсиями в районе Коашвинского карьера в 1970 году [94]

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Число дней с инверсиями	21	26	11	18	7	7	7	13	1	3	12	18
Продолжительность, час	237	405	81	99	24	25	25	69	2	11	148	144
Максимальная разница, °С	13,4	15,9	10,4	10,0	7,6	6,6	3,5	4,9	0,7	0,8	8,8	6,8

§ 4. Суточный ход температуры воздуха

Колебания температуры воздуха в течение суток зависят от прихода солнечной радиации на земную поверхность, облачности, прохождения атмосферных фронтов, местоположения и некоторых других факторов. Осредненные значения температуры воздуха по срокам наблюдений позволяют выявить основные закономерности изменения суточного хода температуры от высоты места над уровнем моря в течение года.

Таблица 1.22

Средние значения максимальной и минимальной температуры воздуха в ее суточном ходе

Станция	Показатели	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
ГЛС «ВОСТОЧНАЯ» 210 м	Tmax	-4,0	1,0	5,6	13,0	16,2	14,0	8,3
	Время суток	15.00	16.00	16.30	16.45	17.00	16.30	15.30
	Tmin	-8,3	-4,4	1,0	6,8	11,0	9,0	4,5
	Время суток	6.30	5.30	4.30	4.15	4.00	4.30	5.30
	Tmax- Tmin	4,3	5,4	4,6	6,2	5,2	5,0	3,8
КИРОВСК 400 м	Tmax	-4,9	0,0	4,5	12,2	16,1	12,7	7,2
	Время суток	15.00	15.30	16.45	17.00	16.30	16.15	15.15
	Tmin	-7,2	-3,7	0,9	7,3	11,4	9,0	4,8
	Время суток	7.00	6.00	4.15	4.00	4.15	5.00	6.00
	Tmax- Tmin	2,3	3,7	3,6	4,9	4,7	3,7	2,4
ГЛС «ЦЕНТРАЛЬНАЯ» 1091 м	Tmax	-10,0	-6,5	-2,2	5,0	9,2	6,0	1,4
	Время суток	15.00	15.30	16.30	17.00	17.00	16.30	15.00
	Tmin	-10,9	-8,1	-4,0	2,6	6,8	4,6	0,3
	Время суток	7.00	5.30	4.30	4.00	4.00	5.00	5.30
	Tmax- Tmin	0,9	1,6	1,8	2,4	2,4	1,4	1,1

В период с октября по февраль суточный ход температуры в Хибинах практически не выражен. С марта по июнь суточная амплитуда температуры воздуха возрастает, а затем с июля по сентябрь уменьшается. С увеличением высоты местности над уровнем моря суточная амплитуда воздуха уменьшается.

Из табл. 1.22 видно, что время максимальных и минимальных значений температуры воздуха от месяца к месяцу закономерно меняется. Максимальная температура воздуха в июне-июле обычно бывает около 17.00, а минимальная – около 4.00, в марте соответственно около 15.00 и 7.00 и в сентябре соответственно около 15.15 и 5.30.

Для прогнозирования дневных и ночных температур воздуха необходимо учитывать степень покрытия небосвода облаками. С увеличением общей облачности суточная амплитуда температуры воздуха уменьшается. Влияние облачности можно оценить по формуле [69]:

$$A = k A_0,$$

где A_0 – амплитуда суточного хода температуры при безоблачной погоде, A – при наличии облаков.

Коэффициент k для различных случаев облачности колеблется от 0 до 1.

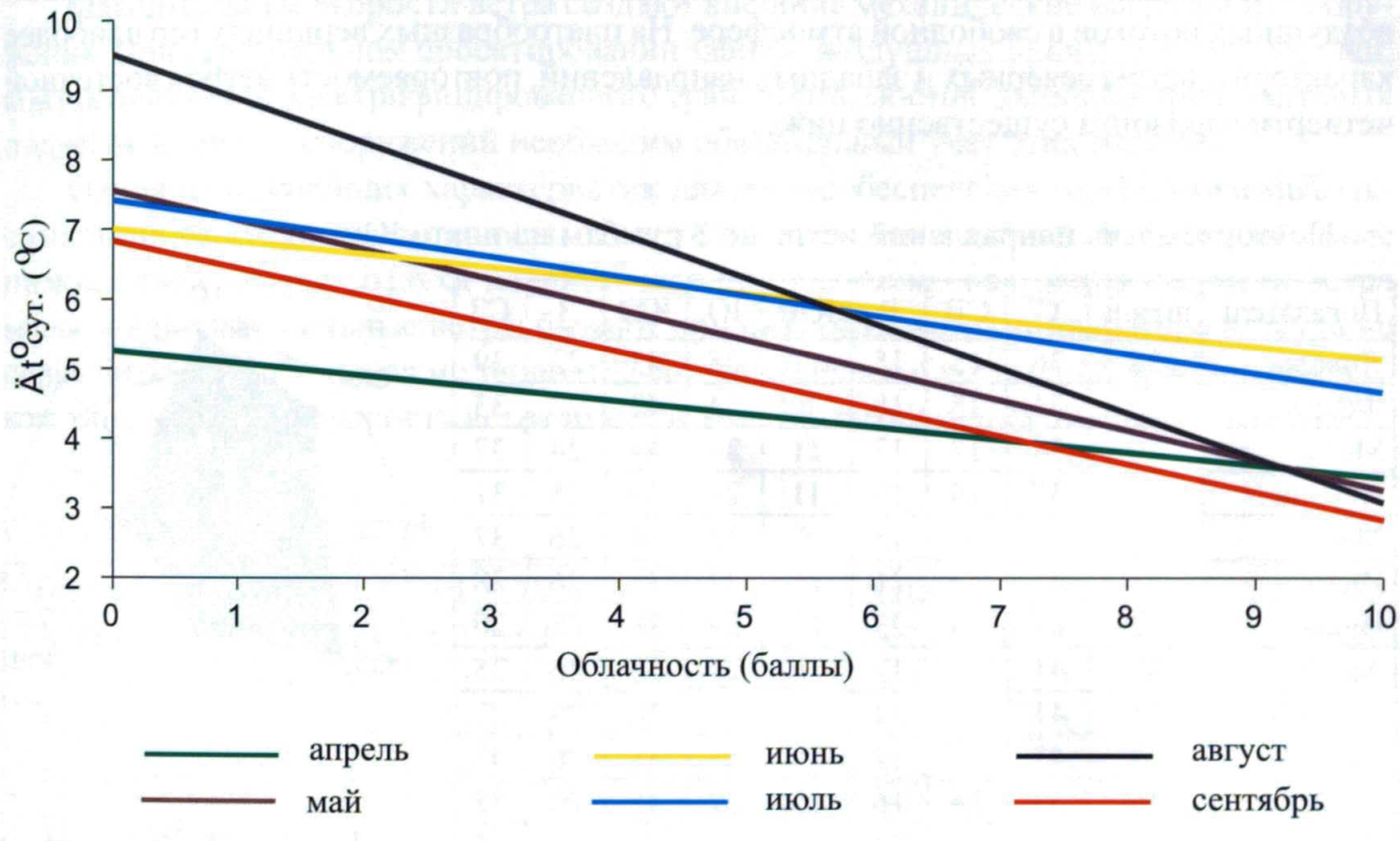


Рис. 1.23. Зависимость суточной амплитуды воздуха от количества облачности для горно-лавинной станции «Восточная»

Амплитуда суточного хода температуры зависит не только от времени года, но и от состояния подстилающей поверхности, прозрачности воздуха и скорости ветра.

Глава 12. Ветер

Движение воздуха относительно земной поверхности называется ветром. Обычно подразумевается горизонтальная составляющая этого движения. Именно она определяется с помощью станционных приборов: флюгера и анемометра. В понятие ветра наряду со скоростью входит и его направление в румбах (по 16-румбовой системе) или градусах угла между вектором скорости и меридианом, причем север принимается за 0 или 360^0, восток – за 90^0, юг – за 180^0, запад – за 270^0. Ветер со скоростью 5–8 м/сек считается умеренным, выше 14 м/сек – сильным, выше 20–25 м/сек – штормом и ураганом – при скорости выше 30–35 м/сек.

Скорость ветра кроме величины барического градиента зависит от ряда других физико-географических условий и подвержена в пределах Хибинского горного массива большой локальной изменчивости. Средние годовые и особенно максимальные скорости ветра в горах колеблются в более широких пределах, чем на окружающих равнинах.

§ 1. Направление ветра

Направление ветров в верхнем ярусе гор зависит от господствующих направлений воздушных потоков в свободной атмосфере. На платообразных вершинах гор наиболее характерны ветры северных и западных направлений, повторяемость ветров восточной четверти горизонта существенно ниже.

Таблица 1.23

Повторяемость направлений ветра по 8 румбам на плато Юкспор

Показатель	штиль	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Январь	38	36	15	15	11	28	43	23	39
Февраль	32	31	15	18	9	24	42	22	33
Март	40	34	17	17	11	24	44	24	37
Апрель	36	37	18	19	11	24	39	25	31
Май	38	51	20	15	8	19	34	26	37
Июнь	33	42	22	21	15	22	31	26	28
Июль	32	41	23	23	17	29	38	25	20
Август	38	41	23	17	16	27	36	25	25
Сентябрь	31	41	17	14	15	24	36	29	33
Октябрь	35	47	13	14	11	21	38	26	43
Ноябрь	36	33	14	16	15	27	45	22	32
Декабрь	37	34	13	14	12	31	49	23	35
Год	426	468	210	203	151	300	475	296	393

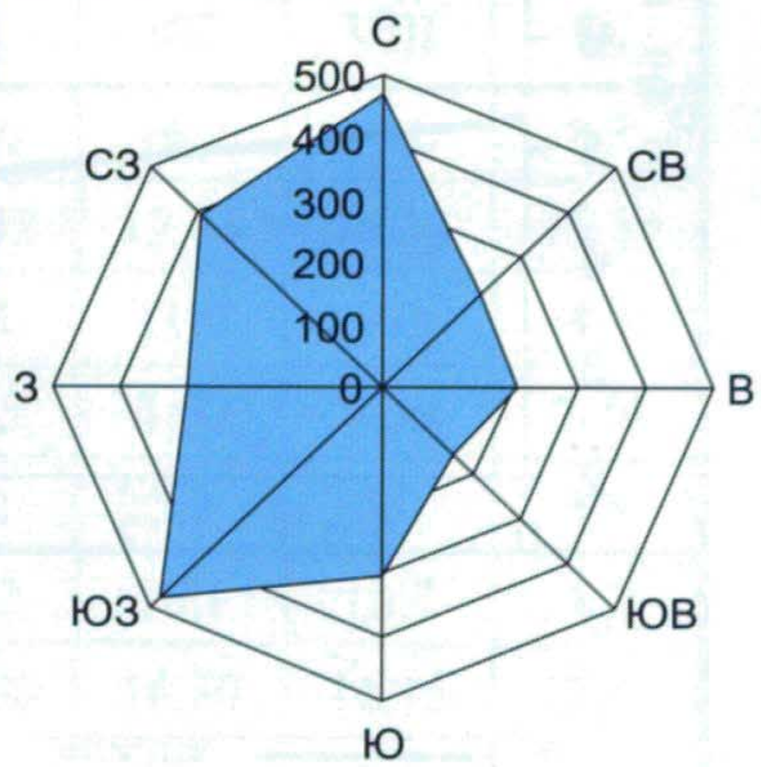


Рис. 1.24. Среднегодовая роза ветров, г. Юкспор

В долинах, как правило, ветры дуют вдоль долин, а наименьшая повторяемость приходится на направления, экранируемые горами. Иногда они имеют стоковый характер. Такие ветры, наблюдаемые во время затишья на плато, связаны с различной температурой воздуха в верховье и в низовье долины. Преобладающие направления ветров на метеостанции «Апатитовая гора», расположенной в долине р. Саамки, показаны в таблице 1.24. Они строго соответствуют осевой линии долины с северо-востока на юго-запад.

Таблица 1.24

Повторяемость направлений ветра по 8 румбам в поселке Кукисвумчорр

Показатель	штиль	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ
Январь	33	12	28	3	1	5	24	7	3
Февраль	32	9	30	2	1	4	21	5	3
Март	31	13	36	3	1	5	22	5	4
Апрель	26	11	31	3	1	7	26	5	4
Май	26	15	38	3	1	4	22	5	4
Июнь	19	10	37	4	1	6	27	5	4
Июль	23	8	37	5	1	6	30	6	2
Август	30	7	33	3	1	7	29	7	2
Сентябрь	28	11	32	3	1	6	26	4	3
Октябрь	31	11	31	3	1	8	26	5	3
Ноябрь	33	8	25	2	1	8	29	6	3
Декабрь	35	8	28	2	2	7	29	6	3
Год	347	123	386	36	13	73	311	66	3

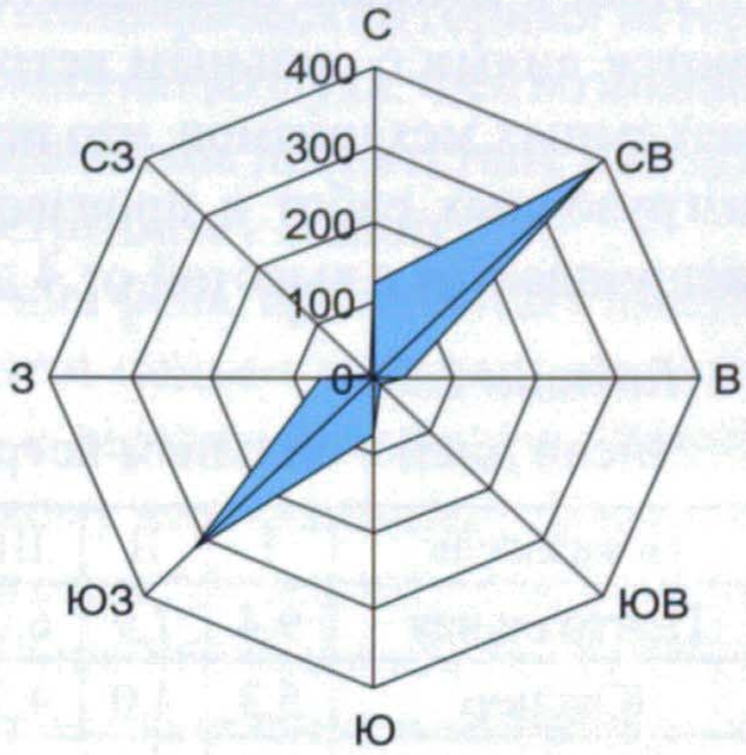


Рис. 1.25. Среднегодовая роза ветров, пос. Кукисвумчорр

§ 2. Скорость ветра

Максимальные скорости ветра создают внешние механические нагрузки на сооружения. При строительном проектировании зданий, воздушных линий электропередачи, контактных сетей электрифицированного транспорта, мостов, дымовых труб, вантовых подвесок и других сооружений необходим обязательный учет этих нагрузок.

Одной из важнейших характеристик для жизнеобеспечения города является максимальная необходимая мощность отопительной системы зданий. В Хибинах самые низкие температуры воздуха наблюдаются при антициклонах, когда скорости ветра малы, а наиболее сильные ветры бывают при циклонах, когда температура воздуха не очень низкая. Наибольшая же теплоотдача зданий происходит именно при циклоническом типе погоды, и скорость ветра имеет в этом процессе первостепенное значение.

Таблица 1.25

Средняя скорость ветра

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	7,1	7,1	6,3	6,0	5,2	4,8	4,7	4,9	5,8	6,7	6,6	6,9	6,0
Юкспор	5,6	5,5	5,3	5,3	4,7	4,4	4,2	4,4	5,1	5,3	5,4	5,5	5,0
Кировск-2	3,3	3,4	3,4	3,1	3,3	3,1	2,9	2,7	2,8	3,4	3,2	3,3	3,1
Кировск-1	3,8	3,3	3,8	3,6	3,5	3,7	3,4	3,0	3,3	3,5	3,5	3,3	3,5
Восточная	1,6	1,5	1,7	1,7	1,8	2,2	1,9	1,2	1,6	1,6	1,4	1,4	1,6
Апатитовая гора	3,4	3,4	3,5	3,4	3,2	3,5	3,3	3,0	3,2	3,2	3,3	3,3	3,3
УДО-1	3,0	2,9	2,6	2,7	2,3	2,4	2,5	2,3	2,6	3,0	3,0	3,1	2,7
Апатиты	3,5	3,4	3,6	4,0	4,1	4,3	3,7	3,5	3,9	4,1	3,8	3,7	3,8
Коашва	2,7	2,5	2,7	2,5	2,3	2,3	2,2	2,2	2,3	2,5	2,9	3,0	2,5
Хибины	3,7	3,9	3,8	4,0	4,1	4,4	4,0	3,9	4,2	3,8	3,8	3,9	4,0

Ветры в Хибинах довольно сильны и отличаются большой порывистостью. В Кировске в 20% всех случаев наблюдаются порывы. С высотой порывистость ветра возрастает и на плато Ловчорр составляет 35–40%. Скорость ветра при порывах в

Кировске достигала 48 м/сек, на плато Юкспор превышала 60 м/сек, а на плато Ловчорр, судя по разрушениям, достигала 80 м/сек.

Дни, в которые наблюдается ветер со средней скоростью не менее 15 м/сек, считаются днями с сильным ветром. При такой скорости ветра ограничивается работа подъемных механизмов, что неблагоприятно отражается на производстве погрузочно-разгрузочных работ и производстве высотных монтажных работ. Число таких дней увеличивается с высотой от 4 дней на Коашве до 66 дней на Центральном руднике.

Таблица 1.26

Число дней с сильным ветром

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	9,4	7,9	6,0	5,1	3,3	2,1	2,0	2,6	4,1	7,5	6,6	9,2	65,8
Юкспор	5,3	4,0	4,3	3,8	2,2	1,4	1,2	1,8	2,6	4,2	4,2	4,3	39,3
Кировск-1	2,0	1,8	3,2	1,8	1,3	2,3	0,5	1,3	0,7	1,7	2,5	1,8	20,9
Восточная	1,8	1,3	1,8	0,1	0,3	0,6	0	0	0	0,9	0,8	1,9	9,5
Апатитовая гора	3,1	4,0	2,6	2,2	1,1	0,6	0,1	1,0	1,9	2,8	2,5	2,9	24,8
УДО-1	0,8	0,6	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0	0,3	0,8	0,8	0,8	5,1
Апатиты	1,8	2,2	1,8	2,2	1,5	0,5	0,7	0,3	1,8	2,7	1,3	1,5	18,3
Коашва	0,4	0,8	0,6	0,7	0,1	0	0	0	0,1	0,1	0,6	0,6	4,0
Хибины	2,2	1,7	1,9	2,6	1,4	2,5	1,0	2,0	2,2	2,3	2,5	2,4	24,7

В сухую летнюю погоду сильный ветер вызывает пыление хвостохранилищ апатито-нефелиновых фабрик. При северных направлениях ветров пылевое облако, образованное на хвостохранилище АНОФ-2, может распространиться на несколько десятков километров. При такой ситуации особенно страдают жители г. Апатиты. При сильном восточном ветре начинают пылить хвосты АНОФ-3. При такой ситуации пылевое облако накрывает пос. Титан и может достичь г. Апатиты. Огромные материальные вложения, затрачиваемые комбинатом «Апатит» на пылеподавление, пока полностью не решают эту проблему.



Рис. 1.26. Пыление хвостохранилища АНОФ-2. 19.06.2005 г.

§ 3. Хибинские фёны

Характерной чертой климата Хибин является фён – специфический горный ветер с повышенной температурой воздуха и более низкой влажностью воздуха. Фён возникает, если на пути воздушного течения располагается орографическое препятствие и воздух засасывается вниз за препятствием, опускаясь по подветренному склону.

Классический механизм, используемый для объяснения фёна, предполагает вынужденный подъем влажного воздуха по горному хребту. Этот подъем вызывает развитие облаков и выпадание осадков на наветренном склоне и верхних частях гор. Поднимающийся воздух охлаждается по влажноадиабатическому вертикальному градиенту температуры примерно на 0,5-0,6^0 на 100 м, высвобождая скрытую теплоту конденсации выше основания облака, тогда как на подветренном склоне нисходящий, более сухой воздух нагревается по сухоадиабатическому вертикальному градиенту температуры на 1^{0}на 100 м. Разница температур на наветренных и подветренных склонах гор при таком механизме образования фёна невелика и не превышает 5– 6 ^{0}С. В связи с преобладающим направлением движения влажных масс воздуха с запада на восток фёны наблюдаются чаще в подветренных восточных долинах Хибин. Так, в долине реки Вуоннемйок, где располагается Восточный рудник, фёны наблюдаются от 10 до 20 раз в год и иногда приносят кратковременные оттепели в зимний период. Отмечаются случаи, когда на фоне туманной ветреной погоды в Кировске и Апатитах во время фёна в долине р. Вуоннемйок светит солнце. Существует мнение, что фёны, разрушая инверсии, улучшают проветривание карьеров от задымления и загазованности [82]. Однако с этим трудно согласиться. В частности, в Коашвинском карьере Восточного рудника более теплый воздух, приносимый фёном, скользит по более холодному и тяжелому воздуху карьера, тем самым увеличивая инверсию температуры над ним.

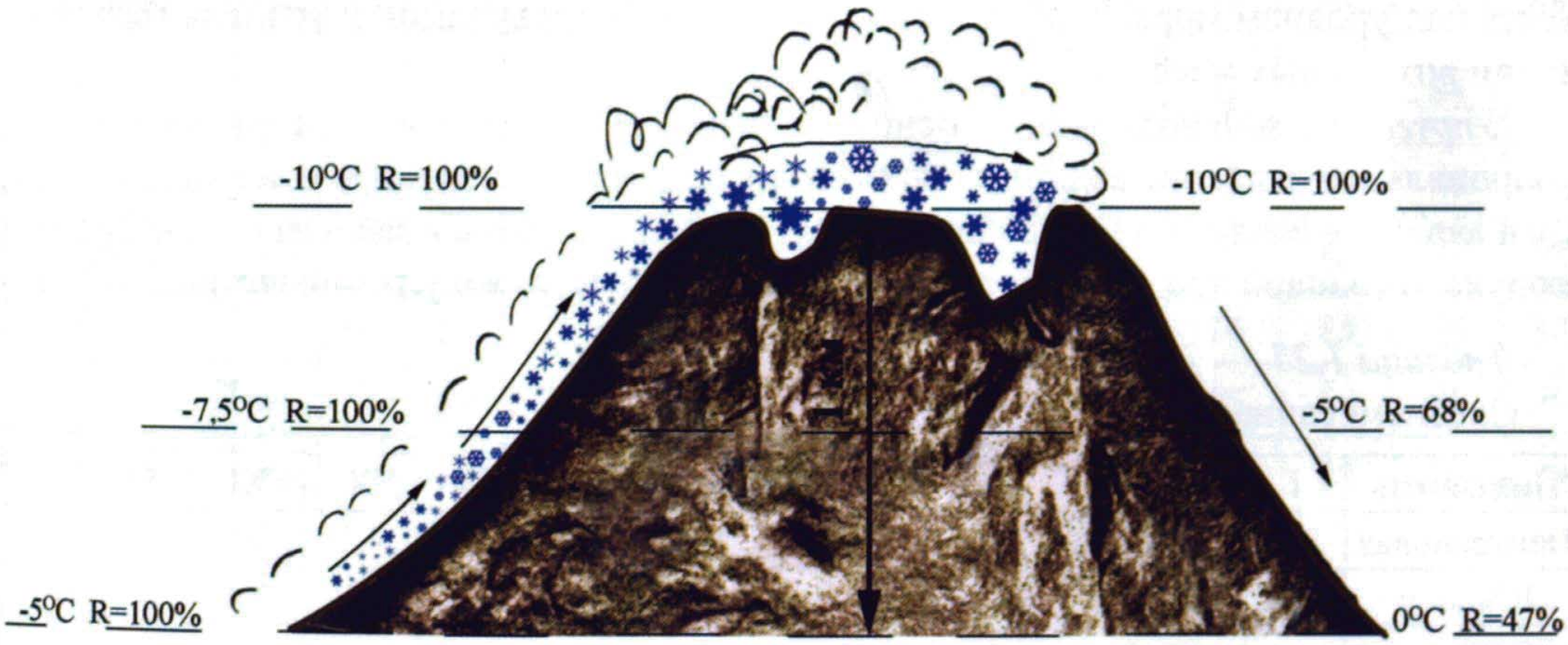


Рис. 1.27. Классическая схема образования фёна при переваливании

В Хибинах наблюдаются фёны свободной атмосферы, когда над Кольским полуостровом устанавливается высокий антициклон. Опускающийся в центре и по периферии антициклона воздух нагревается на 1^{0}С на каждые 100 метров снижения, и соответственно его относительная влажность уменьшается. В этом случае теплый сухой воздух

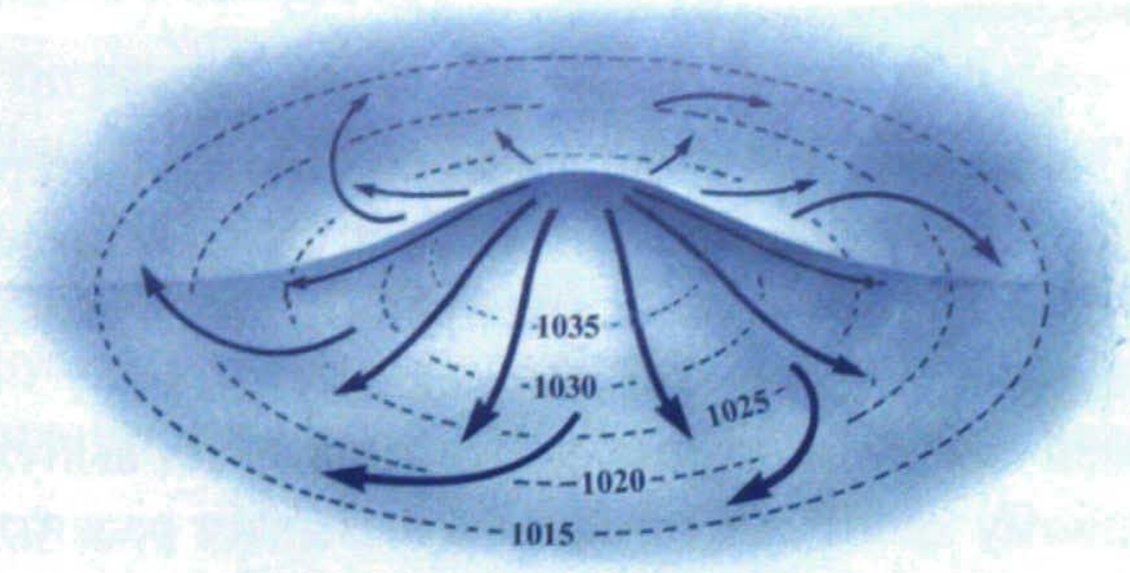


Рис. 1.28. Направление воздушных потоков в антициклоне

растекается по всем долинам Хибин в виде фёна. В такие моменты температура воздуха может повыситься вне зависимости от формы рельефа на 10 ^{0}С, а относительная влажность воздуха снизиться до 5%.

Обычно антициклональные фёны в Хибинах проявляются в весеннее время, когда за счет продолжительного солнечного сияния температура воздуха в антициклоне повышается. Так, 18 мая 1973 года на метеостанции «Юкспор» за период с 3 до 6 часов утра температура воздуха при антициклоне повысилась с –6,8° до –0,4°С, а относительная влажность воздуха упала от 100 до 31%. К 20 мая 1973 года температура воздуха повысилась до +6,9°, а относительная влажность упала до 5%. Влияние этого антициклонального фёна прослеживалось в Хибинах более 4 суток. Весной антициклональные фёны усиливают таяние снега в горах и способствуют образованию мокрых лавин.

Глава 13. Влажность воздуха

Влажность воздуха – один из элементов режима увлажнения, представляющий интерес для ряда отраслей народного хозяйства. Она характеризуется тремя параметрами: упругостью водяного пара, относительной влажностью и недостатком насыщения. Эти характеристики влажности воздуха меняются во времени, а также по территории. Существенное влияние на распределение характеристик влажности оказывают высота места над уровнем моря, особенности атмосферной циркуляции и условия трансформации воздушных масс.

Упругость водяного пара – основная характеристика влагосодержания воздуха – парциальное давление водяного пара, содержащегося в воздухе, и измеряется так же, как и давление воздуха, в миллибарах. Упругость водяного пара зависит от температуры воздуха, и годовой ход ее аналогичен соответствующему ходу температуры воздуха.

Таблица 1.27

Среднемесячная упругость водяного пара, в мб

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	2,2	2,2	2,5	3,2	4,5	6,6	8,6	8,1	6,1	4,1	3,0	2,5	4,5
Юкспор	2,3	2,3	2,5	3,3	4,5	6,8	9,0	8,8	6,4	4,5	3,4	2,7	4,7
Апатитовая гора	2,3	2,2	2,6	3,6	5,0	7,6	9,9	10,0	7,3	4,8	3,8	2,9	5,2
Восточная	2,6	2,8	3,3	4,3	5,7	8,9	12,4	10,8	8,3	5,5	3,5	3,1	5,5
Кировск-1	2,4	2,3	2,5	3,8	5,2	7,9	10,4	10,3	7,6	5,0	4,0	3,1	5,4
УДО-1	2,3	2,4	3,0	3,6	5,0	7,9	10,5	9,6	7,4	4,9	3,3	2,7	5,2
Апатиты	2,3	2,2	2,6	3,9	5,4	8,4	11,2	11,0	8,2	5,5	4,2	3,1	5,6
Хибины	2,4	2,3	2,7	4,0	5,4	8,3	11,0	11,1	8,1	5,5	4,2	3,1	5,7

Относительная влажность воздуха характеризует степень насыщения воздуха водяным паром и в большей степени зависит от местных условий. Медицинские исследования показывают, что наиболее благоприятная для жизнедеятельности человека влажность воздуха находится в пределах от 40 до 60%. Высокая же влажность при низких температурах способствует быстрому охлаждению организма, что предрасполагает к простудным заболеваниям.

Средняя годовая относительная влажность на плато Ловчорр в районе Центрального рудника составляет 91%, на плато Юкспор – 88%, в долинах влажность несколько ниже – 77–80%, но все равно остается довольно высокой. На вершинах гор, которые часто закрыты облаками, годовой ход относительной влажности определяется годовым ходом высоты нижней облачности и в меньшей мере, чем на окружающих равнинах, условиями трансформации воздушных масс в различных сезонах. Максимальная относительная влажность воздуха в Хибинах наблюдается в осенние и зимние месяцы. На вершинах гор в это время года среднемесячная относительная влажность составляет 92–95%, в долинах – 85–89%. В летние месяцы года средняя месячная относительная влажность воздуха на вершинах гор понижается до 78–84%, в долинах – до 64–65%. При поступлении сухого континентального воздуха и во время антициклональных фёнов влажность воздуха может падать до 10–15%. Характерно, что среднее число дней с высокой влажностью воздуха, равной или большей 80%, с подъемом в горы возрастает от 12 дней в месяц в Апатитах до 23 дней в месяц на Центральном руднике.

Таблица 1.28

Средняя месячная относительная влажность воздуха, в %

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	94	91	90	91	87	85	84	90	95	95	94	94	91
Юкспор	92	92	89	87	82	78	78	86	92	93	93	94	88
Апатитовая гора	82	82	77	72	69	65	68	75	80	82	85	84	77
Восточная	84	86	82	76	72	67	72	75	82	82	89	88	80
Кировск-1	86	85	81	76	69	64	67	75	77	84	88	87	78
УДО-1	84	83	81	75	75	70	72	79	83	84	85	83	80
Апатиты	86	85	80	74	69	65	69	77	82	85	88	88	79
Хибины	86	85	80	74	69	66	70	76	80	83	87	87	79

Глава 14. Туманы

Помутнение воздуха, вызванное скоплением продуктов конденсации (капелек или кристаллов льда), взвешенных в воздухе непосредственно над поверхностью Земли, называется туманом. О тумане говорят, когда дальность горизонтальной видимости меньше 1 км. При дальности видимости 1–2 км говорят о дымке.



Рис. 1. 29. Радиационный туман в предгорьях Хибин. 25.10.2005 г.

В зависимости от процесса образования различают следующие виды туманов:

1. Туманы радиационные, образующиеся преимущественно ночью благодаря излучению воздуха и имеющимся в нем ядрам конденсации. Конденсации способствует и соприкосновение влажного воздуха с охлаждающейся поверхностью почвы или снега.

2. Туманы адвективные, образующиеся, когда воздух течет над более холодной подстилающей поверхностью.

3. Туманы испарения, возникающие в холодном воздухе, движущемся над теплой поверхностью воды.

4. Туманы фронтальные, образующиеся перед теплым фронтом в воздухе, насыщенном водяным паром благодаря выпадающему дождю.

5. Туманы орографические, связанные с адиабатическим охлаждением воздуха при его подъеме на склонах гор.

В Хибинах преобладают орографические туманы, вызываемые охлаждением влажного воздуха, натекающего на горный массив и поднимающегося по склону вверх. Сильные ветры с Северной Атлантики приносят на Кольский полуостров массу тяжелых туч, скрывающих вершины гор. Именно там происходит переход нижней облачности в туман. Поэтому повторяемость и продолжительность туманов в верхних частях гор тесно связана с повторяемостью нижней облачности и ее высотой. Максимальное количество нижней облачности и наименьшая ее высота бывают зимой, что соответствует продолжительности и плотности туманов в зимние месяцы. На плато Ловчорр туманы длятся иногда до двух недель непрерывно. Общая продолжительность туманов на руднике Центральном составляет около 3800 часов в году, причем около 320 часов с видимостью, не превышающей 25 метров, и 525 часов – с видимостью менее 50 метров. С понижением высоты местности частота и продолжительность туманов резко уменьшается.

Таблица 1.29

Средняя продолжительность туманов, в часах

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	337	282	329	292	251	235	225	336	409	437	377	378	3888
Юкспор	259	203	201	204	161	139	134	212	280	321	345	318	2777
Кировск-1	14	17	16	17	17	11	10	14	23	50	48	24	261
Восточная	22	22	18	37	16	15	14	19	36	57	63	36	355
Кировск-2	10	10	11	9	8	9	8	11	9	33	44	38	200
УДО-1	8	14	12	6	12	21	5	8	15	37	32	12	182
Апатиты	32	34	15	5	6	2	1	4	8	10	26	20	163
Коашва*	14	16	25	31	43	19	17	42	37	27	31	19	321

** – неоднородный ряд наблюдений. Приведенные данные, вероятно, несколько занижены.*

При морозной и безветренной погоде в Кировске образуются туманы смешения. Дым от котельной, выхлопные газы автомобилей, утечки горячей воды и пара из системы теплоснабжения при температуре ниже – 20°С и слабом ветре образуют плотный туман.

Туманы – серьезная помеха работе транспорта. При видимости менее 20 метров движение транспорта в карьерах прекращается, а при видимости 20–50 метров – ограничено скоростью 5 км/час. В зависимости от продолжительности и плотности туманов производительность самосвалов может снижаться вдвое [16]. На руднике Центральный простой автотранспорта из-за ограниченной видимости в тумане составляет до 10–15 суток в год.

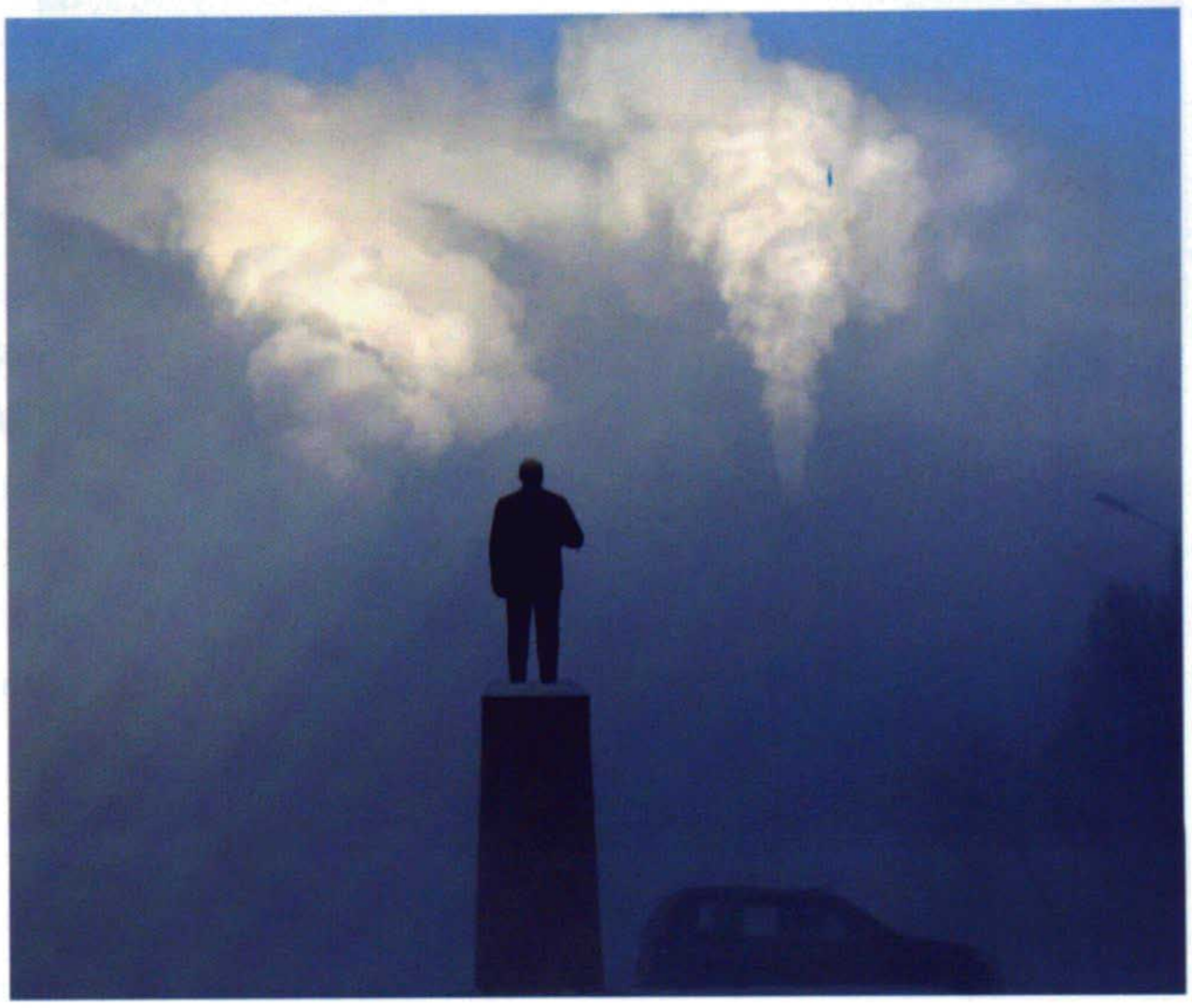


Рис.1.30. Смешанный туман в центре г. Кировска. 02.03.2006 г.

Температурная инверсия в приземном слое воздуха препятствует выносу тумана из города и способствует увеличению в приземном слое воздуха концентрации радона, излучаемого землей. Таким образом, туман не только является непосредственной угрозой всем видам транспорта, но и оказывает вредное физиологическое действие на организм человека. При длительном пребывании в туманах ощущаются недомогание и угнетение, чему способствует и психологический фактор. Плотный туман, моросящий дождь или снег мешают ориентироваться в горах; отвесные скалы и глубокие ущелья становятся очень опасными. Это должны знать любители горного туризма и не подвергать себя неоправданному риску.



Рис. 1.31. Отложения гололеда на деревьях в парке г. Кировска. 21.01.2005 г.

Существуют несколько видов гололедо-изморозевых явлений. К их числу относятся: иней, кристаллическая изморозь, зернистая изморозь, гололед, отложение мокрого снега и замерзшее отложение мокрого снега. В зависимости от процессов образования указанные выше явления делятся на три группы.

К первой группе относятся обледенения, возникающие в результате сублимации водяного пара, т. е. процесса, при котором водяной пар переходит непосредственно в лед, минуя стадию воды.

Ко второй группе относятся обледенения, возникающие главным образом за счет осаждения и замерзания переохлажденных капель воды.

К третьей группе относятся обледенения, возникающие вследствие осаждения и замерзания непереохлажденной воды и мокрого снега.

Исходя из внешних признаков и условий образования, для каждого вида гололедо-изморозевых явлений В. Е. Бучинский выделил определенное количество разновидностей: для инея две, для кристаллической изморози – две, для зернистой изморози – три, и для гололеда – четыре [22].

В Хибинах наблюдаются все виды и подвиды гололедо-изморозевых явлений, однако в практике метеорологических наблюдений, проводимых в Хибинах, применяется упрощенная классификация.

Типичной погодой для каждого вида обледенения является: при гололеде – дождь при слабом морозе, при зернистой изморози – туман при умеренном морозе, при кристаллической изморози – дымка при сильном морозе, при инее – ясное небо и отсутствие видимых элементов конденсации.

Экстремальные отложения атмосферного льда нарушают бесперебойную работу железнодорожного транспорта, выводят на длительный срок из строя электроснабжение, наносят большой ущерб растительному и животному миру Хибин. Отложения гололеда

или изморози на растениях приводят к их механическим повреждениям и обрекают диких животных и птиц на гибель. Под действием тяжести отложений атмосферного льда ветви деревьев гнутся и обламываются.

Большая повторяемость туманов при отрицательных температурах воздуха в Хибинах способствует отложению гололеда и изморози, смешанные отложения которых достигают особенно больших размеров на горных плато. Первые наблюдения за гололедом и изморозью на гололедном станке начались в 1954 году по предложению Главной Геофизической обсерватории на горно-лавинной станции «Юкспор». В связи со строительством высокогорного рудника «Центральный» начались специальные наблюдения на плато Расвумчорр и Ловчорр.

Наблюдения на гололедном станке дали следующие результаты. Нарастание идет преимущественно за счет зернистой изморози (61–86%), затем следуют кристаллическая изморозь (9–33%) и гололед (1–8%). Малая прочность кристаллической изморози приводит к тому, что на предметах остаются в основном смешанные отложения зернистой изморози и гололеда [14].

§ 1. Гололедица и гололед

Гололедицу нужно отличать от гололеда. Гололедицей называется лед на поверхности земли, образовавшийся после оттепели или дождя в результате наступления внезапного похолодания, а также вследствие замерзания мокрого снега или капель дождя и мороси от соприкосновения с сильно охлажденной поверхностью земли. Гололедица, как правило, наблюдается одновременно с гололедом, но при гололедице обледеневает сама поверхность земли, чаще всего дорожные покрытия, что затрудняет движение транспорта. Ледяная корка на дорогах образуется, когда после оттепели или выпадения дождя происходит резкое похолодание или при резком потеплении после морозной погоды.

Таблица 1.30

Число дней с гололедом

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	0,1	0	0	0,4	2	2	0,8	2	4	2	0,3	0	14
Юкспор	0,1	0,1	0,8	0,9	2	1	0,4	0,6	3	2	0,8	0,1	12
Кировск-1	5	4	1	0,3	0,1	0	0	0	0	0,8	6	10	27
Восточная	0	0,6	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Хибины	4	3	0,6	0,1	0,1	0	0	0	0	0,5	2	6	16
Апатиты	6	4	1	0,4	0,1	0	0	0	0	0,5	3	8	23
Коашва	0,2	0,1	0,4	0	0,3	0,1	0	0	0	0,5	2	1	5
Апатитовая гора	5	2	2	0,1	0,2	0	0	0	0,1	2	6	9	26

Гололедом называется отложение льда на любых предметах (преимущественно с наветренной стороны) или на поверхности земли, обусловленное осаждением и замерзанием переохлажденного дождя, мороси или тумана при отрицательной температуре в приземном слое воздуха. Гололед обычно наблюдается при температуре от 0 до –3 °С, реже при более низких температурах. При сильном ветре образуется на наветренной

стороне предметов. Отложение льда на проводах и сооружениях толщиной 20 мм и более относится к особо опасным метеорологическим явлениям, т. к. приводит к обрыву проводов, обламыванию ветвей деревьев и т. д. Различают матовый и прозрачный гололед.

Матовый гололед образуется при выпадении мелких капель воды, которые из-за малой массы при замерзании выделяют небольшое количество тепла, легко рассеиваемое окружающим воздухом, поэтому время замерзания капли мало. Матовый гололед имеет плотность 500–700 кг/м^3.

При выпадении крупных капель количество выделяющегося тепла при замерзании одной капли сравнительно велико и время замерзания возрастает; возможен даже обратный переход изо льда в воду, что снижает неоднородность льда и увеличивает его оптическую плотность, делая лед прозрачным. Прозрачный гололед имеет плотность 700–900 кг/м^3.

Отложения гололеда в долинах бывает не часто, и размеры отложений на проводах редко превышают 35 мм. Гололед редко наблюдается и на платообразных вершинах Хибин. Однако в июле 1962 года на плато Юкспор 5-миллиметровый провод покрылся льдом размером 146 на 51 мм. Обледенение проводов относится к числу явлений погоды, в значительной мере влияющих на механическую прочность линий связи и электропередачи и затрудняющих их эксплуатацию. С осаждением на проводах атмосферного льда создается дополнительная весовая нагрузка, увеличивается их парусность и вибрация, возникают такие явления, как «пляска» и скручивание проводов. В ряде случаев эти явления приводят к преждевременному износу проводов и их обрыву. Отложения атмосферного льда на различных вертикальных сооружениях (опоры ЛЭП, мачты, лестницы и т. д.) увеличивают их парусность и нередко приводят к разрушению.

Таблица 1.31

Средние характеристики отложений гололеда на 5-миллиметровом проводе длиной 1 м на плато Ловчорр за период с 1993 по 2002 год

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Число случаев	0,10	0	0	0,35	0,85	0,65	0,75	1,20	1,30	1,05	0	0,05	6,3
Время отложения (час)	0,4	0	0	1,5	6,4	4,6	5,4	8,0	7,8	4,4	0	0,2	38,7
Вес отложений (кг)	0,02	0	0	0,01	0,09	0,06	0,09	0,07	0,08	0,18	0	0,01	0,61

Прогноз гололеда основывается на прогнозе условий, благоприятных для его образования. Внутри воздушных масс гололед образуется в зонах адвекции тепла при отрицательной температуре в приземном слое, если имеется достаточно мощная слоистая облачность, из которой возможно выпадение мороси. Фронтальные гололеды наблюдаются преимущественно перед теплыми фронтами и теплыми фронтами окклюзии в связи с выпадением переохлажденного дождя. Такие гололеды наиболее интенсивны и опасны.

§ 2. Зернистая изморозь

Зернистая изморозь – снеговидный, рыхлый лед, нарастающий с наветренной стороны предметов в туманную, преимущественно ветреную погоду при температуре воздуха от –2 °С до –15 °С. Она имеет аморфное строение и по структуре занимает промежуточное положение между гололедом и кристаллической изморозью.

Таблица 1.32

Число дней с изморозью

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	10	9	10	9	9	5	0,5	1	7	10	10	10	90
Юкспор	14	13	14	14	11	3	0,2	0,4	4	14	14	14	116
Апатитовая гора	8	6	2	0,1	0	0	0	0	0	2	4	7	29
Кировск-1	14	12	3	0,3	0	0	0	0	0	2	8	15	54
Коашва	6	6	3	0,7	0	0	0	0	0	2	6	5	29
Восточная	4	2	0,8	0	0	0	0	0	0	0,1	6	6	19
Апатиты	16	14	10	2	0,1	0	0	0	0,1	2	8	13	65
Хибины	10	8	3	0,5	0,1	0	0	0	0	0,3	4	8	34

Зернистая изморозь отличается от гололеда снежно-белым цветом и меньшей плотностью (100–400 кг/м^3). Структура отложений зависит от размеров капель тумана, что в свою очередь определяется водностью тумана. Если капли тумана меньше 20 мкм, образуется изморозь, если больше 20 мкм – гололед [69].

Отложения изморози 50 мм и более относятся к особо опасным метеорологическим явлениям. Скорость отложения зернистой изморози на различные предметы и сооружения зависит от многих факторов: от скорости ветра, орографии местности, температуры воздуха, водности тумана, размеров капель, формы и размеров предметов и сооружений, а также состояния поверхности, на которую откладывается изморозь.

Скорость ветра и водность тумана определяют общую массу воды, проносящуюся через единицу площади за единицу времени. Скорость ветра и размеры капель определяют количество движения капельки воды – ($mv_к$), где m – масса капли и v – ее скорость. Чем больше количество движения капли $mv_к$, тем больше ее инерционный пролет при попадании в зону резкого снижения скорости ветра или полного затишья, которая зависит от размера препятствия.



Рис. 1.32. Распределение изморози по высоте. 11.04.2005 г.

Таким образом, при слабых скоростях ветра и незначительных размерах капель отложение зернистой изморози начинается на тонких проводах, ветвях деревьев. При увеличении скорости ветра и размеров капель тумана отложение изморози начинается на опорах линии передачи и даже на стенах зданий и сооружений.

Скорость отложения зернистой изморози в приземном слое воздуха, так же как и скорость ветра, увеличивается с высотой по логарифмической функции. Зернистая изморозь образуется и на снежном покрове в результате осаждения капель тумана под действием силы тяжести на горизонтальную поверхность.

Таблица 1.33

Средние характеристики отложений изморози на 5-миллиметровом проводе длиной 1 м на плато Ловчорр за период с 1993 по 2002 год

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Число случаев	6,7	7,4	9,8	10,6	8,8	2,6	0,5	0,7	3,6	5,0	5,8	7,0	68,5
Время отложения (час)	281	256	308	184	118	20	4	7	71	148	248	261	1906
Вес отложений (кг)	4,1	3,8	3,8	1,4	0,8	0,1	0,01	0,02	0,8	2,2	4,0	4,7	25,7



Рис. 1.33. Отложение зернистой изморози на 5-миллиметровом проводе. Плато Ловчорр. 23.11.2004 г.

Для уменьшения отложения изморози и гололеда на предметах их поверхность покрывают специальными красками или покрытиями. Против обледенения самолетов применяют специальные жидкости.

Прогноз зернистой изморози может быть дан тогда, когда ожидается возникновение тумана при отрицательных температурах. Помимо адвективных туманов к образованию зернистой изморози может привести и наличие адвективно-радиационных туманов и даже чисто радиационных туманов, если продолжается охлаждение воздуха в приземном слое, способствующее осаждению капелек тумана, замерзающих при соприкосновении с ледяными частицами.

§ 3. Сложные гололедо-изморозевые явления

Колоссальных размеров достигает изморозь, смешанная с гололедом. К особо опасным метеорологическим явлениям относятся сложные гололедо-изморозевые отложения при толщине 35 мм и более. Сложные отложения являются основным видом гололедно-изморозевых отложений на горных плато Хибин, и их размер на предметах



Рис. 1.34. Сложные гололедо-изморозевые отложения на метелемерном домике горно-лавинной станции «Центральная». 25.03.2004 г.

может превышать полтора метра. Гололедно-изморозевые отложения, увеличивая вес и парусность проводов и конструкций, могут приводить к их разрушению. С 26 ноября 1954 года по 2 января 1955 года на плато Юкспор на 5-миллиметровом проводе длиною 1 метр отложилось 8,120 кг льда. Нарастание отложения происходило в течение 816 час [13].

Еще более грандиозного веса и размера бывают отложения в районе Центрального рудника. На плато Ловчорр в период с 24 ноября по 7 декабря 1966 года отмечен экстраординарный случай обледенения, когда за 313 часов на 5-миллиметровый провод длиною в 1 метр отложилось около 30 кг льда.

Таблица 1.34

Число дней со сложными отложениями

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	28	25	27	25	16	2	0,6	2	10	21	24	25	206
Юкспор	26	23	23	14	7	1	0,1	0,2	5	16	22	25	162
Апатитовая гора	3	0,8	0,2	0	0	0	0	0	0	0,2	3	5	12

Размер гололедно-изморозевых отложений существенно зависит от высоты местности и направления ветра. С повышением местности происходит скачкообразный рост интенсивности отложений, связанный с высотой нижней границы облачности.



Рис. 1.35. Разрушенная опора ЛЭП-108. 29.12.2004 г.

Максимальные значения отложений характерны для высоты 800 метров и выше.

Это обстоятельство не было принято во внимание при проектировании воздушной линии электропередачи на Центральный рудник, 44 опоры которой были расположены выше 850 метров над уровнем моря. В процессе эксплуатации ЛЭП-108 выявилось, что на высотах от 850 до 1060 метров над уровнем моря диаметр гололедо-изморозевых отложений на проводах достигал 40 см, а на столбах линии электропередачи превышал 2 метра. Общий вес гололедо-изморозевых отложений на опорах ЛЭП-108 достигал 34 т, что приводило к их разрушению и частым авариям на линии. Эксплуатационные расходы ЛЭП-108 были так велики, что впоследствии этот участок воздушной линии электропередачи заменили силовым кабелем.

Гололедо-изморозевые явления не только разрушительно воздействуют на воздушные линии электропередачи, но и ухудшают изоляцию электрооборудования. Анализ суммарного числа пробоев кабеля на Центральном руднике в зависимости от продолжительности нарастания гололедо-изморозевых отложений показал прямую их зависимость, причем прослеживается два уровня аварийного состояния: зимний (декабрь – февраль) – более низкий и осенне-весенний (сентябрь – ноябрь, март – май) – более высокий. Это объясняется тем, что зимой пробои случаются исключительно за счет попадания льда, а в весенне-осенний период ко льду прибавляются еще и жидкие осадки, а также влага за счет таяния льда [94].

Таблица 1.35

Средние характеристики сложных гололедно-изморозевых отложений на 5-миллиметровом проводе длиной 1 м на плато Ловчорр за период с 1993 по 2002 год

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Число случаев	0,10	0,05	0,05	0,60	0,90	0,70	0,05	0,45	1,75	3,05	0,60	0,15	8,45
Время отложения (час)	2	11	1	20	18	9	0,3	10	56	161	68	18	374,3
Вес отложений (кг)	0	0,37	0	0,31	0,48	0,10	0	0,12	1,01	5,16	2,94	0,69	11,2

§ 4. Кристаллическая изморозь

При сублимации водяного пара в тумане или густой дымке образуется кристаллическая изморозь. Кристаллическая изморозь может формироваться в сильный мороз при отсутствии тумана. Кристаллическая изморозь состоит из кристаллов льда, главным образом на наветренной стороне предметов при слабом ветре и температуре воздуха ниже –15 ^{0}С. Она легко осыпается при встряхивании. Длина кристаллов обычно не превышает 1 см, но может достигать и больших размеров. Средняя плотность кристаллической изморози в Хибинах составляет 50 кг/м^3.

Кристаллическая изморозь, откладываясь на проводах, не оказывает такого разрушительного на них воздействия, как гололед или зернистая изморозь, однако резко изменяет условия прохождения тока высокой частоты, вызывает затухание высокочастотных телефонных каналов и нарушение телефонной связи.

Кристаллическая изморозь образуется в основном в малоградиентных барических полях. Поэтому она часто возникает в центральных частях антициклонов, перемычках повышенного давления, в заполняющихся циклонах и барических ложбинах, при уменьшении облачности до 1–4 баллов. При этом необходимо наличие приземной инверсии температуры. Дефицит точки росы на нижней границе инверсии должен быть менее 2 ^{0}С, а на верхней – более 2 ^{0}С.



Рис. 1.36. Кристаллическая изморозь на растении

Глава 16. Метелевый перенос снега

Метели являются господствующим внешним фактором, неблагоприятно влияющим на жизнь и производственную деятельность в Хибинах. На горных склонах метели способствуют образованию значительной части наиболее опасных лавин, угрожающих катастрофическими последствиями. Предприятия г. Кировска, городские службы, транспорт и т. д. испытывают значительные и разнообразные затруднения в связи со снежными заносами, поэтому характеристики хибинских метелей необходимо принимать во внимание при проектировании гражданских и промышленных объектов и планировании средств на борьбу со снежными заносами. Поддержание нормальной работы автомобильного и железнодорожного транспорта в Хибинах в зимний период требует большой организационной работы, огромных трудовых усилий и значительных финансовых затрат.

В районах с активной метелевой деятельностью очень хорошо зарекомендовали себя свайные конструкции. В настоящее время все постройки в Антарктиде устанавливаются на сваях, в противном случае они полностью заметаются снегом и их невозможно



Рис. 1.38. Снежные заносы на эстакадах трамплинов. 04.05.2005 г.



Рис. 1.37. Улица Хибиногорская после метели. 02.02.2005 г.

эксплуатировать. В качестве эксперимента на плато Ловчорр на сваях был построен метелемерный домик. Снег проносится под домиком, не образуя заносов.

Характерным примером неграмотного проектирования в условиях повышенной метелевой деятельности может служить проектирование и строительство 50- и 70-метровых трамплинов на горе Айкуайвенчорр. Низкое расположение эстакад над поверхностью склона приводит к их постоянному заносу, в результате чего их эксплуатация большую часть зимы невозможна. Более того, скапливающийся у трамплинов снег в любой момент может обрушиться лавиной и привести к несчастному случаю. Предложения специалистов Цеха противолавинной защиты по строительству снеговыдувающих щитов было проигнорировано руководством треста «Апатитстрой» и властью г. Кировска. В результате были бесполезно растрачены средства, выделенные государством на развитие спорта в Хибинах.

Метель – это сложное природное явление. В ней принимают участие как снег, отложенный на поверхности земли, так и снег, зародившийся в облаках и еще не достигший земли. Различают: верховую метель – снегопад при ветре до приземления атмосферных снежинок, низовую метель, т. е. перемещение ветром вдоль земной поверхности и только что упавших, и ранее отложенных снежных частиц, общую метель – сочетание верховой и низовой метели, и поземок – перенос снега ветром по поверхности почвы или снежного покрова без снегопада. Поземок обычно наблюдается при небольшом ветре в морозную погоду, когда сухие частички снега легко скользят по поверхности, поднимаясь на высоту не более 10–20 см [39].

Метелевый перенос снега во время снегопада начинается при скорости ветра 4–5м/сек, а при скорости ветра 6–7 м/сек может сноситься ранее выпавший снег.

К основным характеристикам метелей относятся:

1. Продолжительность метели – t (час).

2. Твердый расход снега q (г/см^{2}мин) – вес снега, проносящийся через единицу площади поперечного сечения потока в единицу времени:

$$q = v \times s \times \rho \times g ,$$

где v – скорость метелевого потока, s – площадь поперечного сечения метелевого потока, ρ – массовая плотность снежных частиц, g – ускорение свободного падения.

3. Полный расход снега Q (г/см²мин) – вес снега, проносящегося в единицу времени через единицу длины фронта по всей высоте h:

$$Q = \int_0^h q \, \partial x.$$

4. Полный перенос снега G (т/пог. м) – вес снега, пронесенного в слое h через погонный метр длины фронта потока за время t:

$$G = \int_0^h q \, \partial x.$$

Инструментальные наблюдения за метелевым переносом снега в Хибинах с помощью метелемера ВО-2 систематически велись с 1936 года по 1980 год, когда на плато Юкспор была открыта первая горно-лавинная станция. В 1980 году в практику работы Цеха противолавинной защиты были внедрены метелемеры фильтрующего типа: ЦПЗ-1 и ЦПЗ-2, которые имеют существенно меньшую случайную ошибку, присущую методу измерения твердого расхода с помощью метелемера ВО-2 [101].



Рис. 1.39. Метелемеры, слева направо:ЦПЗ-2, ЦПЗ-1 и ВО-2.

С периодичностью 1 час в приземном 2-сантиметровом слое измеряется твердый расход снега q. Максимальный зарегистрированный расход снега во время этих измерений составил 26 г/см²мин (во время экспериментальных измерений на плато Юкспор был зарегистрирован расход, равный 53 г/см²мин) [100].

Твердый расход снега q (г/см²мин) резко убывает с высотой. По данным градиентных наблюдений за метелевым переносом снега, проведенных на плато Юкспор, была установлена зависимость между средним значением твердого расхода снега q (г/см²мин) и высотой над поверхностью снежного покрова [46]. Основная масса снега проносится в нижнем 2-метровом слое воздуха.



Рис. 1.40. Среднее распределение твердого расхода снега по высоте, в %

Сильные и продолжительные метели – это характерная черта климата Хибин. Сильные метели не только заносят дороги и ухудшают видимость

до нескольких десятков метров, но и формируют на склонах гор опасные накопления снега.

В Хибинах около 70% лавин генетически связано с метелями. Весьма важно заметить, что на нерабочих бортах карьеров, когда они заносятся метелевым снегом, возникает угроза схода лавин.

Средняя продолжительность одной метели в Хибинах составляет 14–16 часов, максимальная может превышать 10 суток. В марте 1984 года метель на плато Ловчорр непрерывно продолжалась в течение 220 часов. За это время через один погонный метр было перенесено 28 тонн снега. В декабре 1981 года во время 123-часовой метели при среднем расходе снега 10,5 г/см^{2}мин полный перенос снега составил 47 тонн через погонный метр. Из-за сильных снежных заносов работа Центрального рудника была парализована в течение нескольких суток.

Таблица 1.36

Средняя продолжительность метелевых явлений, в часах

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	350	295	268	243	122	51	5	15	94	244	302	342	2331
Юкспор	311	365	283	241	127	34	2	3	50	176	263	320	2175
Кировск-2	155	153	146	96	47	6	0	0	3	58	137	141	942
Восточная	99	75	82	38	4	0	0	0	0	26	32	90	446
Кировск-1	158	115	116	117	36	7	0	0	11	85	139	158	942
УДО-1	237	187	166	141	57	15	0	0	14	89	184	230	1320
Апатиты	44	53	47	42	3	0	0	0	0	10	34	43	276

Среднее многолетнее число дней с метелями меняется от 180 на вершинах до 86 в долинах. В Хибинах преобладают общие метели (63%), на низовые метели и поземки приходится соответственно 10% и 27%. Свыше 70% осадков холодного периода выпадает во время общих метелей. Доминирующая роль общих метелей объясняется активной циклонической деятельностью в Хибинах. Зачастую метель начинается как общая, а затем переходит в низовую метель. Обычно это обусловлено прохождением холодных фронтов. Низовые метели при антициклональном типе погоды очень редки, едва превышая 10% от всего их количества [15]. Низовые метели могут быть насыщенными, когда ветровой поток переносит снежную массу, соответствующую его максимальной транспортирующей способности, и ненасыщенными, когда масса снега, переносимого ветром, меньше максимума, насыщающего ветровой поток. Движение снежинок при низовой метели происходит тремя способами: скольжением по поверхности снежного покрова; сальтацией, когда снежинки подскакивают сперва почти вертикально, а затем снижаются по пологой траектории; диффузией, когда снежинки, сорванные с поверхности снега, взвешиваются в воздухе.

Скольжение снежных частиц происходит по ровной ледяной поверхности в тонком слое. Обычно толщина этого слоя определяется размерами снежных частиц, ледяных зерен и кристаллов и не превышает нескольких миллиметров.

Основная масса снежных частиц движется в слое до 30 см способом сальтации. На твердой неровной снежной поверхности прыжки снежных частиц могут достигать высоты метра и более.

Третий способ перемещения снежных частиц диффузией происходит до 10 метров и выше над уровнем снежной поверхности. В результате завихрения воздуха снежные частицы отрываются от снежного покрова и в виде взвеси движутся в снеговетровом потоке.

Предельная дальность переноса отдельной снежинки лимитируется временем ее испарения и скоростью ветра и может варьироваться от сотен метров до километров.

Таблица 1.37

Средние месячные значения полного переноса снега G (т/пог. м) на плато Ловчорр

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
G (т/пог. м)	31	24	29	19	11	4	0	0	5	15	24	29	191

В соответствии с увеличением скорости ветра, увеличением количества твердых осадков и понижением температуры воздуха с высотой местности число метелей и их интенсивность увеличивается. При подъеме на 100 м число дней с метелями увеличивается в среднем за год на 15 дней. Количество переносимого снега, по мере снижения от вершин к долинам заметно убывает.

Таблица 1.38

Средние годовые значения полного переноса снега G (т/пог. м) по 16 румбам на плато Ловчорр

С	ССВ	СВ	ВСВ	В	ВЮВ	ЮВ	ЮЮВ	Ю	ЮЮЗ	ЮЗ	ЗЮЗ	З	ЗСЗ	СЗ	ССЗ
28	26	22	4	1	1	2	6	11	13	26	12	9	6	9	15

Инструментальные наблюдения за метелевым переносом снега – это довольно трудоемкая процедура. В Хибинах систематические инструментальные наблюдения проводились лишь на плато Юкспор и Ловчорр. Этих данных явно недостаточно, чтобы дать полную количественную оценку метелевого переноса по всему горному массиву, поэтому величина метелевого переноса снега может быть получена расчетным путем для любого пункта, в котором есть стандартные метеорологические наблюдения. Анализ многочисленных формул для расчета метелевого переноса, проведенный В. М. Михелем, показал, что наиболее удачной является формула Д. М. Мельника [68]:

$$Q = CV^3,$$

где Q – полный расход снега, V – скорость ветра на высоте флюгера, C – коэффициент пропорциональности, который определяется по данным натурных наблюдений по каждому району. Экспериментальные исследования показали, что формула Мельника выполняется вполне удовлетворительно до скорости ветра 20 м/сек. При больших скоростях ветра результат получается завышенным. Причина заключается в нехватке переносимого снежного материала. Во время перехода низовой метели в поземок формируется прочный ветровой наст, который препятствует ветровому разрушению снежного покрова. Даже при штормовых скоростях ветра, если не происходит выпадения свежего снега, концентрация снега в ветровом потоке с течением времени снижается до нулевых значений.

Глава 17. Снежный покров



Рис. 1.41. Опоры канатно-кресельной дороги на г. Айкуайвенчорр

Длительный морозный период, большое количество твердых осадков и интенсивная метелевая деятельность определяют исключительно неравномерное распределение снежного покрова в Хибинском горном массиве. В резких понижениях рельефа толщина снега может достигать 10–15 метров. С ними соседствуют возвышения, которые почти всю зиму оголяются от снега сильными ветрами. Это нужно учитывать при строительстве на склонах гор линейных объектов, таких как горнолыжные подъемники.

В начале 70-х годов без предварительного изучения распределения снега вдоль трассы на склоне г. Айкуайвенчорр была построена канатно-кресельная дорога. Для расчета высоты опор была взята максимально возможная высота снега, когда-либо наблюдавшаяся в Хибинах. В результате чего высота опор была завышена на 4–5 метров, что привело к двойному удорожанию подъемника и повышенной опасности его эксплуатации. Более того, вторая очередь подъемника, ведущая на вершину горы, так и не была достроена. Поваленные опоры подъемника напоминают нам о грубых ошибках проектировщиков этого важного социального объекта г. Кировска.

В Хибинах есть места, где снег не успевает растаять за короткое лето, формируя небольшие ледники. Всего в Хибинах обнаружены четыре ледника. В затененных местах и в зонах повышенной метелевой аккумуляции снега снежный покров сохраняется в течение нескольких лет. На горе Кукисвумчорр в районе перевала Безымянного находится Снежный цирк. Несмотря на южную экспозицию цирка, в течение многих десятилетий метелевый снег не успевал там растаять за короткое заполярное лето.

§ 1. Снежные кристаллы

Многие из нас могут вспомнить услышанную еще в детстве фразу «нельзя найти две одинаковые снежинки». Это открытие было сделано американским фермером Вильсоном Бэнтли (1865–1931). Очарование ветвистых узоров снежинок, их бесконечных вариаций заставило В. Бэнтли посвятить свою жизнь изучению этого чуда природы.

Много труда им было положено, чтобы получить качественные снимки снежных кристаллов. Он ловил снежинки на черную доску, а затем самые удачные образцы переносил под микроскоп. В 1885 году ему первому удалось сфотографировать снежный кристалл. Результаты его кропотливой работы опубликованы в прекрасной книге (W. A. Bentley, W. J. Humphries, Snow Crystals, New York, 1931), содержащей более 2400 фотографий снежинок.



Рис. 1.42. В. Бэнтли за фотографированием снежинок

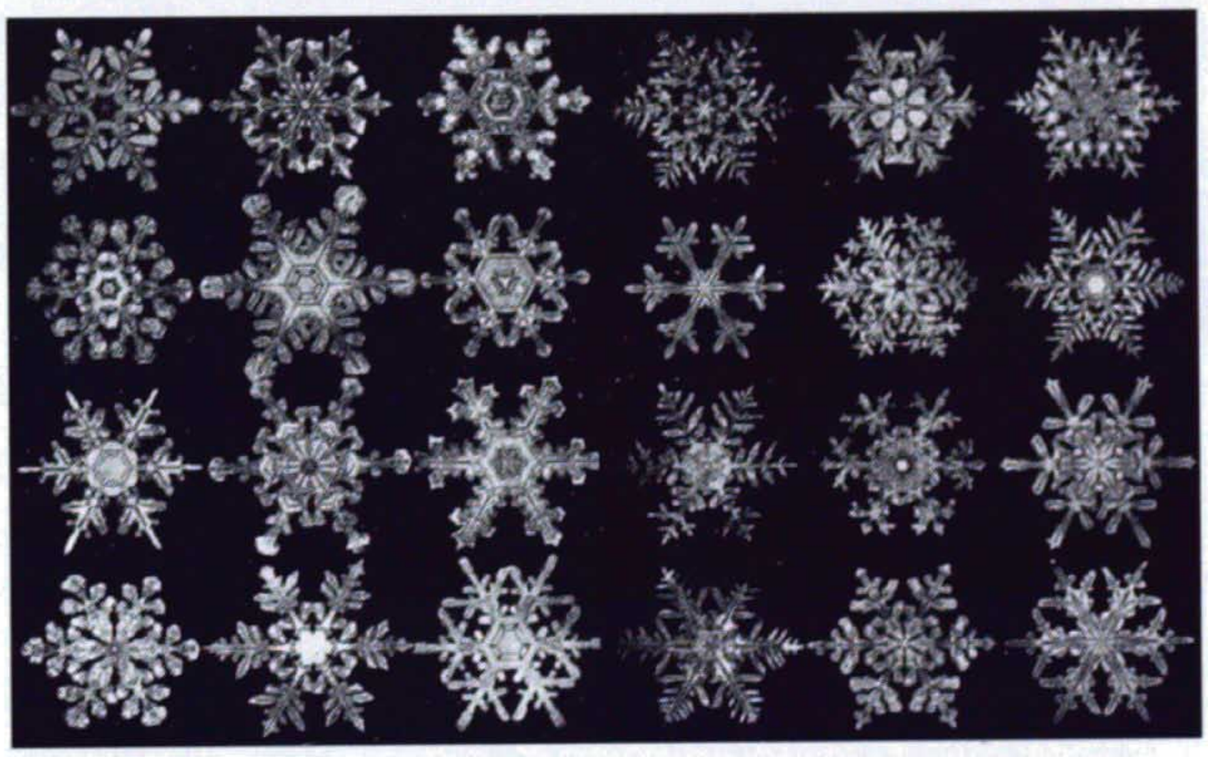


Рис. 1.43. Снежинки Бэнтли

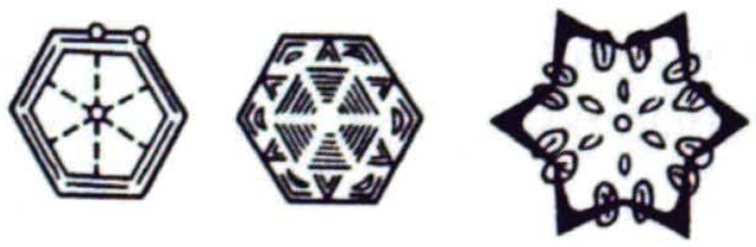
Действительно, формы снежинок очень разнообразны, чаще всего это звезды, пластинки, столбики. Снежинки увеличиваются с ростом температуры воздуха и ослаблением ветра. Скорость падения снежинок в спокойном воздухе в зависимости от их формы и температуры воздуха колеблется от 0,1 до 2 м/сек. При падении снежинки непрерывно видоизменяются вследствие заиневения, обзернения и коагуляции.

В связи с развитием науки о снежных кристаллах, начало которой положил Вильсон Бэнтли, возникла необходимость классифицировать бесчисленные формы снежинок. Первые классификации снежинок принадлежат японскому ученому У. Накайя и А. Д. Заморскому [110, 42]. А. Д. Заморский различает 9 основных форм снежинок, а в них 48 видов, являющихся вариантами, комбинациями и усложнениями основных форм.

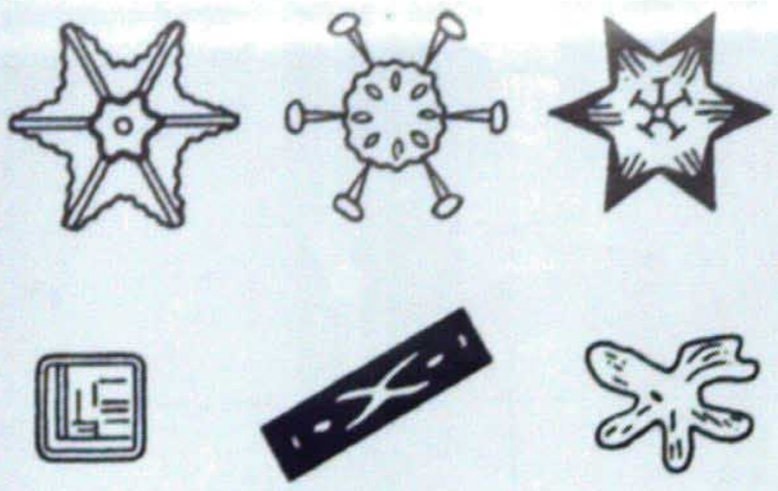
Классификация У. Накайя, первоначально разработанная в 1943 году, была положена в основу классификации снежинок, разработанной рабочей группой Международной комиссии снега и льда под руководством Марселя де Кервена в 1951 году [67]. Эта классификация, ставшая международной, включает 10 основных типов снежных кристаллов, в том числе и град, фактически соответствует классификации российского ученого А. Д. Заморского.

§ 2. Международная классификация снежинок

В соответствии с международной классификацией различают 10 основных типов снежинок.



1. Пластинки – тонкие плоские кристаллы шестиугольной формы с максимальным размером 0,1–5 мм.



2. Звездчатые кристаллы – тонкие плоские кристаллы в виде дендритовых звезд с лучами. Средний диаметр звезд 0,5–10 мм.

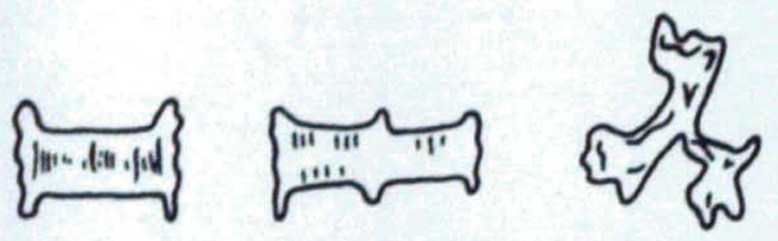
3. Столбики – призматические или полые пирамиды и их комбинация. Максимальная длина до нескольких мм.



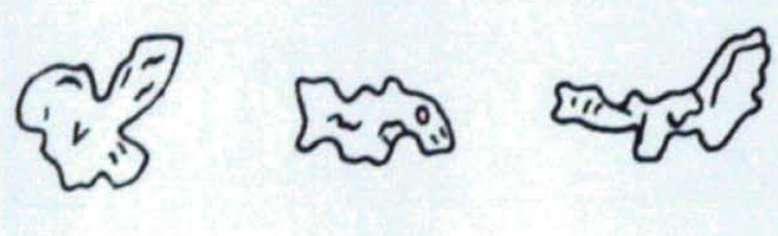
4. Иглы – тонкие цилиндрические кристаллы длиной 0,2–6 мм и их сростки.



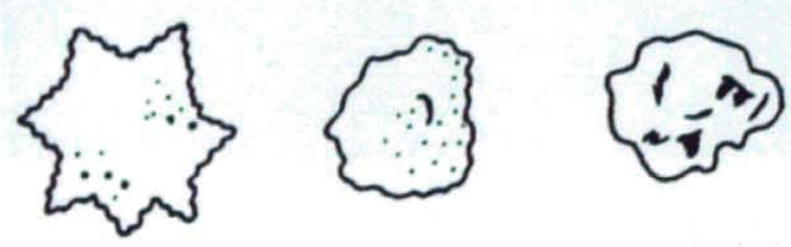
5. Пространственные древовидные кристаллы – сложные кристаллы диаметром до нескольких мм с лучами в виде листьев папоротника.



6. Увеличенные столбики – столбики со звездочками или пластинками на концах. Возможно срастание нескольких столбиков. Размеры столбиков – до нескольких мм.



7. Неправильные кристаллы – частицы, состоящие из нескольких беспорядочно сросшихся кристаллов. Размер частиц – до нескольких мм.



8. Крупа – снежные белые мягкие или прозрачные ледяные шарики диаметром 0,5–5 мм.



9. Ледяной дождь – прозрачные ледяные шарики, иногда с незамерзающим ядром, диаметром 1–3 мм.



10. Град – шаровидные ледяные образования, часто имеющие на поверхности слой прозрачного льда, иногда с острыми выступами или сложной огранкой. Диаметр градин от 5 до 20 мм.

Снежный покров формируется из бесчисленного многообразия снежинок, которые постоянно видоизменяются. Форма и размеры снежинок зависят от термодинамических условий зарождения, роста кристаллов льда в верхних и нижних слоях атмосферы. Величина кристаллов и плотность снега, выпадающих при слабом ветре, находятся в прямой зависимости от температуры воздуха. Чем выше температура, тем крупнее кристаллы или хлопья выпадающего снега. Плотность свежевыпавшего снега увеличивается по мере повышения температуры воздуха. Начальная плотность свежевыпавшего снега также не остается неизменной. Уже во время снегопада начинается оседание свежего снега и его плотность увеличивается.

Таблица 1.39

Размеры снежинок и плотность свежевыпавшего снега в Хибинах при различной температуре воздуха и малой скорости ветра [85]

Преобладающая форма снежинок	Температура воздуха, ^{0}C	Средний диаметр снежинок, мм	Плотность свежевыпавшего снега, кг/м^3
Пластинки и слабо расчлененные звезды	–22,0	1–1,5	30
Мелкие дендритовые звезды	–15,6	1–2	40
Пластинки и дендритовые звезды	–14,3	До 5	50
Звезды, опушенные изморозью	–11,2	2–3	40
Сложные дендритовые звезды	–7,9	До 5	50
Дендритовые звезды	–5,4	6–8	60
Сложные звезды и хлопья	–4,5	5–7	50
Мелкие хлопья	–3,6	10–15	100
Крупные хлопья	–0,5	35–40	140
Очень крупные хлопья, опушенные изморозью	–0,2	10–20	170
Крупные влажные хлопья	+2,4	15–20	200
Крупные мокрые хлопья с дождем	+4,8	До 50	260

§ 3. Формирование снежного покрова

В начальный период формирования снежного покрова в Хибинах снег падает на неровную, свободную от снега поверхность с низкой и редкой растительностью. При выпадении в безветренную погоду снег покрывает поверхность склонов однородным слоем, независимо от микрорельефа. Плотность свежевыпавшего снега зависит от температуры приземного воздуха. Плотность сухого снега составляет до 100 кг/м^3, влажного – до 200 кг/м^3 и мокрого – до 300 кг/м^3. С увеличением скорости ветра до 4 м/сек и более снег начинает переноситься, заполняя выемки и откладываясь на подветренных участках, оставляя обнаженными открытые участки. Таким образом происходит сглаживание микрорельефа и создаются более благоприятные условия для метелевого переноса снега и формирования снежных полей на лавиноопасных склонах гор. Во время метелевого переноса снежинки распадаются на части. Измельченные кристаллы упаковываются более компактно, образуя слои метелевого снега плотностью до 300 кг/м^3 и более, которые формируют лавины из снежной доски.

Отложенный во время снегопада или метели слой снега под действием собственного веса уплотняется и подвергается процессам перекристаллизации. В процессе перекристаллизации происходит уменьшение числа кристаллов благодаря росту более крупных из них за счет уменьшения объема и даже полного исчезновения более мелких. Рост одних кристаллов за счет других происходит вследствие перемещения молекул с одной кристаллической решетки на другую. При этом обычно возникает вертикальная ориентировка кристаллов.

При последующих снегопадах и метелях формируются новые слои снежного покрова, которые оказывают воздействие на ранее сформировавшиеся слои и сами постоянно изменяются. В процессе формирования снежного покрова в нем могут образовываться ледяные корки, слои глубинной изморози и слои с различной структурой и прочностью снега. Формирование ослабленных слоев в структуре снежной толщи приводит к просадкам снежного пласта и образованию лавин.

Структура снежного покрова включает в себя текстуру слоев, характер границ между ними и стратиграфию между ними. Для графического изображения стратиграфии снежной толщи хибинские лавинщики применяют специальные условные знаки.

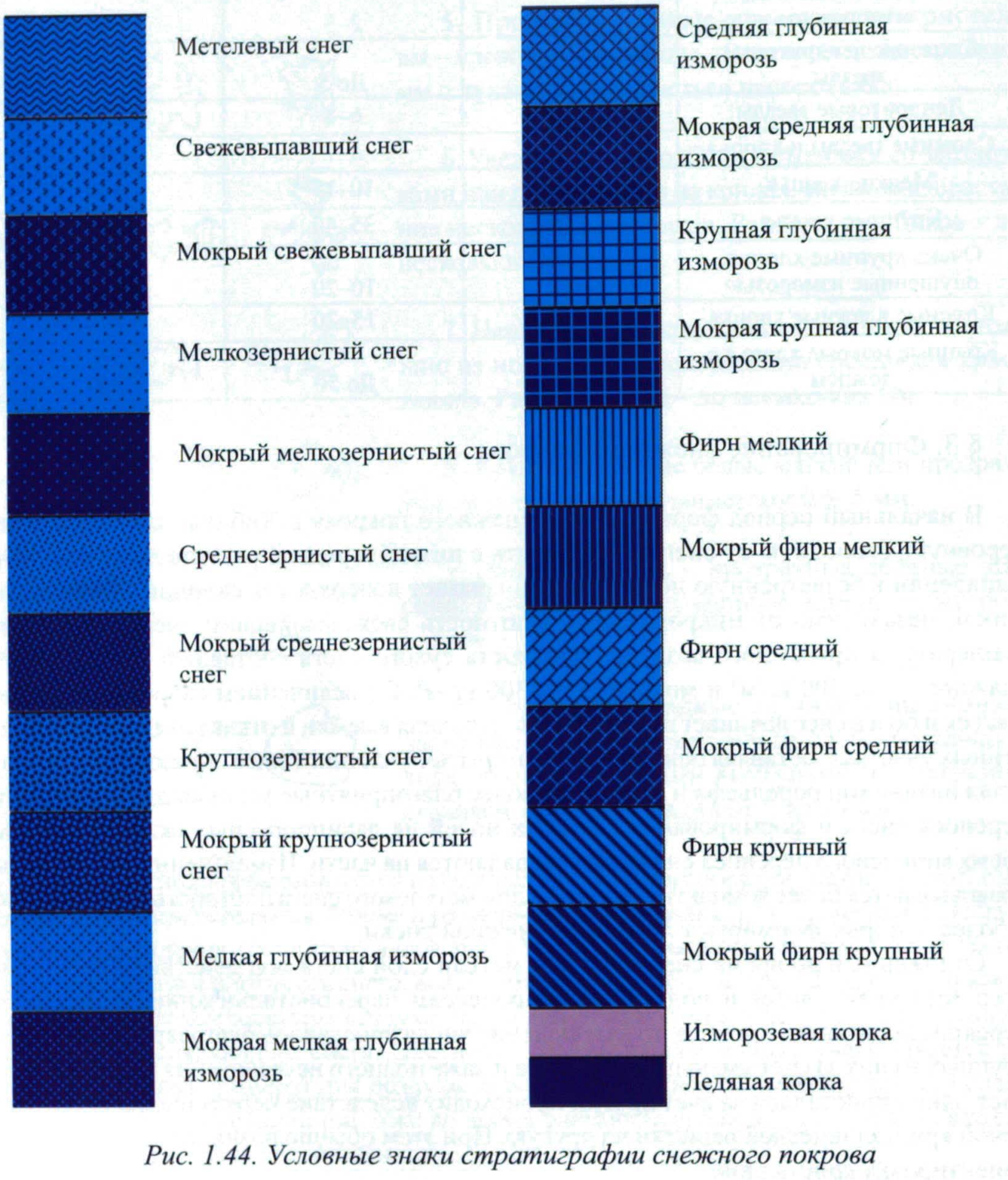


Рис. 1.44. Условные знаки стратиграфии снежного покрова

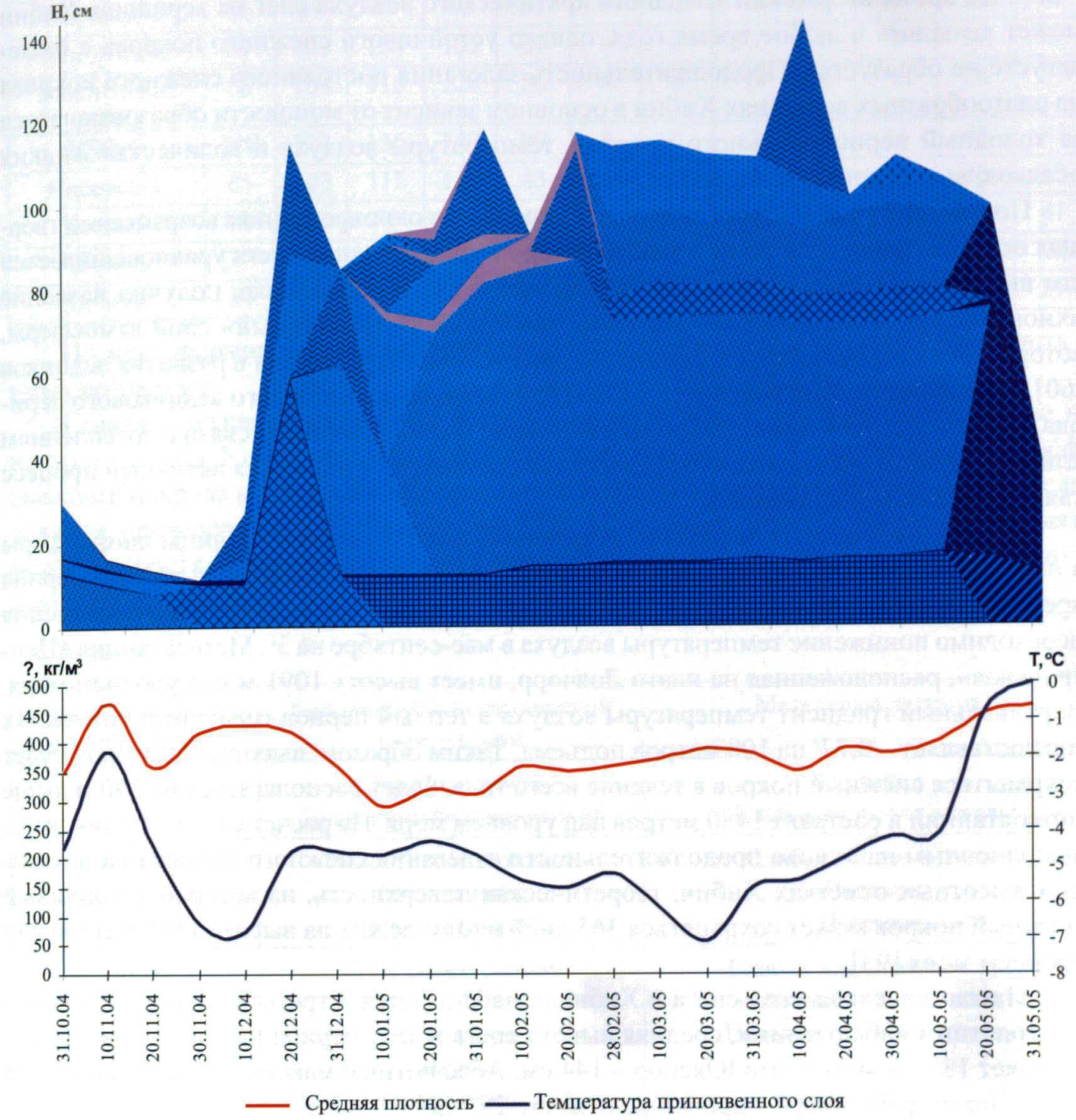


Рис. 1.45. Стратиграфический разрез снежного покрова. Плато Ловчорр. Зима 2004–2005 гг.

С высотой удельный вес твердых осадков возрастает, и это оказывает свое влияние на формирование снежного покрова. Так, на метеостанции «Хибины» твердые осадки составляют 40% от общей годовой суммы, на плато Юкспор – 67% и на плато Ловчорр – 70%.

Устойчивый снежный покров на плато Ловчорр образуется в среднем 19 сентября и сохраняется до 15 июня, а на плато Юкспор постоянный снежный покров лежит с 1 октября до 13 июня. Продолжительность залегания снежного покрова увеличивается с высотой местности. Среднее число дней со снежным покровом составляет: в Апатитах – 206, на станции «Хибины» – 202, в районе Восточного рудника – 220, в пос. Кукисвумчорр – 228, в Кировске – 229, на плато Юкспор – 256, на плато Ловчорр

– 269. Во время вторжений холодного арктического воздуха снег на вершинах Хибин может выпадать в любое время года, однако устойчивого снежного покрова в июле-августе не образуется. Продолжительность залегания постоянного снежного покрова на платообразных вершинах Хибин в основном зависит от мощности образовавшегося за холодный период снежного покрова, температуры воздуха и количества жидких осадков, выпадающих в летний период.

Понижение температуры воздуха с высотой при одновременном возрастании твердых осадков приводит к тому, что на некотором уровне таяние снега уравновешивается его выпадением. Этот уровень, по предложению С. В. Калесника, получил название «хионосфера». Хионосфера – это «морозный и снегоизбыточный» слой атмосферы, который реально существует, и с ним связаны условия зарождения и развития ледников [60]. Еще сравнительно недавно, в 1450–1850 годах, во время малого ледникового периода, высота снеговой линии располагалась ниже вершин Хибин. В связи с потеплением климата нижняя граница хионосферы стала подниматься и начался активный процесс таяния ледников и снежников.

Несложные расчеты позволяют определить высоту нижней границы хионосферы в настоящее время. Средняя температура воздуха на плато Ловчорр за теплый период времени года составляет всего + 2,9°, поэтому для активизации горного оледенения необходимо понижение температуры воздуха в мае-сентябре на 3°. Метеостанция «Центральная», расположенная на плато Ловчорр, имеет высоту 1091 м над уровнем моря. Вертикальный градиент температуры воздуха в теплый период года в верхних частях гор составляет – 0,77° на 100 метров подъема. Таким образом, высота, на которой будет сохраняться снежный покров в течение всего года, будет располагаться на 390 м выше метеостанции и составит 1480 метров над уровнем моря. По расчетам Г. К. Тушинского, выполненным на основе продолжительности залегания снежного покрова на различных высотных отметках Хибин, теоретическая поверхность, на которой устойчивый снежный покров может сохраняться 365 дней в году, лежит на высоте 1500 метров над уровнем моря [93].

Максимальная высота снега в Хибинах наблюдается в третьей декаде апреля. По многолетним наблюдениям, средняя высота снега в этот период на плато Ловчорр составляет 135 см, а на плато Юкспор – 144 см. Абсолютный максимум высоты снега на плато Ловчорр был зафиксирован на отметке 298 см.

В результате частых и сильных метелей распределение снега существенно отличается от распределения осадков. С плато Юкспор сдувается в долины около 40% выпадающего снега, а с плато Ловчорр еще больше – 50–70% [11,86]. Поэтому средняя высота снега на плато Ловчорр меньше, чем на плато Юкспор, хотя количество твердых осадков там выпадает значительно больше.

За счет гололедо-изморозевых явлений высота снега на платообразных вершинах Хибин увеличивается за холодный период на 10–15 см.

Таблица 1.40

Средняя месячная высота снега, в см

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Центральная	97	105	115	127	114	38	0	0	4	24	61	86
Юкспор	104	117	126	140	128	59	0	0	4	19	48	81

Кировск-2	56	69	83	83	37	1	0	0	0	3	22	43
Восточная	81	103	124	105	31	0	0	0	0	6	31	60
Апатитовая гора	86	104	116	120	56	4	0	0	0	7	24	57
УДО-1	108	122	136	147	89	8	0	0	1	11	45	81
Кировск-1	85	103	111	111	43	1	0	0	0	6	26	62
Коашва	57	71	82	116	43	0	0	0	0	6	27	41
Апатиты	37	48	55	52	12	0	0	0	0	1	9	25
Хибины	34	45	53	46	9	0	0	0	0	1	9	21

По мере формирования снежного покрова потенциальная лавинная опасность в горах возрастает.

В связи с активной метелевой деятельностью поверхность снежного покрова на плато и склонах Хибин постоянно претерпевает изменения. Характер микрорельефа снежного покрова несет в себе информацию о ветровом режиме горного района. Исследования, проведенные А. К. Дюниным и В. С. Матвиенко, позволили установить связь между скоростями ветра, условиями формирования и видами микрорельефа снежного покрова [40]. Результаты этой работы приведены в табл. 1.41.

Таблица 1.41

Скорость ветра по флюгеру, м/сек	Вид микрорельефа снежной поверхности	Метелевые явления
5–8	Снежные пятна Выравнивание понижений	Снегопад Слабая верховая метель
8 –12	Полосы свежего снега Мелкая рябь Чешуйчатая рябь	Слабая общая метель Поземок Поземок
10–16	Поля свежего снега Антидюны Уступы Заструги в свежеотложенном снеге	Слабая верховая метель, интенсивный снегопад Позёмок, низовая метель Низовая метель Низовая метель
12–16	Волны, гребни Снежные валы	Интенсивная низовая метель Общая метель
12–20	Размывы, карнизы	Интенсивная низовая метель
14–24	Барханы и барханные цепи	Интенсивная низовая метель
16–28 и более	Обнажения слоистости	Слабая низовая метель

Существенные изменения снежного покрова в Хибинах происходят в период весеннего снеготаяния под воздействием постоянно меняющихся метеорологических условий. Таяние снежного покрова происходит за счет положительных температур воздуха, выпадения жидких осадков и солнечной радиации. Соответственно выделяют два типа таяния: адвективное и радиационное [24].

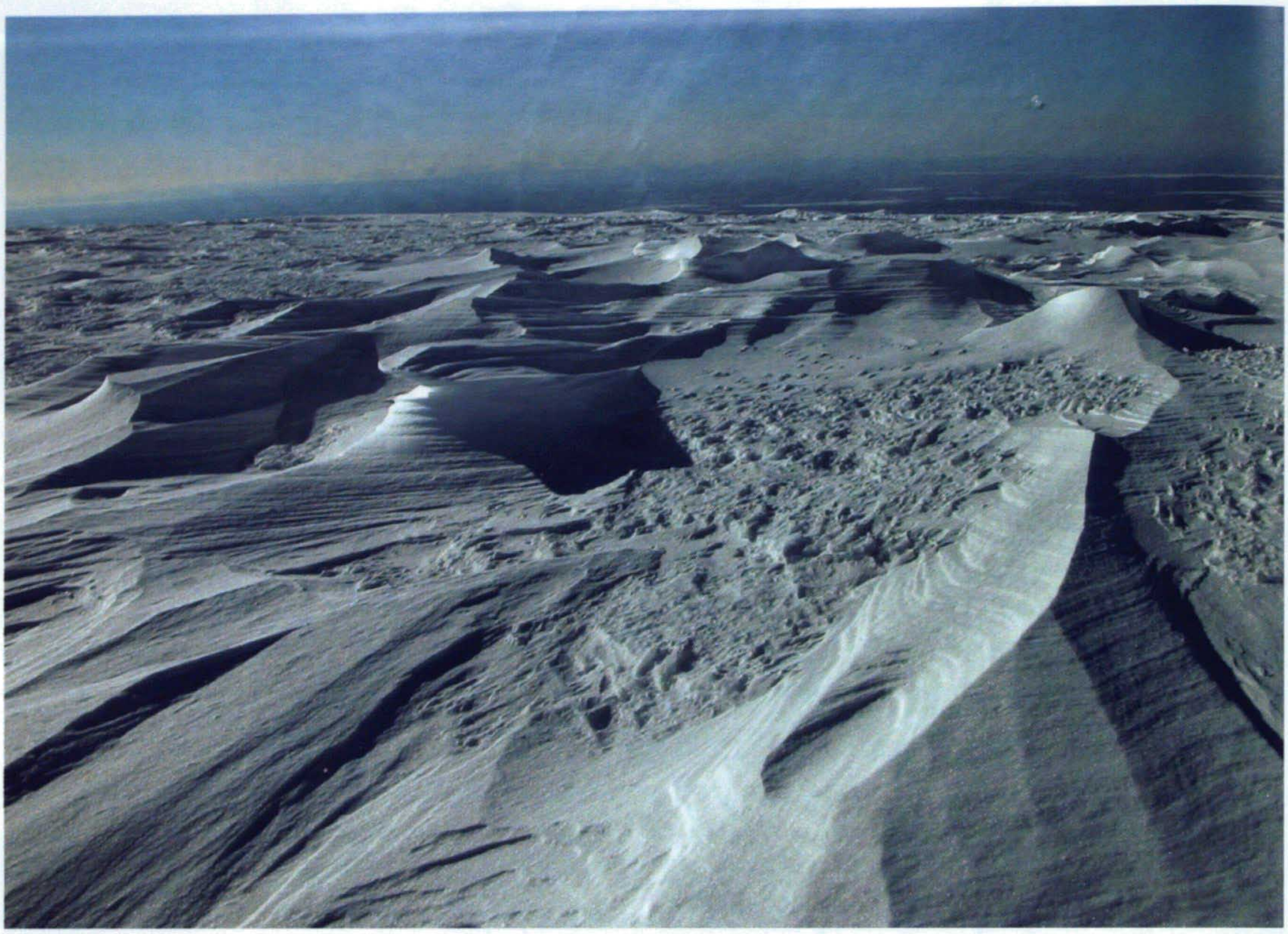


Рис. 1.46. Поверхность снежного покрова на плато Ловчорр после сильной низовой метели

Преобладание того или иного типа зависит от интенсивности солнечной радиации, температуры и влажности воздуха, скорости ветра, интенсивности выпадения жидких осадков и состояния снежного покрова.

Сроки и интенсивность радиационного таяния снежного покрова зависят от ориентации и крутизны склонов и высоты местности. В условиях мощного прихода солнечной энергии радиационное таяние снега может происходить при температуре воздуха –10 ^{0}С. Интенсивность таяния снежного покрова существенно увеличивается, когда над его поверхностью начинают выступать камни. Появление бесснежных поверхностей на склонах южной экспозиции уменьшает отражательную способность и увеличивает поглощение солнечной энергии.

Весной при адвекции теплых и влажных воздушных масс с Атлантического океана начинается повсеместное таяние снежного покрова в Хибинах. Интенсивность адвективного таяния тем больше, чем выше скорость, влажность и температура воздуха и больше интенсивность выпадения жидких осадков.

В начале процесса таяния, когда снежная толща имеет отрицательную температуру, талая вода фильтруется внутрь снежного покрова и там замерзает, образуя ледяные прожилки и ледяные линзы. Затем фильтрация захватывает всю толщу снежного покрова, и ее излишки начинают стекать по поверхности склонов. Увлажнение снега в процессе таяния нарушает устойчивость снежного покрова на склонах и является причиной схода лавин из мокрого снега.

§ 4. Плотность снежного покрова

Плотность является одной из основных характеристик, определяющих физико-механические характеристики снежного покрова. Основными факторами, определяющими плотность снежного покрова, являются: форма и размер выпадающих снежинок, скорость ветра, температура и влажность воздуха, собственный вес снежного покрова, миграция водяного пара и процессы перекристаллизации, солнечная радиация и др. Многообразие факторов, влияющих на процессы уплотнения снега, и их изменчивость во времени и пространстве проявляются в распределении плотности снежного покрова в Хибинах.

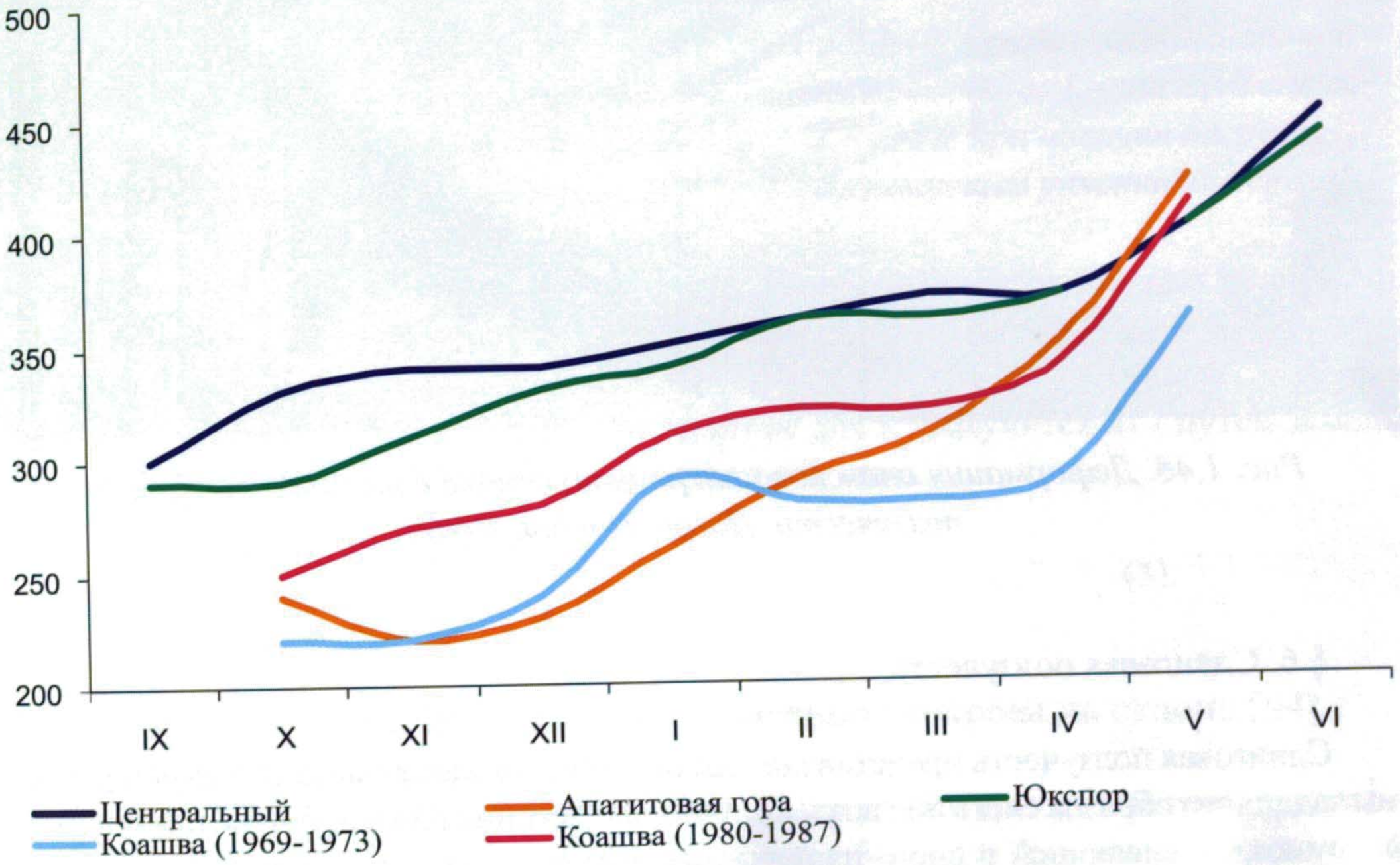


Рис. 1.47. Изменение средней плотности снежного покрова в течение зимы в различных пунктах Хибин

§ 5. Ползучесть снега

Снежный покров является пластичным материалом. Хорошо известна способность снега необратимо изменять свою форму под действием внешних сил. Сползая со склона, снежные пласты нередко изгибаются, образуют складки и скручиваются в улитки. При приложении нагрузки свежевыпавший, рыхлый снег меняет не только форму, но и объем, т. е. ведет себя как вязкая сжимаемая жидкость.

С повышением температуры снежного покрова скорость его сползания на склоне увеличивается. При этом возрастает и давление на препятствия. Снег, в отличие от твердых тел, легко уплотняется, причем это уплотнение происходит по законам ползучести. Для снега выделяют два типа ползучести – сдвиговую и объемную.



Рис. 1.48. Деформация снежного покрова на склоне в результате процесса ползучести. Давос. Ноябрь 1996 г.

§ 6. Сдвиговая ползучесть

Сдвиговая ползучесть представляет собой нарастающее во времени изменение формы заданного образца снега под воздействием напряжений сдвига. В момент приложения нагрузки, вызывающей в снеге напряжения сдвига, происходит упругая деформация сдвига, вслед за которой начинается первая стадия ползучести с уменьшающейся во времени скоростью деформирования. Спустя несколько часов начинается вторая стадия ползучести, при которой скорость нарастания величины деформации сдвига близка к постоянной. Эту стадию ползучести называют квазивязким течением [25].

Граница между первой и второй стадиями ползучести носит условный характер и определяется по кривой ползучести как начало ее линейного участка. Скорость квазивязкого течения тем больше, чем больше величина действующего напряжения сдвига.

После достижения определенной критической величины деформации сдвига начинается третья стадия ползучести, характеризующаяся прогрессирующим нарастанием скорости течения, которое заканчивается нарушением сплошности снега и образованием поверхности скольжения.

Нарушение сплошности снежного покрова во время его сползания по склону А. Г. Фомин объясняет переходом ламинарного движения в турбулентное. По его гипотезе, одним из наиболее информативных параметров, характеризующих движение снежных масс по склону, является критерий Рейнольдса [95]. Математически это выглядит так.

$$R = \frac{\rho h\, u_{ср}}{\eta} \qquad (1),$$

где ρ – средневзвешенная плотность, h – высота снежной толщи, η – динамическая вязкость, $u_{ср}$ – средняя скорость течения снежного пласта.

$$u_{ср} = \frac{\rho g h^2}{3\eta} \sin\alpha \qquad (2),$$

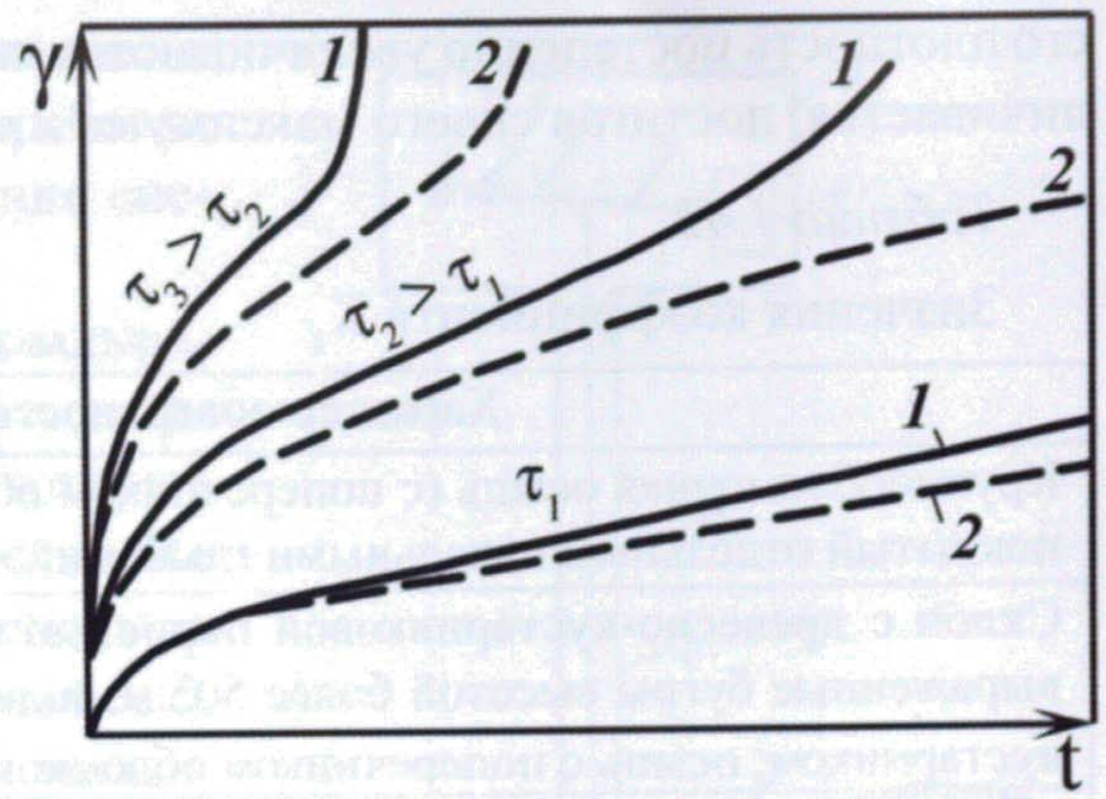


Рис. 1.49. Кривые ползучести при плоском сдвиге: 1 – чистый сдвиг; 2 – сдвиг при наличии нагрузки, вызывающей уплотнение снега

где α – угол склона.

Снег на склонах гор будет неустойчивым, если число Рейнольдса $R \geq R_{кр}$, где $R_{кр}$ – некоторое критическое значение R, которое определяется экспериментальным путем. В этой ситуации любые возмущения, раз возникнув, не будут затухать во времени, что приводит к подвижке снежной толщи на лавиноопасном склоне. Можно определить неустойчивую часть высоты снежной толщи $\Delta h = h - z$, которая, возможно, сойдет в виде лавины из соотношения $R_z \geq R_{кр}$. Выражение для R_z получится из 1 путем замены h на z – высота по нормали к плоскости склона и $u_{ср}$ на u.

$$u = \frac{pgz\,(2h - z_0)\sin\alpha}{2\eta} \qquad (3).$$

§ 7. Расчет нагрузок при ползучести снежного покрова на склоне [94]

При сползании снежного покрова на склоне он воздействует на выступающие препятствия с определенной нагрузкой, которая может быть для них разрушительной. В частности, большое количество снегомерных реек, устанавливаемых в лавиносборах, ломаются у своего основания по этой причине. Величина нагрузки зависит от многих параметров, в том числе от формы и размеров сооружения. Эти нагрузки нужно учитывать при проектировании опор линий электропередачи, заборов или других сооружений на заснеженных склонах гор.

Нагрузка снежного покрова на 1 м сплошного ряда сооружений P_0, направленная параллельно склону, определяется по формуле:

$$P_0 = 0{,}5\gamma\, h^2\, K_1\, K_2 \sin 2\alpha, \text{ н/м} \qquad (4),$$

где γ – средний объемный вес снега, н/м^3; h – высота снежного покрова, м; α – крутизна склона, град. K_1 и K_2 – эмпирические коэффициенты, которые зависят от характера подстилающей поверхности и плотности снега. Чем больше шероховатость подстилающей поверхности, тем ниже значение коэффициента K_1.

При увеличении плотности снежного покрова коэффициент K_2 возрастает. Таким образом, чем больше плотность и высота снежного покрова, круче и глаже подстилающая поверхность склона, тем больше нагрузка. Поскольку высота снежного покрова и

его плотность постепенно увеличиваются, нагрузка на препятствия соответственно увеличивается, достигая своего максимума к моменту прогрева снежной толщи до 0^0C.

Таблица 1.42

Значения коэффициента K_1

Характер поверхности склона	K_1
Крупнообломочная осыпь (с поперечником обломков в 30 см и более); склон, покрытый отдельными скальными глыбами	1,2–1,3
Склон с древесно-кустарниковой порослью высотой не менее 1 м; хорошо выраженные бугры высотой более 50 см, задернованные и поросшие мелким кустарником; осыпь с поперечником обломков 10–30 см	1,6–1,8
Дерн с низкорослой травой, поросший мелким кустарником (высотой около 1 м); мелкообломочная осыпь (с поперечником обломков 10 см и менее)	2,0–2,4
Гладкий дерн с высокой травой; гладкие скалы; ровная щебнистая осыпь; увлажненные участки	2,6–3,2

Таблица 1.43

Значения коэффициента K_2

Средний объемный вес снега, г/см^3	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
K_2	0,70	0,76	0,80	0,90	1,00

Составляющая нагрузки снежного покрова, направленная перпендикулярно склону P_{90}, определяется по формуле

$$P_{90} = cP_0/K_1 tg\alpha, \text{ н/м} \qquad (5),$$

где c = 0,5 – для рыхлого снега и c = 0,3 – для плотного снега.

Для расчета снежной нагрузки на круглые опоры, расположенные перпендикулярно склону, норвежским исследователем Я. Ларсеном была выведена эмпирическая формула [108]:

$$P_{ср} = K\rho g h^2 c \sin\alpha \text{ н/м} \qquad (6),$$

где $P_{ср}$ – среднее давление на мачту ($P_{ср}h$ – суммарное давление), K – коэффициент, зависящий от высоты снега: 1,2 – для 4 м и 0,7 – для 5 м, $c = 0{,}98d^{0.63} + 0{,}42$, где d – диаметр мачты (м).

При угле склона 25^0, высоте снега 4,9 м и плотности снега 488 кг/м^3 11 апреля 1989 года было измерено среднее давление снежного покрова 34,8 кн/м на мачту диаметром 419 мм.

§ 8. Объемная ползучесть

Объемная ползучесть характеризует процесс уплотнения снега. По мере уплотнения снег упрочняется, скорость сдвига при заданном напряжении уменьшается. Возможны случаи, когда из-за упрочения снега переход в стадию ускоряющейся ползучести при заданном напряжении становится невозможным. В результате уплотнения снежного покрова происходит его оседание.

Для наблюдений над оседанием снежного покрова в Хибинах М. И. Анисимовым был разработан прибор, непрерывно записывающий оседание снега [9].

Приемной частью прибора служит укладываемый на снег легкий деревянный обруч 1 с натянутой на него нитяной сеткой и марлей, который посредством тонкой мягкой проволоки 2 соединен с рычагом 3. На одном конце рычага закреплено перо самописца 4, а на противоположном противовес 5. Точность измерения составила сотые доли миллиметра.

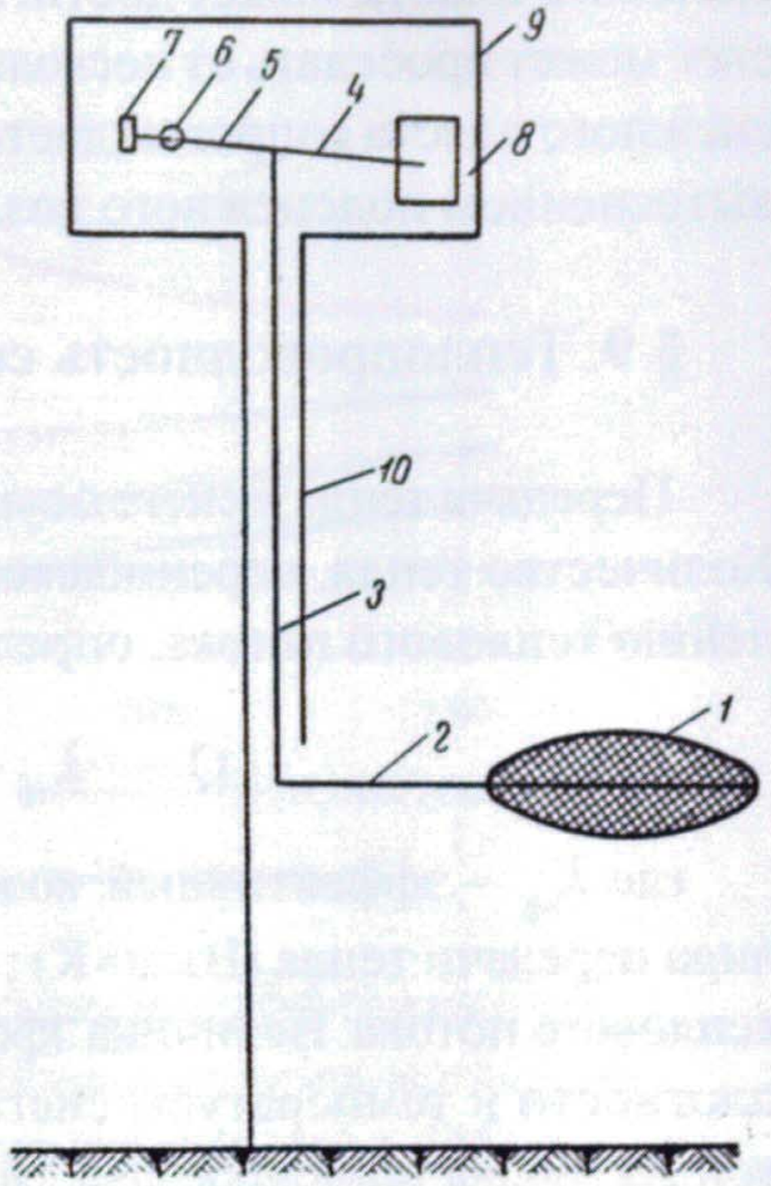


Рис. 1.50. Схема прибора, записывающего оседание снежного покрова

Наблюдения за оседанием снежного покрова проводились на метеорологической площадке в 1938–1941 гг. Полученный материал показывает, что интенсивное оседание снега продолжается первые 2–3 недели после его выпадения. Скорость оседания зависит от его структуры, начальной плотности, массы свежевыпавшего снега, температуры снега и погодных условий.

С увеличением плотности снежного покрова скорость оседания уменьшается. В ночь на 2 апреля 1935 года при тихой и умеренно морозной погоде прошел сильный снегопад, и снежный покров увеличился на 40 см. Плотность свежевыпавшего снега составила 60 кг/м^3. К вечеру того же дня свежий снег осел до 27 см, а через сутки его высота была 21 см. Таким образом, при увеличении плотности снежного пласта в 1,5 раза скорость оседания уменьшилась в 2 раза.

Оседание снега увеличивается с ростом температуры и резко возрастает с началом снеготаяния. Обычная скорость оседания в тающем снегу составляет около 1% за сутки.

Наряду с постепенным оседанием снежного покрова имеет место и его резкая осадка. Такая осадка происходит почти мгновенно с разрушением ослабленного слоя снега. На склонах гор это часто приводит к образованию снежных лавин. Такое обрушение, как правило, наблюдается во вторую половину зимы, когда у почвы образуется слой глубинной изморози. Площадь обрушения

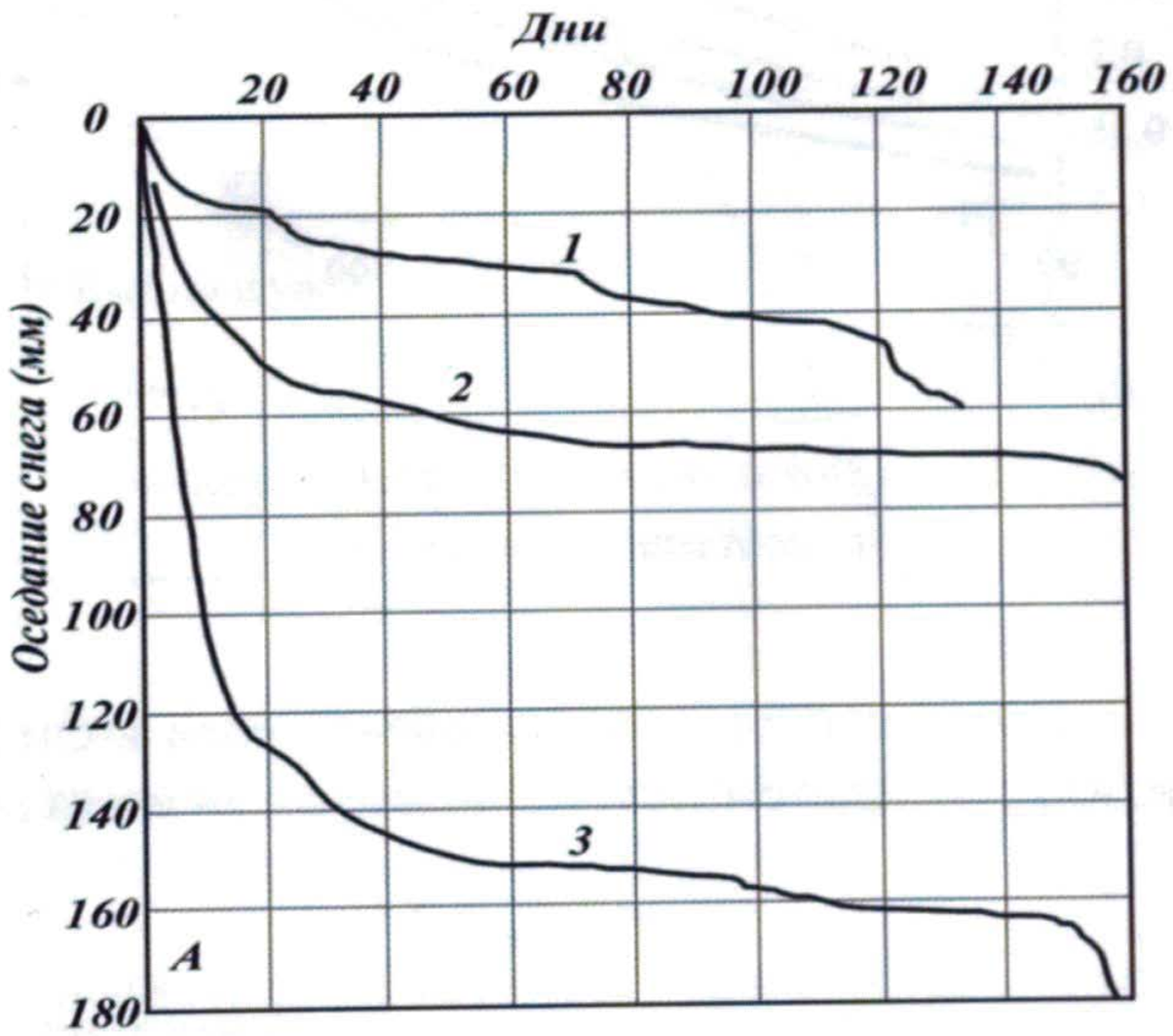


Рис. 1.51. Оседание естественного снежного покрова в зимы 1938 – 1941 гг.
1 – 1938–1939 гг.; 2 – 1939–1940 гг.;
3 – 1940–1941 гг.

снежного пласта может достигать нескольких тысяч квадратных метров. По вертикали снег может проседать от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Просадка снежного пласта сопровождается характерным ухающим звуком, образованным резким вытеснением подснежного воздуха.

§ 9. Теплопроводность снежного покрова

Передача тепла в снеге осуществляется путем кондукции и термической диффузии. Количество тепла, переносимого через единицу площади, перпендикулярной направлению теплового потока, определяется формулой:

$$Q = -\lambda_{эф} \times \partial\theta/\partial\gamma,$$

где $\lambda_{эф}$ – эффективный коэффициент теплопроводности снега, включающий оба вида передачи тепла (Вт/м×К) ; $\partial\theta/\partial\gamma$, – градиент температуры, град/м; γ – направление теплового потока. Величина эффективного коэффициента теплопроводности зависит от плотности и температуры снега. По мере увеличения плотности снега увеличивается кондуктивная теплопередача. Повышение температуры увеличивает роль теплопередачи термической диффузии [25].

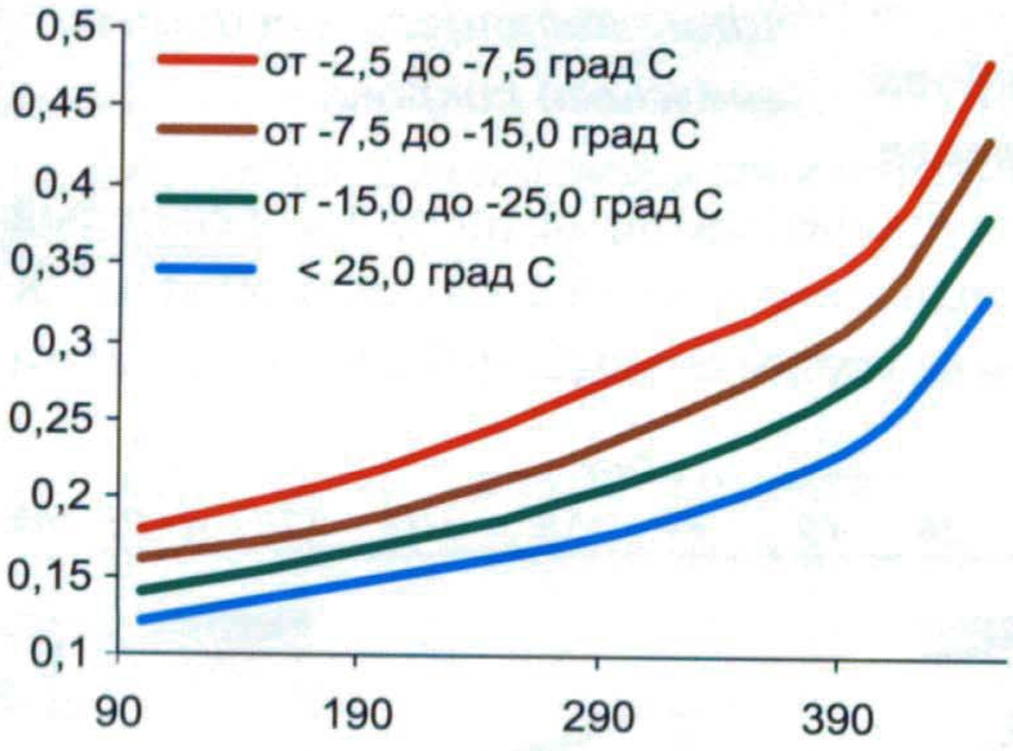


Рис. 1.52. Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности снега $\lambda_{эф}$ от его плотности ρ *[76]*

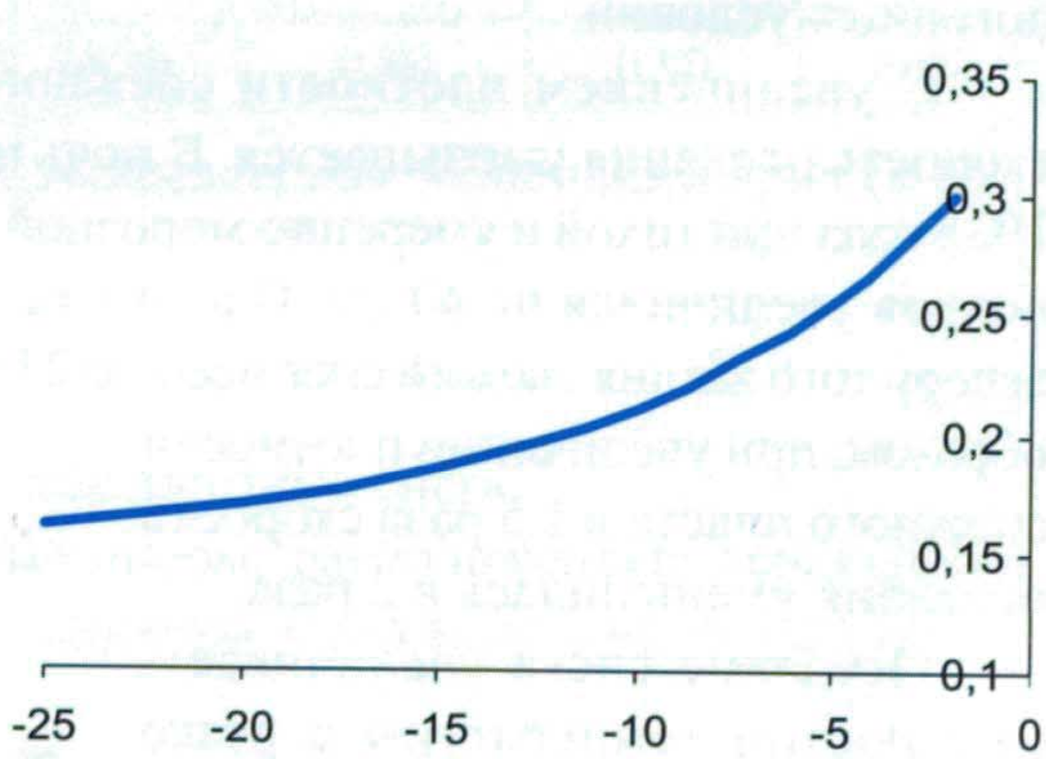


Рис. 1.53. Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности снега $\lambda_{эфэ}$ от температуры θ *при плотности* ρ *= 250 кг/м³ [76]*

При расчетах температурных полей в снежном покрове пользуются значением коэффициента температуропроводности снега *a*:

$$a = \lambda_{эф}/\rho \times C_{л},$$

где ρ - плотность снега; $C_{л}$ – удельная теплоемкость льда.

Коэффициент температуропроводности характеризует скорость изменения температуры в заданном месте при изменении температуры в соседнем.

Теплопроводность снега более низкая, чем теплопроводность грунта, поэтому снежный покров действует как изоляционный слой для почвы. Чем больше толщина

снега, тем выше его теплоизоляционные свойства. При наличии снежного покрова температура почвы оказывается выше, чем температура наружного воздуха. Разница температур достигает своего максимума в середине зимы, понижаясь до минимума к началу весеннего таяния снежного покрова.

При отрицательных температурах воздуха и облачной погоде температура на поверхности снежного покрова близка к температуре воздуха.

Влияние солнечной радиации на температурный режим в снежной толще наиболее сильно проявляется до глубины 30 см. При малооблачной погоде температура снега на освещенной площадке может повышаться до 0 ^{0}C, в то время как на затененных от солнца участках быть значительно ниже температуры воздуха.

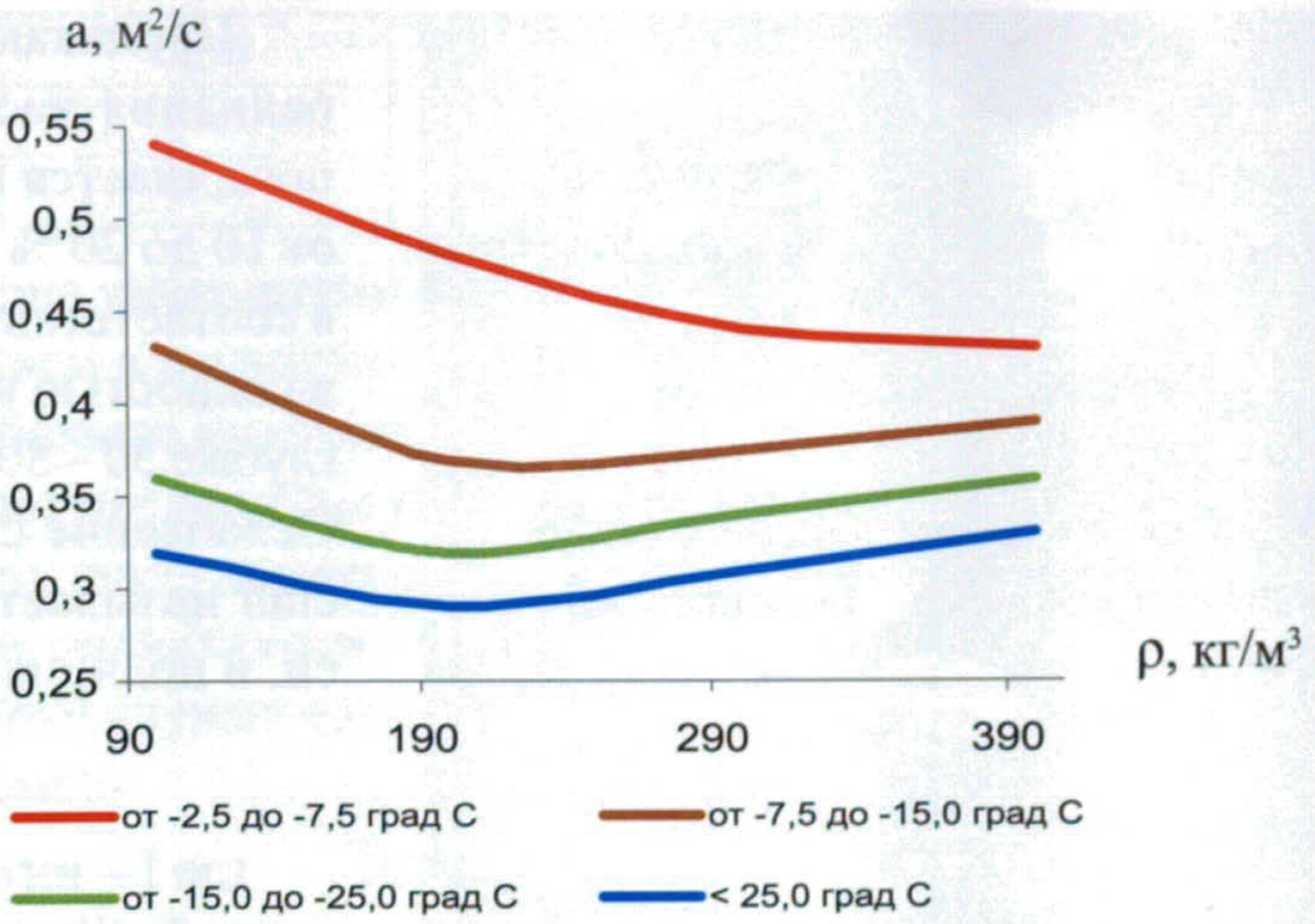


Рис. 1.54. Зависимость эффективного коэффициента температуропроводности снега a от его плотности ρ [76]

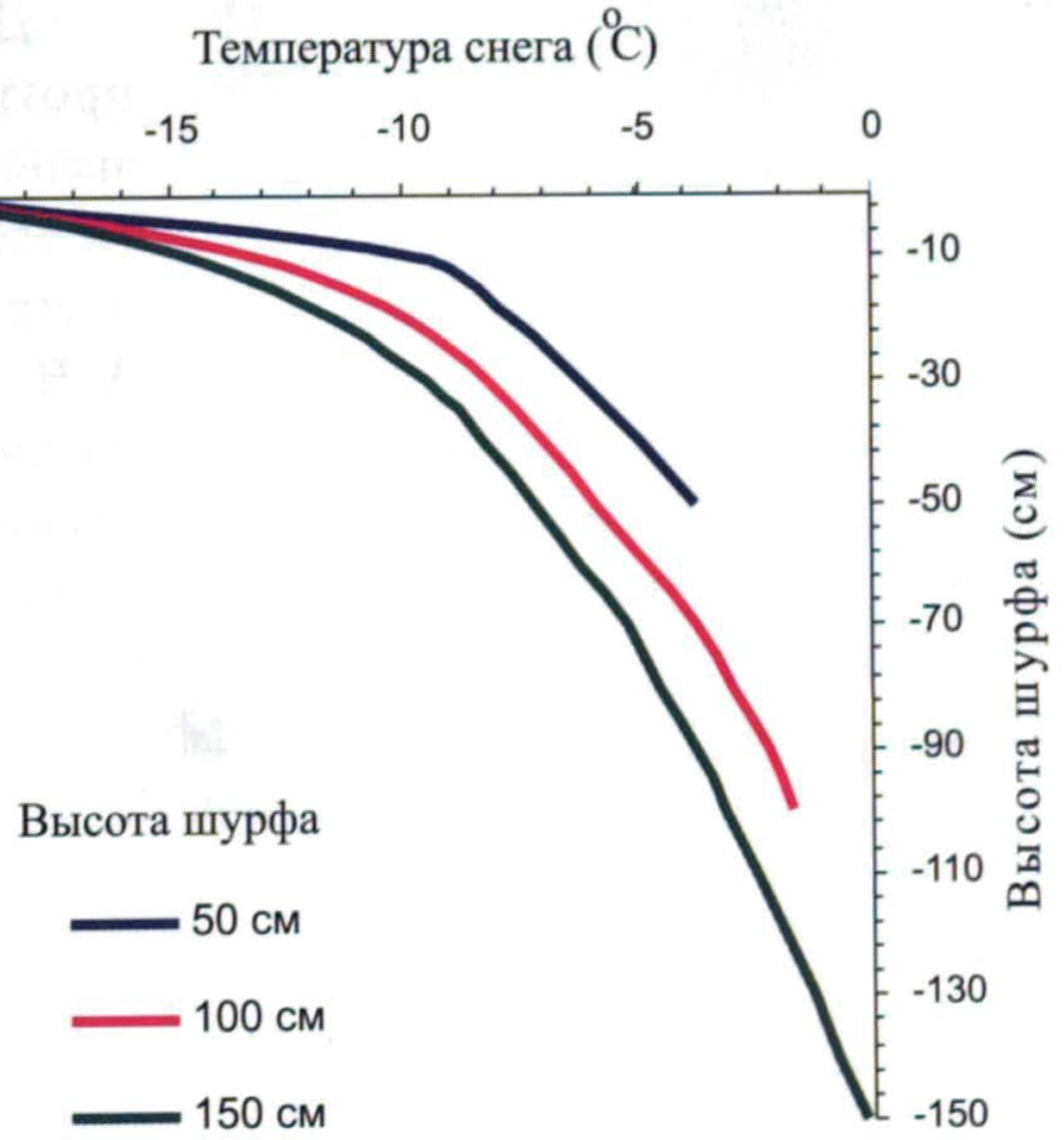


Рис. 1.55. Профиль температуры при различных высотах снежного покрова. 4 марта 2005 г. Район парка

§ 10. Радиационные свойства снега

Способность снега отражать, рассеивать и поглощать солнечную радиацию, а также его способность к излучению определяют его радиационные свойства. Важнейшим компонентом радиационного баланса снежного покрова является его альбедо. Альбедо определяется как отношение интенсивности отраженной радиации к интенсивности падающей радиации. Значение альбедо зависит не только от структуры снежного покрова и его плотности, но и от загрязнения поверхности снега. Оно меняется в широких пределах от 0,98 для сухого свежевыпавшего снега до 0,20 для грязного мокрого снега. В меньшей степени колебания альбедо обусловливаются спектральным составом поступающей солнечной радиации и высотой солнца.



Рис. 1.56. А.В. Бобрышев у установки для определения коэффициента экстинкции

Проникающая в снежный покров солнечная радиация частично рассеивается и частично поглощается им. Слой снега в 1 см пропускает от 10 до 20 % солнечной радиации. Сухой снег в соответствии с его структурой, плотностью и влажностью не позволяет радиации проникать глубже 50 – 80 см, а мокрый снег – глубже 30 см. Ослабление света при его прохождении через снег называется поглощением, или экстинкцией, и подчиняется закону Бугера – Ламберта:

$$I = e^{kz} I_0,$$

где I – интенсивность солнечной радиации на глубине z; I_0 - интенсивность солнечной радиации на поверхности снега; k – коэффициент экстинкции. Из-за значительной неоднородности снежного покрова коэффициент экстинкции колеблется.

Для проверки этого предположения в Цехе противолавинной защиты были проведены эксперименты по определению коэффициента экстинкции в зависимости от плотности и структуры снега [18]. Опыты проводились А. В. Бобрышевым на специальной установке с применением ламп сплошного спектра и системы селеновых фотоэлементов и гальванометров. Образцы снега вырезались из естественного снежного покрова.

Образец снега объемом 1500 см^3 помещался на предметный стол. Вплотную к задней грани образца придвигался фотоэлемент, включалась лампочка осветителя, и производился отсчет по гальванометру. Коэффициент ослабления вычислялся по формуле:

$$K = \frac{I_0 - I_{Z_0}}{Z},$$

где I_0 и I_z – радиация на передней и задней грани снежного образца; Z – толщина образца, см.

Всего было проделано 83 опыта с различными видами снега, результаты которых представлены ниже.

Таблица 1.44

Результаты опытов по определению коэффициента экстинкции в различных видах снега

Вид снега	Плотность, г/см^3	Размер зерен, мм	Коэффициент экстинкции, см
Свежевыпавший	0,07–0,21	0,1–0,5	0,35–0,72
Мелкозернистый сухой	0,20–0,45	0,1–0,9	0,52–1,23
Мелкозернистый влажный	0,26–0,33	–	0,55–0,76

Среднезернистый сухой	0,36	–	0,57
Фирн	0,32–0,50	–	0,50–0,64
Глубинная изморозь	0,29–0,38	0,9–3,0	0,34–0,52

Для всех видов снега характерно уменьшение коэффициента ослабления с увеличением размеров зерен. С повышением влажности снега коэффициент ослабления имеет тенденцию к уменьшению. Чем больше коэффициент экстинкции, тем интенсивнее и тем более тонким слоем снега идет поглощение солнечной радиации.

Весной, во время интенсивного поступления солнечной радиации, кристаллы снега на поверхности снежного покрова оплавляются, образуя тонкую прозрачную ледяную корку. Наличие такой ледяной корки служит созданию парникового эффекта и таянию снега даже при отрицательной температуре воздуха.

Снежный покров обладает уникальной излучательной способностью. По опытным данным, относительная излучательная способность свежевыпавшего снега составляет 0,99 – 0,97% от излучательной способности абсолютно черного тела. Интегральный поток излучения E_γ зависит от абсолютной температуры T_c на поверхности снежного покрова и вычисляется по формуле Стефана – Больцмана:

$$E_\gamma = \delta T_c^4 ,$$

где δ - постоянная Стефана – Больцмана, равная $8{,}13\times10^{-11}$ кал/см^2× мин×град^4.

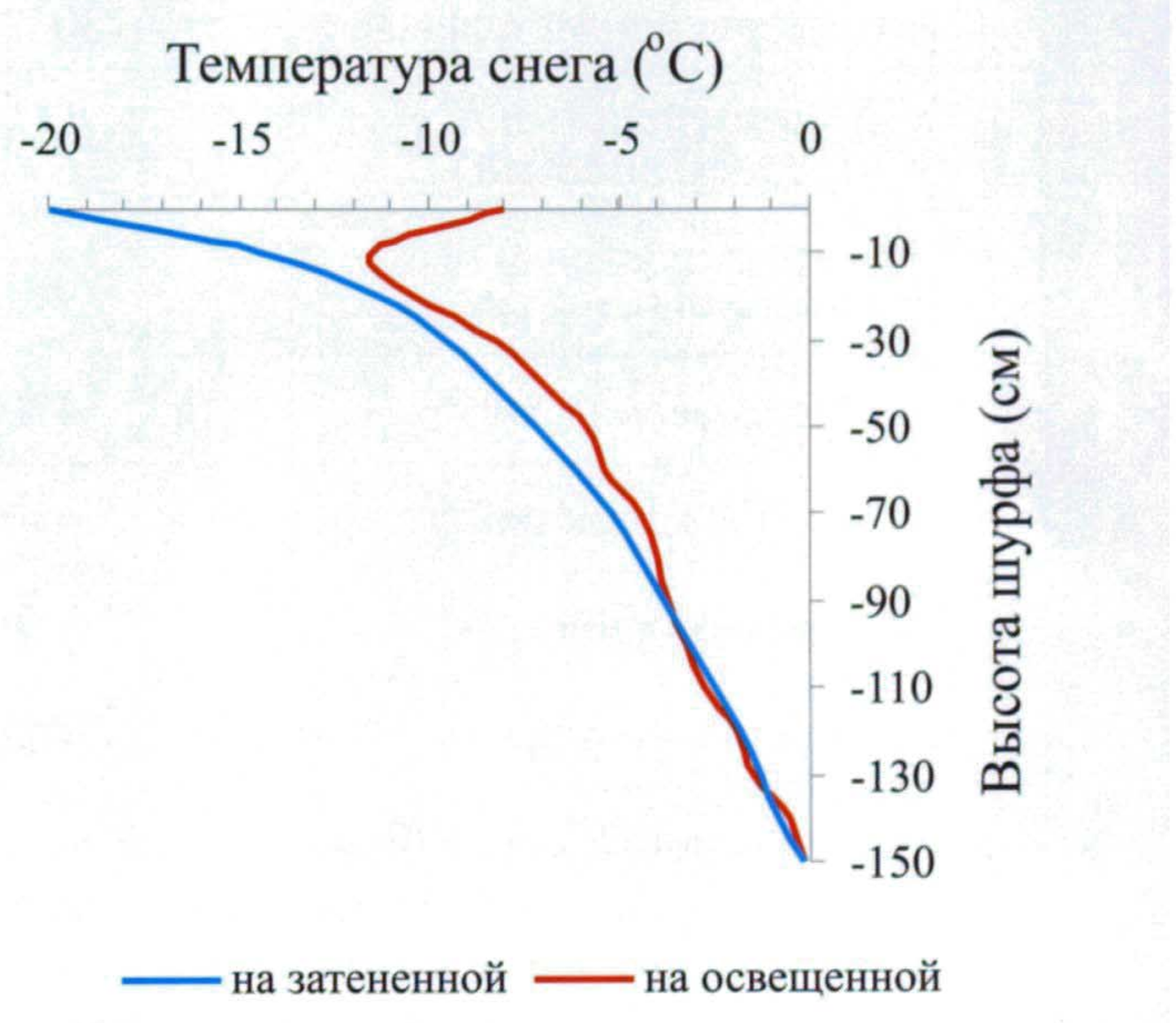


Рис. 1.57. График распределения температуры в снежном покрове на затененной и освещенной площадке в районе городского парка. 11.03.2005 г.

Таким образом, обладая большим альбедо и высокой излучательной способностью, снежный покров имеет днем малый положительный радиационный баланс. Ночью же радиационный баланс отрицательный, поэтому из-за малой теплопроводности снега поверхность снега сильно выхолаживается и даже при положительной температуре воздуха может охлаждаться до –20 °С.

§ 11. Водоудерживающая способность снега и его водопроницаемость

Свойства снежного покрова аккумулировать и поглощать воду главным образом зависят от его температуры и структуры. Когда температура внутри снежного покрова ниже 0°С, вода, образующаяся на его поверхности, будет отфильтровываться вглубь снежного покрова и замерзать, образуя ледяные линзы или ледяные прослойки.

В том случае, когда «запас холода» исчерпан и вся толща снежного покрова прогрелась до 0 °С, снег должен насытиться жидкой водой, прежде чем талые воды или дождь

достигнут грунта. Водоудерживающая способность снега выражается отношением массы воды, которая может быть удержана, к общей массе снега с водой. Способность снега удерживать свободную воду вопреки силе тяжести зависит от пористости снежного покрова и размеров зерен.

Таблица 1.45

Водоудерживающая способность снега (Кузьмин, 1957, и Савельев, Лаптев и др., 1967)

Вид снега	Плотность снега до увлажнения, кг/м^3	Максимальная водоудерживающая способность снега, %
Свежевыпавший, метелевый	130–210	55–35
Мелкозернистый и среднезернистый	240–320	35–25
Перекристаллизованный крупнозернистый	390–450	25–15
Мелкозернистый	470	63
Среднезернистый	450	58
Крупнозернистый	430	20
Глубинная изморозь	480	38

При влажности снега больше максимальной водоудерживающей способности вода начинает просачиваться через снег под действием гравитационных сил или под действием разности давлений. В соответствии с законом Дарси объем воды $V_в$, просачивающийся по вертикали, описывается уравнением

$$V_в = -(k_1/\mu_1)(\partial\rho/\partial z + \rho g),$$

где k_1 – проницаемость, μ_1 – динамическая вязкость воды, $\partial\rho/\partial z$ – градиент давления, ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения.

Скорость фильтрации тем больше, чем крупнее зерна и чем больше пористость снежного покрова. В процессе уплотнения снега скорость фильтрации уменьшается по мере уменьшения пористости и в то же время может возрастать по мере увеличения размеров зерен. При длительном просачивании воды скорость фильтрации, как правило, увеличивается вследствие образования сквозных микроканалов в снеге. Реальные скорости фильтрации воды, наблюдаемые в снежном покрове, обычно находятся в пределах 0,02 – 0,50 см/с. Скорость фильтрации увеличивается в периоды выпадения сильных дождей. Водонепроницаемые ледяные корки могут существенно увеличивать время просачивания и даже полностью остановить этот процесс. В последнем случае накопившаяся вода впоследствии прорывается, что может вызвать сход мокрых лавин и образование водоснежных потоков. Все перечисленные условия необходимо также учитывать при прогнозировании весеннего половодья в Хибинах.

§ 12. Влияние снежного покрова на жизнь и хозяйственную деятельность человека

Влияние снега на жизнедеятельность человека очень разнообразно и включает в себя сложные физические, социальные, экономические и психологические аспекты. Ущерб, причиняемый снегом автомобильному и железнодорожному транспорту, открытым горным работам, может быть огромным, поэтому изучению снежного покрова следует уделять больше внимания.



Рис. 1.58. Снежные отложения на крыше детского сада № 5 «Незабудка», г. Кировск. 02.02.2005 г.

Особенно большие снеговые нагрузки наблюдаются на вершинах Хибин. Так, на плато Ловчорр максимальные снеговые нагрузки превышают 1000 кг/м^2. В горных долинах снеговые нагрузки снижаются почти вдвое, но все равно остаются экстремально большими по сравнению с предгорьями. В Кировске они в 2 раза больше, чем в Апатитах. Это необходимо учитывать при проектировании крупных общественных зданий.

Таблица 1.46

Максимальные снеговые нагрузки (кг/м^2)
на земную поверхность по данным многолетних наблюдений в Хибинах

	октябрь	ноябрь	декабрь	январь	февраль	март	апрель	май	июнь
пос. Кукисвумчорр	101	207	262	421	499	549	627	668	
долина оз. М. Вудъявр	159	270	354	393	516	524	586	648	
плато Ловчорр	513	679	784	832	959	1135	1162	1172	1004
рудник «Восточный»	75	202	366	528	534	558	582	486	
плато Юкспор	382	415	566	634	781	790	836	986	766

г. Кировск	86	180	251	372	435	496	557	571	
г. Апатиты	20	68	136	168	240	263	323	245	

Допущенные ошибки в расчете снеговых нагрузок на кровлю приводят к непоправимым последствиям. Расчеты проектных нагрузок на крыши основываются на значениях нагрузки на грунт, которые могут наблюдаться или могут быть превышены за определенный период времени. Этот период времени определяется сроком эксплуатации сооружения. Характер формирования заносов на кровле определяется скоростью и направлением ветра, температурой и влажностью воздуха, интенсивностью выпадения осадков, габаритами и формой здания, материалом кровли, рельефом местности и окружающей застройкой. В отапливаемых зданиях, имеющих кровлю с высоким коэффициентом теплопроводности, снежный покров на контакте крыша – снег подтаивает и может соскальзывать в виде «домашних» лавин на тротуары. В Кировске от таких «лавин» получили смертельные травмы 2 человека. В этом случае основное внимание при проектировании крыш необходимо уделять безопасности пешеходов.

Несмотря на проблемы, создаваемые снегом, он способствует многим видам хозяйственной деятельности: создает запасы воды для бытовых нужд и гидроэнергетики, создает условия для занятий лыжным спортом и для других видов зимнего отдыха.

Данные о водозапасах снежного покрова играют важную роль при составлении прогноза паводка, который рассчитывается на основании данных измерений толщины снежного покрова и его плотности. Для того чтобы вызвать паводок, необходим приток энергии, способный обеспечить таяние снега со скоростью, превышающей скорость инфильтрации в подстилающие снег и грунты. В период быстрого снеготаяния, когда почва мерзлая и скорость инфильтрации воды в почву минимальна, угроза паводка резко возрастает. Во время паводка огромное количество воды высвобождается для стока, что вызывает обводнение горных выработок и затопление карьеров.

§ 13. Влияние снежного покрова на растительный и животный мир

Высота снежного покрова, его плотность, структура оказывают определенное влияние на условия естественного отбора в растительном и животном мире Хибин. Воздействие снежного покрова на растительность проявляется через изменение температурного и водного режима почвы, обеспечение корневой системы питательными веществами. Снег сглаживает резкие колебания температуры воздуха и защищает укрытые части растений от высыхания и вымораживания. Особенно это наглядно проявляется в зоне верхней границы леса, выше которой древесная растительность обнаруживается только в закрытых от сильного ветра местах. Там же наблюдается и повышенная высота снега.

При безветренной и относительно теплой погоде обильные снегопады создают дополнительную снеговую нагрузку на ветви деревьев и кустарников. Под воздействием веса снега стволы деревьев пригибаются к земле, позволяя зайцам добираться до верхних молодых побегов, которыми они питаются во время зимнего периода. Лиственные деревья всю зиму могут находиться в согнутом состоянии, в то время как мощные отложения мокрого снега и изморози на ветвях хвойных деревьях приводят к их обламыванию.

Не каждое животное может приспособиться к длительной и многоснежной зиме. Из крупных животных в Хибинах водятся бурые медведи, лоси и северные олени. Для медведей большое количество снега является благом, т. к. снег хорошо сохраняет тепло в берлоге во время долгой зимней спячки. Относительно высокая температура воздуха в берлоге позволяет медведице обзаводиться и сохранять свое потомство в течение длинной и суровой заполярной зимы.



Рис. 1.59. Тундровая куропатка – типичный представитель животного мира Хибин

Лосям и оленям мощный снежный покров затрудняет передвижение и добывание корма, поэтому с началом зимы они начинают миграцию в относительно малоснежные районы Хибин. До 90-х годов прошлого века каждую зиму можно было наблюдать стадо диких оленей от 100 до 150 особей на малоснежных южных склонах гор Ловчорр и Китчепахк. Во время непогоды стадо укрывалось в распадке р. Расвумйок. К сожалению, в результате хищнического браконьерства в последние годы олени исчезли из этого района Хибин. Лоси же облюбовали для своей зимовки малоснежные северные предгорья Хибин. Молодые сосновые леса и незначительная высота снежного покрова в этом районе обеспечивают этих животных питанием и свободой передвижения. Было время, когда с началом зимы сотни лосей со всего Кольского полуострова устремлялись в этот район и становились легкой добычей браконьеров. Для сохранения лосей на Кольском полуострове северные предгорья Хибин были объявлены государственным заказником и взяты под охрану.

Мелкие животные, такие как лемминги, мыши и горностаи, хорошо приспособились жить под снегом. Хотя температура воздуха может быть значительно ниже точки замерзания, внутри снежного покрова мелкие животные обитают в относительно теплой, защищенной среде. Они питаются за счет запасов, подготовленных осенью, или находят себе пищу под снегом. В течение зимы мелкие животные ведут активный образ жизни, и некоторые из них даже размножаются.

Из птиц, населяющих горы и предгорья Хибин, определенный интерес представляют птицы из отряда куриных: глухари, тетерева и два вида белых куропаток, которые после дневной кормежки залезают в пушистый снег и спасаются там от холода. Если глухари и тетерева в основном обитают в лесной зоне Хибин, то тундровые белые куропатки в поисках пищи залетают высоко в горы, где на бесснежных участках склонов всегда можно обнаружить ягодные растения, можжевельник, мох и лишайник.

В Хибинах, большую часть года покрытых снегом, выживают те животные и птицы, которые расходуют меньше энергии для поиска пищи, ее добычи и сохранения тепла, чем получают ее в результате питания.

Глава 18. Суровость климата

Суровость климата является комплексным выражением влияния на человека температуры и влажности воздуха, скорости ветра, количества осадков, метелевого переноса снега, давления воздуха, солнечной радиации и других неблагоприятных погодных факторов. Очевидно, что успешное освоение природных богатств Хибин невозможно без научно обоснованной программы профилактики наиболее распространенных заболеваний, связанных с неблагоприятным воздействием сурового климата на организм работающих.

Одним из ведущих факторов, определяющих специфику климатогеографических условий жизнедеятельности в Хибинах, являются низкие температуры и высокие скорости ветра. Рабочие, постоянно или периодически выполняющие трудовые операции на открытом воздухе или в неотапливаемых помещениях, горных выработках без соответствующей спецодежды, рискуют получить различные нарушения теплового состояния организма или обморозиться.

Таблица 1.47

Температура и скорость ветра, при которых в течение 10–20 мин наступает обморожение кожи лица

Температура, ^{0}C	-45	-33	-30	-24	-22	-20	-18	-15	-12	-10
Скорость ветра, м/с	0	1	2	4	5	7	9	11	13	16

Все работающие на холоде должны быть обучены способам профилактики и первой помощи при обморожении. К сожалению, до сих пор широко бытуют представления о необходимости растирания отмороженного участка кожи и даже всего тела снегом, спиртом, быстрого согревания отмороженных рук или ног с помощью горячей воды и т. п. Это, как правило, приводит к тяжелым последствиям, вплоть до ампутации конечностей.

Если отмороженный участок отогревать в направлении от поверхности вглубь, то покровные ткани, восстанавливая свою жизнедеятельность, первыми начинают испытывать кислородное голодание, поскольку замедленный кровоток не обеспечивает их возрастающих при повышении температуры потребностей в кислороде. Неизбежно возникает омертвление покровных тканей, что, по существу, и является причиной тяжелых последствий при большинстве обморожений.

Первая помощь при локальных отморожениях осуществляется в виде наложения термоизолирующей повязки на отмороженный участок или конечность, затем предпринимаются меры по согреванию всего организма. В качестве перевязочного материала используются вата, шерсть, многослойная марля и т. д. С отмороженных конечностей не следует снимать перчатки или оледенелую обувь.

После проведения согревающих мероприятий пострадавшему рекомендуется дать горячий чай или кофе и доставить в медицинское учреждение.

В случаях общего глубокого охлаждения организма первая помощь включает проведение искусственного дыхания по способу рот в рот, укутывание пострадавшего и наложение термоизолирующих повязок с немедленной транспортировкой пострадавшего в лечебное учреждение. Согревающие мероприятия должны осуществляться с

учетом недопустимости преждевременного повышения температуры головного мозга до восстановления нормального кровообращения [97].

Очевидно, что для более объективной картины суровости климата нужно принять во внимание весь комплекс неблагоприятных климатических характеристик, присущих каждому поселению. Однако на практике применяются упрощенные показатели, такие как формула Бодмана:

$$S = (1 - 0{,}04t^0)\,(1 + 0{,}27V),$$

где t^0 – температура воздуха в градусах по Цельсию, V – скорость ветра в м/сек. Применив эту формулу к средним месячным значениям температуры воздуха и скорости ветра к различным пунктам наблюдений в Хибинах, мы получили следующую картину.

Таблица 1.48

Суровость погоды по Бодману, в баллах

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Центральная	4,5	4,5	3,9	3,5	2,7	2,0	1,6	1,8	2,5	3,4	3,8	4,2	3,2
Юкспор	3,7	3,7	3,5	3,1	2,4	1,8	1,4	1,6	2,2	2,8	3,2	3,5	2,7
Кировск-2	2,7	2,7	2,4	2,0	1,7	1,1	0,8	1,0	1,3	1,9	2,3	2,5	1,9
Восточная	2,0	2,0	1,8	1,6	1,3	0,9	0,7	0,7	1,1	1,4	1,7	1,9	1,4
Кировск-1	2,9	2,8	2,7	2,2	1,8	1,2	0,9	1,0	1,4	2,0	2,2	2,5	2,0
УДО-1	2,7	2,6	2,2	2,0	1,5	1,1	0,8	1,0	1,4	1,9	2,3	2,6	1,8
Апатиты	3,0	3,0	2,8	2,3	1,8	1,2	0,9	1,0	1,5	2,1	2,4	2,7	2,1
Апатитовая гора	2,7	2,8	2,7	2,2	1,6	1,1	0,9	1,0	1,3	1,9	2,2	2,5	1,9
Северный полюс	5,5	5,0	5,0	4,0	3,5	2,5	2,3	2,5	3,0	4,0	5,0	5,5	4,0
Шпицберген	4,0	4,0	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	2,0	2,5	3,5	4,0	4,0	3,2
Магадан	5,3	4,8	4,1	2,9	2,3	1,6	1,2	1,2	1,7	2,8	4,1	5,0	2,9
Якутск	3,8	3,4	2,9	-	-	-	-	-	-	-	3,2	3,6	2,3
Оймякон	3,2	3,1	2,9	-	-	-	-	-	-	-	2,8	3,1	2,2
Коашва	2,5	2,5	2,3	1,9	1,5	1,1	0,8	1,0	1,3	1,7	2,2	2,5	1,8

Полученные данные дают возможность сравнить условия проживания и работы в различных местах Хибинах и других неблагоприятных климатических районах России. В населенных пунктах Хибин суровые погодные условия наблюдаются круглогодично, в то время как в Якутске и Оймяконе только в течение 5 месяцев. Особо суровой погодой характеризуется район Центрального рудника. Зимы в районе рудника сравнимы по жесткости с зимами в Северной Азии.

Следует учесть, что такие неблагоприятные факторы, как высокая влажность воздуха, ограниченная видимость в туманах, гололедо-изморозевые явления, продолжительные метели и пониженное давление воздуха в районе Центрального рудника, в расчеты суровости климата не принимались. Наиболее тяжелым по условиям погоды является период с декабря по февраль. Крайне суровая погода может держаться в этот период по 16 дней подряд, а максимальное число дней с климатическими простоями на Центральном руднике может достигать 69 дней в году [12].

Несмотря на почти одинаковый показатель Бодмана в Кировске и Апатитах, условия жизни в Апатитах более комфортны. Это конкретно отражается на заболеваемости населения. В 2004 году заболеваемость на 100 работающих жителей в Кировске составила 867 дней, в Апатитах – 721 день, в Кандалакше – 715 дней, Полярных Зорях – 764 дня, в Ковдоре – 668 дней и в Мончегорске – 718 дней. Таким образом, заболеваемость в Кировске самая высокая в Мурманской области.

Более неблагоприятные климатические условия проживания в Кировске находят свое отражение и в средней продолжительности жизни, которая в 2000 году составила всего 64 года, или почти на 3 года меньше, чем в Апатитах. Тяжелая работа, работа во вредных условиях и наличие вредных привычек в сочетании с суровым климатом Хибин увеличивают заболеваемость населения и приводят к сокращению продолжительности жизни. По этой причине мужчины Кировска живут в среднем на 10–12 лет меньше, чем женщины.

Глава 19. Современное изменение гляциосферы и климата в Хибинах

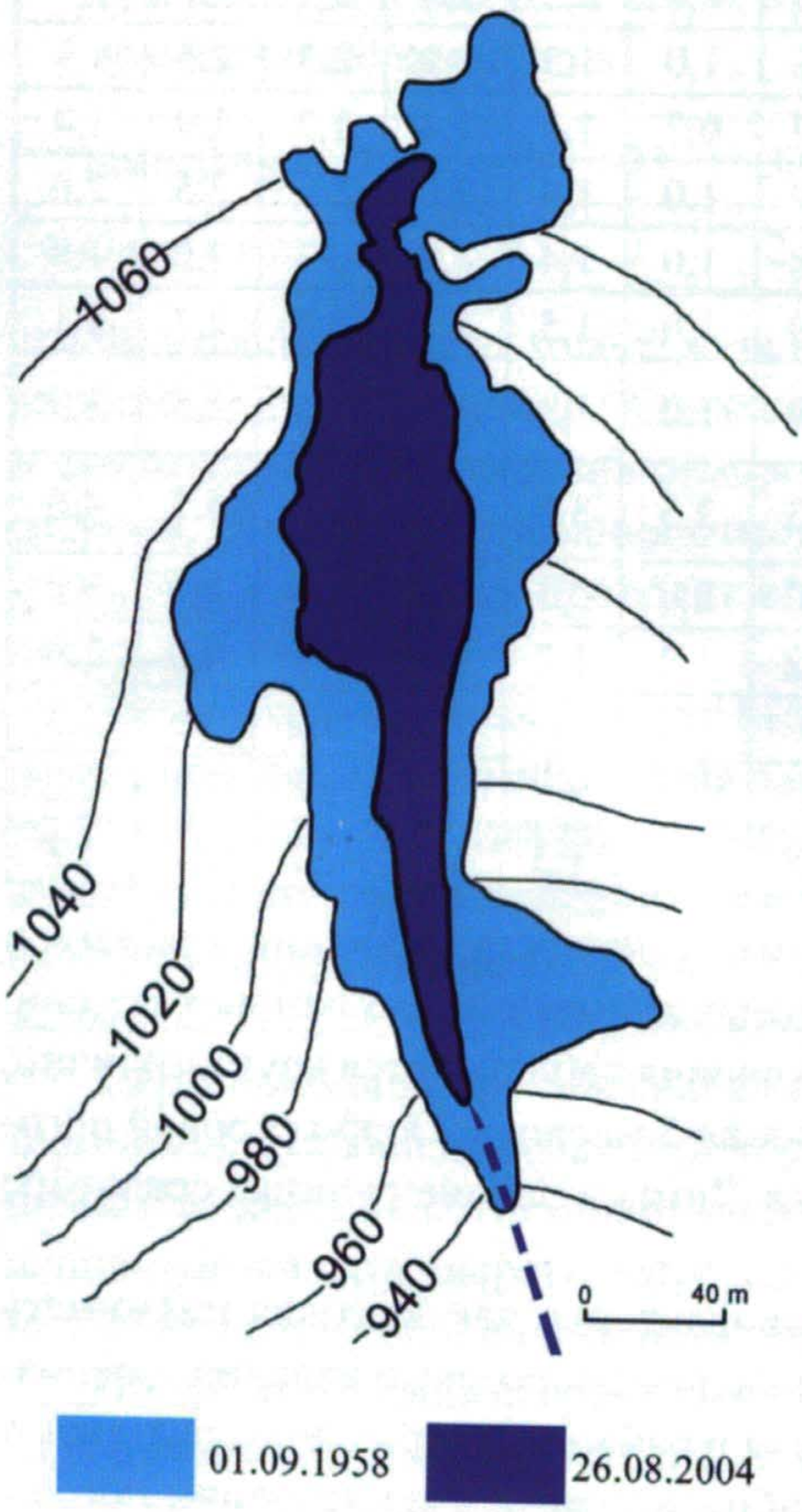


Рис. 1.60. Карта-схема ледника № 3 на 01.09.1958 г. и 26.08.2004 г.

Инструментальные метеорологические наблюдения на Кольском полуострове были организованы сравнительно недавно, поэтому исследование прямых и обратных связей между гляциальной средой и атмосферой методами палеогляциологии дает возможность реконструировать хронологические срезы минувших эпох.

Первые свидетельские показания об обледенении Хибин оставил капитан корпуса горных инженеров Н. В. Широкшин, который в 1834–1835 гг. обследовал юго-западную часть Кольского полуострова. Он составил физико-географическую характеристику и петрографическую схему этого района. В частности, он отметил: «Бывают годы, в которые Кандалакшские горы не снимают с себя снежного покрова зимы. Хибины же покрыты вечным снегом» [56]. В наше время одни исследователи считают это замечание Н. В. Широкшина ошибочным, другие – свидетельством более холодного, чем ныне, климата [72].

Похолодание между 1450 и 1850 годами нашей эры называется малым ледниковым периодом. За 400 лет этого периода в шведской Лапландии произошла активизация ледников, которые продвинулись далеко за пределы их современных границ. Климат Северного по-

лушария в то время был не только холоднее современного, но и существенно более влажным [54, 104]. Вполне возможно, что в результате этого похолодания, обильных твердых осадков, отложения изморози и гололеда, активной метелевой и лавинной деятельности в Хибинах стали формироваться небольшие каровые ледники, снежники и участки вечной мерзлоты. Следы совсем недавно исчезнувших ледников и крупных снежников, существовавших в Хибинах в середине XIX века, хорошо опознаются на аэрофотоснимках. Ледники еще совсем недавно лежали во всех цирках Хибин у задних стенок северной экспозиции. При этом чем больше была площадь плато, с которого снег сносился ветром, тем больше были размеры ледника.



Рис. 1.61. Ледник № 3. Более темная поверхность – лед, светлая – фирн. 26.08.2004 г.

Первый ледник в Хибинах обнаружил и описал научный сотрудник МГУ В. Ф. Перов во время работы по программе Международного геофизического года в 1958 году [78]. Этот ледник площадью 0,02 км^2 располагается в верховьях троговой долины первого правого притока р. Кальйок. Ледник питается метелевым переносом снега и лежит на 100 м ниже поверхности плато Лявочорр. Всего же в Хибинах были обнаружены четыре ледника площадью от 15 до 30 тыс. м^2 и толщиной льда до 10 м.

Ледники Хибин располагаются на высоте 900–1100 м. Они лежат на склонах или у подножия горных массивов, наиболее значительных по абсолютной высоте и площади платообразных вершин. Три ледника из четырех относятся к категории висячих и один – к группе ледников подножий склонов. Поверхность ледников в течение всего лета покрыта снегом, мощность которого к началу периода весеннего таяния составляет около 7 м. Они питают водой правый приток р. Кальйок, р. Часнайок, р. Тульйок и р. Каскаснюнйок [57]. По состоянию на 15 августа 1959 года наиболее крупные

снежно-ледовые образования в Хибинах расположены на склонах платообразных вершин – Кукисвумчорр, Лявочорр и Часначорр.

Таблица 1.49

Название плато	Абсолютная высота, м	Площадь плато, км^2	Количество снежно-ледовых образований	Общая площадь снежно-ледовых образований, км^2
Кукисвумчорр	1140	6,9	19	0,25
Лявочорр	1180	2,1	3	0,05
Часначорр	1180	0,6	1	0,02

Приведенные данные в таблице 1.49 могут служить основой для количественной оценки изменения снежно-ледовых образований в Хибинах за последние 50 лет [37]. Для этого необходимо организовать экспедицию и вновь их обследовать.



Рис. 1.62. Нижняя часть ледника № 4. 26.08.2004 г.

26 августа 2004 года работниками Центра лавинной безопасности под руководством автора были обследованы 2 ледника, расположенные на северном склоне горы Кукисвумчорр. Ледник № 3 (по нумерации Каталога ледников СССР) занимает углубление в восточном борту цирка, замыкающего верховья р. Тульйок. По измерениям на 1 сентября 1958 года его длина составляла 350 м, ширина – 40 – 90 м [79]. За 46 лет длина ледника уменьшилась до 270 метров, ширина более чем в два раза, а площадь почти в три раза.

Ледник № 4 расположен на восточном склоне северной части массива Кукисвумчорр в расщелине. Ледник питает водой р. Каскаснюнйок. За период с 1.09.1959 года его длина сократилась на 45 метров и составила на момент обследования 26.06. 2004 года 195 м. Таким образом, можно предположить, что если не произойдет существенного похоло-

дания климата, то в ближайшие 20 – 30 лет ледники в Хибинах полностью растают.

Снежники в Хибинах распространены довольно широко. В некоторых затененных местах и в зонах повышенной метелевой аккумуляции снега снежный покров сохраняется в течение нескольких лет. По длительности существования хибинские снежники разделяют на три группы:

1) раннелетние, растаивают в течение первой половины лета;
2) позднелетние, растаивают в течение второй половины лета;
3) снежники-перелетки – полностью не растаивают в течение лета.

Наиболее значительный по площади снежник, сохраняющийся все лето, расположен на г. Лявочорр, вдоль подножия задней стенки цирка, ориентированного на восток. Второй по величине снежник-перелеток находится на горе Кукисвумчорр в Снежном цирке. Впервые этот снежник исследовал И. К. Тихомиров в 1933 году. Толщина снега здесь достигала нескольких метров, а средняя плотность, взятая при помощи весового плотномера составила 0,70 г/см^3. В период с 25 по 27 июня 1954 года снежник был исследован М. Н. Лаптевым, Г. Г. Гельманом и А. В. Антоновой. Заложенный в центральной части снежника шурф на глубине 3,83 м достиг коренных пород. Вся толща состояла из среднезернистого фирнизированного снега с 34 ледяными корками толщиной от 2 до 20 мм. Плотность снега замерялась многократно на разных уровнях и находилась в пределах от 0,56 г/см^3 на поверхности и до 0,74 г/см^3 на глубине 2 метра.



Рис. 1.63. Снежный цирк. 06.07.2004 г.

В течение нескольких десятилетий снежное пятно площадью несколько тысяч квадратных метров было хорошо видно из Кировска. Этот мощный снежник не успевал растаять даже в исключительно теплые летние месяцы 1972–1974 годов и только летом 2002 впервые полностью растаял и перешел в разряд позднелетних снежников.

Данные примеры убедительно показывают, что гляциальная среда в Хибинах существенно сократилась за последние полтора века, и этот процесс продолжается в настоящее время.

Потепление климата в Хибинах за последние 100–150 лет находит свое отражение в медленном и повсеместном смещении границ высотных зон природно-территориальных комплексов. По фотографиям долины Юмьегорр, сделанным участниками экспедиции В. Рамзая и опубликованным в журнале «Fennia» (№ 2, 1891), отмечаются следующие изменения. На левом борту долины верхняя граница березового криволесья поднялась на 100–120 м, по ложбинам правого борта – на 150 м, а на дне долины примерно на 70 м.

Современные ландшафтные полевые исследования Хибин показали, что поднятие границ леса началось около 100 лет назад и ускорилось в последние 50 лет. В березняке есть обильный прямоствольный молодой подрост, тогда как стволы взрослых деревьев имеют сильно изогнутую форму, свидетельствующую об их угнетении в период роста. В березняке, у его верхней границы, встречаются ели стланиковой формы возрастом около 50 лет, с молодыми вертикальными побегами, а также подрост ели.

В устье долины р. М. Белая и на других участках западных склонов Хибин, у верхней границы лесотундры, отмечаются молодые вертикальные побеги сосны, поднимающиеся над сосновым стлаником. Это позволяет проводить границу соснового редколесья примерно на 100 метров выше, чем 50 лет назад.



Рис. 1.64. Зарастающая березняком котловина оз. Малый Вудъявр. 06. 09. 2004 г.

Поднимается и верхняя граница тундры. В начале 1930-х годов была детально описана котловина оз. М. Вудъявр, где размещалась основанная А. Е. Ферсманом научная станция «Тиетта». Имеются составленные в то время карты почв и растительности этого участка, который А. Е. Ферсман назвал заповедником хибинской тундры.

Сравнение прежней и новой ландшафтных карт показывает, что в настоящее время долинная тундра в котловине оз. М. Вудъявр активно зарастает березняком. Таким образом, тундровые комплексы становятся лесотундровыми, а лесотундровые – лесными,

что свидетельствует о более высокой температуре воздуха в Хибинах в XX веке по сравнению с предыдущим столетием.

Сложная статистическая структура временных рядов метеорологических элементов является одной из причин неоднозначности выводов о характере изменений в климатической системе. Интерпретация таких изменений выполняется, как правило, на основе анализа статистических характеристик временных рядов, полученных путем осреднения.

Изменение климата прежде всего связывается с изменением режима осадков и температуры во времени. Наиболее длительный ряд метеорологических наблюдений в Хибинах на вершинах гор Юкспор и Ловчорр был проведен противолавинной службой комбината «Апатит». Ниже приводится график среднегодовых температур воздуха и годовых сумм осадков на плато Ловчорр за период с 1936 по 2005 год. Данные с 1936 по 1961 год для метеостанции «Центральная» были рассчитаны по данным метеостанции «Юкспор» по уравнениям регрессии, которые имели следующий вид:

1. Для среднегодовой температуры воздуха: У = 0,98Х – 1,18, коэффициент корреляции – 0,99, стандартная ошибка – 0,13;

2. Для средней температуры холодного периода: У = 1,01Х – 0,95, коэффициент корреляции – 0,99, стандартная ошибка – 0,15;

3. Для средней температуры теплого периода: У = 0,95Х – 0,99, коэффициент корреляции – 0,99, стандартная ошибка – 0,15;

4. Для годовых сумм осадков: У = 1,19Х + 270, коэффициент корреляции – 0,87, стандартная ошибка – 126;

5. Для сумм осадков холодного периода: У = 0,99Х + 315, коэффициент корреляции – 0,68, стандартная ошибка – 109;

6. Для сумм осадков теплого периода: У = 1,15Х + 104, коэффициент корреляции – 0,87, стандартная ошибка – 78.

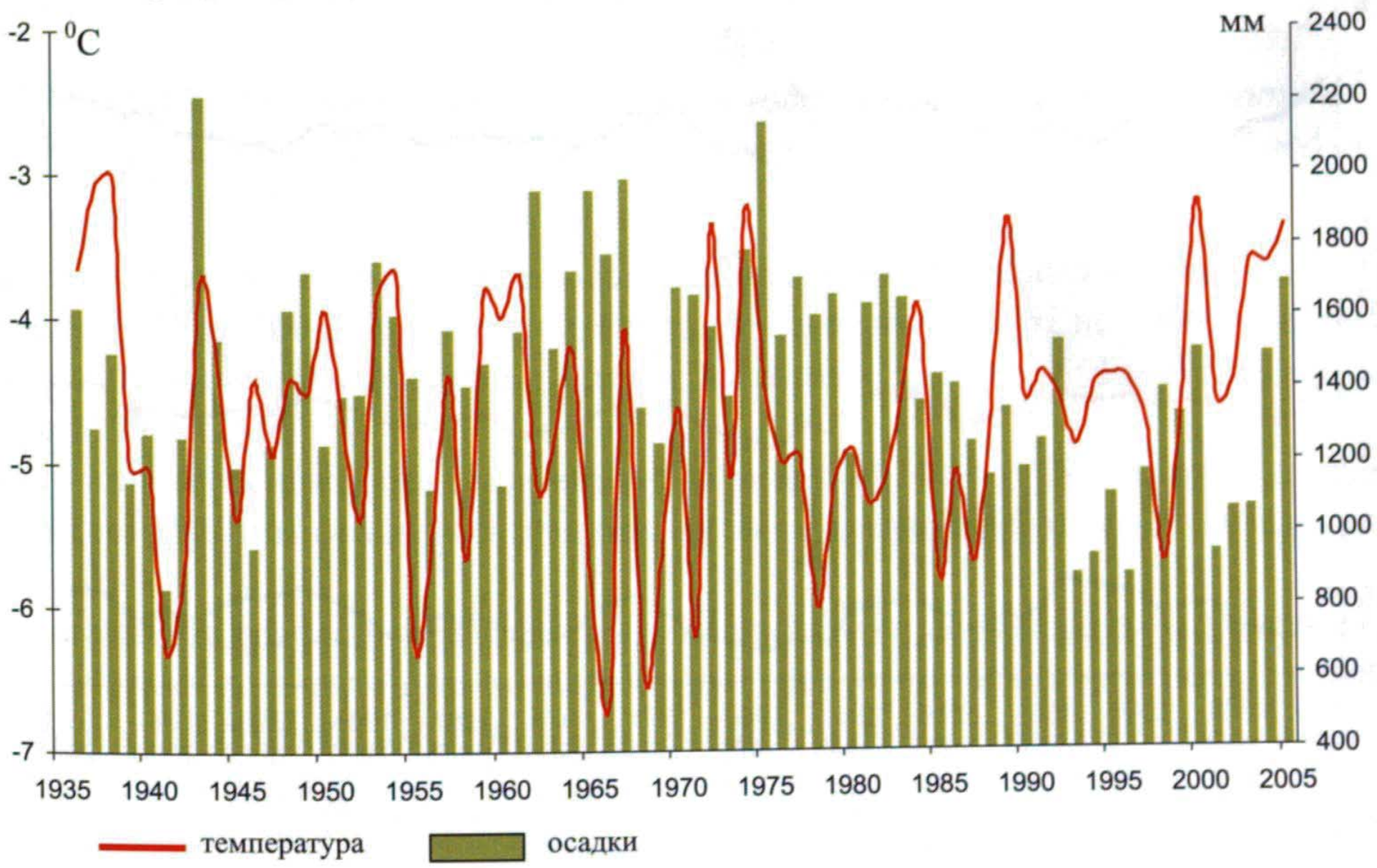


Рис.1.65. Комплексный график среднегодовой температуры воздуха и осадков на плато Ловчорр за период с 1936 по 2005 год

Как видно из графика на рис. 1.65, температура и осадки в Хибинах значительно меняются от года к году. Такие отдельные, хотя и весьма значительные колебания метеорологических элементов, наблюдавшиеся в течение длительного периода, входят в понятие климата, но еще не дают оснований судить о его многолетних изменениях. Располагая данными средней температуры воздуха, количества осадков за отдельные годы, можно судить только о величине их межгодовых колебаний.

Если же вместо средних годовых или сезонных значений метеорологических элементов взять те же осредненные величины за ряд лет, то отдельные несистематические колебания этих элементов будут заметно сглаженными, так как положительные и отрицательные отклонения, складываясь арифметически, будут взаимно погашаться. Другими словами, возможные колебания температуры воздуха и осадков будут выражены значительно меньше, чем в смежных годах, при этом средняя квадратичная ошибка осредненного значения $\delta_н$ будет уменьшаться в зависимости от числа лет осреднения Н по формуле [34]:

$$\delta_н = \frac{\delta}{\sqrt{H}}.$$

В нашем случае за период осреднения был взят пятилетний отрезок времени. Среднегодовые температуры воздуха и годовые суммы осадков, осредненные по 5-летним периодам и сглаженные по методу Е. С. Рубинштейн [84], позволяют оценить колебания температурного режима и осадков на уровне вершин Хибинских гор за период с 1936 по 2005 год.

Анализируя многолетний ход средней сезонной и годовой температуры воздуха на плато Ловчорр по перекрывающимся пятилетиям за период с 1935 по 2005 год, можно определить пятилетние периоды с аномально высокой или низкой температурой воздуха.

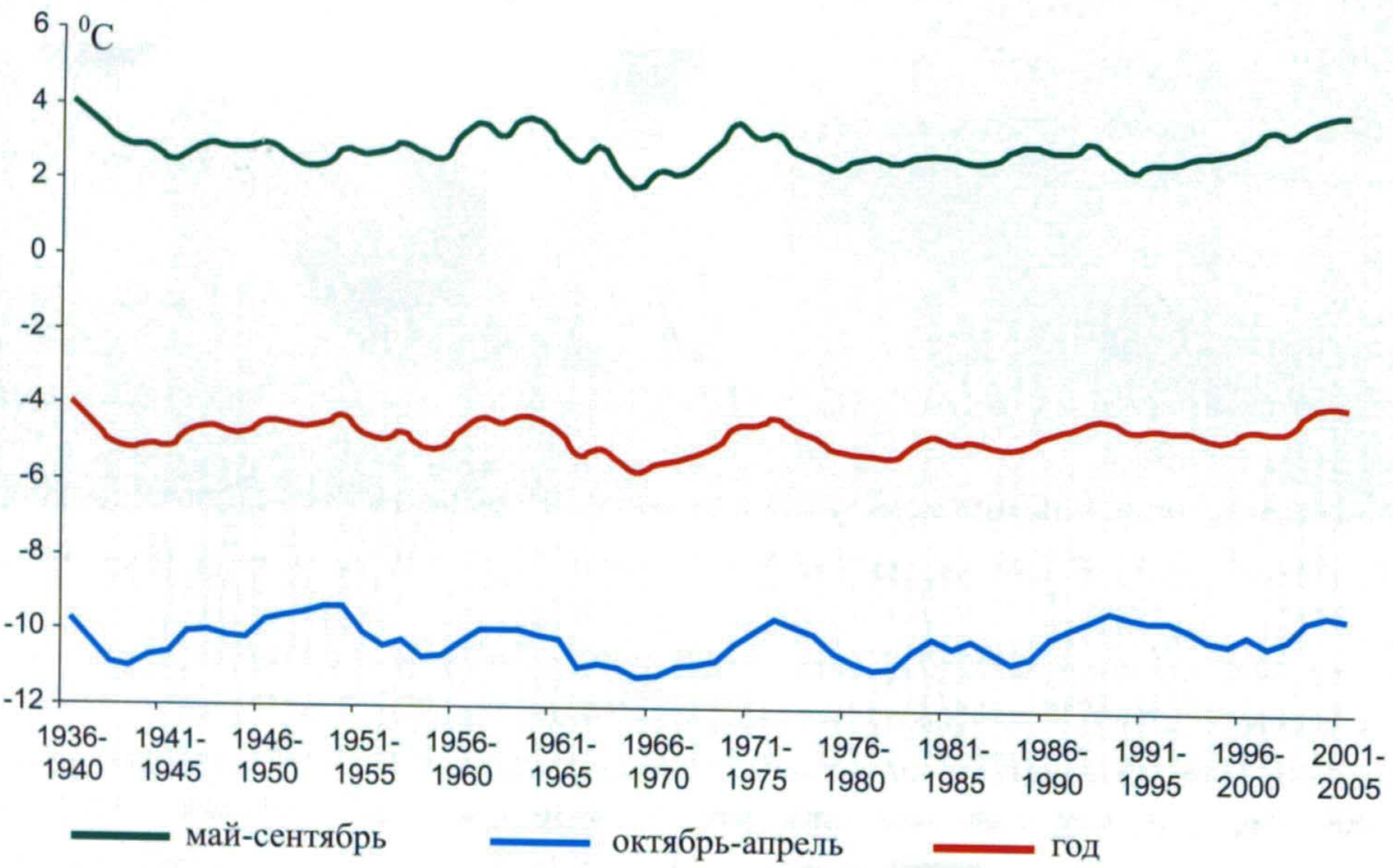


Рис. 1.66. Многолетний ход средней сезонной и годовой температуры воздуха на плато Ловчорр по перекрывающимся пятилетиям за период с 1936 по 2005 год

Самая теплая погода летом наблюдалась в 1936–1940 годах. Средняя температура за май – сентябрь в эти годы составила + 4,1^{0}С. Самая холодная погода летом наблюдалась в 1965–1969 годах. Средняя температура за май – сентябрь в эти годы составила всего + 1,8 ^{0}С. Начиная с 1990 года по настоящее время обнаруживается устойчивый рост летних температур воздуха, однако они еще не достигли уровня 1936–1940 гг.

Самые холодные зимы наблюдались в период с 1965 по 1970 г., когда средняя температура воздуха за октябрь – апрель составила –11,1 ^{0}С, а самые теплые (–9,3^{0}С) в периоды с 1949 по 1953 и с 1989 по 1993 г.

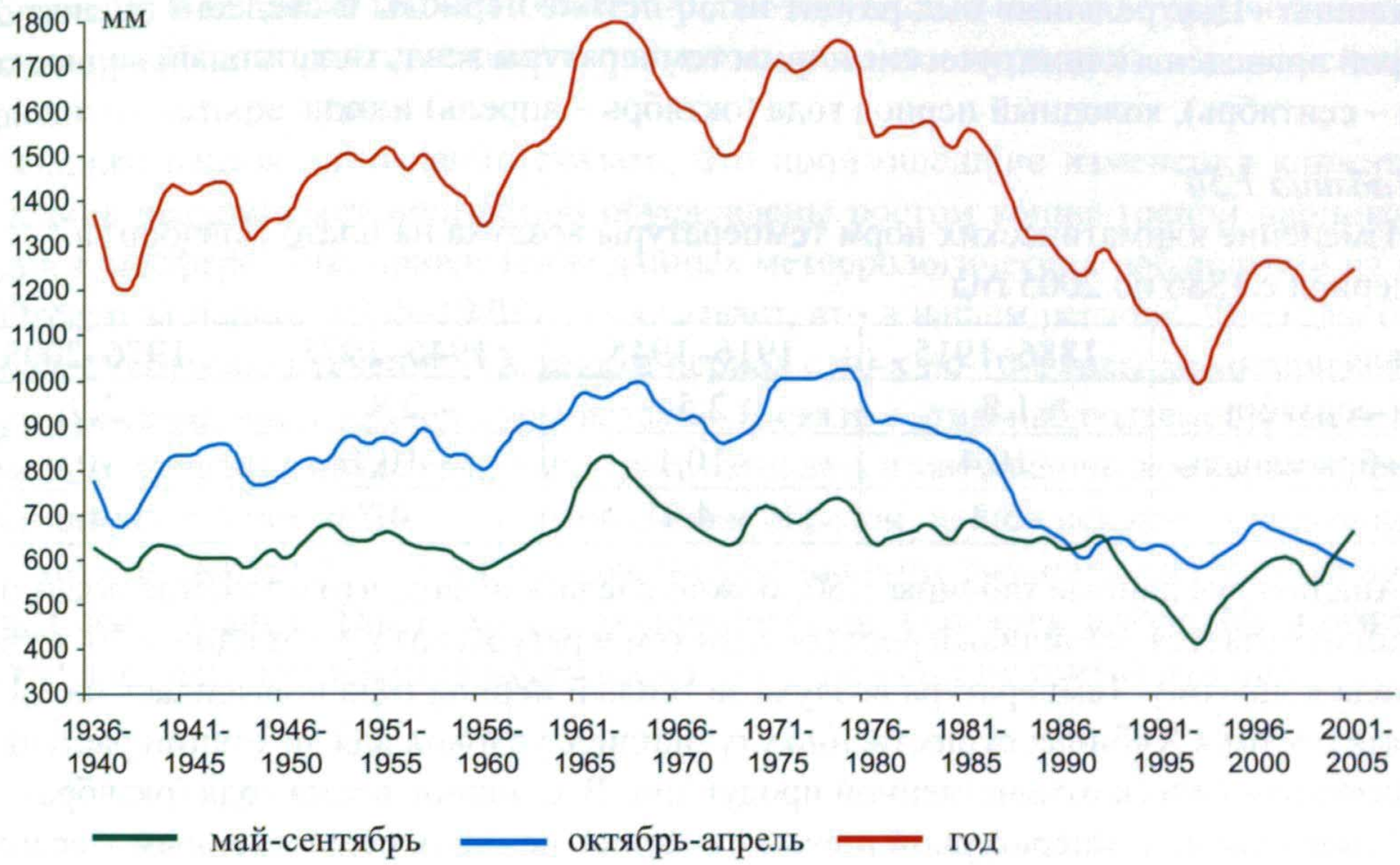


Рис. 1.67. Многолетний ход сезонных и годовых сумм осадков на плато Ловчорр по перекрывающимся пятилетиям за период с 1936 по 2005 год

На графике летних сумм осадков на плато Ловчорр по перекрывающимся пятилетиям за период с 1936 по 2005 год отчетливо проявляется период с 1962 по 1966 год аномально большим количеством осадков – 826 мм. Минимум осадков (414 мм) наблюдался в период с 1993 по 1997 г.

Самыми многоснежными были зимы в период с 1974 по 1978 год, когда выпадало в среднем по 1020 мм осадков, а самыми малоснежными (580 мм) – в период с 1993 по 1997 год.

Как показали графики температуры и осадков, пятилетние ряды осреднения метеорологических элементов не позволяют выявить устойчивых изменений климата. Всемирной метеорологической организацией для определения климатической нормы принят 30-летний ряд наблюдений. Колебания основных метеорологических элементов за период до 30 лет целесообразно относить к изменчивости климата, а более длительные, если они носят необратимый характер, к изменению климата. Таким образом, если разбить многолетний ряд наблюдений на 30-летние отрезки и посчитать по каждому из

них средние значения, то можно количественно оценить изменение климата за период метеорологических наблюдений. Период метеорологических наблюдений в Хибинах составляет 70 лет. Такого срока наблюдений недостаточно, чтобы сделать однозначный вывод о необратимом характере изменения климата в Хибинах. В климатологии существуют методы удлинения климатических рядов методом приведения их по данным ближайших метеорологических станций, имеющих долгосрочный ряд наблюдений.

Первые систематические наблюдения на Кольском полуострове были организованы в Коле в 1878 году. Данные этой станции и были использованы для удлинения климатического ряда для станции «Центральная». Приведенный температурный ряд по станции «Центральная» был разбит на 30-летние периоды и сведен в таблицу 2, в которой приведены климатические нормы температуры воздуха за теплый период года (май – сентябрь), холодный период года (октябрь – апрель) и год.

Таблица 1.50

Изменение климатических норм температуры воздуха на плато Ловчорр за период с 1886 по 2005 год

Сезон	1886–1915	1916–1945	1946–1975	1976–2005
май-сентябрь	1,8	2,5	2,8	2,9
октябрь-апрель	–10,4	–10,1	–10,1	–10,0
год	–5,3	–4,9	–4,7	–4,6

Анализируя данные таблицы 1.50, можно сделать вывод, что в течение последних 120 лет отмечается устойчивый рост средней температуры воздуха от одного 30-летнего периода к другому. Температура воздуха за теплый период года повысилась на 1,1 ^{0}C. В связи с этим в Хибинах существенно улучшились условия для вегетации растений и производства сельскохозяйственной продукции. В холодное время года (октябрь – апрель) повышение температурной нормы оказалось не столь существенным – всего на 0,4 ^{0}C, при этом за период с 1916 по 2005 год она осталась практически на одном уровне. За прошедшие 120 лет годовая норма температуры воздуха повысилась на 0,7 °C, что соответствует выводам ученых о глобальном потеплении климата в XX веке.

По данным Межправительственной группы экспертов по вопросам изменения климата Всемирной метеорологической организации, температура в Северном полушарии в XX веке в среднем повысилась на 0,6^{0}C, а 1990-е годы были не только самым теплым десятилетием XX века, но и последнего тысячелетия. При этом отмечается, что поверхность Мирового океана в XX веке поднялась на 10–20 см, увеличился период роста деревьев, стало меньше льда в Северном Ледовитом океане. Все эти данные хорошо согласуются с результатами метеорологических наблюдений, с сокращением гляциосферы и соответственным изменением природно-растительных комплексов в Хибинах. Можно предположить, что повышение температуры воздуха и уменьшение осадков в конце XX века в Хибинах произошло в результате естественных факторов эволюции климата и под возрастающим влиянием антропогенных процессов.

Что ждет нас в будущем? Это не праздный вопрос. В настоящее время существует несколько сценариев изменения климата в XXI веке. Эти расчеты базируются на наблюдаемых темпах роста антропогенной эмиссии парниковых газов. Моделирование возможных изменений климата, обусловленных ростом концентрации CO_2 в атмосфере, показывает, что парниковый эффект проявляется не только в глобальном потеплении,

но и в увеличении количества циклонов в высоких широтах Северного полушария, что приводит к изменению гидрометеорологических условий.

Прибегнув к оценке вероятности различных масштабов потепления в XXI веке, ученые пришли к выводу, что вероятность увеличения температуры на 1,7–4,9 ^{0}C составляет 90%. Таким образом, потепление в XXI веке будет происходить более высокими темпами по сравнению с прошедшим столетием. Если этот прогноз ученых оправдается, то климат на Кольском полуострове в середине XXI века будет примерно таким, как в средней полосе России. Природа Кольского полуострова очень разнообразна и красива. Недра нашего края богаты уникальными месторождениями полезных ископаемых. Нет только тепла. Поэтому прогнозируемое повышение средней температуры воздуха благоприятно скажется на условиях жизни мурманчан и экономическом развитии нашего региона.

Однако нельзя однозначно сказать, что произошедшие изменения климата за последние двадцать лет полностью обусловлены ростом концентрации парниковых газов в атмосфере. Так, привлечение данных метеорологических наблюдений на плато Юкспор за период 1936–1980 гг. показывает, что в нашем регионе 30-е годы были наиболее теплыми в течение XX века, а период с 40-х по 70-е годы характеризовался заметным снижением температуры воздуха. В связи с этим наблюдаемое в настоящее время повышение температуры можно рассматривать и как циклическое «возвращение» к климатической норме 30–40-х годов. Таким образом, нельзя исключать вероятность того, что в ближайшие 5–10 лет повышение температуры закончится и начнется новый период похолодания. Такой, хоть и маловероятный, сценарий изменения климата в ближайшие годы для жителей Мурманской области будет не самым лучшим.

II. СНЕЖНЫЕ ЛАВИНЫ В ХИБИНАХ

Глава 1. История создания противолавинной службы в Хибинах

§ 1. Начало

Первые сведения о снежных лавинах в Хибинах мы находим в «Сказании о нашествии «немцев», записанном со слов старухи саами в 1912 году В. Ю. Визе [70]. «Шли немцы грабить и убивать лопарей. Лопари убежали в Хибины, на очень крутую пахту горы Юловчорра. Когда лопари пустились в бегство, оставалась в погосте лишь одна старуха, которая и стала просить лопарей: «Не оставьте меня, возьмите с собой». Лопари ее взяли, не бросили. Ничего старушка не взяла с собой – только осоку, скрученную в жгуты. «Куда осоку-то берешь?» – спросили ее лопари. Старушка же только ответила: «Пригодится». На крутом склоне той пахты, куда бежали лопари, снегу было очень мно-



Рис. 2. 1. Первая фотография снежной лавины с г. Айкуайвенчорр. 1932 г.

го, на самом же верху пахты он сильно нависал. Зная опасность, с какой связан подъем по этой крутизне, лопари взобрались на пахту не прямым, а обходным путем. Когда они добрались до вершины пахты, старуха начала бросать вниз по крутому, покрытому снегом склону осоку. Вскоре показались немцы. Подойдя к пахте, они увидели наверху народ, на склоне же заметили разбросанную осоку и, решив, что лопари поднимались с этой стороны, начали подъем. Труден был подъем по оледенелому твердому снегу, стали топором ступеньки в снегу рубить. Тут внезапно снег обвалился и всех засыпал, похоронил».

Первые документальные сведения о снежных обвалах в Хибинах относятся к самому началу промышленного освоения этого района. Уже в 1929 году отмечались небольшие лавины со склонов г. Кукисвумчорр и Апатитовой горы. В 1930 году были обнаружены отложения огромной лавины, сошедшей с Апатитовой горы, а в 1932 году произошел исключительный по своей силе снежный обвал на горе Айкуайвенчорр, когда сошедшая с крутого цирка снежная лавина шла по долине почти два километра и ломала кряжистые десятиметровые ели, как соломинки.

В первых числах мая 1934 года, по сведениям сотрудника Кольской базы АН СССР А. В. Клименко, с западного склона горы Кукисвумчорр сошла колоссальная лавина, прихватившая часть породы. По всей видимости, это был типичный водоснежный поток, который образовался в лавинном очаге № 227. Огромная масса воды, снега и камней перекрыла р. Кукисйок толщиной до 7–8 метров.

Однако пока лавины не наносили реального ущерба, они выпадали из поля зрения исследователей. После строительства железнодорожной ветки Нефелин – Юкспорйок, которая проходила по склону горы Юкспор, начались первые проблемы с ее эксплуатацией, связанные со снежными заносами и лавинными завалами.

В 1933 году для решения проблемы со снежными заносами и лавинными завалами на железнодорожном пути в составе Кировской железной дороги была организована опытная снегозащитная станция. Руководил станцией с 1933 по 1941 год Михаил Иванович Анисимов. 19 декабря 1933 г. им был документально зарегистрирован первый обвал снега в районе 4-го пикета на 27-м километре железной дороги.

25 февраля 1934 года была произведена первая попытка устранить лавинную опасность путем срезания лопатами снежных карнизов на плато Юкспор.

5 декабря 1935 года две снежные лавины с горы Юкспор обрушились на жилые дома в пос. Кукисвумчорр. Погибло 89 жителей, 42 человека были травмированы. Причины лавинной катастрофы расследовала Правительственная комиссия под председательством видного государственного деятеля Я. Х. Петерса, которая обязала руководство треста «Апатит» принять исчерпывающие меры по недопущению гибели людей от снежных лавин.

13 декабря 1935 года приказом № 138 по рудоуправлению ответственным за проведение противолавинных мероприятий назначен геолог Григорий Степанович Пронченко, который 25 декабря1935 года при подъеме на г. Юкспор попал под снежную лавину и погиб.

Проблема безопасности от снежных лавин была настолько злободневной, что руководство треста «Апатит» было вынуждено серьезно заняться ее решением.

11–14 января по инициативе треста «Апатит» в Кировске была проведена первая в стране конференция по борьбе с лавинами. Участник конференции И. К. Зеленой



Рис. 2.2. 11–14 января 1936 г. Участники I конференции по борьбе со снежными лавинами, созванной трестом «Апатит». Второй справа во втором ряду – И. К. Зеленой

первым высказал идею создания специальной противолавинной службы в Хибинах и предложил программу ее работы. По совету участников конференции руководство треста «Апатит» предложило И. К. Зеленому создать и возглавить первую в мире противолавинную службу. Это предложение Илья Константинович принял и 16 января 1936 года был назначен начальником еще не существующей Снежно-метеорологической службы треста «Апатит».

29 февраля 1936 года благодаря стараниям И. К. Зеленого на плато г. Юкспор была открыта первая в мире горно-лавинная станция «Юкспор».

13 июля 1936 года приказом № 142 по тресту «Апатит» была образована Снежно-метеорологическая служба и утверждены ее штаты.

26 сентября 1936 года была принята «Программа работ по изучению снежных обвалов для борьбы с ними в районе г. Кировска в зиму 1936–1937 годов».

16 октября было утверждено положение о противолавинной службе треста «Апатит». Так создавалась первая в мире противолавинная служба.

За 70 лет своего существования противолавинная служба в Хибинах неоднократно меняла свое название. 1 мая 1961 года Снежно-метеорологическая служба преобразуется в Цех противолавинной защиты комбината «Апатит», а 31 марта 1995 года – в Центр лавинной безопасности ОАО «Апатит».

За время существования противолавинной службы в Хибинах накоплен большой объем экспериментальных данных о снеге и лавинах, получены климатические характеристики, которые были использованы при проектировании и строительстве рудников,

обогатительных фабрик, жилищных объектов и объектов инфраструктуры, в том числе и противолавинных сооружений.

§ 2. Основные этапы изучения лавин и разработки методов предотвращения лавинной опасности в Хибинах

1935 г. – впервые в Хибинах применен предупредительный спуск лавин с помощью подрыва ВВ,

1936 г. – разработана первая в мире методика прогнозирования лавин на основе метеорологических данных,

1939 г. – составлена первая в СССР крупномасштабная карта лавиноопасных зон (в районе г. Кировска),

1956 г. – разработана первая в мире генетическая классификация лавин,

1956 г. – создана методика прогнозирования метелевых лавин,

1967 г. – совместно с МГУ создана не имевшая аналогов в мире экспериментальная установка по определению ударной силы лавин. Одновременно начаты исследования динамики лавин с помощью стереофотограмметрической съемки,

1973 – 1990 гг. – разработаны многомерные вероятностно-статистические методы прогнозирования лавин,

1991 г. – создано первое в мире автоматизированное место прогнозиста лавин и разработан первый численный метод диагностики ситуаций, связанных с образованием водоснежных потоков.

В области изучения снега, лавин и климата комбинат «Апатит» сотрудничал: с Тбилисским научно-исследовательским институтом сооружений, Московским государственным университетом, Новосибирским институтом инженеров железнодорожного транспорта, Главной геофизической обсерваторией, Кольским научным центром РАН, Среднеазиатским научно-исследовательским институтом по гидрометеорологии и Норвежским геотехническим институтом.

На базе комбината «Апатит» в Кировске неоднократно проводились научные мероприятия, посвященные предотвращению лавинной опасности:

1936 г. – Первая заполярная конференция по борьбе со снежными лавинами,
1961 г. – Всесоюзное совещание специалистов гидрометеослужбы по лавинам,
1970 г. – I Всесоюзное совещание по инженерной гляциологии,
1972 г. – I Хибинская гляциологическая конференция,
1974 г. – II Хибинская гляциологическая конференция,
1976 г. – III Хибинская гляциологическая конференция,
1982 г. – II Всесоюзное совещание по инженерной гляциологии,
1986 г. – III Всесоюзное совещание по лавинам,
1996 г. – I Международная конференция по лавинам,
2001 г. – II Международная конференция по лавинам.

Наибольший вклад в изучение климата, снежного покрова, лавин и водоснежных потоков Хибин внесли следующие работники противолавинной службы: В. Н. Аккуратов, Б. М. Беленький, А. В. Бобрышев, И. К. Зеленой, А. В. Молочников, В. П. Пузанов, Б. Н. Ржевский, В. А. Самойлов и П. А. Черноус.

Глава 2. Основные понятия, связанные с лавинами

Пришедшие в движение на склоне скользящие и низвергающиеся снежные массы называются снежной лавиной. Снежные лавины в естественных условиях возникают при нарушении устойчивости снега на склоне под влиянием метеорологических явлений и процессов метаморфизма, происходящих внутри снежной толщи в определенных условиях рельефа и растительности. Зарождению лавины предшествует период подготовки снежной толщи к движению, продолжающийся в разных условиях от нескольких месяцев до нескольких часов. Возможны и другие причины нарушения устойчивости снега – как естественные (например, землетрясения), так и искусственные (например, взрывы, снегоходы, лыжники). Благодаря огромному многообразию условий формирования лавин их формы и размеры существенно различаются.

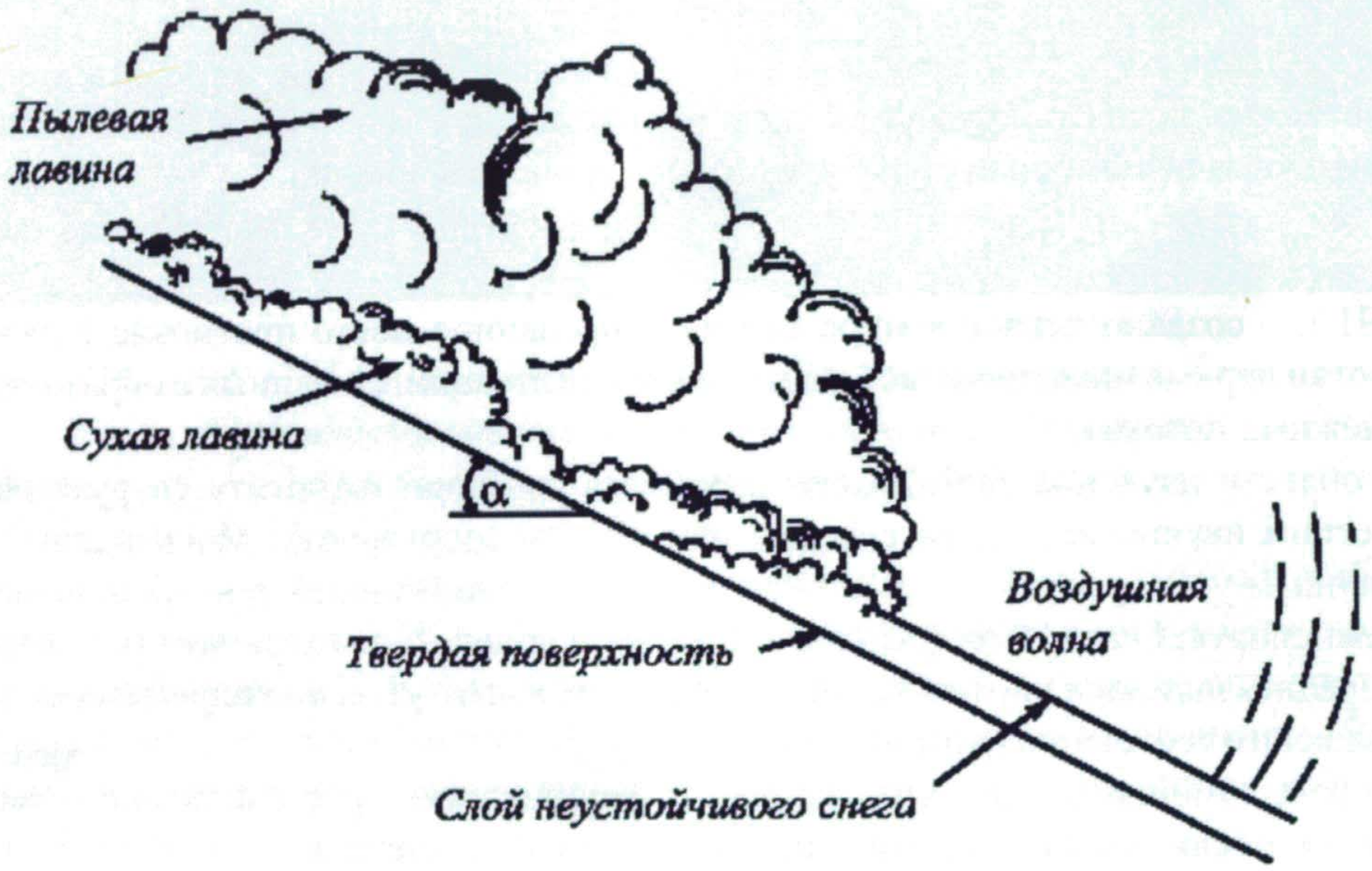


Рис. 2.3. Основные элементы лавины

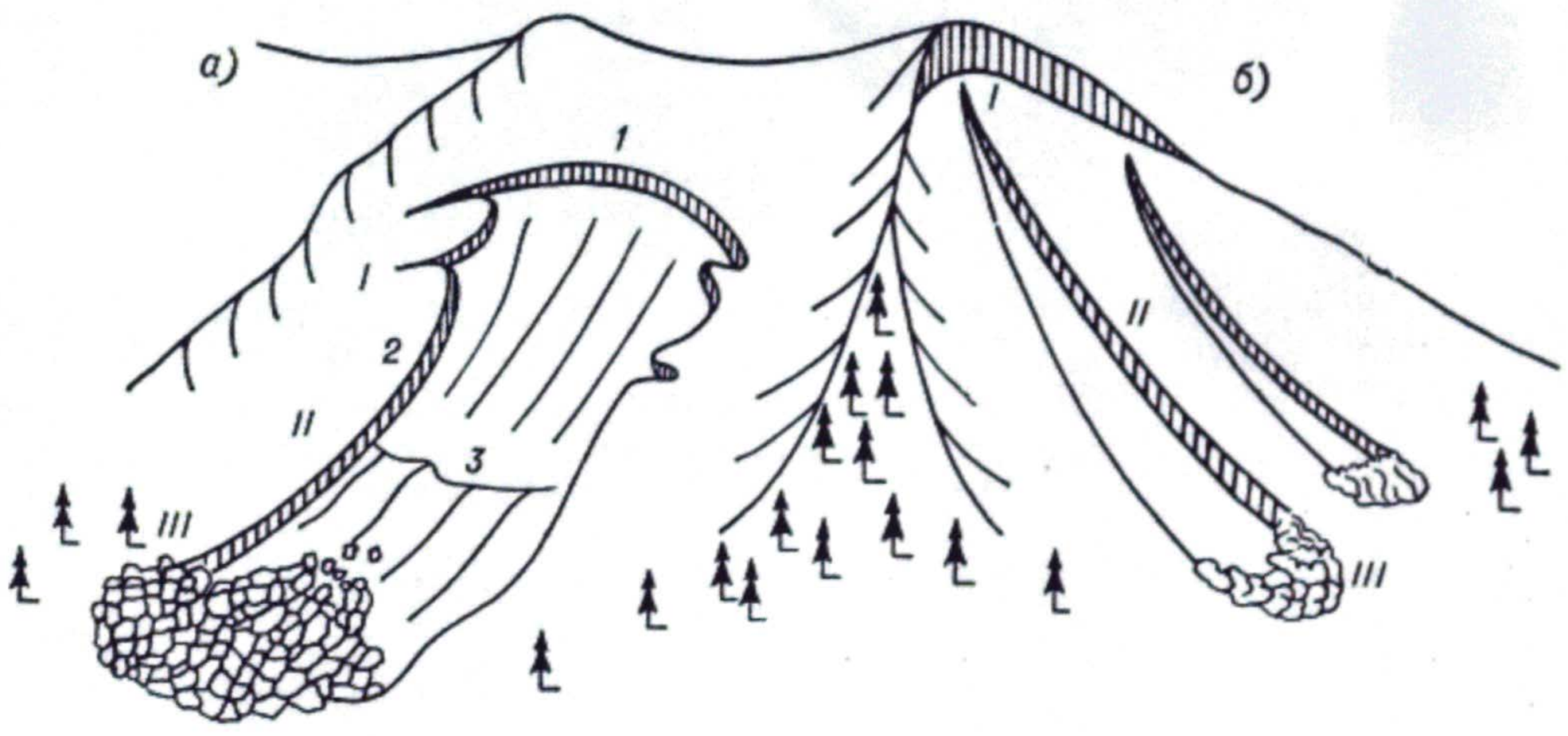
Способность снежного покрова, лежащего на склоне, сохранять равновесие под действием на него внешних сил называется устойчивостью снега. Основными видами нарушения устойчивости снега на склоне являются просадка и сдвиг, что сопровождается возникновением трещин в снежном покрове и образованием лавин из снежной доски.

Лавина из снежной доски образуется из слоя снега, обладающего сцеплением и способностью сопротивляться разрыву. Снежная доска – это пласт мелкозернистого или метелевого снега плотностью 250 – 600 кг/м^3, лежащего на поверхности менее плотного снега. Под снежной доской нередко возникают пустоты, что приводит к ее оседанию и разрушению. Обрушение снежного пласта происходит на большой площади. Линия отрыва снежной лавины представляет собой ступень, перпендикулярную поверхности склона.



Рис. 2.4. Снежные плиты в верхней части лавинных отложений, л. о. № 1. 07.03.1999 г.

При движении снежного пласта его обломки могут разрушаться и формировать пылевое облако. Этот тип лавин наиболее разрушителен и опасен для человека. Условия равновесия пласта сухого связного снега на неограниченной наклонной плоскости записываются уравнением $T = \rho z \sin\alpha$, где T – предел прочности снега на сдвиг, ρ – плотность снежного покрова, z – его толщина до поверхности соскальзывания, α – угол склона.



а) Лавина из снежной доски

б) Лавина из точки

Рис. 2. 5. Основные типы лавин

Лавина из рыхлого снега образуется из сухого снега, не обладающего способностью к сцеплению. Обычно возникает как лавина из точки. По мере своего движения лавина увеличивает свою массу и может инициировать лавину из снежной доски.

Условия равновесия на склоне рыхлого сухого несвязного снега можно выразить уравнением a = f, где a – угол наклона поверхности склона и f – коэффициент внутреннего трения в снеге.

Лавины из мокрого снега обычно сходят в Хибинах в весенний период, когда до завершения процесса перекристаллизации период постепенного потепления сменяется периодом интенсивного снеготаяния.

По мере накопления материала о снежных лавинах возникла необходимость классификации снежных лавин по тем или иным признакам. По существу, классификации отражают уровень наших представлений о снежных лавинах.

В настоящее время в мире существует около двух десятков классификаций, разработанных на различных принципах.



Рис. 2.6. Отложения мокрой лавины в районе нижней станции горнолыжного подъемника, л. о. № 2. 20.05.2003 г.

Глава 3. Классификации снежных лавин

Еще в 1938 году А. В. Молочников и В. П. Пузанов, основываясь на сравнительно непродолжительном периоде наблюдений за лавинами, попытались адаптировать классификации лавин иностранных авторов для Хибин. Позднее М. И. Анисимов на основании наблюдений в Хибинах предложил классификацию лавин, по существу сходную с классификацией В. Фляйга. Однако предложенные классификации лавин не получили широкого распространения из-за упрощенного методологического подхода и неудачной терминологии.

В 1956 году на основе анализа зарубежных и отечественных источников и многолетних наблюдений за лавинами в Хибинах В. Н. Аккуратов разработал первую генетическую классификацию снежных лавин, которая принесла ему широкую известность. В принцип классификации В. Н. Аккуратова был положен широкий комплекс лавинообразующих процессов [6]. Всего им было выделено 9 основных типов снежных лавин:

1. *Лавины из сухого свежевыпавшего снега.* Во время снегопада формируется слой свежевыпавшего снега, состоящий из снежных кристаллов, образованных в атмосфере, плотностью 50–200 кг/м^3. По мере увеличения слоя свежевыпавшего снега растет тангенциальная составляющая силы веса снега, одновременно растут силы трения и сцепления, удерживающие его на склоне. Таким образом, устойчивость свежевыпавшего слоя снега на склоне зависит от скорости прироста его высоты и силы сцепления с почвой или на контакте ранее отложившегося снега.

2. *Лавины метелевого снега* образуются путем перераспределения снежного покрова в результате метелевого переноса снега. Переносимый ветром снег отлагается в отрицательных формах рельефа и на подветренных склонах. Скорость формирования слоя метелевого снега на склоне зависит от направления и интенсивности снегопереноса и профиля земной поверхности.

3. *Лавины сублимационного диафтореза* образуются в результате перекристаллизации снега, определяющей появление разрыхленных слоев и прослоек в снежном покрове.

4. *Лавины температурного сокращения* снега связаны с напряжениями, возникающими в результате изменения линейных размеров снежного поля под воздействием изменения температуры.



Рис. 2.7. Снежные кристаллы в припочвенном слое снега. Лавинный очаг № 227. 29.03.2006 г.

5. *Лавины из свежевыпавшего мокрого снега* образуются в результате прироста снежного покрова за счет выпадения снега при положительных температурах воздуха. Формирование лавин из свежевыпавшего мокрого снега обусловлено сочетанием тангенциальной составляющей веса данного слоя снега, силами поверхностного натяжения воды между частицами снега и ослаблением сил сцепления.

6. *Инсоляционные лавины* образуются в результате поглощения солнечной энергии снежным покровом. Проникающая в снежный покров солнечная радиация с глубиной резко убывает, и на глубине 30 см ее энергия составляет всего 3% от ее величины на поверхности снега. Поэтому трансформация солнечной радиации в энергию тепловую происходит только в верхнем слое контактных зон слоев снега, а при небольшой мощности и около скальной поверхности. Инсоляционные лавины сходят из верхнего слоя снега мощностью 10–20 см. Их объемы и скорость движения невелики.

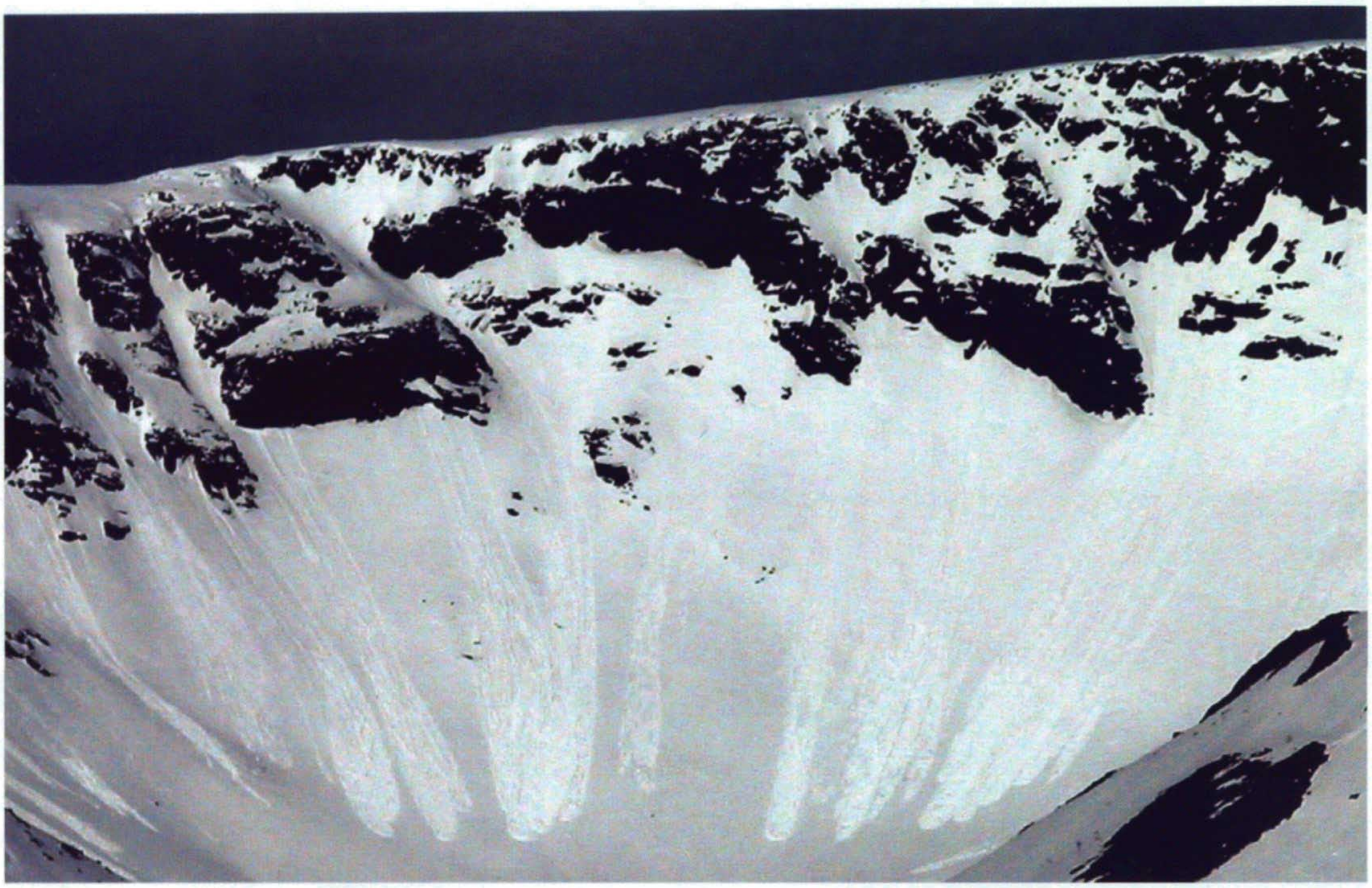


Рис. 2.8. Инсоляционные лавины. Молибденовый цирк, г. Тахтарвумчорр. 13.05.2005 г.

7. *Адвекционные лавины* образуются, как правило, весной в результате адвекции теплых и влажных масс воздуха, которые приносят на Кольский полуостров атлантические циклоны. Таяние снежного покрова происходит за счет положительных температур воздуха и выпадения жидких осадков.

8. *Адвекционно-инсоляционные лавины* возникают в мае при антициклональной погоде, когда таяние снежного покрова обусловлено повышением температуры воздуха за счет фёна из свободной атмосферы в сочетании с проникновением солнечной энергии в снежный покров.



Рис. 2. 9. Адвекционные лавины. г. Айкуайвенчорр, л. о. № 1. 18.05.2005 г.

9. *Гидронапорные лавины* возникают в результате давления подснежных потоков воды. Талая и дождевая вода, просачиваясь в снежный покров, фильтруется вниз по склону и концентрируется на участке сужения, где создается гидродинамическое давление, достаточное для разрушения снежного покрова в русле потока. Гидродинамическое давление зависит от интенсивности таяния снега и сечения подснежного канала стока талых вод.

В 1973 году рабочей группой Международной комиссии снега и льда под председательством М. Де-Кервена была проведена систематизация типов и видов лавин на основе небольшого числа легко доступных для наблюдений морфологических характеристик лавин.

Международная морфологическая классификация лавин сохраняет в сжатой форме описательные характеристики лавин простыми едиными терминами и позволяет передачу этих характеристик с помощью кода. Эта классификация дополнена классификацией условий, приводящих к образованию лавин. В настоящее время это наиболее совершенная классификация, которая широко используется в мире и принята хибинскими лавинщиками для практической работы.

Таблица 2.1

Международная морфологическая классификация лавин

Зона	Критерий	Альтернативная характеристика и название лавины	
Зарождения	A. Тип начала движения	A1. Двинулась из точки (лавина из рыхлого снега)	A2. Двинулась с линии (лавина из снежной доски) A3. Мягкая доска A4. Твердая доска
	B. Положение поверхности скольжения	B1. Внутри снежного покрова (лавина поверхностного слоя) B2. Отрыв в новом снежном покрове B3. Отрыв в старом снежном покрове	B4. По грунту (лавина полной глубины)
	C. Жидкая вода в снегу	C1. Отсутствует (лавина из сухого снега)	C2. Имеется (мокрая лавина)
Транзита	D. Форма пути	D1. Движение на ровном склоне (неканализованная лавина)	D2. Движение в лотке (канализованная лавина)
	E. Тип движения	E1. Облако снежной пыли (пылевая лавина)	E2. Течение вдоль поверхности грунта (текучая лавина)
Отложения	F. Поверхностная шероховатость отложений	F1. Крупнокомковатые (крупнокомковатые отложения) F2. Угловатые блоки F3. Окатанные комья	F4. Мелкокомковатые (мелкокомковатые отложения)
	G. Жидкая вода в снежных отложениях	G1. Отсутствуют (сухие лавинные отложения)	G2. Имеются (мокрые лавинные отложения)
	H. Загрязнение отложений	H1. Нет ясного загрязнения (чистая лавина)	H2. Имеется загрязнение (загрязненная лавина) H3. Скальные обломки, остатки почвы H4. Ветки, деревья

Глава 4. Лавиноопасные зоны

Среди людей бытует мнение, что только большие и крутые горные склоны являются лавиноопасными, а на маленьких склонах лавин не бывает. Такое заблуждение может привести к роковым последствиям.

Как показывают многолетние наблюдения в Хибинах, любой заснеженный склон крутизной свыше 25^0 представляет потенциальную опасность. На рис. 2.25 показан простейший способ определения угла склона в полевых условиях. Половина высоты лыжной палки равняется углу склона 30^0, полная высота палки – углу склона 45^0.

По многочисленным данным измерений крутизны склона в зоне отрыва лавин была получена зависимость вероятности лавинообразования $P_л(a)$ от угла склона a.

$$P_л(a) = 0{,}8/(1 + \exp(33 - 57\,\mathrm{tg}a)) \quad (1)$$

Уравнение 1 описывает зависимость вероятности $P_л(a)$ от угла склона a в интервале a от 25 до 45^0. В этом интервале $P_л$ увеличивается по закону логистической функции от 0,001 до 0,8. Дальнейшее увеличение крутизны склона вызывает уменьшение $P_л$ до нуля при $a = 55^0$, так как на склонах такой крутизны устойчивый снежный покров не образуется [17].

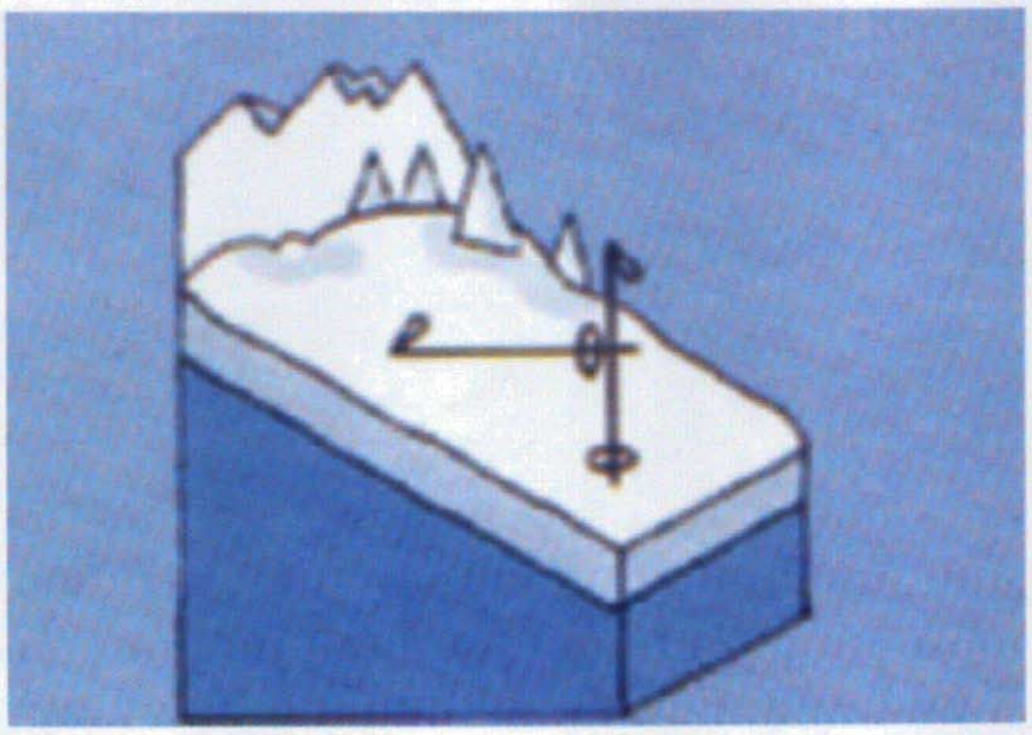


Рис. 2.10. Способ определения крутизны склона

Зона образования и движения снежных лавин преимущественно представлена отрицательными формами рельефа, хотя склоны могут быть и ровными или слаборасчлененными. Лавиноактивные участки, в пределах которых возможно формирование лавин с непрерывной линией отрыва, образующих единый лавинный поток, объединяются в лавинный очаг. Лавинный очаг является зоной зарождения лавин. Снизу к нему примыкает зона транзита и зона выката лавин, образуя вместе с очагом лавиносбор.

На ровных или выпуклых склонах снежные обвалы представлены осовами. Их скорость и дальность выброса существенно ниже, чем у лотковых лавин, движущихся по канализованному руслу лавинного очага. При входе лавины в русло лавинного очага фронт лавины сужается и происходит увеличение мощности лавинного потока на единицу длины его фронта. Резкие переломы продольного профиля лавинного очага усиливают турбулентность лавинного потока. Крупные лавины из сухого снега, как правило, в таких лавинных очагах сопровождаются снежно-воздушным облаком.

Лавиносборы могут быть простыми и сложными, в последнем случае они имеют несколько зон зарождения лавин либо зона транзита представлена несколькими руслами.

Провести четкую границу между зоной зарождения, зоной транзита и зоной отложения часто невозможно. Минимальный уклон, необходимый для того, чтобы вызвать лавину и обеспечить ее движение, составляет около 25^0. В зоне транзита скорость лавины может возрастать, сохраняться относительно постоянной или уменьшаться, однако ее масса остается более или менее одинаковой.

В зоне остановки снежных лавин преобладают положительные формы рельефа. Лавинные отложения обычно начинаются на перегибе склона там, где угол склона становится меньше 25^0. После стаивания снежников на поверхности конуса выноса лавин остается лавинный мусор: камни, щебень, поломанные деревья, фрагменты дерна и т. д., образуя характерные формы рельефа.

Состояние подстилающей поверхности в лавинном очаге имеет важное значение в лавинообразовании. Крупноглыбовая каменистая поверхность хорошо удерживает снег. Ровная скалистая поверхность или россыпь мелких камней и щебня способствуют образованию



Рис. 2.11. Сложный лавиносбор № 227. г. Кукисвумчорр

глубинной изморози, которая ослабляет связь снежного покрова со склоном.

В зонах формирования лавин в Хибинах растительность либо отсутствует или довольно скудная, чтобы существенно влиять на устойчивость снега. Конусы выноса лавинных очагов могут быть частично покрыты березой, ивой, рябиной и другими мелколиственными породами деревьев и кустарников. Часто они имеют изогнутые формы стволов и ветвей и прижаты к земле. Хвойные породы деревьев, такие как ель и сосна, имеют поверхностную корневую систему и не выдерживают динамических воздействий снежных лавин.

Геоботанические признаки лавинной опасности довольно точно отражают размеры сравнительно недавно сошедших лавин. Однако эти признаки нельзя переоценивать, если лавины падают один-два раза в столетие, т. к. за это время лавинный прочес может зарасти лесом.

Расстояние от линии (точки) отрыва лавины, до места остановки ее фронта, измеренное вдоль пути движения лавины называется дальностью выброса лавины. Линию, фиксирующую место остановки фронта лавины, называют границей выброса лавины. Максимальную границу выброса лавины образует наибольшая физически возможная лавина. Дальность выброса лавин в Хибинах меняется в широких пределах – от первых десятков метров до 1,5 км.

Дальность выброса лавин имеет большое значение при проектировании сооружений в горах, т. к. позволяет выделить лавиноопасные зоны, т. е. те участки местности, которые подвержены различным динамическим эффектам, сопровождающим движение лавины. В настоящее время эмпирические методы определения дальностей выброса лавин дают более точные результаты, потому что коэффициенты, входящие в теоретические формулы, еще не получили достаточного обоснования. Математически даль-

ность выброса выражается через безразмерный параметр r, предложенный С. М. Козиком [59], который представляет собой отношение высоты падения лавины к горизонтальной проекции длины пути. По физическому смыслу это общий коэффициент сопротивления движению лавины. В результате множественного регрессионного анализа материалов по дальности выброса в различных лавиносборах Хибин, проведенного В. П. Благовещенским, были получены эмпирические формулы расчета параметра r. Для лотковых лавиносборов формула расчета имеет вид $r = -0{,}09 + 0{,}016a + (0{,}42 - 0{,}008a)\, 10^{-(0{,}8a - 14)F}$, для склоновых лавиносборов $r = 0{,}34 + 2{,}8 \times 10^{-4} (a_л - 20)^2$,

где a – средний уклон лавинного очага в градусах, $a_л$ – средний уклон лавиносбора в градусах и F – площадь лавинного очага в км^2.



Рис. 2.12. Карта лавиносбора № 227

Глава 5. Снежный покров на лавиноопасном склоне

§ 1. Высота снежного покрова

Снег, выпадая на горный склон, заполняет все неровности, подготавливая тем самым поверхность к соскальзыванию лавин. Количество снега, необходимого для этого, зависит от микрорельефа, растительности и наличия на склоне камней. На гладких склонах достаточно снега высотой 15 см, чтобы возникла лавинная опасность, тогда как на поверхность с крупными скальными выступами должен выпасть слой снега порядка 1,5–2 м.

Высота снежного покрова h, как и крутизна склона, входит непосредственно в уравнение устойчивости снега на склоне. Статистическая обработка данных о высоте снежного покрова в зоне отрыва лавин в момент лавинообразования показала, что на ровных склонах крутизной 35–40^0 зависимость $P_л$ от h (м) выражается функцией:

$$P_л(h) = 0{,}8/(1 + \exp(4{,}9 - 4{,}1h)) \qquad (2).$$



Рис. 2.13. Толщина снежного пласта в зоне отрыва лавины. г. Кукисвумчорр

Вероятность лавинообразования увеличивается нелинейно от 0,009 при h =0,1 м до 0,8 при h = 2 м, и при дальнейшем увеличении h остается на том же уровне. Отсутствие связи частоты схода лавин с высотой снежного покрова при большой его высоте объясняется тем, что при высоте снежного покрова более 2 м в нижних слоях снежной толщи процессы уплотнения и упрочнения снега преобладают над процессами разрыхления и ослабления. Поэтому на глубине более 2 м горизонты разрыхления не образуются, и лавинообразование охватывает только верхние слои снежной толщи.

В Хибинах первые лавины отмечаются при средней высоте снега в горах порядка 30 см. С увеличением высоты снега в горах степень лавинной опасности возрастает. Однако бывают исключения, когда в зависимости от физико-механических свойств снега даже 10–20-сантиметровый слой его представляет угрозу.

Как мне рассказывал Г. Т. Рогов, именно его профессионализм и предусмотрительность позволили ему остаться на свободе. В 1956 году он работал начальником снеголавинного дозора в геологоразведочной партии. На склоне г. Юкспор в лавинном очаге № 9 геологи производили бурение. Наступила осень, и на горах выпал первый снег. Григорий Тимофеевич обратился к своему руководству с предложением перейти на зимний режим работы и убрать буровую вышку из лавиноопасной зоны, но главный геолог Л. Б. Антонов только рассмеялся в ответ: «Еще снега нет, а ты панику наводишь». Действительно, высота снега в горах была всего несколько сантиметров, однако Г. Т. Рогов не успокоился и написал докладную на имя начальника партии. Копию докладной он заверил у секретаря и оставил у себя. В ночь с 8 на 9 октября началась метель, во время которой на буровую вышку сошла небольшая пылевая лавина, которая полностью разрушила буровую вышку и серьезно ранила четырех буровиков. Высота снега в лавинном очаге в тот момент составляла всего 20 см. Интересно, что во время движения лавина распылилась, и после ее остановки практически не осталось следов лавинных отложений. Естественно, начальство геологической партии попыталось всю вину за групповой несчастный случай свалить на начальника снеголавинного дозора. Только копия докладной, которая была на руках у Г. Т. Рогова, охладила их пыл.

Аналогичный случай произошел в Хибинах с группой ленинградских студентов 3 ноября 1981 года. Туристы не вернулись с маршрута к контрольному сроку, и был организован их поиск. В поиске приняли участие сотни людей, были задействованы

вертолеты. Первоначально отрабатывалась лавинная версия. Действительно, во время облета Хибин в районе оз. Академическое была обнаружена небольшая лавина. Спасатели быстро ее раскопали, но следов пропавших туристов не обнаружили. Других лавин спасатели не обнаружили. Снега в горах было так мало, что лавинная версия их гибели отпала. Семь человек как в воду канули, однако и в водоемах их следы не были обнаружены. Группу случайно обнаружили только в августе 1982 года в лавинном снежнике у перевала Ворткеуай. Когда проявили пленку, обнаруженную в фотоаппарате погибших, то на последней фотографии они были запечатлены у подножия горы рядом с местом гибели. Снега было так мало, что лыжи они несли на плече. По всей видимости, белая смерть их застигла в тот момент, когда туристы поднимались по узкой лощине к вершине горы. Лавина была такой маленькой, что во время поисков ее никто не заметил ни с земли, ни с воздуха.

§ 2. Механические свойства снега

Механические свойства снега весьма разнообразны, они зависят от плотности снега, структуры ледяной матрицы, температуры, предыстории формирования и деформирования снега и вида приложенных нагрузок.

Плотность снега колеблется в значительных пределах, являясь возрастающей функцией времени существования снежного покрова. Существует определенная связь лавинообразования с плотностью свежевыпавшего и свежеметелевого снега. Плотность должна измеряться в поверхностном слое снега во время его образования. Большая плотность свежеметелевого снега (250 кг/ м^3 и выше) приводят к возникновению лавин из снежных досок. В том случае, когда снег выпадает при морозной и безветренной погоде, его плотность мала (10–50 кг/м^3), образуются лавины из рыхлого пушистого снега.

Снег обладает вязкими и упругими свойствами. При быстром приложении внешних нагрузок, например при взрывах, снег ведет себя подобно упругому телу, при медленной нагрузке снег проявляет свойства текучести.

Снег проявляет вязкие свойства не только по отношению к деформациям сдвига, но также по отношению к деформациям объема, т. е. сжимается. Оседание снежного покрова, приводящее к его уплотнению, по существу является следствием объемной ползучести снега под действием силы тяжести.

Отличительной особенностью снега как материала является ограниченность вязких деформаций, обусловленная разрушением снега. Свойство разрушения снега при деформировании имеет большое значение для лавинообразования. Сход лавины из снежной доски непосредственно связан с возникновением макротрещины, образующейся в результате разрушения снега по контуру пласта.

Существенное влияние на механические свойства снега оказывает температура. В периоды оттепели он становится вязким, при сильных морозах – твердым и упругим. Механические свойства верхнего слоя снега сильно меняются во времени, в то время как нижние слои имеют более стабильные свойства. В весенний период, когда температура всей толщи близка к 0^0, распределение механических свойств снега по его высоте более однородно.

§ 3. Стратиграфия снежного покрова

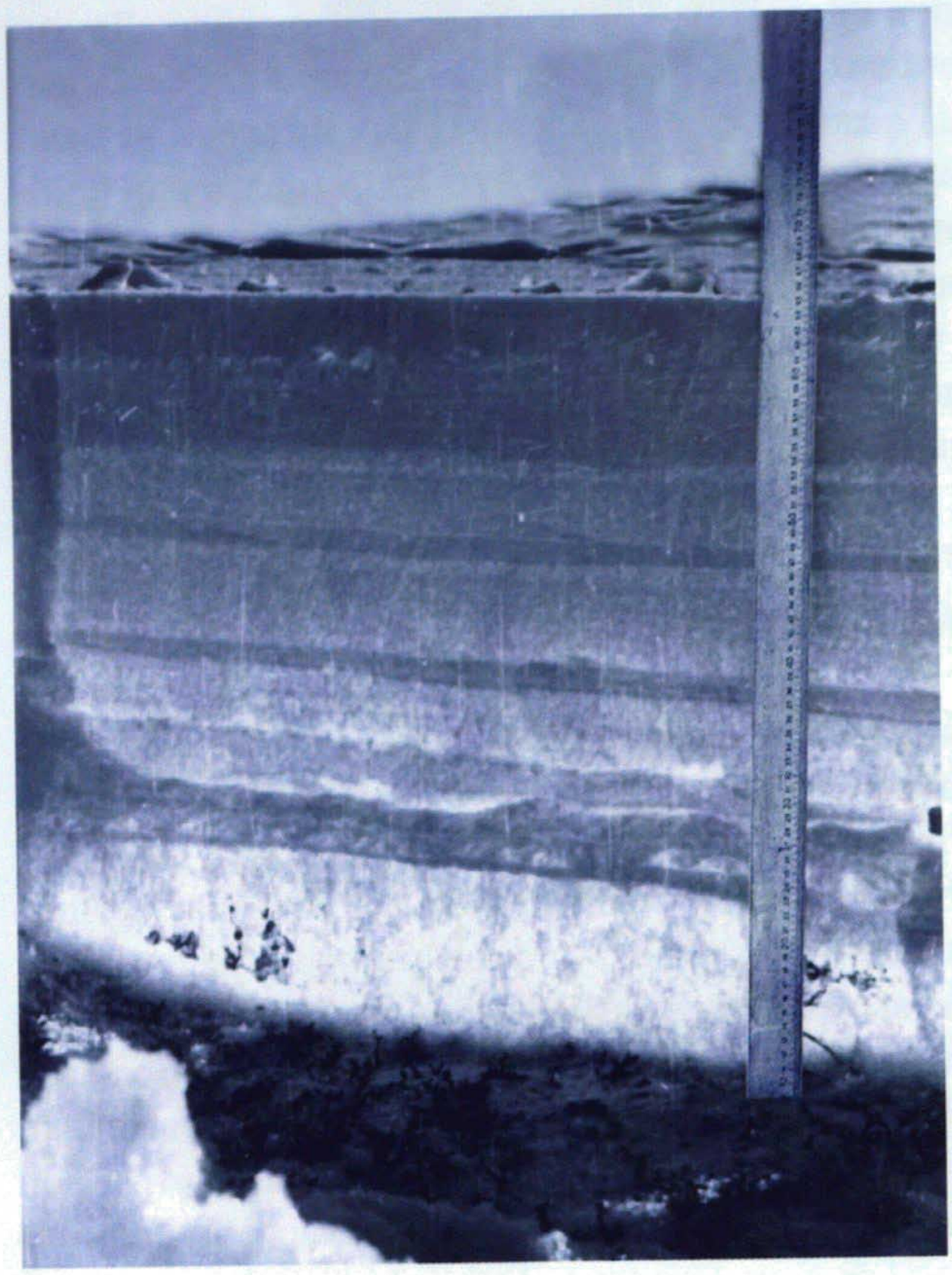


Рис. 2.14. Строение снежной толщи на плато Ловчорр

Наступление лавинной опасности в большой степени связано с перекристаллизационными процессами, происходящими в снежном покрове. При изучении перекристаллизации снега нужно наблюдать за ходом постепенных изменений в снежном покрове, которые приводят к возникновению опасного горизонта, вызывающего обрушение снежного пласта.

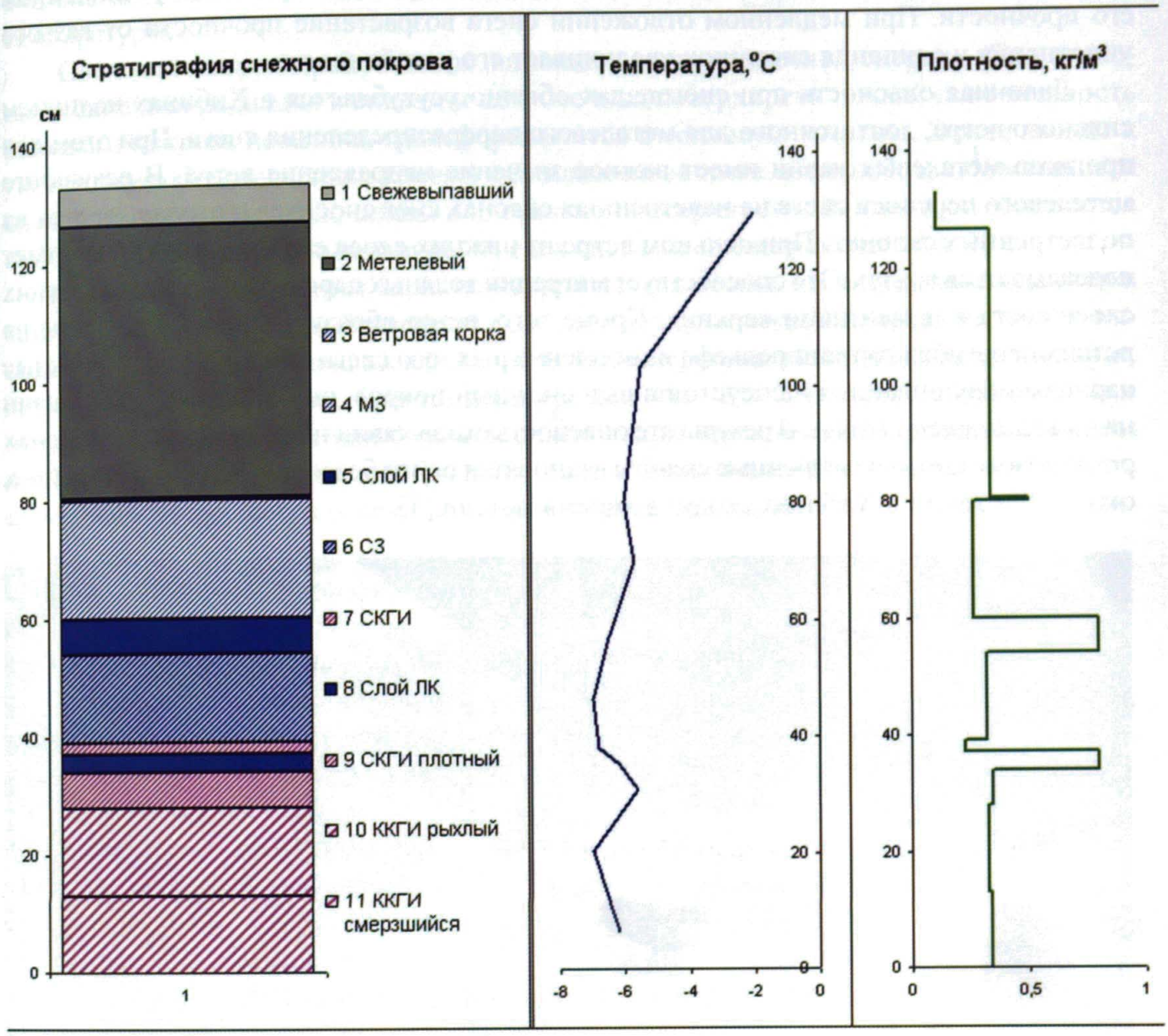
Стратиграфией снежного покрова называется распределение слоев снега с различными структурными и физико-механическими свойствами. Исследования стратиграфии снежной толщи проводятся в шурфах. В связи с крайней изменчивостью снежного покрова в пространстве и во времени шурфование снега ведется на склонах разной экспозиции как можно ближе к зонам зарождения лавин, а также на специальных площадках, расположенных в непосредственной близости от метеоплощадок, не реже одного раза в декаду. В тех случаях, когда есть возможность безопасного подхода к месту обрушения лавин, шурфование снежного покрова производится в месте зарождения лавины.

При шурфовании исследуется возрастной, плотностной, морфоструктурный, прочностной, влажностный, температурный и текстурный профили снежной толщи.

В плане обрушения лавин снежная толща имеет в своем составе две различные по своему функциональному назначению категории снежных слоев: слои, которые непосредственно обрушаются и составляют основную массу лавины, и слои, по которым происходит обрушение лавин. Мониторинг внутреннего строения снежного покрова позволяет определить тенденции в изменении параметров снежного покрова и своевременно выявлять лавиноопасные слои снега.

Шурфование снежного покрова в лавинном очаге № 24, 02.04.2001 г.

Экспозиция: *СЗ*
Абс. отметка: *575*
Угол склона: *25⁰*



Шурфовали: ***Вахмистров Б.Б.,Харченко Н.А.***

Рис. 2.15. Стратиграфия снежной толщи в плоскости отрыва лавины, л. о. № 24. 02.04.2001 г.

Глава 6. Метеорологические факторы лавинообразования в Хибинах

Наиболее важным фактором лавинообразования является режим выпадения твердых осадков. Если снежный покров накапливается небольшими порциями с приращением высоты снега менее 10 см за снегопад, вероятность лавинообразования не превышает 0,1. Интенсивные снегопады с приращением высоты снежного покрова более 40 см,

как правило, сопровождаются массовым сходом лавин, при этом форма снежных кристаллов в значительной степени определяет тип лавин и степень устойчивости свежего снега на склоне. Если снег на лавиноопасном склоне накапливается очень быстро, то возрастающее напряжение сдвига в нем не успевает компенсироваться увеличением его прочности. При медленном отложении снега возрастание прочности от вязкого уплотнения и слипания снежинок увеличивает его устойчивость.

Лавинная опасность при снегопадах обычно усугубляется в Хибинах наличием сильного ветра, достаточного для метелевого перераспределения снега. При этом для прогноза метелевых лавин имеет важное значение направление ветра. В результате метелевого переноса снега на наветренных склонах снег сносится и откладывается на подветренных склонах. При сильном ветре из нижних слоев снежной толщи начинает подсасываться воздух. Это способствует миграции водяных паров, разрыхлению нижних слоев снега и цементации верхних. Кроме того, ветер образует снежные карнизы на резких перегибах горного рельефа и скопления рыхлого снега ниже их. Когда снежные карнизы обрушиваются на неустойчивый снежный покров, они вызывают сход лавин на нижележащем склоне. В результате опасность схода лавин на подветренных склонах резко возрастает, а наветренные склоны становятся более безопасными. По статистике, около 70% лавин в Хибинах сходят во время метели [5].



Рис. 2.16. Снежный карниз на г. Айкуайвенчорр. 29.04.2004 г.

При оценке лавинной опасности следует учитывать как температуру воздуха, так и температуру внутри снежного покрова. Роль температуры проявляется главным образом во влиянии на структуру и прочность снега. При повышенной температуре снег вязок. При низких температурах он приобретает хрупкость, и в нем появляются внутренние напряжения. При этом снежная доска легко растрескивается, а ее обломки образуют лавину, если силы трения недостаточны для удержания обломков на склоне.

При резких понижениях температуры воздуха происходит температурное изменение объема снежного покрова, в результате чего происходит нарушение целостности плотных слоев снега, сформированных в процессе ветровой упаковки метелевых частиц снега. В Хибинах неоднократно наблюдались лавины после резкого понижения температуры.

Снежный покров пропускает и поглощает часть солнечной энергии. Проникающая солнечная радиация в снежном покрове и на поверхности почвы, если мощность снежного покрова невелика, трансформируется в тепловую энергию. Это приводит к уменьшению сил сцепления в контактных зонах слоев снега, а при небольшой мощности снежного покрова и около почвы или скальной поверхности. За этот счет образуются небольшие инсоляционные лавины из слоя снега, не превышающего 10–20 см.

Инсоляционные лавины характерны для начала весны, но иногда наблюдаются в конце января, когда солнце начинает освещать верхушки гор. Несмотря на то, что инсоляционные лавины, по классификации В. Н. Аккуратова, относятся к классу мокрых лавин, они могут сходить при температуре воздуха –20 ^{0}C и ниже. В практическом отношении сами по себе они большой опасности не представляют, так как их объемы и скорость движения невелики, однако иногда инсоляционные лавины могут стать спусковым импульсом для крупных лавин из снежной доски.

Глава 7. Синоптические условия образования лавин в Хибинах

Для разработки фонового прогноза лавин с достаточно большой заблаговременностью необходимо знание синоптических условий, при которых образуются снежные лавины. Подавляющее количество (80%) снежных лавин в Хибинах сходят из сухого снега, и только 20% лавин – из влажного или мокрого снега.

§ 1. Синоптические ситуации, связанные с образованием сухих лавин

Подавляющая часть лавин из сухого снега связана с циклонами, приносящими на Кольский полуостров сильный ветер, снег и метель. Всего выделено пять типов синоптических ситуаций, определяющих образование и сход лавин в Хибинских горах [52,53]:

I – центр циклона проходит с запада на восток над центральными районами Кольского полуострова;

II – Кольский полуостров находится под воздействием северо-западного или западного сектора циклона;

III – Кольский полуостров находится под воздействием северо-восточного или восточного сектора циклона;

IV – Кольский полуостров находится под воздействием юго-восточного, южного или юго-западного сектора циклона;

V – Кольский полуостров находится под воздействием северного сектора циклона.

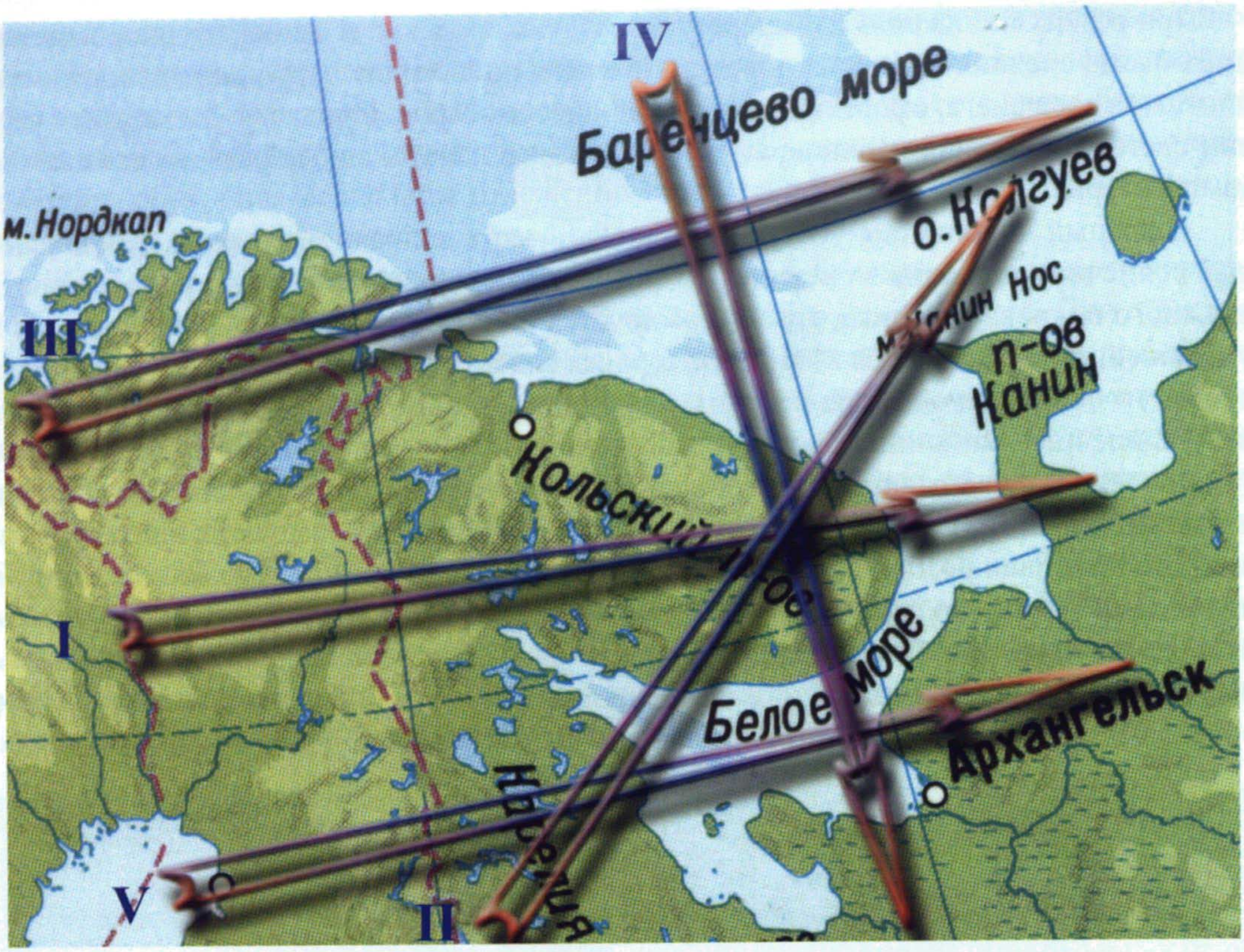


Рис. 2.17. Траектории движения циклонов, связанные с лавиноопасными ситуациями

Таблица 2.2

Повторяемость различных типов синоптических ситуаций за период с 1960 по 1971 г.

Синоптическая ситуация	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	Общая сумма
I	–	1	1	4	3	5	5	3	–	22
II	4	14	18	20	20	17	18	13	4	128
III	–	3	4	17	13	17	18	6	3	81
IV	3	10	14	20	28	28	28	17	5	153
V	2	3	6	10	7	8	5	3	2	46
Общая сумма	9	31	43	71	71	75	74	42	14	430

Таблица 2.3

Типы синоптических ситуаций и соответствующие показатели метеорологических факторов

Показатели	I	II	III	IV	V
Осадки, мм	16±8	14±7	14±6	13±7	15±6
Средняя скорость ветра, м/сек	6±4	9±5	8±3	9±4	8±4
Температура, ^{0}C	–15±5	– 1±5	–10±3	–9±3	–11±4

При прогнозировании лавинной опасности необходимо учитывать направление снеговетрового потока и экспозицию лавиноопасных склонов.

Таблица 2.4

Связь синоптических ситуаций с экспозицией лавиноопасных склонов

Показатель	Ю	ЮВ	В	СВ	С	СЗ	З	ЮЗ
I	+	+	+	+	+	+	+	+
II	+	+	+					+
III		+	+	+	+	+	+	
IV	+	+	+					+
V	+					+	+	+

§ 2. Синоптические ситуации, связанные с образованием мокрых лавин

Необходимым условием образования лавин из мокрого снега является возникновение и движение нулевой изотермы с поверхности в глубь снежной толщи, в результате чего образуется припочвенный слой влажного или насыщенного водой снега. Если на пути фильтрующей вниз влаги встречается ледяная корка, то на ее поверхности создаются условия смазки. Механические свойства снега с увлажнением сильно меняются, уменьшается его вязкость и прочность.

Анализ синоптических условий, связанных с массовым сходом мокрых лавин в Хибинах, выявил два основных типа синоптических ситуаций. В соответствии с

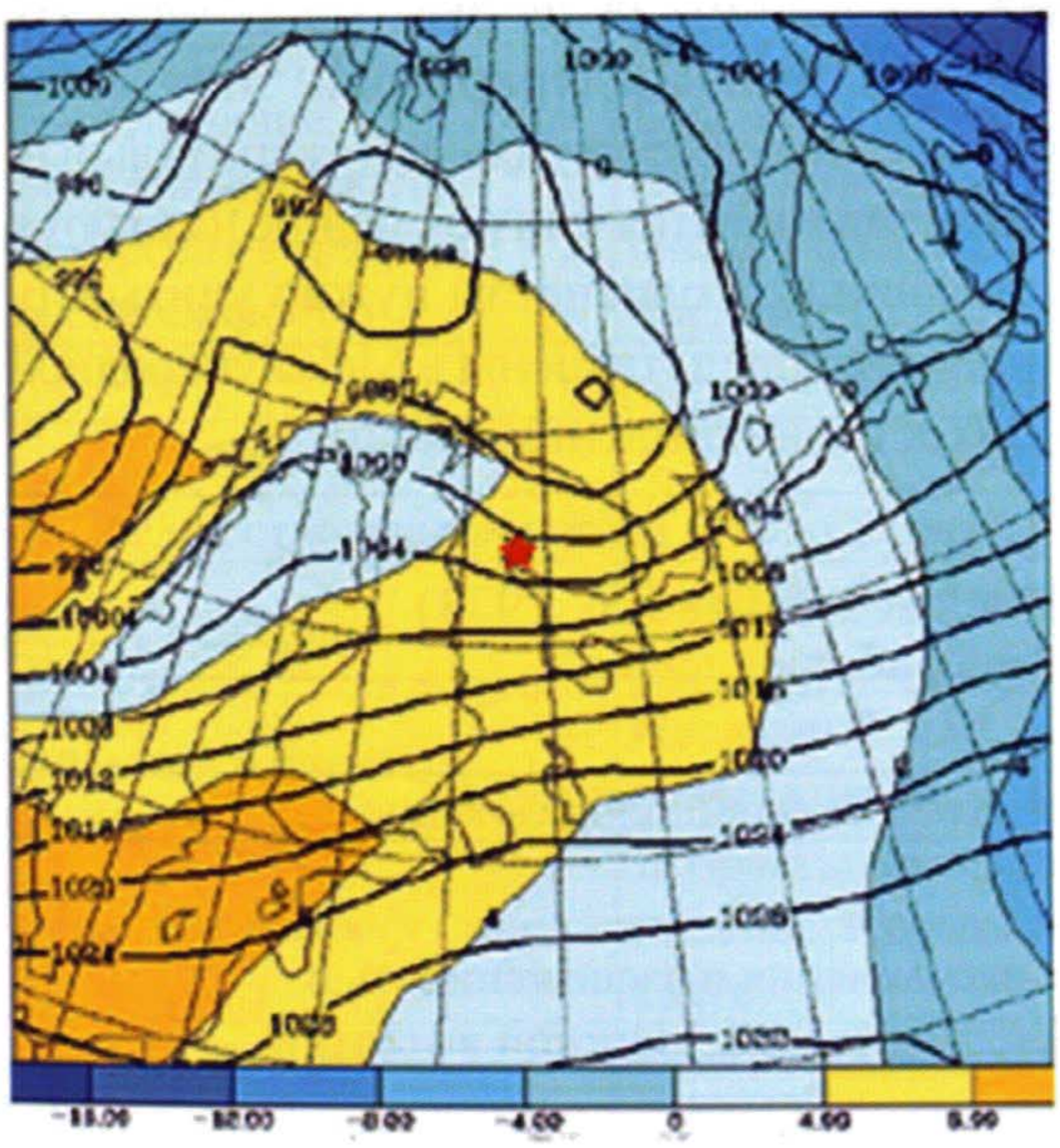


Рис. 2.18. Синоптическая ситуация типа А: поле приземной температуры и давления воздуха. 15 час. 10.11.2005 г.

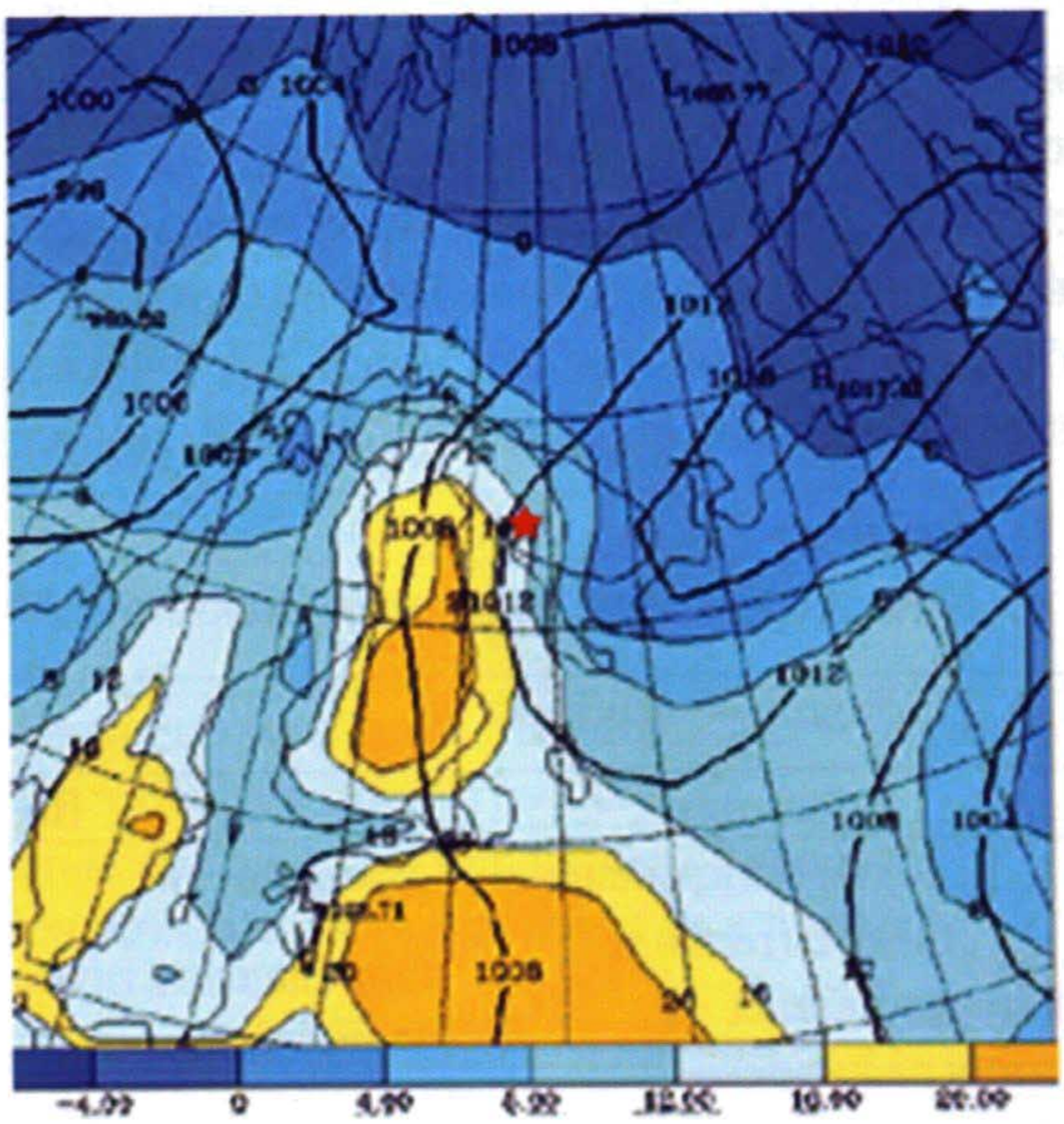


Рис. 2.19. Синоптическая ситуация типа АИ: поле приземной температуры и давления воздуха. 15 час. 20.05 2000 г.

генетической классификацией лавин В. Н. Аккуратова тип А соответствует образованию адвекционных лавин и тип АИ – образованию адвекционно-инсоляционных лавин.

Характерная синоптическая ситуация типа А наблюдалась 10 ноября 2005 года, когда обширная область повышенного давления располагалась над всей Европейской частью России, а Кольский полуостров находился в южной части обширной барической депрессии. Аналогичная синоптическая ситуация наблюдалась 7 ноября 1966 года. Глубокая оттепель с выпадением дождя привела к массовому сходу мокрых лавин. Оттепели с выпадением жидких осадков в Хибинах случаются, как правило, в начальный период формирования снежного покрова в горах и во время его весеннего таяния. Полное насыщение снега водой происходит за счет его таяния, выпадения жидких осадков и конденсации влаги на поверхности снежного покрова. При такой синоптической ситуации наиболее опасными являются наветренные склоны гор.

Адвекционно-инсоляционные лавины наблюдаются, как правило, в мае, когда продолжительность солнечного сияния достигает 20 часов в сутки и более. Теплая и малооблачная погода при таком типе синоптической ситуации определяется западной периферией антициклона. Повышение температуры воздуха связано с южным переносом теплых и сухих масс воздуха с материка, антициклональным фёном и солнечным прогревом воздуха. Интенсивное таяние снежного покрова происходит за счет тепловой энергии приземного воздуха, прямой и рассеянной солнечной радиации. При такой синоптической ситуации наиболее опасными являются солярные, т. е. освещенные солнцем, склоны гор.

Глава 8. Индикация и прогноз лавинной опасности в Хибинах

Прогноз времени и места падения снежной лавины позволяет предотвратить несчастный случай или аварию на не защищенной от лавин территории. Этот метод целесообразно применять в тех случаях, когда возведение каких-либо капитальных противолавинных сооружений экономически не оправдывается или последние находятся в стадии строительства. При прогнозировании лавинной опасности нужно учитывать большое количество факторов, которые в полной мере представлены в Международной классификации лавинных условий, приводящих к возникновению лавин.

Таблица 2.5

Классификация лавинных условий (Avalanche classification. 1973)

А. Постоянные факторы

Факторы	Воздействие на лавинообразование
1. Условия подстилающей поверхности:	
1. 1. Относительная высота, общая топографическая ситуация:	Определяют глубину расчленения и заснеженность в зависимости от широты места и абсолютной высоты и ориентации хребтов
зона гребней и высоких плато	Сильное влияние ветра на распределение снега, снежные карнизы, локальные лавины из снежных досок
зона между гребнями и верхней границы леса	Метелевое снегонакопление, обширная зона формирования лавин из снежных досок

зона ниже верхней границы леса	Уменьшение влияния ветра, уменьшение количества лавин из твердых досок, преобладание лавин из мягких досок
1. 2. Крутизна склона:	Определяет критическую высоту снега
> 35°	Часто формируются лавины из рыхлого снега
> 25°	Часто формируются лавины из снежных досок
> 15°	Течение снега, нижний предел формирования лавин
< 20°	Течение снега, отложение лавинного снега. Возможно возникновение лавин из насыщенного водой снега
1. 3. Ориентация склона: по отношению к солнцу	На затененных склонах увеличение лавин из снежных досок. На солнечных склонах увеличение количества мокрых лавин
по отношению к ветру	На подветренных склонах повышенное снегоотложение, увеличение количества лавин из снежных досок, на наветренных склонах противоположное воздействие
1. 4. Конфигурация поверхности:	Влияет на снежность, типы лавин, критическую высоту снега
ровный склон	Неканализованные лавины (осовы) из снежных досок и рыхлого снега
лотки, воронки, кары	Места концентрации снега, лотковые лавины преимущественно из снежных досок
изменения крутизны склона по продольному профилю	На выпуклых склонах часто располагается линия отрыва лавин из снежных досок, на крутых склонах – точки возникновения рыхлых лавин, существенное влияние на критическую высоту снега
уступы в рельефе	Под ними часто возникают лавины из рыхлого снега
1. 5. Шероховатость поверхности:	Влияет на критическую толщину снега
гладкая поверхность	Малая критическая толщина, лавины верхнего слоя.
выступающие препятствия (скалы, поперечные гряды, растительность)	Большая критическая толщина, лавины полной глубины. Трава способствует срыву снега. Кусты, пока полностью не покрыты снегом, препятствуют сходу лавин. Достаточно плотный лес препятствует зарождению лавин

Б. Переменные факторы

Факторы	Воздействие на лавинообразование
2. Предшествовавшая погода (около 5 дней)	
2. 1. Снегопады:	Создают перегрузку снега на склонах, увеличивают массу снега с малой стабильностью
тип нового снега	Несвязный снег – лавины рыхлого снега. Связный снег – лавины из снежных досок. Неустойчивая стратиграфия
суточный прирост снега	Возрастание нестабильности снега с увеличением прироста, плоскости срыва лавин возможны как в новом, так и в старом снеге
интенсивность снегопада	Прогрессирующая нестабильность снега с увеличением интенсивности, увеличение количества лавин из свежевыпавшего снега, возрастание опасности схода лавин с более пологих склонов
2. 2. Дожди	Возникновение мокрых лавин из рыхлого снега и мягких досок. Возможно образование водоснежных потоков и снежно-грунтовых оползней

2. 3. Ветры:	За счет метелевого перераспределения снега создают локальную перегрузку снега на склоне, формируют снежные доски и неустойчивую стратиграфию
направление	Повышенная опасность образования пластовых лавин на подветренных склонах. Образование карнизов
скорость и время	С увеличением скорости и продолжительности воздействия ветра растет вероятность локального формирования лавин из снежных досок
2. 4. Тепловые условия:	Прямое влияние на прочность снега и напряжения в нем
температура снега	Как понижение, так и повышение температуры могут приводить к неустойчивости. Повышение температуры до точки плавления приводят к появлению свободной воды в снеге, что может вызвать его неустойчивость
температура воздуха	Одинаковое влияние на всех ориентациях склонов
солнечная радиация	Преобладающее влияние на склонах солнечной экспозиции. Развитие неустойчивости за счет радиационных оттепелей
тепловое излучение	Выхолаживание снежной поверхности ночью и в тени, существенное при безоблачном небе. Способствует образованию поверхностной и глубинной изморози
3. Состояние старого снега	Интегральное влияние предшествующих условий погоды и погоды за весь зимний сезон
3. 1. Общая высота снега	Влияет на процесс градиентного метаморфизма, сглаживает шероховатости, определяет максимальную массу лавины
3. 2. Стратификация толщи:	Устойчивость определяется слабейшим по прочности горизонтом
старые поверхностные слои	Рыхлость, хрупкость, шероховатость определяют устойчивость снега при последующем снегопаде или метели
внутреннее состояние снежного покрова	Сложное строение, ослабленные прослойки, ледяные корки ведут к развитию неустойчивости
4. Спусковые факторы	
4. 1. Естественный отрыв (без участия человека)	Спонтанные и естественно вызванные лавины
4. 2. Отрыв, вызванный человеком: непреднамеренный спуск лавин	Случайные лавины
преднамеренный спуск лавин	Искусственно вызванные лавины

Впервые к методу прогноза лавин обратились в Швейцарии. В 1917 году после катастрофы с пассажирским поездом на железнодорожной линии Хур – Давос была создана «Служба лавинных предупреждений», которая организовала метеорологические наблюдения. Анализ метеорологических условий схода лавин позволил выявить наиболее характерные для образования лавин условия погоды. В дальнейшем в такие неблагоприятные дни движение по железнодорожной линии прекращалось.

Первый прогноз лавинной опасности в Хибинах был дан начальником Снежно-метеорологической службы треста «Апатит» И. К. Зеленым 20 октября 1936 года, в день, когда с горы Юкспор сошла первая в эту зиму лавина и была объявлена первая лавинная

опасность [45]. Сопоставление времени схода лавин с ходом метеорологических элементов на метеорологической станции Кировск, проведенное И. К. Зеленым, выявило их статистическую зависимость. Наиболее крупные лавины сходили во время метели при скорости ветра 10 м/сек и более на боковых и подветренных склонах [69]. Указанные выводы легли в основу предупреждений о лавинной опасности в зиму 1936–1937 гг.

Сравнение данных о сходе лавин и метелемерных наблюдений на плато Юкспор позволили В.Н. Аккуратову выявить связь между образованием метелевых лавин и величиной метелевого переноса снега. Лавиноопасный период начинается, когда общий перенос снега в двухсантиметровом приповерхностном слое с интенсивностью 0,25 кг/(м^2×с) превысит 1000 кг/ погонный м. Направление ветра в данной схеме учитывалось так же, как и в схеме Зеленого [4].

Метод линейного дискриминантного анализа для оценки опасности, связанной с возникновением лавин метелевого типа в Хибинах, по данным горно-лавинной станции «Юкспор» был разработан П. А. Черноусом в начале 70-х годов XX века [99]. Все метели подразделялись на два класса – лавинные и нелавинные – и характеризовались восемнадцатью числовыми параметрами. Оказалось, что при прогнозе лавин метелевого типа прежде всего следует учитывать количество осадков. Средняя температура воздуха практически не имеет значения для задачи разделения метели на классы, в то время как минимальная и максимальная температуры вносят довольно значительные вклады.

Оценка качества применяемых методов оценки лавинного риска в Хибинах, проведенная П. А. Черноусом, дала следующие показатели.

Метод Зеленого дает хорошие результаты для «лавинных» ситуаций $P_л = 0,85$, но слишком много ошибок при распознавании «нелавинных» ситуаций $P_н = 0,25$. Критерий Q оказался равным 0,20. Здесь $P_л$×100% и $P_н$×100% – процент правильно предсказанных «лавинных» и «нелавинных» ситуаций; Q – критерий Обухова для оценки качества альтернативных прогнозов [98].

Метод Аккуратова проверялся на группе из четырех лавинных очагов. Критерий Q оказался равным 0,43. Возможно, для всего района критерий Q будет выше.

Метод Черноуса: корреляция между прогнозом и наблюдением здесь существенно выше, чем для методов Зеленого и Аккуратова: $P_л = 0,60$; $P_н = 0,97$; Q =0,57. По-видимому, это достигается в результате использования дополнительных параметров для описания ситуаций.

Рассмотренные выше методы, строго говоря, нельзя считать методами прогноза снежных лавин, т. к. они имеют нулевую заблаговременность и не рассчитывают время окончания лавинной опасности. По существу они являются методами индикации лавинной опасности.

Синоптическая модель прогноза метелевых лавин была разработана В. А. Ижболдиной в середине 70-х годов прошлого века. Она связывает сход лавин с предшествующей синоптической ситуацией (за 24 часа), каждая из которых была описана набором параметров для оценки вероятности их схода. Позднее этот метод был дополнен дискриминантным анализом [52,53]. Метод Ижболдиной позволяет предсказывать сход лавин за сутки с точностью $P_л = 0,55 – 1,0$ в зависимости от типа синоптической ситуации. Из-за большой неопределенности в предсказании мест схода лавин и отсутствия по этой причине потребителей таких прогнозов в Хибинах как формальная процедура они прекращены, и сейчас синоптическая информация учитывается только субъективно.

Процесс принятия оптимального решения о проведении противолавинных мероприятий ставит своей целью расширение возможностей хозяйственной деятельности в лавиноопасных зонах при минимальном уровне риска. Наиболее сложной и ответственной задачей является выработка решения об объявлении лавинной опасности и прекращении хозяйственной деятельности в потенциально опасной зоне. Это происходит в тех случаях, когда по техническим причинам нет возможности устранить лавинную опасность методами активного воздействия на снежный покров.

Образование лавин – явление чрезвычайно сложное и определяется большим числом факторов. В настоящее время невозможно контролировать все факторы, вызывающие сход лавин. Контролируя только часть даже наиболее информативных факторов, невозможно с точностью даже до нескольких часов предсказать время и место схода лавины. Поэтому для лавин не существует однозначного соответствия между вектором предиктором и вектором предиктантом. Для описания таких процессов используются вероятностные методы.

Для прогнозирования природных явлений большую перспективу имеет теорема вероятности гипотез Байеса [1]. Как известно, теорема Байеса представляет один из важных прогнозов поведения. Она устанавливает способ преобразования множества априорных вероятностей после появления информации о рассматриваемых событиях во множество апостериорных и является оптимальной моделью формирования диагноза для динамических задач, содержащих риск. В основу метода была взята известная формула Байеса, примененная для пар гипотез типа: «Лавина» и «Нет лавины», вида:

$$P(Л/A_1, A_2, A_3,..., A_n)=1/\left[1+\left(\frac{1}{P(Л)}-1\right)\prod_{k=1}^{n}\frac{P(A_k/H)}{P(A_k/Л)}\right] \qquad (1),$$

где Л и Н – гипотезы вышеуказанного типа; P(Л) и P(Н) – их априорные вероятности; $P(A_к/Л)$ и $P(A_к/H)$ – условные вероятности события $A_к$; $P(Л/A_1, A_2, A_3, \ldots, A_п)$ – условная вероятность гипотезы Л, для измеренных значений лавинообразующих параметров.

События $A_к$ определены следующим образом. Пусть $x_1, x_2, x_3, \ldots, x_п$ – некоторые измеренные параметры, характеризующие образование снежных лавин. Если $x'_к$ есть измеренное значение параметра и погрешность измерения составляет $\Delta x'_к$, то фактически при измерении становится известно, что $x'_к - \Delta x < x_к < x'_к + \Delta x'_к$. За событие $A_к$ и принимается тот факт, что значение параметра $x_к$ заключается в указанных пределах. Под событием $A_к$ можно понимать также события, связанные с измерением одного и того же параметра в разные моменты времени.

Формула Байеса позволяет вычислить вероятность гипотезы $P(Л/A_1, A_2, A_3,\ldots, A_п)$ для n измеренных независимых лавинообразующих параметров. В связи с тем, что время схода большинства лавин определяется с точностью до суток, в качестве исходных параметров были взяты средняя суточная скорость ветра S, м/сек, средняя суточная температура воздуха, t^0C, суточное количество осадков Q, мм, высота снежного покрова h, см и ее суточная амплитуда Δh, см, измеренные на метеоплощадке горно-лавинной станции «Центральная».

Область изменения вышеуказанных метеорологических параметров была разбита на ряд интервалов, для которых статистическим методом были определены значения условной вероятности P(Л/h) и $P(A_k/H)$ и $P(A_k/Л)$ и значения отношений:

$$N_{Ak} = P(A_k/Н)/P(A_k/Л) \quad (2).$$

В связи с тем, что высота снежного покрова h является важнейшей характеристикой лавинной опасности, в качестве априорной вероятности была принята условная вероятность P(Л/h). Расчет степени лавинной опасности проводится через каждые три часа по формуле:

$$P(Л/h, \Delta h, t, S, Q)=1/\left[1+\left(\frac{1}{P(Л)}-1\right) N_{\Delta h} N_t N_S N_Q\right] \quad (3).$$

Проверка метода была выполнена по данным за 10 зим [47]. Сравнение расчетной интегральной вероятности «лавинных» ситуаций P с эмпирической $P_э$ приведено ниже:

Таблица 2.6

P	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80
$P_э$	0,11	0,22	0,34	0,46	0,60	0,70	0,87	1,00

Для объективной оценки предложенного метода был применен критерий Брайера [97], который имеет следующий вид:

$$E=1-\frac{1}{2N}\sum_{j=1}^{2}\sum_{i=1}^{N}(P_{ij}-E_{ij}),$$

где j – число классов, j = 1 для лавинных ситуаций, j = 2 для нелавинных, i – номер ситуации, P_{ij} – расчетная вероятность того, что i-ситуация принадлежит к j-классу, $E_i = 1$ или 0 в зависимости от того, принадлежит i-ситуация к j-классу или нет. Критерий Брайера для данного метода оказался равным 0,85. Для идеальных прогнозов критерий Брайера равен единице.

В связи с созданием Всемирной компьютерной сети мы получили доступ к прогностической информации ведущих мировых метеорологических центров. В результате появилась возможность получать прогностические значения скорости и направления ветра, количество осадков и температуру воздуха для любой высотной отметки с интервалом 3 часа. Используя прогноз метеорологических параметров и метод индикации лавинной опасности, основанный на формуле Байеса, нетрудно спрогнозировать вероятность схода лавины [47]. В качестве примера приведен прогностический график лавинной опасности, рассчитанный по данным прогноза погоды Air Resources laboratory, и фактические значения степени лавинной опасности для района г. Кировска и промплощадки ОАО «Апатит» за период с 19 по 22 февраля 2004 года.

Пороговое значение лавинной опасности на графике обозначено красной линией, выше которой ситуация оценивается, как правило, как «опасная», требующая от профессиональных лавинщиков повышенного внимания к снеголавинной обстановке.

Сравнивая прогностический график с фактическими данными, можно оценить качество прогноза. Коэффициент корреляции в данном случае составил 0,91. Первые результаты вселяют надежду, что с помощью современных и более достоверных моделей прогноза погоды и методов диагностики и индикации начала и конца лавиноопасного периода можно прогнозировать степень лавинной опасности в Хибинах с заблаговременностью до 3 суток [51].

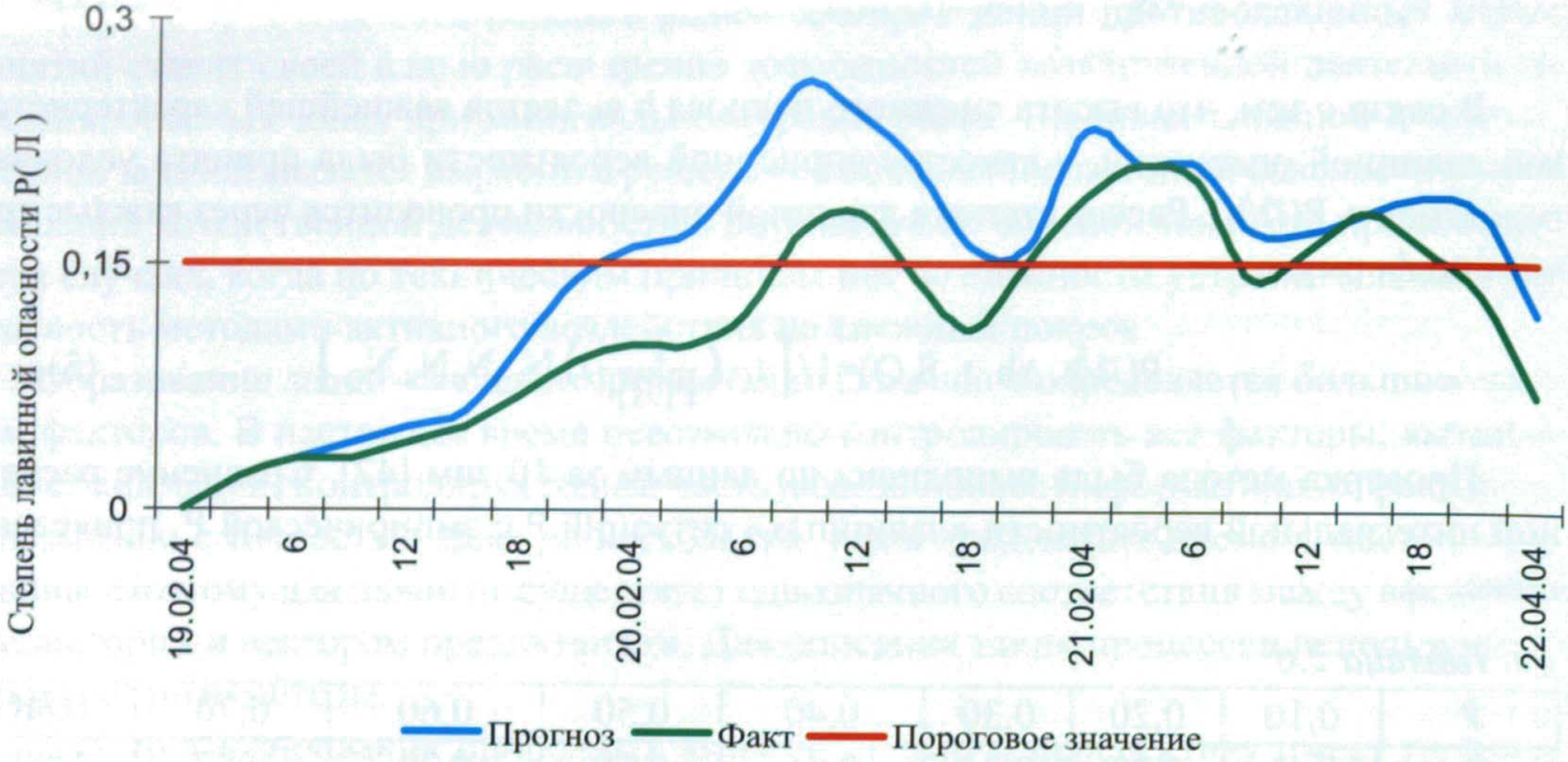


Рис. 2.20. Лавинограмма с 19 по 22 февраля 2004 года

Глава 9. Динамика хибинских лавин

§ 1. Общие сведения

Процесс перехода снежного покрова на склонах гор к неустойчивому состоянию приводит к образованию лавин. Когда статическое трение преодолено и движение началось, снежная доска разламывается на блоки, которые с ускорением начинают двигаться вниз. При низкой скорости лавины снег перемешивается слабо. При скорости 10 м/сек и более движение снега приобретает турбулентный характер, снежные блоки дробятся и округляются. Мельчайшие частицы снега смешиваются с воздухом, образуя облако снежной пыли. Лавины из мокрого снега движутся в виде сравнительно однородной сплошной массы, без образования снежного облака.

Скорость движения лавины определяется составляющей силы тяжести и зависит от ее типа: пылевые лавины – от 20 до 70 м/сек, сухие – от 15 до 60 м/сек и мокрые от 5 до 30 м/сек [89]. Наибольшую скорость лавина развивает в зоне транзита. Сопротивление движению лавины складывается из сил трения снежной массы по основанию, внутреннего трения в снежном потоке, сопротивления вовлекаемого лавиной снежного покрова и сопротивления воздуха. При выходе на более пологие участки склона лавина тормозится и останавливается.

Снежные лавины обладают большой разрушительной силой. Процесс взаимодействия лавинного тела с препятствием в первом приближении можно разделить на два периода [19].

В первый период происходит удар плотной головной части лавинного тела о препятствие. При взаимодействии с препятствием масса лавинного тела сильно уплотняется. По существу, первый период взаимодействия и является ударным, когда в течение короткого промежутка времени существуют очень высокие давления.

Второй период взаимодействия лавинного тела с препятствием значительно продолжительнее первого и связан с обтеканием препятствия лавинным потоком.

Впервые расчетный метод определения скорости движения и силы удара снежных лавин был разработан и применен для проектирования противолавинных сооружений в Хибинах сотрудником Тбилисского научно-исследовательского института сооружений (ТНИИС) Г. Г. Саатчаном [30].

Предполагая, что снежная лавина представляет собой непрерывный поток отдельных снежных комьев, он предложил для определения силы удара лавины следующую формулу:

$$P = \frac{\gamma}{g} V^2 \sin^2\beta ,$$

где P – сила удара в кг/м^2, V – скорость лавины в м/сек, γ – объемный вес лавинного снега в кг/м^3, g – ускорение силы тяжести в м/сек^2 и β – угол между вектором скорости и плоскостью, воспринимающей удар, в градусах. Таким образом, величина давления при ударе снежной лавины прежде всего зависит от ее скорости.

Принимая во внимание, что скорость движения снежной лавины зависит от длины и угла наклона горного склона, Г. Г. Саатчан предложил следующую формулу:

$$S = 2{,}3 \frac{\alpha}{k^2} \lg \frac{\alpha - kV_0}{\alpha - kV} - \frac{V - V_0}{k} ,$$

где S – длина участка пути одинакового уклона в метрах, V_0 – скорость движения лавины в начале участка в м/сек, V – скорость движения лавины в конце участка в м/сек, $\alpha = g \cos\delta (tg\delta - f)$ – постоянная, зависящая от уклона пути f и коэффициента трения снега f, который на основании опытных данных был принят равным 0,3, g – ускорение силы тяжести в м/сек^2 и k – коэффициент, величина которого в зависимости от размеров снегосборного бассейна снежной лавины принималась по таблице 2.7 [28].

Таблица 2. 7

Площадь снегосборного бассейна, в га	±2	2–10	10–25	25–50	≥ 50
Расчетное значение коэффициента k	0,10	0,10–0,05	0,05 – 0,03	0,03– 0,015	≤ 0,015

§ 2. Экспериментальные исследования силы удара лавин в Хибинах

Чтобы проверить достоверность теоретических формул Г. Г. Саатчана, сотрудники (ТНИИС) А. Г. Гофф и Г. Ф. Оттен предложили установить специальные установки для измерения силы удара лавин. Пружинные динамометры с площадью приемного щита 0,1 м^2 установили на металлических опо-



Рис. 2.21. Установка для измерения силы удара снежных лавин Гоффа–Оттена в лавинном очаге № 7. 2003 г.

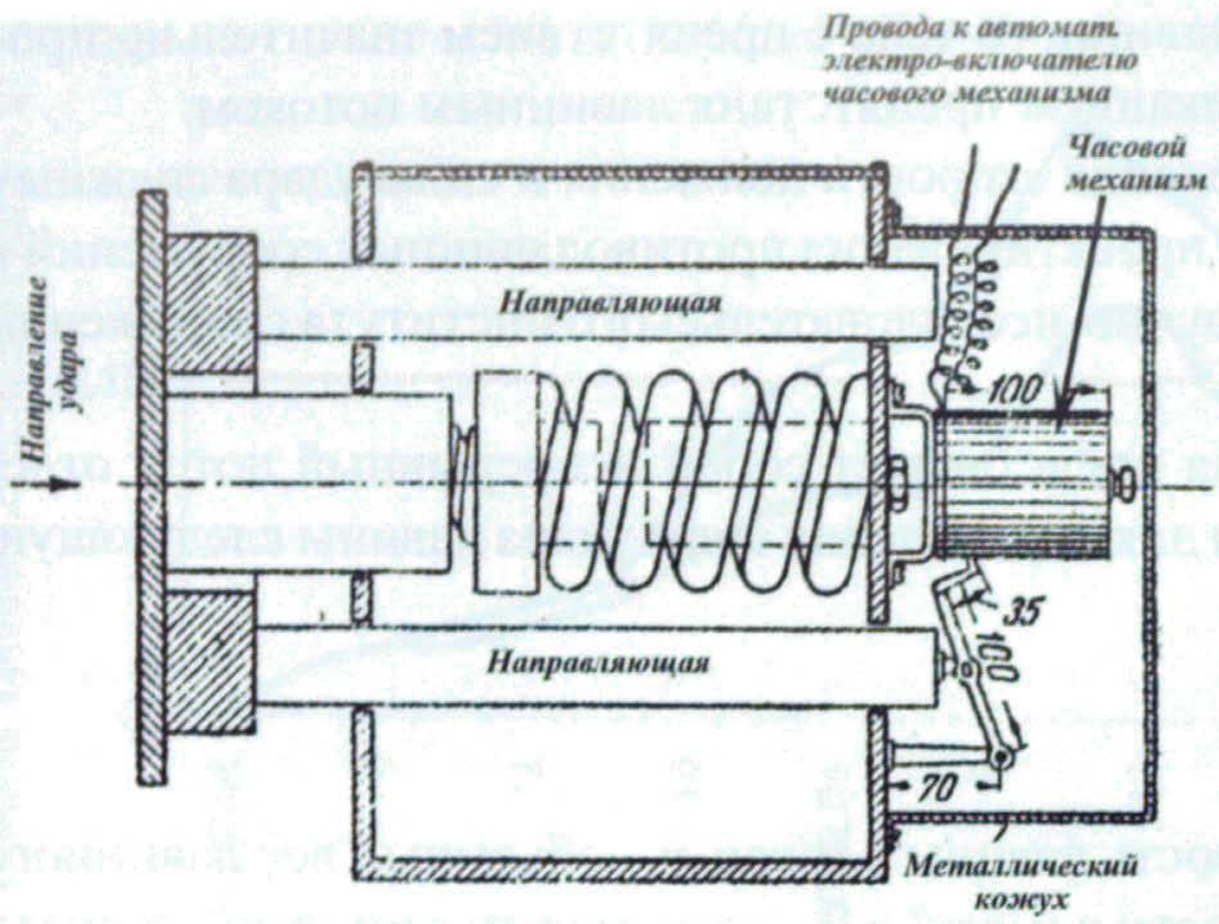


Рис. 2. 22. Схема прибора для замера силы удара снежных лавин и измерения ее во времени

рах на высоте 2 метра в лавинных очагах №№ 7,10, 22 и 34. При точности отсчета 0,2 т/м^2 динамометры фиксировали максимальное давление лавины в диапазоне от 0,3 до 40 т/м^2.

Зимой 1937–1938 годов было зарегистрировано четыре удара лавин. 20 февраля 1938 года в лавинном очаге №10 лавина смяла и разрушила швеллерные опоры, к которым крепились датчики. Зафиксированное давление превысило 40 т/м^2.

В зиму 1939–1940 годов приборы были оборудованы электромеханическими самописцами, что позволило получить запись изменения давления во времени. Монтаж приборов и снятие данных производил начальник Снежно-метеорологической службы комбината «Апатит» В. П. Пузанов [31].

16 января 1940 г. с юго-восточного склона горы Юкспор сошла снежная лавина объемом 25 тыс. м^3. Прибор для замера силы удара, установленный в устье лавинного очага, был засыпан слоем снега мощностью около 1 м. Изображенная на рис. 2.23 диаграмма, записанная иглой на закопченном барабане самописца, дает наглядное представление о пульсирующем характере изменения давления по мере прохождения лавинного тела. Это указывает на турбулентный характер движения и неоднородность лавинного потока. После остановки лавины пружина не смогла прийти в исходное положение, т. к. приемная пластина была засыпана снегом. Остаточное давление составило 3 т/м^2.

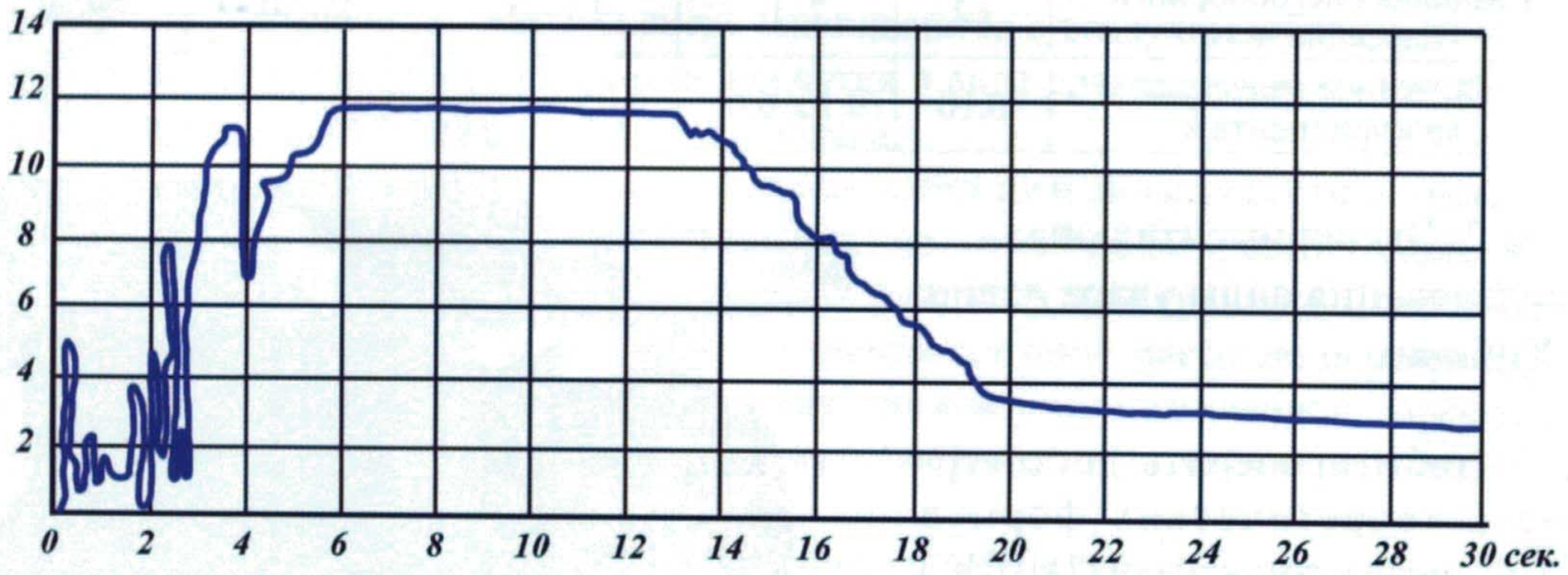


Рис. 2.23. Диаграмма давления при ударе снежной лавины, спустившейся с горы Юкспор 16 января 1940 г.

В связи с Великой Отечественной войной 1941–1945 годов научный договор с Тбилисским институтом сооружений был прекращен, и экспериментальные работы по изучению динамических характеристик лавин в Хибинах были приостановлены.

В 1963 году в соответствии с договором между комбинатом «Апатит» и географическим факультетом МГУ была составлена программа исследований силы удара снежных лавин. Программой предусматривалось строительство экспериментальной конструкции в лавинном очаге № 34, расположенном на юго-восточном склоне Апатитовой горы в долине р. Лопарской.

Второй этап изучения динамики снежных лавин в Хибинах был начат под руководством главного инженера комбината «Апатит» Р. С. Пермякова и заведующего отделом физики снега и лавин Проблемной лаборатории МГУ д. т. н. К. Ф. Войтковского. Непосредственными исполнителями экспериментальных работ были начальник Цеха противолавинной защиты В. Н. Аккуратов и ст. научный сотрудник Проблемной лаборатории МГУ А. Ф. Липатов [7].



Рис. 2.24. Общий вид на лавинный очаг № 34 в 1967 году

§ 3. Конструктивные особенности установки

Проектирование и рабочие чертежи экспериментальной установки для измерения ударной силы лавин были выполнены Лентрансмостпроектом Министерства транспортного строительства СССР.

Установка состоит из железобетонного фундамента с размерами: длина – 9,1 м, ширина – 4,1 м и высота 1,8 м. На фундамент прочно установлена металлическая конструкция, состоящая из двух пакетов стальных ферм. Передняя плоскость конструкции облицована стальными плитами с размерами: длина – 2,7 м, ширина – 0,3 м и толщина – 0,03 м, на которые крепятся приборы. Плиты с помощью болтов закреплены на фермах, что придает конструкции жесткость.

Высота рабочей плоскости конструкции, включая фундамент, составляет 8,35 м, а общая площадь – 22 м^2.

Монтаж установки производился специализированной бригадой комбината «Апатит» и был закончен в январе 1967 года.

Для регистрации лавинного давления по всей высоте установки были размещены дисковые датчики. Давление определялось по глубине отпечатка, образованного коническими штампами в алюминиевых и дюралюминиевых пластинах по тарировочным графикам.



Рис. 2.25. Общий вид конструкции с механическими датчиками давления

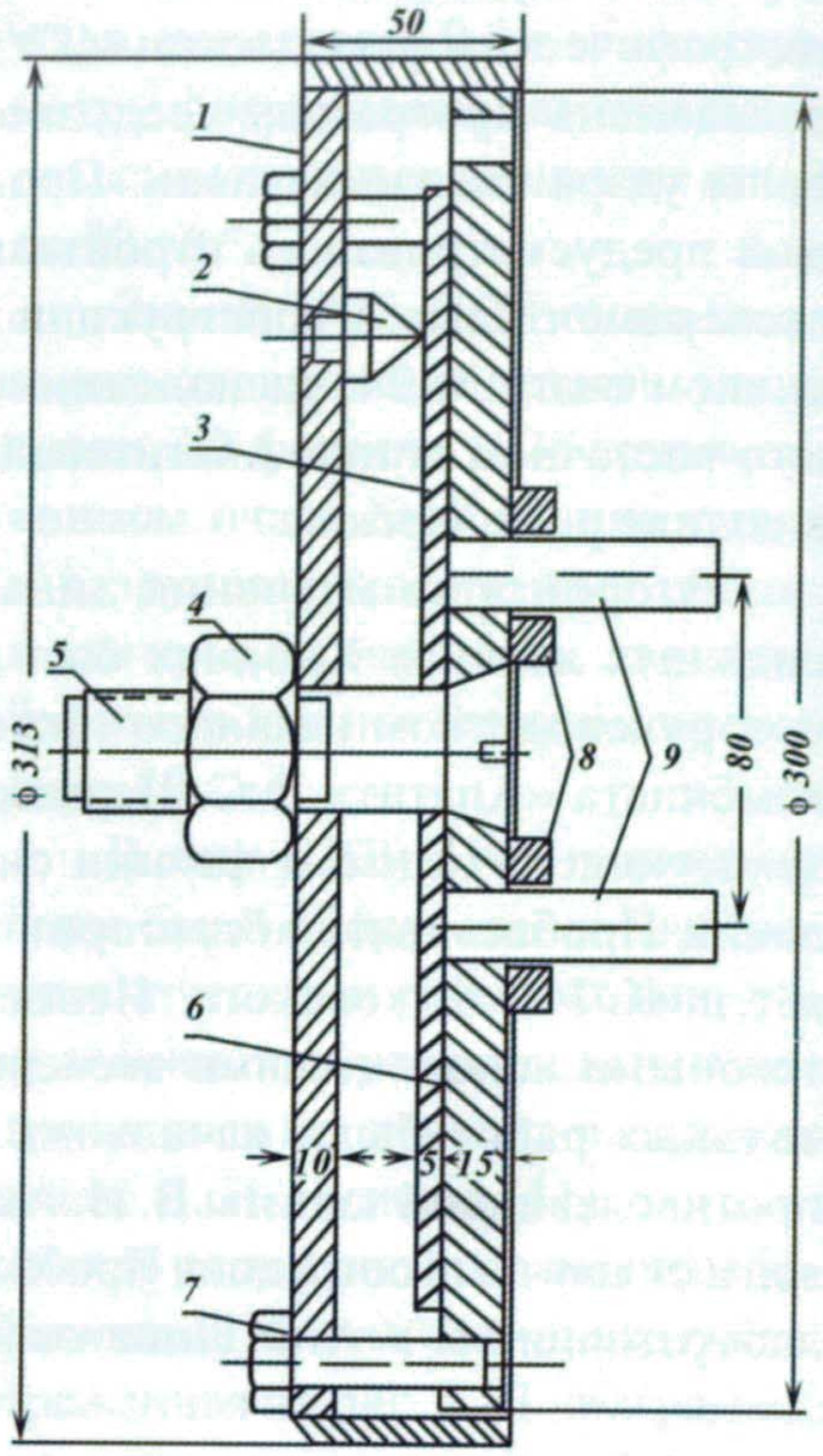


Рис. 2.26. Устройство механического датчика

§ 4. Основные результаты эксперимента

За период с 1967 по 1979 год зарегистрировано 39 сухих лавин, взаимодействующих с установкой [81]. Объемный вес лавинного снега измерялся с помощью роторного плотномера В. Д. Пантелеева с точностью до 0,01 г/см^3. Замеры плотности снега производились в недеформированных комьях на поверхности лавинных отложений – γ_0 и в 20-сантиметровом слое снега у рабочей плоскости установки – γ_1. Можно предположить, что объемный вес снега в недеформированных комьях соответствует объемному весу снега в зоне зарождения лавин. Эти данные позволяют учитывать сжимаемость снега в момент удара. Коэффициент уплотнения снега у рабочей плоскости установки может быть выражен формулой:

$$K = \frac{\gamma_1}{\gamma_0}.$$

На основании большого количества измерений объемного веса лавинных отложений осредненный коэффициент уплотнения снега у рабочей плоскости установки получился равным 1,32.

Из 39 снежных лавин, достигших экспериментальной установки, наибольший интерес представляет лавина № 29, сошедшая 15 апреля 1975 года. Сходу лавины предшествовала 3-дневная метель при температуре воздуха от –6 до –12° и ветре северных направлений от 20 до 35 м/сек. В верхней части лавинного очага прирост снежного покрова за метель достиг 1 м. Возникла угроза самопроизвольного схода лавины. Уже после разрыва первой 160-миллиметровой мины снежный пласт толщиной 0,8 м и площадью 28 тыс. м^2 пришел в движение.

Средняя отметка плоскости отрыва находилась на высоте 795 м, а максимальная отметка на высоте 825 м. Общая длина линии отрыва составила 295 м. Крутизна склона в месте отрыва – 40°, средняя крутизна по пути лавины до установки – 30°. Абсолютная высота основания установки – 480 м, горизонтальная проекция пути лавины до установки – 660 м. Объем снега, первоначально пришедшего в движение, составил 23 тыс. м^3. За счет вовлечения снега во время движения лавины ее объем увеличился до 35 тыс. м^3. Плотность снежного пласта, пришедшего в движение, составила 230 кг/м^3.

Лавина имела рекордную силу удара, сопровождалась снежно-воздушной волной, и ее движение было зафиксировано методом наземной стереофотограмметрической съемки [87].

К сожалению, нижняя часть установки была засыпана предыдущими лавинами и не могла сработать на всю высоту. Перед лицевой стороной конструкции в лавинных отложениях была прокопана траншея шириной 5 м, и три ряда датчиков были освобождены от снега, но они находились ниже поверхности скольжения лавины. Максимальное давление по одному из датчиков, расположенных на высоте 1,7 м над уровнем снега, составило 108 т/м^2. Всего сработали 12 датчиков, по результатам которых был построен график распределения силы удара лавины с высотой.

Распределение давления по высоте показало, что примерно 75% энергии удара лавины приходится на высоту до 4 метров, а максимумы давления наблюдаются на высоте около 2 метров от поверхности скольжения лавины. Выше этого уровня давление резко падает.



Рис. 2.27. Момент удара лавины о конструкцию. 15.04.1975 г.

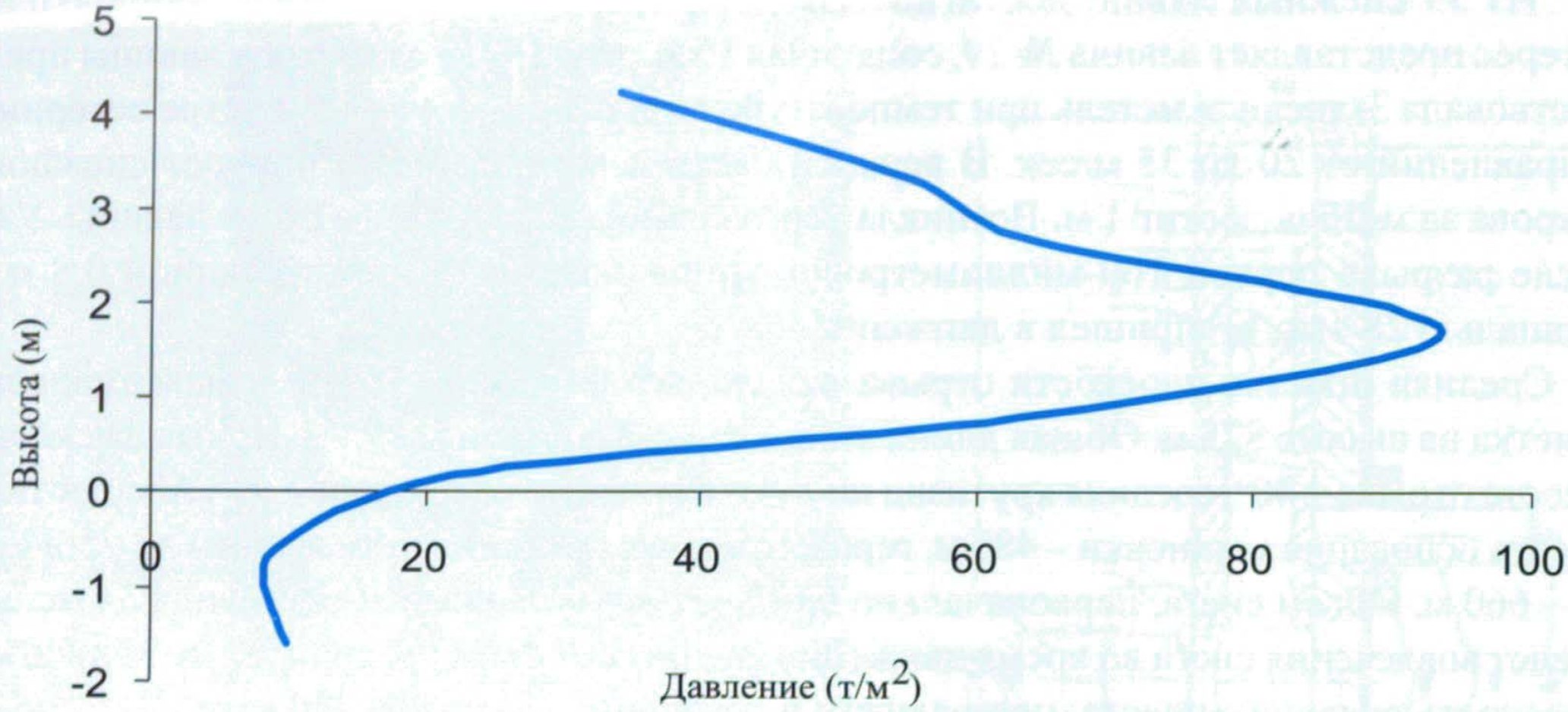


Рис. 2.28. График распределения силы удара лавины с высотой. 15.04.1975 г.

§ 5. Стереофотограмметрическая съемка лавин

Стереофотограмметрическая съемка позволяет не только с высокой точностью определить скорость переднего фронта лавины, но и его высоту, объем лавинного тела в различные моменты движения, площадь снега, пришедшего в движение, площадь лавинных отложений, толщину линии отрыва, профиль пути лавины и др.

Первые стереосъемки движущихся лавин в Хибинах были выполнены в марте 1965 года отрядом Хибинской экспедиции МГУ и Цехом противолавинной защиты комбината «Апатит» под руководством А. В. Брюханова.

30 марта 1965 года были сняты 2 лавины, сбитые минометным огнем в лавинном очаге № 31. Лавины объемом 10 и 5 тыс. м^3 имели максимальную скорость 22 и 17 м/сек соответственно. Плотность сошедшего снега равнялась 200 кг/м^3.

Материалы первых стереосъемок обнаружили в лавинах из сухого снега скачкообразное изменение скорости движения переднего фронта на всем протяжении пути лавины, связанное с изменением топографии и физическими процессами, происходящими в движущемся снеге.

Учитывая важность дальнейшего изучения механизма движения лавин и совершенствования мероприятий по борьбе с ними, летом 1972 года Цехом противолавинной защиты при участии представителей МГУ было принято решение о продолжении работ по стереофотограмметрическому изучению движения лавин. В начале 1973 года была принята перспективная программа экспериментальных исследований процесса движения лавин. Ответственным исполнителем данной программы был назначен работник Цеха противолавинной защиты инженер-геодезист В. А. Самойлов.

Конкретными задачами исследований, сформулированными в программе, являлись:

1. Методический и технический анализ созданного в 1962 году опытного образца комплекта аппаратуры и методики получения параметров лавин.

2. Разработка усовершенствованного варианта комплекта аппаратуры.

3. Создание улучшенной методики съемки лавин и обработки материалов.

4. Получение кинематических параметров и количественных характеристик движущихся лавин усовершенствованным методом.

§ 6. Аппаратура для стереофотосъемки

Комплект аппаратуры был создан на базе автоматических аэрофотокамер АФА-39 с дистанционным управлением от электромеханического командного прибора – интервалометра.



Рис. 2.29. Инженеры ЦПЗ В. А. Самойлов (справа) и В. И. Чадаев проводят стереосъемку снежных лавин в лавинном очаге № 22. 26.02.1974 г.

Аэрофотокамеры АФА-39 были выбраны в качестве основы действующей модели аппаратуры для скоростной стереосъемки лавин в связи со следующими достоинствами их конструкции:

1. Малые габариты и вес.

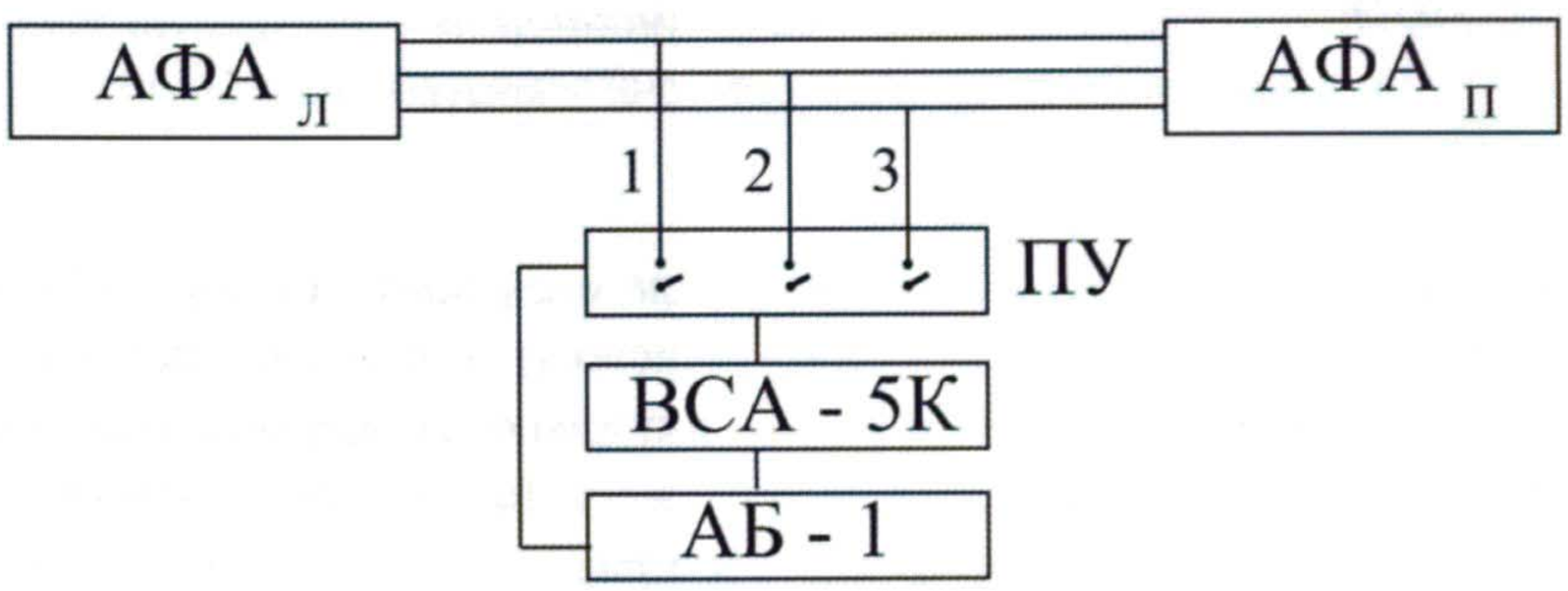
2. Непродолжительность полного автоматического цикла работы (спуск затвора, перемотка пленки, взвод затвора, выравнивание пленки в плоскость), составляющего 0,7 сек;

3. Наличие диафрагмы и мгновенных выдержек затвора в 1/700, 1/1400 и 1/1800 сек.

4. Большая емкость кассетной части, обеспечивающая зарядку 20 метров перфорированной пленки шириной 9 см.

5. Наличие в камере и в командном приборе устройства для их обогрева.

Блок-схема комплекта аппаратуры выглядит следующим образом:



$АФА_л$ и $АФА_п$ – левая и правая аэрофотокамеры, ПУ – пульт управления, ВСА-5К – выпрямитель тока и АБ-1 – генератор переменного тока (220 в и 50 гц).

1 – линия обогрева камер, 2 – линия питания электромоторов и 3 – линия запуска рабочего цикла.

§ 7. Основные результаты стереосъемки лавин

Всего было произведено 4 съемки крупных лавин, вызванных минометным огнем в лавинных очагах № 22 и № 34. Наиболее интересные результаты дала лавина, сошедшая 15.04.1975 года в лавинном очаге № 34. Базис стереосъемки длиной 64,37 м был выбран на дне долины напротив лавинного очага.

Через 12–14 сек после разрыва мины и начала движения лавины скорость переднего фронта лавины достигла 30 м/сек. На повороте лотка скорость лавины упала, а затем вновь начала возрастать и к моменту 10-й экспозиции достигла 51 м/сек. Далее лавина, засыпав вырытую перед конструкцией траншею, преодолела дамбу и рухнула на площадку с внешней стороны дамбы.

В этот момент снежно-пылевое облако оторвалось от основного тела лавины и за 2 секунды прошло расстояние более 120 м, таким образом, скорость снежно-пылевого

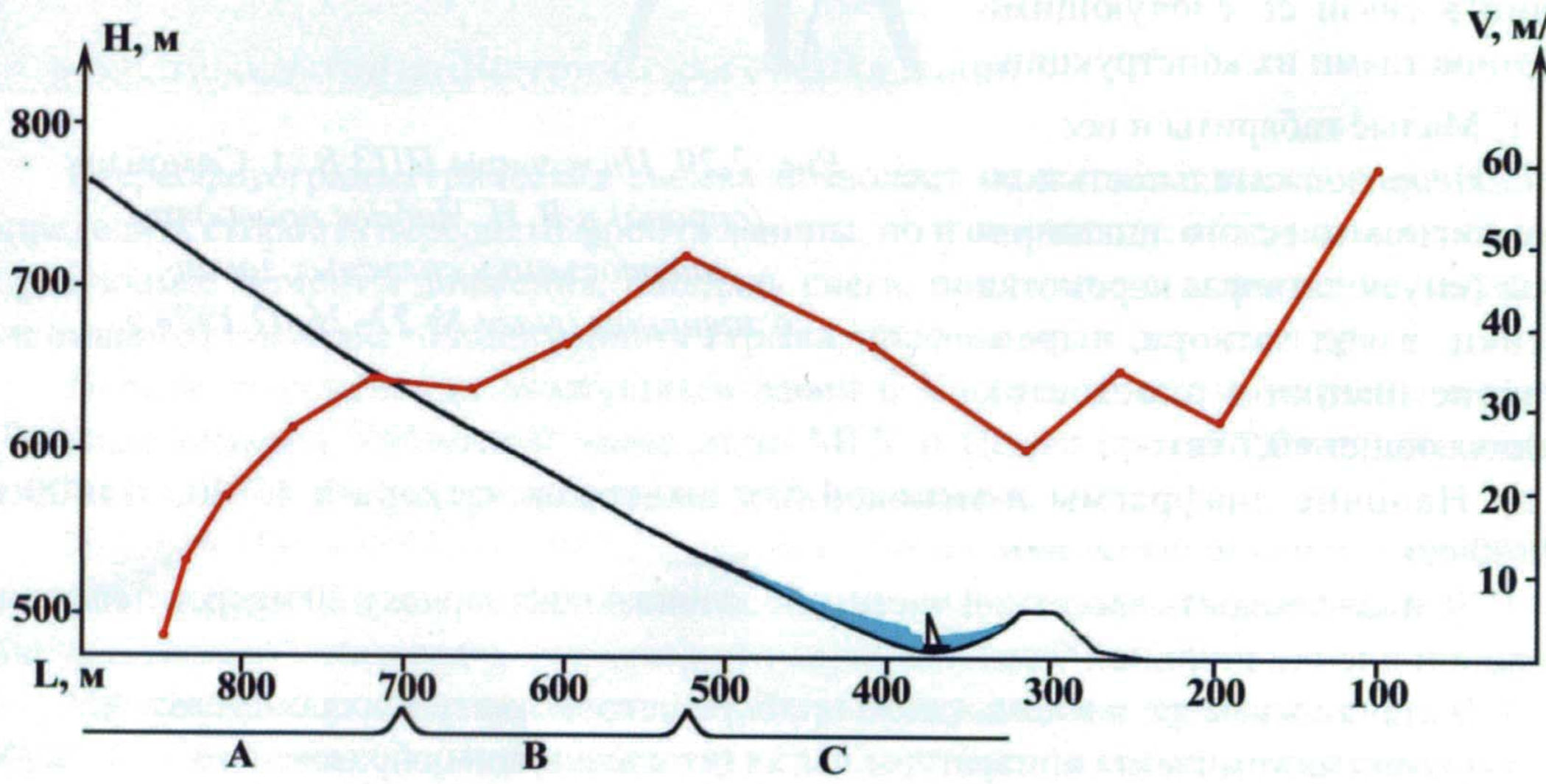


Рис. 2. 30. Эпюра скорости лавины, совмещенная с профилем пути. А – лавинный очаг, В – лоток, С – конус выноса

облака за короткий промежуток времени возросла в 2 раза и составила 60 м/сек. Интересно, что в этот же момент объем снежно-пылевого облака увеличился в 2,5 раза и составил 1 млн. $м^3$. Таким образом, всего за 2 секунды составляющая количества движения (mv) плотной части лавины упала до нуля, а составляющая количества движения (mv) снежно-пылевой части лавины возросла в 5 раз.

Образовавшаяся снежно-воздушная волна на своем пути разрушила штабель бревен длиной 8 м и диаметром 40 см и разбросала их на расстояние около 100 м. Левая фотокамера $АФА_л$ со штативом была вырвана из снега и отброшена снежно-воздушной

волной на 10 метров. Транспортировочные ящики от стереокомплекта были отброшены еще дальше – на 70–100 м. В то же время деревянные столбы линии электропередачи и провода выдержали напор снежно-воздушной волны, хотя и были расположены на 100 м ближе к ее фронту, чем фотокамера. Столбы линии ЛЭП со стороны, обращенной к лавинному очагу № 34, были покрыты плотным слоем снежной пыли.

В пределах зоны воздействия снежно-воздушной волны на поверхности снежного наста отложился тонкий слой снежной пыли, отдельные камни и мелкие снежные комья. На самом снежном насте наблюдались продольные вмятины. Определенный интерес представляет динамика увеличения объема лавины во время движения по склону.

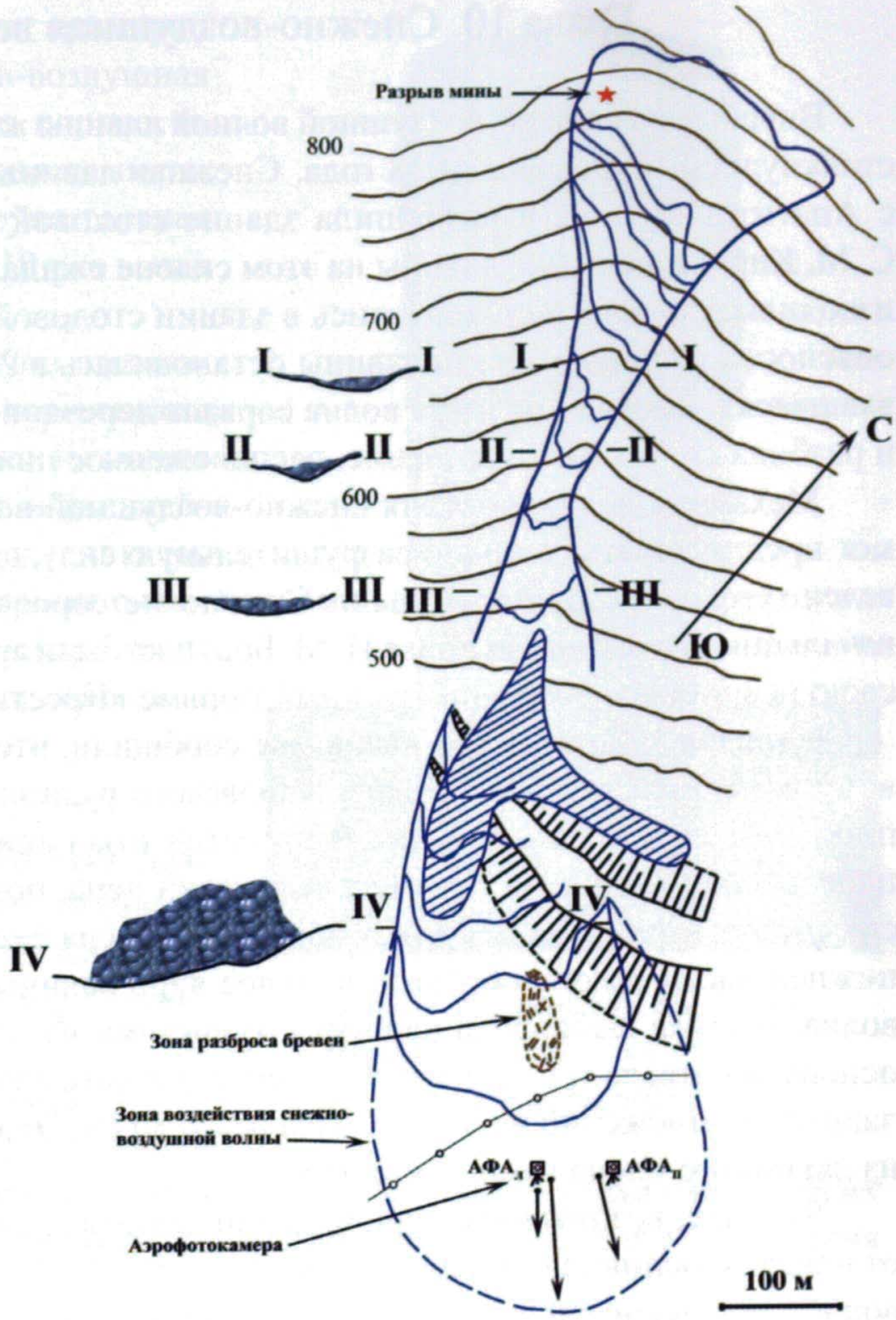


Рис. 2.31. Основные характеристики лавины 15.04.1975 в плане

Таблица 2.8

Изменение видимого объема лавины во время движения

Время от начала движения лавины, сек	0	20	30	32
Объем лавины, тыс. м^3	23	108	400	1000

Увеличение видимого объема лавины во время движения вниз по склону происходило за счет вовлечения в движение снежного покрова по пути и формирования снежно-пылевого облака, вызванного турбулентным перемешиванием с воздухом на пограничном слое. Если объем плотного тела лавины за время движения увеличился в 1,5 раза и составил 35 тыс. м^3, то объем снежно-пылевого облака в момент остановки основной массы лавинного снега достиг 1 млн. м^3. На рис. 2. 31 показаны основные стадии движения лавины и поперечный профиль лавинного потока в различные моменты движения.

Глава 10. Снежно-воздушная волна лавины

Впервые со снежно-воздушной волной лавины жители Кировска непосредственно столкнулись 16 февраля 1938 года. Снежная лавина объемом 50 тыс. м^3 обрушилась с Апатитовой горы и разрушила здание столовой на первом участке рудника им. С. М. Кирова. Падение лавины на этом склоне ожидалось, и работы на участке не производились, а рабочие находились в здании столовой, ожидая прекращения лавинной опасности. Основная часть лавины остановилась в 20 метрах от столовой, но образовавшаяся снежно-воздушная волна сорвала деревянное здание столовой с фундамента и разбила его о каменное здание, расположенное ниже в 50 м. Погиб 21 горняк.

Механизм возникновения снежно-воздушной волны был неизвестен, и никто не мог предположить ее такую разрушительную силу, однако по данному факту было заведено уголовное дело. Начальник Снежно-метеорологической службы И. К. Зеленой и начальник Кировского рудника И. М. Борушко были арестованы и почти год доказывали свою невиновность в ленинградской тюрьме «Кресты».

6 января 1983 около 23 часов мне сообщили, что группа туристов попала под лавину в районе Северного отвала Кировского рудника. Через полчаса я был на месте происшествия. К счастью, все 9 туристов откопались сами. Обследование лавины, проведенное специалистами на следующий день, показало, что только по счастливой случайности туристы оказались живы. Их спасла снежно-воздушная волна, которая в нижней части склона обогнала плотное ядро лавины. Если бы не снежно-воздушная волна, которая выбросила палатку с туристами на отвал, то они были бы завалены у основания отвала трехметровым слоем лавинного снега. В то же время средняя высота лавинных отложений на отвале была всего 30 см. Это помогло туристам освободиться из лавинного плена самостоятельно.

Явление, возникающее при падении лавины и вызывающее разрушения вне зоны отложения основной массы лавинного снега, принято называть снежно-воздушной волной. Разрушительный путь снежно-воздушной волны в Хибинах может достигать 200 – 300 м. До недавнего времени существовало несколько гипотез, объясняющих возникновение воздушной волны лавин. Образование воздушной волны объяснялось сжатием и вытеснением воздуха перед фронтом движущейся лавины, вовлечением прилегающего к лавинному телу воздуха в движение, в результате чего может образоваться полукольцевой вихрь с осью в плоскости, перпендикулярной направлению движения лавины, который при торможении лавины отрывается от нее и движется самостоятельно, производя разрушения на своем пути.

Образование воздушной волны связывается с выжиманием воздуха из тела лавины при ударе о дно долины или откос русла, что вызывает скачок давления в воздухе, величина которого зависит от скорости, объема и пористости лавинного снега. При прыжке лавины с уступа происходит сжатие воздуха, а затем выталкивание его под давлением в виде разрушительной струи.

Эксперименты, проведенные учеными МГУ на телеметрическом комплексе для измерений основных параметров снежно-воздушной волны в натурных условиях в Приэльбрусье, установили ее природу. Оказалось, что снежно-воздушная волна – это поток взвешенной в воздухе снежной пыли, средняя плотность которого на порядок превышает плотность воздуха [26]. Известно, что ураганный ветер, который ломает

деревья, сносит крыши домов, имеет примерно такую же скорость, что и снежно-воздушная волна лавины. В связи с тем, что плотность снежно-воздушного потока лавины на порядок выше чистого воздуха, ее разрушительная сила соответственно примерно в 10 раз выше ураганных порывов ветра.

Снежно-воздушные волны обычно связывают с пылевыми лавинами. В зоне торможения лавины снежно-воздушное облако начинает обгонять основное ядро лавины и в дальнейшем начинает отрываться от него, двигаясь по инерции. Основными параметрами снежно-воздушного потока являются скорость V и его плотность ρ. Давление на препятствие оценивается как:

$$P = 0{,}5\rho V^2.$$

Максимально измеренное значение давления в снежно-воздушном облаке составило 0,8 т/м^2, что на два порядка меньше давления, оказываемого уплотненной массой ядра лавинного тела.



Рис. 2.32. Датчик МГУ для измерения давления снежно-воздушной волны

Тем не менее этого достаточно, чтобы сбросить с рельсов поезда, перевернуть на дороге автомобиль, разрушить деревянное здание, сломать вековые деревья и вынести их на сотни метров. По мере удаления снежно-воздушного облака от места его зарождения



Рис. 2.33. Отрыв снежно-воздушного облака от основного ядра лавины



Рис. 2.34. Вековые ели, вынесенные воздушной волной на полотно железной дороги. Лавинный очаг №7. 22.02.2002 г.

давление быстро уменьшается. Полное затухание снежно-воздушной волны происходит на расстоянии, равном 10–20% дальности выброса лавины.

В зоне воздействия снежно-воздушной волны стволы деревьев, стены зданий и другие вертикальные препятствия с нагорной стороны покрываются плотным слоем снега, а на горизонтальных поверхностях откладывается рыхлый моховидный слой снежной пыли.

Глава 11. Предупредительный спуск лавин

Снежные карнизы образуются с подветренной стороны хребта благодаря действию ветра, который переносит снег с наветренной стороны. Здесь из-за разряжения потока получается завихрение, отбрасывающее снег к гребню. В результате этого процесса на гребне нарастает снежный карниз, достигающий иногда толщины в несколько метров. Несколько ниже карниза, как правило, метелевый снег образует снежный надув, который и формирует основную массу лавины.

Самопроизвольное падение карнизов в Хибинах очень часто приводит к нарушению устойчивости нижележащей толщи снега и инициирует сход лавин. Этот факт был использован для предупредительного спуска лавин. Первое время карнизы подпиливались пилами или тонким тросом. Для искусственного образования обвала сначала снежный карниз прорезается двумя траншеями, перпендикулярными склону, затем под карниз забрасывается стальной трос диаметром 5–7мм, после чего два рабочих с обоих концов троса довольно легко пропиливают карниз.



Рис. 2.35. Спиливание снежного карниза стальным тросом

Если плоскость пропила наклонена к горизонту под углом 20–25^0, т. е. не менее угла внутреннего трения снега, то карниз соскальзывает по плоскости пропила без дополнительных усилий. Этот метод эпизодически применялся в Хибинах в 1933–1936 гг., однако он оказался очень малопроизводительным. Чтобы обрушить 3–4 погонных метра карниза, требовалось усилие нескольких человек.

Геолог П. Ф. Семеров предложил производить подрыв снежных карнизов аммоналом. Большой эффект получался при одновременном взрыве нескольких зарядов, расположенных по фронту карниза. Этим способом удавалось надежно обезопасить склон на протяжении 200–300 м. Взрывчатку в мешках закладывали в ямы, выкопанные в карнизе.



Рис. 2.36. Подрыв снежного карниза

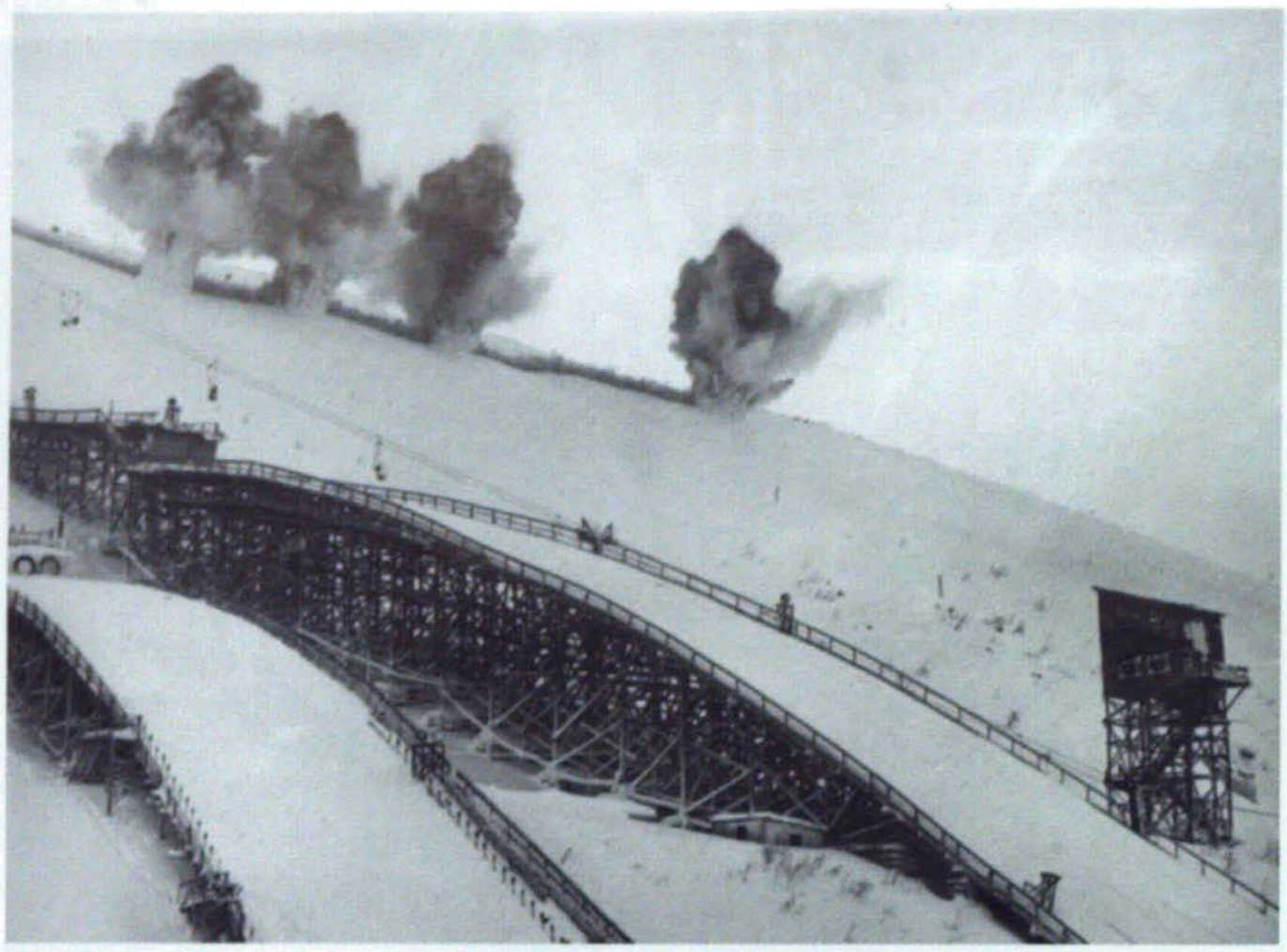


Рис. 2.37. Обрушение снежного пласта с помощью взрывчатых веществ в районе трамплинов 12 февраля 1981 года

В течение зимы 1934–1935 гг. таким образом была спущена 51 лавина [51,48].

В последние годы для уменьшения простоев Центрального рудника применяют мощные взрывы ВВ, расположенные у подножия склона. Например, 20 января 1998 года были одновременно взорваны три заряда весом 850, 600 и 600 кг, которые были расположены у основания дамбы, расположенной на конусе выноса лавин. В результате взрывов отраженная от дамбы ударная волна достигла зоны формирования лавин, вызвав сход 5 лавин общим объемом 30 000 м^3. Практически весь снег с близлежащих склонов гор был снесен воздушной волной, образовавшейся в результате взрыва ВВ.

В настоящее время применение взрывчатых веществ с целью предупредительного спуска лавин все же ограничено. Этот метод довольно трудоемкий и требует безопасного подхода к месту формирования лавин. Как правило, взрывчатые вещества в Хибинах применяются, если нет возможности использовать минометы. Например, если осколки мин представляют опасность постройкам или линиям электропередачи.

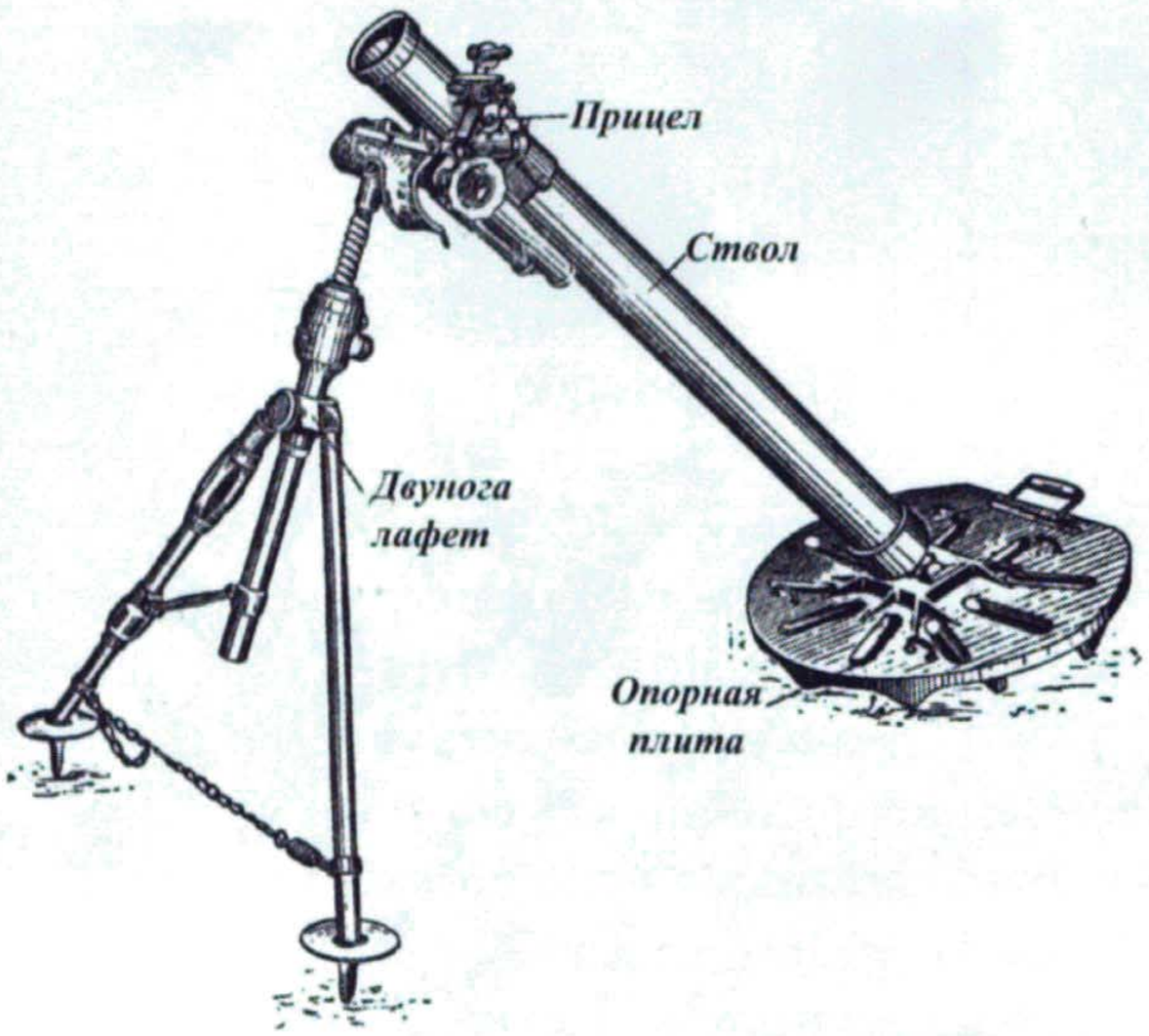


Рис. 2.38. 82-миллиметровый миномет. Обр. 1937 г.

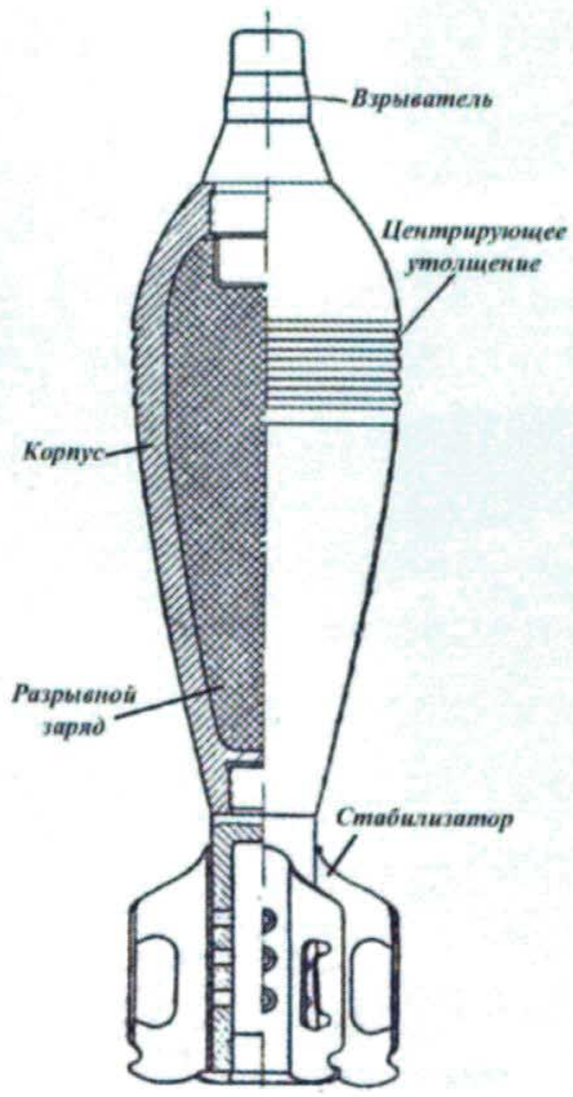


Рис. 2.39. 82-миллиметровая осколочная мина



Рис. 2.40. Основные типы минометов и мин, применяемых в Центре лавинной безопасности. Слева направо: М-160, ДМ-160 и ПМ-120

Впервые для предупредительного спуска лавин стал использоваться 82-миллиметровый миномет в 1939 году. В декабре 1940 года в результате обстрела из 82-миллиметрового миномета Апатитовой горы сошла лавина объемом 120 000 м^3. Однако использование 82-миллиметрового миномета выявило серьезные недостатки. Энергия взрыва была довольно слабой, и мины часто не взрывались в мягком глубоком снегу.

Для повышения эффективности минометных обстрелов лавиноопасных склонов в 1955 году был получен из армии полковой 120-миллиметровый миномет, а в 1963 году дивизионный миномет калибра 160 мм.

Технические характеристики минометов, бывших и находящихся на вооружении Центра лавинной безопасности, приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9

Тип миномета	Калибр, мм	Вес миномета, кг	Вес мины, кг	Вес заряда ВВ, кг	Максимальная дальность стрельбы, м
Батальонный миномет БМ-82	82	56	3,4	0,43	3040
Полковой миномет ПМ-120	120	282	15,9	3,00	5700
Дивизионный миномет ДМ-160	160	1170	40,9	7,78	5100
Дивизионный миномет М-160	160	1300	41,1	9,00	8040

В 1964 году сотрудники Цеха противолавинной защиты комбината «Апатит» В. Н. Аккуратов и В. Д. Пантелеев провели эксперимент по изучению влияния разрывов 120- и 160-миллиметровых мин на снежный покров. Огонь проводился осколочно-фугасными минами по снежному покрову различной толщины, после чего исследовались воронки от разрыва мин. При установке взрывателя на «З» (замедленное действие) осколочно-фугасная мина взрывается как фугасная, т. е. внутри снега или грунта, при установке взрывателя на «О» (осколочное действие) мина взрывается в момент касания с преградой. В случае когда снежный покров был достаточно устойчивым, разрыв фугасной мины внутри снежного покрова повышал устойчивость снега на склоне. Снег вокруг воронки имел более высокую прочность, а ослабленные слои снега были разрушены. Каждая воронка от разрыва фугасной мины, как якорь, удерживает снег на склоне. В результате проведенных исследований В. Н. Аккуратов и В. Д. Пантелеев пришли к заключению о возможности повышения устойчивости снега на склоне путем минометных обстрелов. В течение 6 зим там, где проводились минометные обстрелы с целью стабилизации снежного покрова на лавиноопасных склонах, крупных лавин не наблюдалось [3].

Многолетняя практика использования минометов показала, что осколочные мины взрываются на поверхности снежного покрова и воздействуют более эффективно на снежный покров, чем фугасные мины, которые взрываются внутри снежной толщи. Это происходит потому, что ударная волна быстро затухает внутри снежного покрова, однако распространяется более свободно через воздух и грунт, поражая при этом большую зону. Были случаи, когда от разрыва одной мины на поверхности снежного покрова или на скалах одновременно сходили лавины из двух различных лавиносборов.

Результаты минометных обстрелов лавиносборов с 1956 по 2004 год приведены в таблице 2.10.

Таблица 2.10

Калибр миномета, мм	Количество обстрелов	Количество мин	Количество лавин	Суммарный объем лавин, тыс. $м^3$
120	237	7138	212	1357
160	409	6306	1013	2463

Таблица 2.10 показывает существенную разницу в эффективности между 120-миллиметровым и 160-миллиметровым минометами. Для спуска одной лавины средним объемом 6400 $м^3$ в среднем было израсходовано 34 мины калибра 120 мм, и 6 мин калибра 160 мм потребовалось для спуска одной лавины средним объемом 2400 $м^3$. Мощный взрыв 160-миллиметровой мины позволяет спустить лавины, когда снег еще довольно устойчивый, и позволяет избежать угрозы схода катастрофических лавин при систематических обстрелах лавиноопасных склонов. Успех спуска лавин путем минометного обстрела зависит от четырех основных параметров: устойчивости снежного покрова на склоне, калибра миномета, места взрыва мины на склоне и типа мины.

Как правило, большинство лавин в Хибинах сходят во время метели или сразу после ее окончания, поэтому минометные обстрелы следует проводить сразу после метели, когда устойчивость снега на склоне слабая и даже малая дополнительная нагрузка достаточна для разрушения снежного пласта. При низких температурах снег остается неустойчивым в течение 4–5 дней.



Рис. 2. 41. Предупредительный спуск лавины.
Апатитовая гора. 22 марта 2001 г.

Весной, когда снег влажный, минометные обстрелы менее эффективны, чем в холодный период, когда снег сухой. Иногда минометные обстрелы проводятся с целью испытания устойчивости снежного покрова на склоне. Воронки разрывов от мин в зоне образования лавин, без их схода, указывают на стабильность снежного покрова.

Практика применения 120- и 160-миллиметровых минометов для предупредительного спуска лавин в Хибинах выявила их очевидные преимущества по сравнению с другими артиллерийскими системами. Малый вес минометов и значительный вес заряда обеспечивают их высокую эффективность в проведении профилактических обстрелов лавиноопасных склонов гор.

Для сравнения приведены технические характеристики других артиллерийских систем, используемых для предупредительного спуска лавин в России и в США.

Зенитная пушка КС-19, используемая в противолавинных службах Северного Кавказа, имеет следующие технические характеристики: калибр –100 мм, вес системы – 9400 кг, вес снаряда – 32 кг, вес заряда – 1,46 кг, максимальная дальность – 19000 м [20].

Большая начальная скорость снаряда у орудий определяет больший вес и сложность артиллерийской системы. Так, 100-миллиметровое зенитное орудие КС-19 в 33 раза тяжелее 120-миллиметрового миномета МП-120 и имеет в 2 раза меньший разрывной заряд. Кроме того, навесной огонь минометов (45°– 80°), в отличие от других артиллерийских систем, дает



Рис. 2.42. Отказ
160-миллиметровой мины

возможность поражать закрытые цели в горах. И еще немаловажный фактор – минометы имеют меньше ограничений для выбора и оборудования огневой позиции по сравнению с другими артиллерийскими системами.

Приблизительный перечень артиллерийских систем, применяемых для предупредительного спуска лавин в США, приведен в таблице 2.11 [109].

Таблица 2.11

Артиллерийская система	Калибр (мм)	Вес заряда ВВ (кг)	Максимальная дальность стрельбы (м)
Гаубица	75	0,7	8800
Гаубица	105	2,3	11300
Безоткатное орудие	75	0,7	6350
Безоткатное орудие	105	2,0	8600
Аваланчер	–	1,0	1000

Основным недостатком использования военной артиллерийской техники для предупредительного спуска лавин является использование боевых мин и снарядов с большим разлетом осколков. Так, для 160-миллиметровых мин радиус разлета осколков составляет 630 метров. Это ограничивает их использование. С экологической точки зрения осколки снарядов и мин загрязняют окружающую среду.

Большую опасность представляют отказы, число которых достигает 7%. Ежегодно приходится производить их поиск и ликвидацию. Это трудоемкая и ответственная операция.

В настоящее время назрела необходимость создания специальных средств для предупредительного спуска лавин. Впервые такую попытку в середине 80-х годов прошлого века сделал В. Р. Болов. Он сконструировал специальное противолавинное ружье.

В качестве заряда в нем был использован звуковой патрон П-2 сигнала бедствия. Дальность стрельбы 100 м при весе заряда 0,15 кг. Это изделие было испытано специалистами в Хибинах. Наличие такого противолавинного ружья в арсенале противолавинной службы позволяет оперативно производить предупредительный спуск небольших по объему лавин в непосредственной близости от жилых и производственных зданий, в зоне горнолыжных трасс, железных и шоссейных дорог и линий ЛЭП. К сожалению, из-за несчастного случая противолавинное ружье В. Р. Болова было запрещено для использования.

Возможно, разработанный Е. К. Чигаровым и Н. Г. Штульманом с соавторами опытный образец индивидуального противолавинного комплекса в случае запуска его в производство частично решит проблему профилактического спуска лавин в горах. Безосколочная, безоболочная граната массой до 0,65 кг, снабженная взрывателем ударного действия и самоликвидатором, будет более эффективно воздействовать на снежный покров, чем звуковой патрон П-2. При массе противолавинного комплекса 5,5 кг дальность стрельбы достигает 800 метров [103].



Рис. 2.43. Обрушение снежных карнизов с помощью противолавинного ружья. г. Айкуайвенчорр. 27.04.05 г.

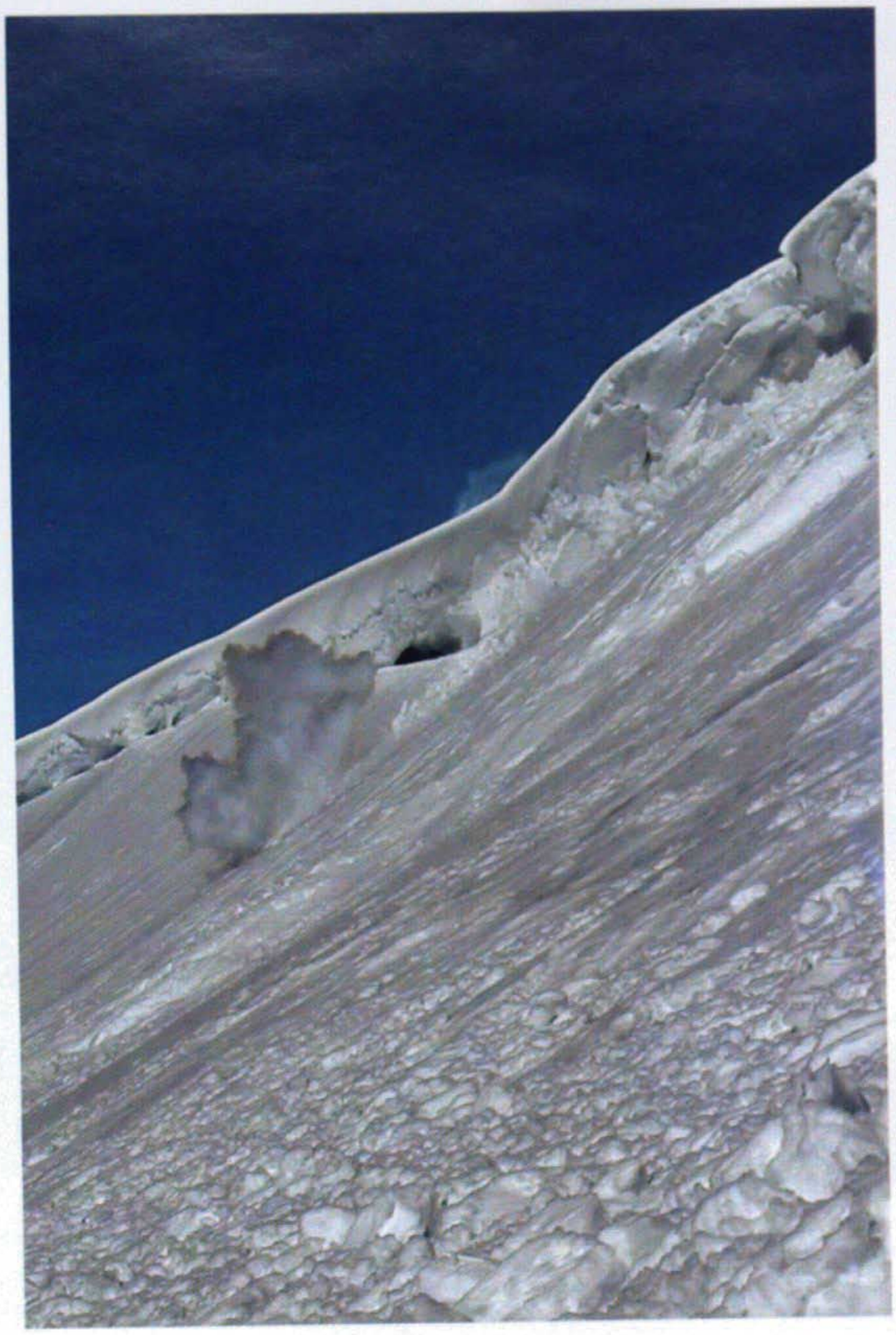


Рис. 2.44. Разрыв сигнального патрона П-2 под снежным карнизом. г. Айкуайвенчорр. 27.04.05 г.

Глава 12. Лавины с горы Юкспор

§ 1. Гора-убийца.

Статистика несчастных случаев и данные о снежных лавинах, сошедших в районе г. Кировска, позволяют определить участки повышенного риска. Особое место занимает гора Юкспор. Во время строительства пос. Кукисвумчорр никто не предполагал, какую опасность представляют снежные лавины. Жилые дома строили на конусах выноса снежных лавин непосредственно у склона гор, а железнодорожную ветку Юкспорйок – Нефелин построили еще выше по склону горы.

Только после трагедии 5 декабря 1935 года дома, находящиеся непосредственно у склона горы, начали расселять. Эксплуатация железной дороги была настолько опасной, что во время ее расчистки от снежных заносов и лавинных отложений (чистили ее вручную специальные бригады рабочих) начальник противолавинной службы В. П. Пузанов поднимался выше по склону горы. В случае схода лавины он разделил бы участь рабочих и таким образом избежал уголовного преследования.



Рис. 2.45. Расчистка железнодорожного полотна под контролем В. П. Пузанова

Юкспорский тоннель, построенный в 1959 году, снял транспортную проблему Кировского и Юкспорского рудников, а железнодорожная ветка Юкспорйок – Нефелин стала иметь второстепенное значение.

В конце 60-х – начале 70-х годов для защиты гаража «Юбилейный» от лавин конусы выноса лавиносборов №13 и №14 были террасированы, а выше железной дороги по рекомендации ученых Проблемной лаборатории снежных лавин и селей МГУ был построен железобетонный противолавинный забор.

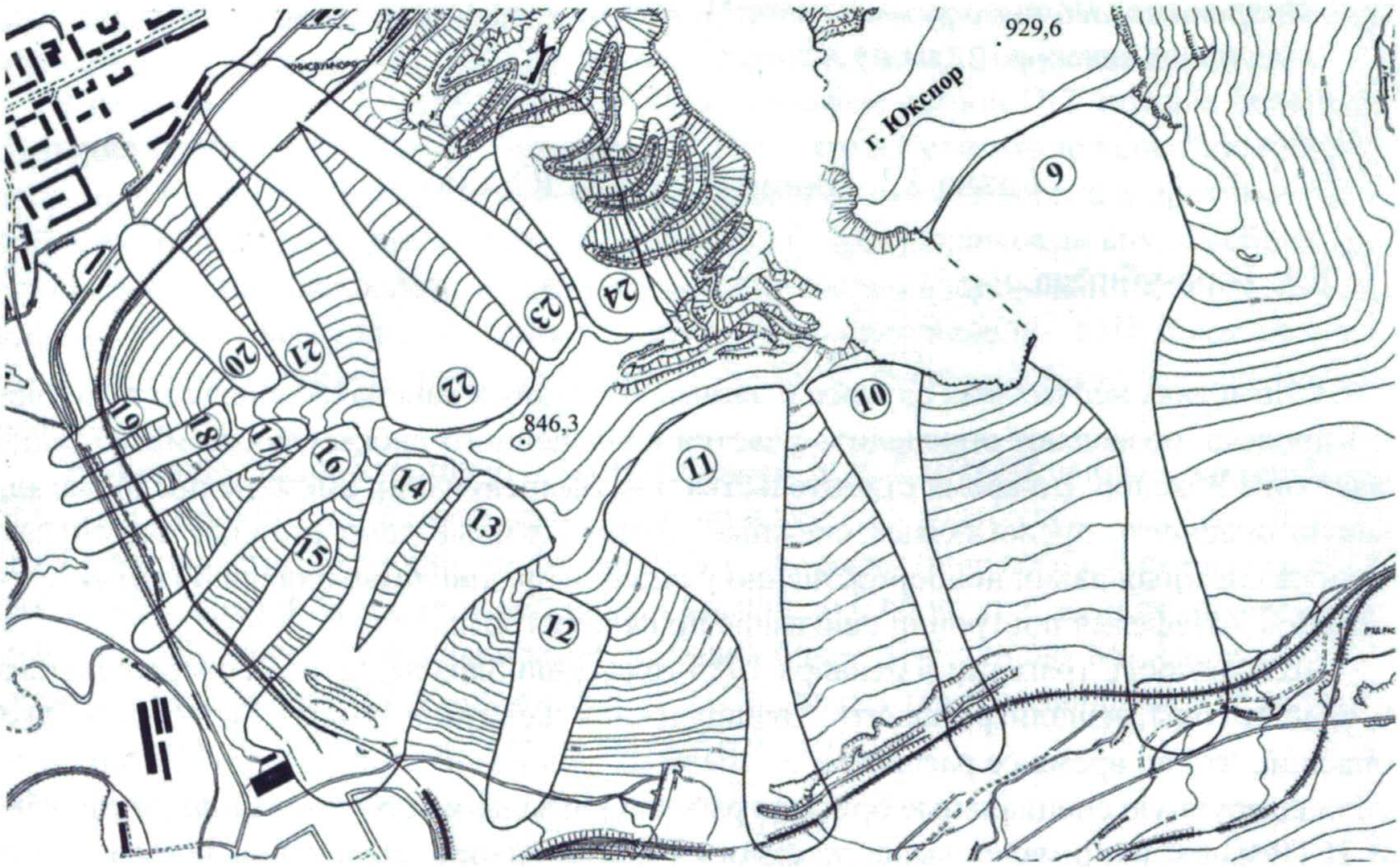


Рис. 2.46. г. Юкспор. Контуры лавиносборов №№ 9–24

Для нейтрализации катастрофических лавин на конусах выноса лавиносборов №22 и №23 были построены капитальные защитные сооружения, состоящие из двух защитных дамб и карьера-ловушки между ними.

Для защиты от лавин павильона №2 магистральной теплосети на Кировский рудник на конусе выноса лавиносбора №19 был построен железобетонный лавинорез.

В результате эксплуатации нагорного карьера Юкспорского рудника лавиносбор №24 сильно изменился. По его склону была построена дорога на плато Юкспор, которая в значительной степени уменьшила лавиноопасную зону и исключила возможность схода катастрофических лавин, которые имели место раньше.

Сейчас можно с уверенностью сказать, что на пути движения юкспорских лавин поставлена надежная защита, однако это не относится к любителям экстремальных горных видов спорта, которые, рискуя своей жизнью, расписывают лыжами и сноубордами самые опасные склоны горы-убийцы.

§ 2. Хроника аварий и несчастных случаев на горе Юкспор

Лавиносбор № 9

14 ноября 1955 года снежная лавина объемом 1 тыс. м^3 снесла буровую вышку.

9 октября 1956 года снежная лавина объемом 100 м^3 снесла буровую вышку и травмировала 4 рабочих.

5 апреля 1985 года снежная лавина объемом 70 тыс. м^3 повредила буровой станок, сорвала высоковольтные кабели, столбы линии электропередачи.

Лавиносбор № 10

12 февраля 1960 года снежная лавина объемом 60 тыс. м^3, вызванная минометным обстрелом, перекрыла расчетную дальность выброса и разрушила двухэтажный



Рис. 2.47. Разрушенный лавиной дом в пос. Юкспорйок. 12.02.1960 г.

деревянный дом в поселке Юкспорйок. 3 жителя дома, отказавшиеся выйти из дома на время обстрела, погибли. Заместитель начальника противолавинной службы был привлечен к уголовной ответственности.

Лавиносбор № 16

24 апреля 1934 года снежная лавина шириной 60 метров пересыпала железнодорожный путь, сбросила паровоз и груженый вагон с рельсов и вырвала 3 звена рельсов.

5 декабря 1935 года снежная лавина объемом 10 тыс. м^3 сорвала рельс, в результате чего сошел с пути паровоз.

Лавиносбор № 17

27 февраля 1936 года снежная лавина объемом 1 тыс. м^3 пересыпала железнодорожный путь и засыпала на нем рабочего.

16 марта 1937 года снежная лавина травмировала железнодорожного рабочего.

Лавиносбор №18

18 января 1935 года снежной лавиной были травмированы 6 железнодорожных рабочих.

14 января 1962 года снежная лавина объемом 4 тыс. м^3 опрокинула легковой автомобиль на шоссейной дороге Кировск – Кукисвумчорр.

Лавиносбор № 22

7 мая 1934 года снежная лавина объемом 10 тыс. м^3 сбила семафор, 3 столба, сорвала 120 метров рельсов со шпалами и повредила 240 метров железнодорожного пути.

5 декабря 1935 года снежная лавина объемом 57 тыс. м^3 снесла 2 столба высоковольтной линии, семафор, 2 жилых двухэтажных дома, повредила еще 3 жилых дома, унесла жизни 88 человек, 42 жителя были ранены.

20 января 1965 года снежная лавина объемом 72 тыс. м^3 засыпала 220 м железнодорожного пути, сорвала со шпал 70 м рельсов, сломала 4 столба высоковольтной линии, 20 столбов телефонной линии, разрушила 2 сарая и засыпала здание насосной.



Рис. 2.48. Лавиносбор №22. Примерно такая лавина унесла жизнь 88 жителей пос. Кукисвумчорр 5 декабря 1935 г.

8 декабря 1981 года снежная лавина объемом 37 тыс. м^3 шириной 150 м пересыпала железную и шоссейную дороги, разбила 3 гаража, повредила автомобиль, мотоцикл и снегоход.

5 апреля 1985 года снежная лавина шириной 200 м пересыпала железную дорогу, автодорогу и полностью разрушила 6 сараев и трубопровод теплотрассы.

2 января 1986 года снежная лавина шириной 100 метров пересыпала железную дорогу.

9 февраля 1987 года снежная лавина шириной 150 метров пересыпала железную и шоссейную дороги на протяжении 240 метров, разрушила теплотрассу ЦПС и частный гараж.

26 января 1989 года снежная лавина повредила буровой станок и компрессор у строителей противолавинных сооружений.

Лавиносбор № 23

27 ноября 1934 года снежная лавина завалила паровоз и 4 вагона.

5 декабря 1935 года снежная лавина объемом 33 тыс. м^3 сбила паровоз, разрушила дом. 1 человек погиб и двое ранено.

17 января 1984 года снежная лавина шириной 140 метров пересыпала железную и шоссейную дороги, разрушила 4 частных гаража.

5 апреля 1985 года снежная лавина шириной 150 метров пересыпала железную дорогу.

2 января 1986 года снежная лавина шириной 50 метров пересыпала железную дорогу.

Лавиносбор № 24

25 декабря 1935 года снежная лавина объемом 50 тыс. м^3 засыпала 10 человек, один из которых – Г. С. Пронченко – погиб.

20 октября 1936 года снежная лавина объемом 4 тыс. м^3 засыпала 2 человек, один из которых погиб.

30 января 1938 года снежная лавина объемом 80 тыс. м^3 сбила телефонный столб, порвала осветительную линию и засыпала стрелочницу.

14 ноября 1955 года снежная лавина объемом 100 м^3 унесла жизнь работника Юкспорской геологической партии.

Глава 13. Лавины, связанные с горными работами

§ 1. Лавины с нерабочих бортов карьеров

Первые исследования возможности возникновения снежных лавин внутри карьеров на их бортах были начаты в 1967 году Кольским филиалом АН СССР [10]. Сопоставление параметров карьеров комбината «Апатит» и метелевого переноса снега показало возможность не только заполнения предохранительных и транспортных берм, но и накопление снега до 3–4 м поверх сглаживающей уступы плоскости.

Последующие исследования показали, что снегонакопление на рабочих уступах не может достигать опасных размеров, допускающих возникновение снежных лавин. Емкости рабочих уступов намного превосходят суммарный объем снегонакопления, в том числе и метелевый перенос снега [62]. На рабочих уступах опасному накоплению снега препятствует не только их большая ширина, обеспечивающая большую поглощающую снегоемкость, но и сам процесс работы, при котором снег с уступов удаляется путем специальной очистки.



Рис. 2.49. Схематический профиль нерабочего борта карьера

В то же время на нерабочих уступах снегоемкость примерно в шесть раз меньше, а расчистка снега на них не производится. Поэтому возникают реальные условия для опасного накопления снега на них за счет метелевого переноса снега и выпадения твердых осадков.

Сопоставив затраты на систематическую расчистку нерабочих берм, научный сотрудник Горного института Кольского филиала АН СССР Э. Б. Красносельский пришел к выводу, что изменение параметров карьера в конечном счете обходится дешевле, чем снегоочистные и другие виды профилактических работ, связанные с устранением лавинной опасности. При этом достаточно увеличить емкости верхних берм нерабочего борта, чтобы защитить карьер не только от снежных лавин, но и от снежных заносов со стороны этого борта.

К сожалению, из-за ошибок при проектировании или отступлений от проекта снегоемкость берм не всегда соответствует реальным накоплениям снега. К тому же с течением времени бермы карьеров разрушаются, что в конечном итоге приводит к опасным снегонакоплениям на бортах карьеров и сходу небольших лавин.



Рис.2.50. Саамский карьер. 1 – место отрыва лавины, 2 – место гибели водителя. 24.03.1983 г.

24 марта 1983 года с бермы Саамского карьера сошла лавина, которая унесла жизнь водителя автосамосвала. Это было неожиданностью для меня, т. к. за полчаса до этого я осматривал склоны гор над Саамским карьером. Тогда я не мог и предположить, что небольшое снежное поле на уступе 440 м может обрушиться на транспортную берму 368 м.

А дело было так. Автосамосвал застрял на заснеженной берме 368 м горизонта, и водитель пошел за бульдозером. Во время сцепки троса к бульдозеру с откоса вышерасположенной бермы обрушился снег прямо между самосвалом и бульдозером. Когда снежная пыль рассеялась, буль-

дозерист увидел, что водитель завален снегом, и побежал за помощью. Горноспасатели откопали водителя около сцепного устройства бульдозера уже мертвым.

В процессе детального обследования места гибели водителя самосвала было выявлено, что часть бермы со временем разрушилась и на ее откосе образовалась выемка общей площадью около 100 м^2, которая заполнилась метровым слоем метелевого снега. Работа двигателей автосамосвала и бульдозера явилась дополнительным импульсом для его обрушения.

§ 2. Лавины с откосов горных отвалов

По данным исследований, проведенных П. А. Черноусом, минимальная протяженность лавиноопасного склона в Хибинах составляет около 20 метров. В связи с большими объемами открытых горных работ отсыпан ряд отвалов вскрышных горных пород, откосы которых не только достигают такой длины, но и значительно превышают ее.

В связи с тем, что угол естественного откоса отвалов составляет 30–40^0, склоны таких отвалов сами по себе становятся лавиноопасными. При благоприятных направлениях снегопереноса на откосах образуются отложения метелевого снега, вполне достаточные для формирования лавиноопасных толщ снега. На склонах таких отвалов нами неоднократно наблюдались обрушения пластовых лавин объемом до нескольких сотен м^3, которые представляли реальную угрозу для людей и техники. Таким образом, необходимо провести ревизию лавиноопасных участков на территории производства горных работ ОАО «Апатит» и разработать дополнительные мероприятия по предупреждению аварий и несчастных случаев от снежных лавин с откосов отвалов вскрышных пород и нерабочих бортов карьеров.

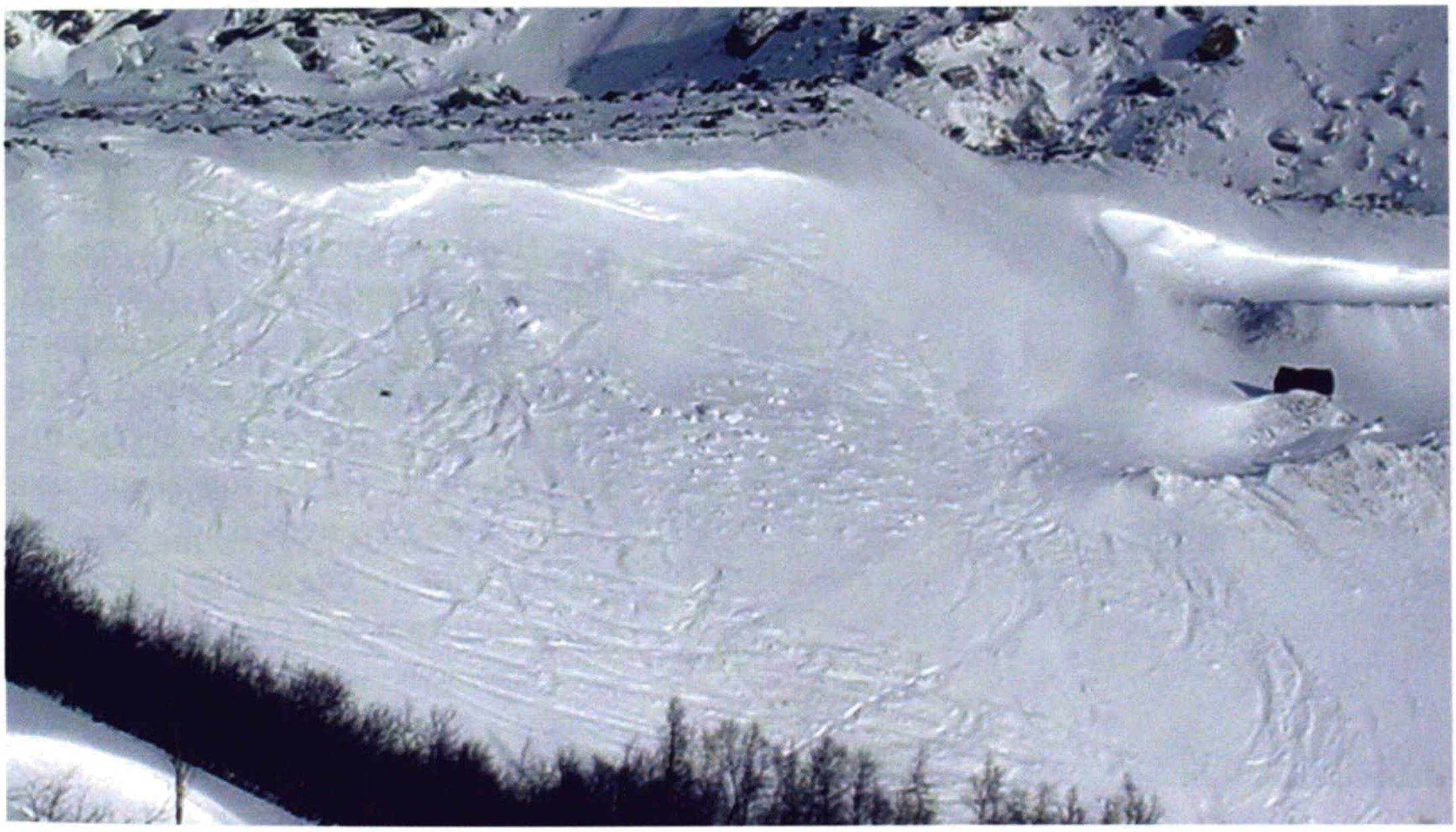


Рис. 2.51. Откос отвала со следами лавины, вызванной сноубордистами. 26.02.2006 г.

§ 3. «Домашние» лавины

Снег на покатых крышах домов, снежные навесы и ледяные сосульки представляют серьезную опасность жизни людей. В Кировске известны два случая гибели людей от падения с крыш домов обледеневших глыб снега. Общее же число жертв по стране от таких «домашних» лавин превышает число погибших людей в горах.

Особенно опасны оттепели после обильных снегопадов и метелей. Во время оттепелей весь пласт снега соскальзывает с покатых металлических крыш домов в Кировске. Основная причина обрушения снежного пласта – образование свободной влаги на поверхности железного листа крыши, который подогревается восходящим потоком теплого воздуха от отапливаемых помещений дома.

Глава 14. Инженерные противолавинные сооружения

В первые годы освоения хибинских апатито-нефелиновых месторождений строительство жилых, социальных и промышленных объектов проводилось без учета угрозы, создаваемой снежными лавинами, недооценка которой стала очевидной после катастрофы 5 декабря 1935 года. В связи с этим трест «Апатит» был поставлен перед необходимостью срочного проведения большого объема работ по защите многочисленных объектов, расположенных в лавиноопасных зонах. Основными объектами, находящимися под угрозой лавин, являлись: отдельные участки жилой застройки пос. Кукисвумчорр, пос. Юкспорйок, промышленные зоны, расположенные у подножия северного склона горы Айкуайвенчорр, железнодорожная ветка треста «Апатит» на участке Юкспорйок – Нефелин и территории Апатитового, Юкспорского и Ловчорритового рудников [29].

§ 1. Воспрепятствование интенсивному снегонакоплению в лавиносборах



Рис. 2.52. Ряд снегозадерживающих щитов на плато Юкспор

Частые перерывы в работе Кировского рудника в первую половину зимы 1936–1937 гг., вызванные опасностью падения снежных лавин на главные откаточные пути, потребовали немедленной выработки каких-либо мер защиты угрожаемой территории, не связанных с возведением капитальных сооружений.

Наблюдения над снеговым покровом в горах, проводимые в Швейцарии в целях изучения снегонакопления в лавиносборах, показали, что для ряда районов мощные отложения снега не являются следствием нор-

мального выпадения осадков, а связаны с переносом снега ветром. Последнее обстоятельство навело на мысль, что одним из методов борьбы со снежными обвалами может являться искусственное задержание переносимого ветром снега.

Наличие плато на вершине горы Юкспор позволило применить в качестве защиты систему деревянных снегозадерживающих щитов, которые воспрепятствовали переносу снега ветром на лавиноопасные склоны горы. Снегозадерживающая система представляла собой шесть рядов заборов длиной в 200 метров, составленных из щитов размерами 2×2 м. Ряды были установлены через каждые 80 м по ширине плато.

За время работы щитов с 17 января по 2 апреля 1937 г. в результате метелевого переноса снега щиты были полностью занесены. Снегосъемка, проведенная на склонах защищаемого склона, показала, что высота снегового покрова там была на 14% ниже, чем на близлежащем аналогичном склоне. В результате работы снегозадерживающей системы на плато Юкспор опасность схода лавин на территорию Кировского рудника снизилась, но не была устранена полностью.

§ 2. Искусственное укрепление снежного покрова на склонах гор

Уже в 1936–1937 гг. началась застройка верхних частей лавиносборов № 22 и 23 снегоудерживающими щитами. Деревянные щиты высотой 2,5–3,0 м, состоящие из досок толщиной 7 см, крепились к отрезкам железнодорожных рельсов, которые распологались через 3 м по длине и закреплялись в скале. Верхний конец рельса укреплялся оттяжкой из арматурного железа. Для меньшей заносимости снегом щиты были сделаны решетчатыми, с площадью просветов 25% и 50%.

Всего было построено три ряда щитов по 145 м каждый с 25-метровыми промежутками между рядами. Зимой 1937–1938 гг. произошел отрыв снега на участке, непосредственно примыкающем к склону, застроенному щитами. Снеговой покров между щитами дал многочисленные трещины, но щиты выдержали нагрузку снега. Это подтвердило значение щитов как меры, препятствующей образованию лавин. В то же время эффективность этого метода из-за интенсивной метелевой деятельности в Хибинах была не столь высока, как в Альпах. Несмотря на большую просветность щитов, они быстро заносились снегом, и даже был отмечен случай, когда снежный пласт оторвался поверх щитов.

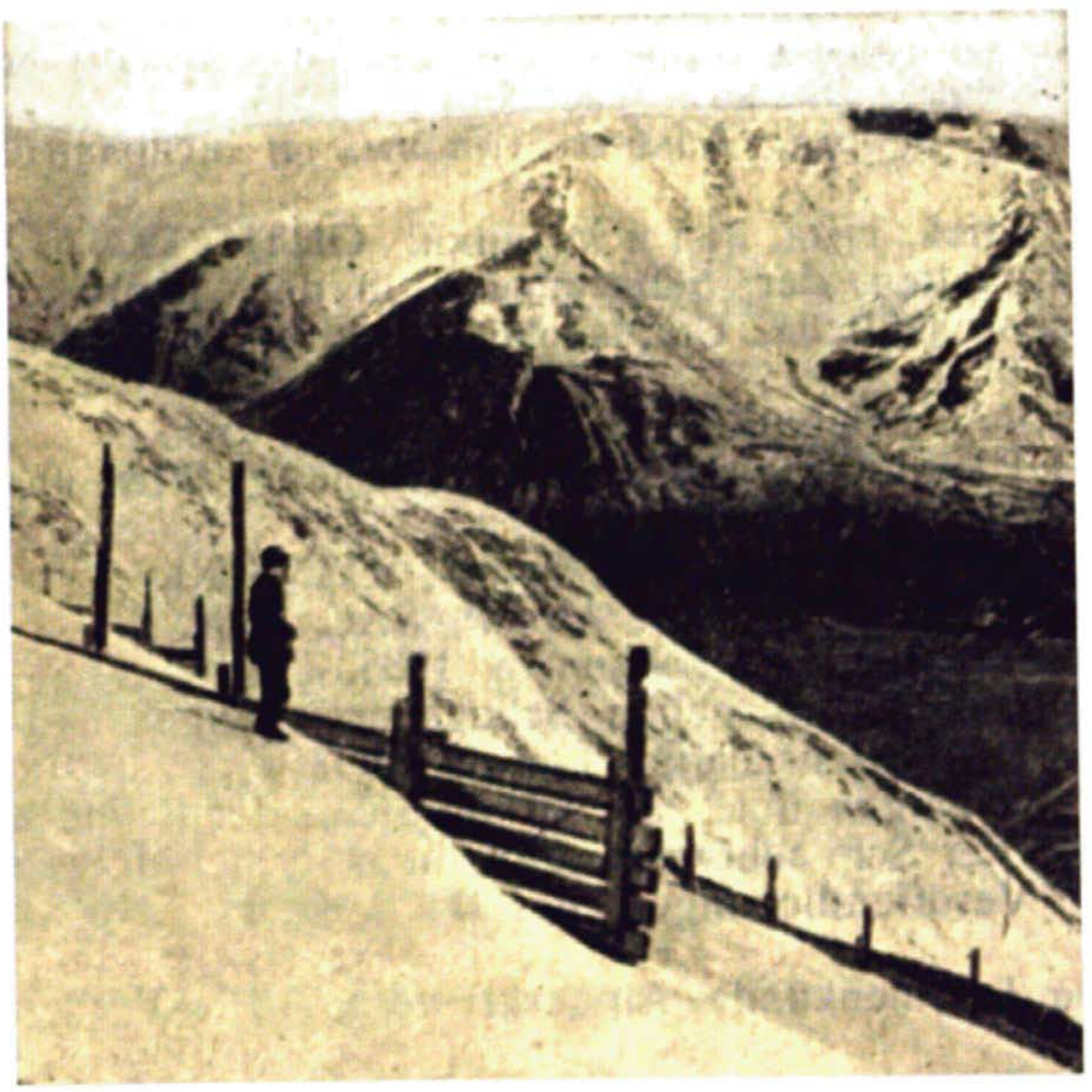


Рис. 2.53. Деревянные щиты на рельсовых опорах. г. Юкспор, л.о. 22

§ 3. Сооружения для разделения лавиннного потока



Рис. 2.54. Деревянные лавинорезы, л. о. 43

В 1936–1940 годы Г. Ф. Оттеном и А. Г. Гоффом был проведен эксперимент по разделению лавинного потока с помощью установленных в шахматном порядке на конусах выноса лавинных очагов № 24 и № 43 нескольких деревянных лавинорезов. В плане сооружения представляли собой бревенчатый треугольник с углом при вершине около 60^0 и длиной стороны 5 м, поставленный на фундамент. По внешнему виду боковые плоскости лавинореза были похожи на крылья птицы. Высота такой «птички» составляла около 5 метров. По замыслу проектировщиков, лавинорезы должны были снизить скорость движения лавин и уменьшить их дальность выброса. Из-за низкой прочности деревянные «птички» уже к началу 1941 года были полностью разрушены лавинами, поэтому оценить эффективность воздействия такого типа лавинорезов на динамические параметры лавин не удалось.

§ 4. Инженерные сооружения для изменения направления движения лавин

К таким сооружениям относятся: лавинорезы, отбойные дамбы и направляющие стенки. Первые противолавинные сооружения были возведены к зиме 1936–1937г г. для защиты участка железной дороги Юкспорйок – Нефелин. Для защиты от снежных лавин 27-го и 28-го км железнодорожной ветки Юкспорйок – Нефелин первоначально было решено построить противолавинные галереи, однако после экономических расчетов от этого предложения пришлось отказаться, т. к. выяснилось, что более рационально будет пробить тоннель через гору Юкспор.

На время строительства тоннеля безопасность движения поездов должна была обеспечиваться путем возведения в местах схода лавин отклоняющих стенок из снега. Стенки возводились из плотного метелевого или лавинного снега под углом 30^o к оси лавинного очага на его конусе выноса. Длина стенок доходила до 90 м, ширина 2–4 м, а высота достигала 3 м. С 1936 по 1941 год снежные стенки в шести лавинных очагах отклонили и задержали, не допустив завала железнодорожных путей, около 70 лавин. Шесть лавин, несмотря на стенки, все же достигли железнодорожных путей.

Однако необходимость постоянной расчистки стенок была связана с опасностью для жизни рабочих, поэтому в дальнейшем было решено по возможности от них отказаться и застроить лавиноопасные участки склонов по опыту швейцарцев защитными стенками и деревянными щитами на рельсовых опорах, препятствующими образованию обвалов.

Осенью 1937 года для защиты промышленных объектов, расположенных у подножия северного склона горы Айкуайвенчорр, была возведена система противолавинных сооружений. Необходимость этих сооружений была продиктована снежным обвалом, сошедшим 22 декабря 1936 года. Снежная лавина остановилась в непосредственной близости от Сфеновой и Ловчорритовой обогатительных фабрик.

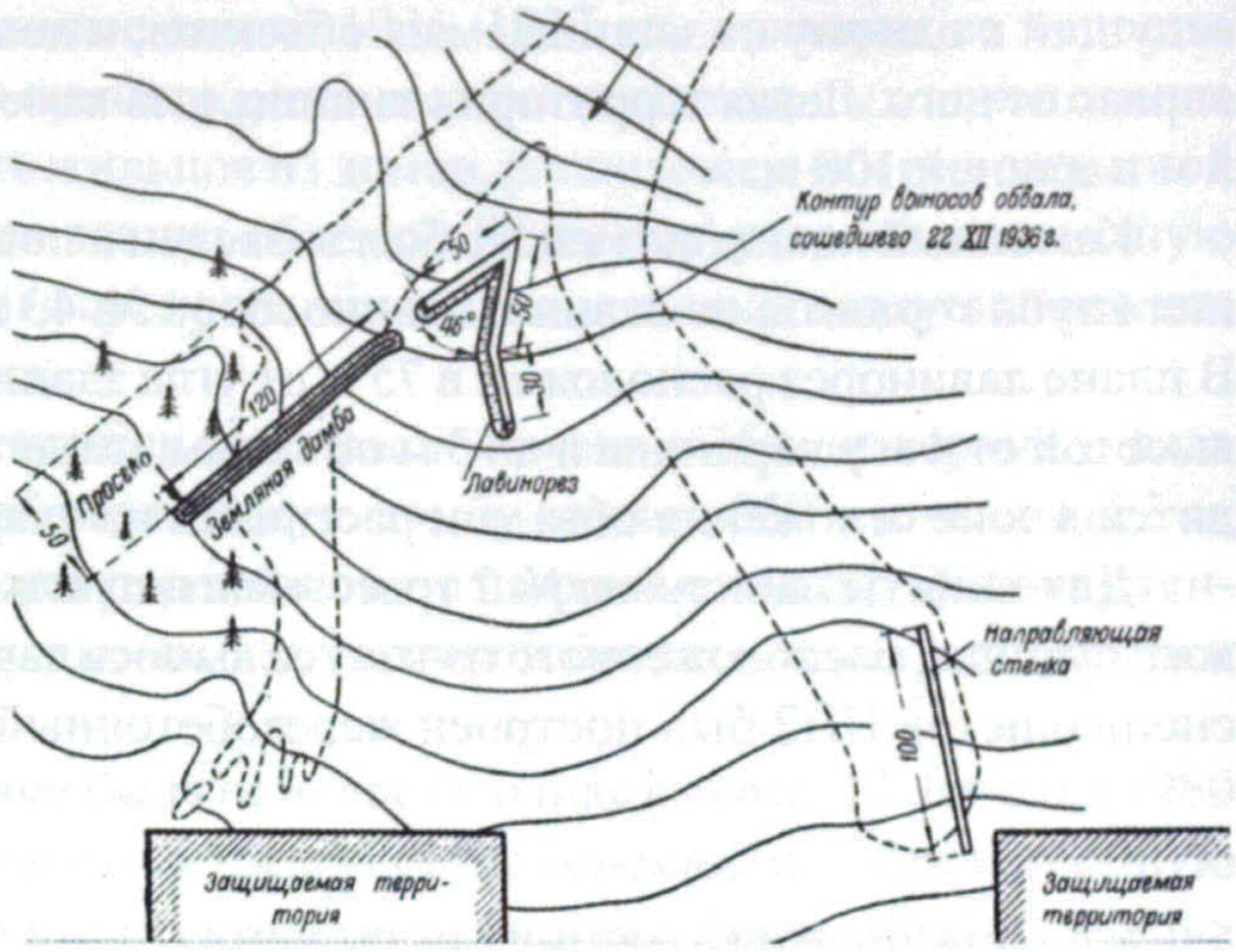


Рис. 2.55. Схема защиты от снежных лавин Сфеновой и Ловчорритовой обогатительных фабрик у северного склона горы Айкуайвенчорр

В качестве защиты Г. А. Гофф и Г. Ф. Оттен предложили соорудить на конусе выноса лавинного очага лавинорез, назначением которого было разделять лавину на два потока, направляя один из них между защищаемыми объектами, а другой – правее их.

Крылья лавинореза, высотой 5 м и длиной по 50 м, сходятся под углом в 46^0, они симметричны направлению движения обвала. Левое крыло лавинореза имеет еще добавочный участок длиной 30 м, примыкающий к основному под углом 25^0. Крылья лавинореза представляют собой стенки каменной кладки на цементном растворе, усиленные обратной засыпкой. Почти вплотную к правому крылу лавинореза примыкает земляная дамба, высотою 3 м и длиною 120 м. Она перегораживала неглубокий лог,



Рис. 2.56. Железобетонный лавинорез на конусе выноса лавинного очага №19

ведущий к одному из защищаемых объектов, и должна была обеспечить сброс лавины вправо от него. Левая территория защищалась каменной стенкой сухой кладки, высотой 5 м и длиной 100 м.

Каменный лавинорез также был возведен в поселке Кукисвумчорр для защиты здания клуба горняков от лавин с лавиносбора № 43 южного отрога горы Кукисвумчорр. В плане лавинорез расположен в 75 м от угла здания. Крылья лавинореза, длиной 30 м, высотой от 4 м у вершины и до 3 м по краям, сходятся под углом в 70°. Лавинорез находится в зоне отложения обвала и рассчитан на удар лавины при скорости в 13 м/сек.

Для защиты павильона № 2 трассы магистральной теплосети на площадку Кировского рудника, расположенного на конусе выноса лавинного очага № 19, по предложению специалистов ЦПЗ был построен железобетонный лавинорез.

§ 5. Лавинотормозящие сооружения

Для торможения или полной остановки лавин на практике применяются надолбы, земляные бугры, лавиногасители, отбойные стенки и дамбы.

Летом 1936 года для защиты поселка Юкспорйок и участка поселка Кукисвумчорр, расположенного на конусе выноса лавинного очага №24, по проекту Г. Ф. Оттена и А. Г. Оттена были построены отбойные стенки.

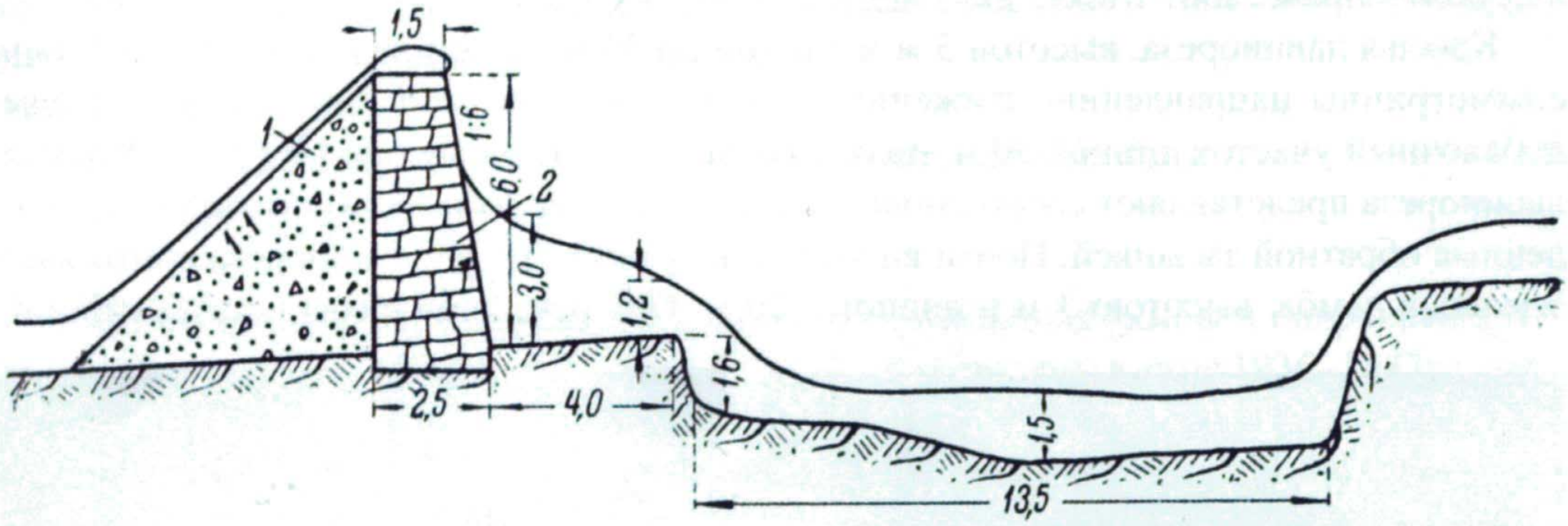


Рис. 2.57. Поперечный профиль отбойной стенки в лавинном очаге №24

Отбойная стенка в поселке Кукисвумчорр была возведена выше полотна железной дороги, непосредственно против лавинного очага № 24. Она представляла собой дугообразную каменную стенку длиной 106 метров и высотой по центру 6 метров и по краям 3 метра.

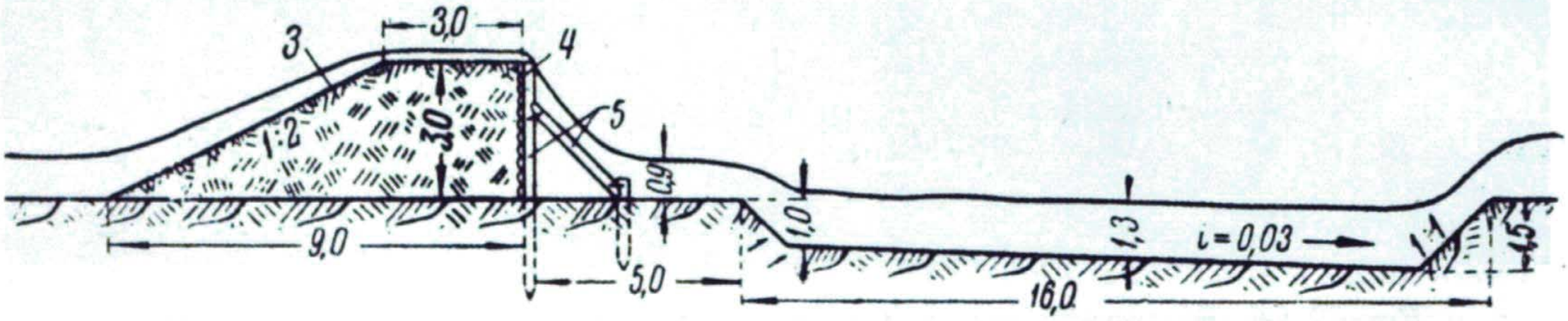


Рис. 2.58. Поперечный профиль отбойной стенки у пос. Юкспорйок

Однако обвалы, зарегистрированные зимой 1936–1937 гг., показали ее недостаточную высоту. В связи с этим было принято решение при значительных накоплениях снега в лавинном очаге № 24 выселять жильцов из домов, расположенных под защитной стенкой. 30 января 1938 года снежная лавина объемом 80 тыс. м^3 ударила в защитную стенку и частично перевалила ее. При форсировании стенки возникла воздушная волна, достигшая домов горняцкого поселка.

Отбойная стенка в поселке Юкспорйок была расположена в 25 м от верхнего ряда домов поселка. Она представляла собой земляную дамбу длиной 250 м и высотой 3 м, ограниченную со стороны склона горы деревянной подпорной стенкой. Высота стенки была еще увеличена на один метр выемкой, из которой бралась земля для отсыпки противолавинного сооружения.

Главным изъяном отбойной стенки была ее недостаточная высота. 13 февраля 1960 года снежная лавина, сбитая минометным обстрелом, легко перемахнула через отбойную стенку и выбила нижний этаж деревянного двухэтажного дома. Тогда снежная лавина унесла жизнь троих жителей поселка.

В 1970 году по проекту К. Ф. Войтковского на конусах выноса лавинных очагов № 13 и № 14 был построен железобетонный забор для защиты Юбилейного гаража и железнодорожной ветки Юкспорйок–Нефелин. Несмотря на 5-метровую высоту забора, 15 апреля 1975 года снежная лавина перескочила его и засыпала участок железной дороги. В 1977 году для снижения динамических характеристик лавин склон выноса выше противолавинного забора был террасирован, после чего не было ни одного лавинного завала на железнодорожном пути.

Для защиты от прямого удара лавин опор № 13–18 линии электропередачи ЛЭП–46, обеспечивающей энергией Центральный рудник, были применены аналогичные секции



Рис. 2.59. Противолавинная защита опоры № 13 ЛЭП-46

железобетонного забора. За 35 лет эксплуатации ЛЭП-46 ни одна опора линии электропередачи не была повреждена лавинами.

Практика показала, что лавинотормозящие сооружения должны иметь высоту не меньше высоты лавинного потока и их следует располагать на конусах выноса лавин, где крутизна склона не превышает 20^0. Это было учтено при строительстве железобетонных стенок для защиты дома № 11 по улице Солнечной.

В том случае, если один ряд лавинотормозящих сооружений не обеспечивает надежной защиты, нужно принимать дополнительные меры защиты. После прохождения одного ряда тормозящих сооружений скорость лавины уменьшается на величину:

$$\Delta V = 0{,}5\frac{V_л F' n}{B_л h_л}, \text{ м/сек},$$

где F' – площадь проекции сооружения на плоскость, перпендикулярную направлению движения лавины, с учетом уменьшения рабочей поверхности сооружений за счет снежного покрова, м^2; n – количество сооружений в ряду; $B_л$ – ширина лавины, м. При расчетах следует учитывать изменение скорости лавины на участке между тормозящими сооружениями.



Рис. 2.60. Защитные железобетонные стенки у дома № 11 на ул. Солнечной

§ 6. Каменно-набросные дамбы

Для защиты открытых горных работ и рудничных построек Кировского рудника русло лавинного очага №37 в 1936 году перегородили каменно-набросной дамбой высотой около 10 м. 16 февраля 1938 года снежная лавина объемом около 50 тыс. м^3 ударила в дамбу. Основная часть снега была задержана дамбой, но образовавшаяся в

момент удара лавины о дамбу воздушная волна разрушила здание деревянной столовой. Погиб 21 горняк и несколько человек были ранены.

20 мая 1958 года снежная лавина объемом 40 тыс. м^3, сошедшая из лавинного очага № 45, перехлестнула 5-метровую защитную дамбу и перекрыла на протяжении 160 м рудовозную дорогу на Расвумчоррском руднике. Образовавшаяся в момент удара лавины о дамбу воздушная волна оставила свои следы на расстоянии 300 м от дамбы.

В 1965 году в результате минометного обстрела плоского склона горы Айкуайвенчорр в районе Нагорного переулка была спущена лавина объемом 1,5 тыс. м^3. Несмотря на скромные размеры, лавина перескочила через 7-метровую защитную дамбу и прошла вниз по склону еще 50 метров. Возникшей ударной волной был сбит с ног человек в 150 метрах от дамбы [80]. В связи со строительством ул. Олимпийской высоту дамбы в районе бывшего переулка Нагорный в 1977–1979 годах увеличили до 10–15 метров и удлинили до 1 км. За 25 лет эксплуатации этой дамбы все сошедшие лавины с горы Айкуайвенчорр были задержаны. Главная причина эффективной работы дамбы – незначительные динамические параметры сошедших лавин.

В тех случаях, когда скорость лавин менее 20 м/сек, дамбы хорошо задерживают даже очень крупные лавины, однако лавины со скоростью 40–50 м/сек могут перехлестнуть дамбы высотой более 25 м, генерируя в момент удара о дамбу ударные воздушные волны.

Ярким примером является лавина, вызванная минометным обстрелом 15 апреля 1975 года в лавинном очаге №34, которая со скоростью 50 м/сек ударила в дамбу высотой 25 м и перехлестнула ее. Измеренная по 12 датчикам давления средняя сила удара перед дамбой составила 44,2 т/м^2, максимальная – 108 т/м^2. При взаимодействии лавины с дамбой образовалась воздушная волна, которая дошла до противоположного склона долины. Скорость снежно-пылевого облака в 200 метрах за дамбой, по данным инструментальной съемки, составила 60 м/сек [81].

В соответствии с инструкцией по проектированию и строительству противолавинных сооружений СН 517-80 противолавинные дамбы следует проектировать в зоне скоростей лавин менее 25 м/сек в сочетании с лавинотормозящими сооружениями или в сочетании с выемкой с нагорной стороны дамбы [55].

При проектировании высота противолавинной дамбы определяется по формуле:

$$H = \frac{V^2}{2g} + h,$$

где H – высота дамбы, м; V – скорость лавины, м/сек; h – толщина лавинного потока, м; g – ускорение силы тяжести, м/сек^2.

Скорость движения лавины в любой точке ее пути определяется величиной отрезка Z между наклонной линией OA и линией профиля по формуле:

$$V = \sqrt{2gZ}\ , \text{ м/сек.}$$

Величина отрезка Z определяется графически или по формуле:

$$Z = h - \frac{Hl}{L}, \text{ м,}$$

где H – превышение места отрыва лавины над местом ее остановки, м;

h – то же, над точкой продольного профиля пути движения лавины, где определяется ее скорость V; L – длина горизонтальной проекции пути лавины от места отрыва до места переднего края лавинных отложений, м; l – расстояние до точки, где определяется скорость лавины, м.

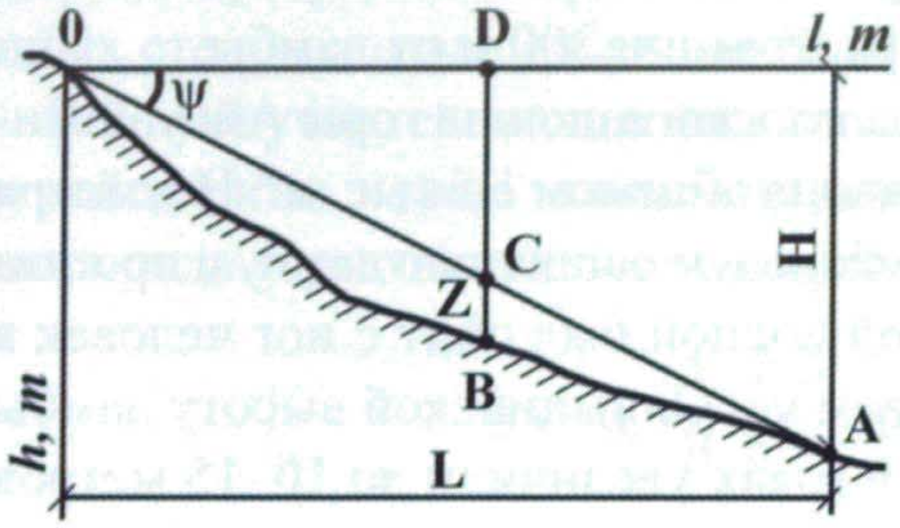


Рис. 2.61. Графический способ определения величины Z

Несмотря на видимую надежность, противолавинные дамбы должны иметь очень большую высоту, чтобы обеспечить 100%-ную защиту от скоростных лавин, поэтому их строительство всегда сопряжено с риском.

Так, в 80-е годы по моему предложению была построена система защиты, состоящая из лавинной ловушки и сдвоенных противолавинных дамб на конусе выноса лавиносборов № 22 и №23 горы Юкспор. Первая дамба гасила скорость лавины. Затем лавина падала в карьер-ловушку, где теряла основную массу и энергию. Вторая, более мощная защитная дамба, расположенная за карьером-ловушкой, являлась третьей линией защиты на пути крупных лавин. Воздушные ударные волны, образующиеся в момент удара лавины о верхнюю дамбу, не представляют угрозы для жилых зданий ввиду их удаленности, а железная дорога защищается от прямого удара воздушной волны нижней дамбой.

С сожалением должен признать, что построенные защитные сооружения не украсили ландшафт вокруг поселка Кукисвумчорр, однако они обеспечили надежную безопасность защищаемым объектам. Такая же система защитных сооружений была построена для защиты здания детского сада, построенного в лавиноопасной зоне у подножия южного отрога горы Кукисвумчорр.



Рис. 2.62. Сдвоенные защитные дамбы у подножия южного отрога горы Кукисвумчорр

§ 7. Оценка эффективности инженерных противолавинных сооружений в Хибинах

Опыт эксплуатации противолавинных сооружений в Хибинах, а также некоторые сведения об эффективности их работы во взаимодействии со снежным покровом и лавинами рассмотрены в работах А. Г. Гоффа и Г. Ф. Оттена [29], М. И. Анисимова [9], Б. Н. Ржевского и др. [80] и А. А. Жигульского [41]. В первых трех работах эффективность защитных сооружений оценивалась с точки зрения их надежности, и лишь работа А. А. Жигульского рассматривает эту проблему как совокупность их надежности, результативности и экономичности.

При проектировании любого защитного сооружения, по А. А. Жигульскому, следует использовать следующие показатели:

1. Показатель снижения дальности выброса лавины.
2. Показатель снижения площади поражения в зоне выброса лавины.
3. Показатель снижения скорости лавины после прохождения защитного сооружения и в местах встречи с защищаемыми объектами.
4. Показатель снижения объема лавины после прохождения через защитное сооружение.
5. Показатель снижения простоев защищаемого объекта.

В основу оценки экономической эффективности защитных мероприятий и сооружений должен быть положен принцип сопоставления суммарных капитальных и эксплуатационных затрат, вызванных осуществлением и поддержанием их в требуемой работоспособности, с экономическим ущербом, предотвращенным осуществлением защиты.



Рис. 2.63. Железобетонный забор для защиты Юбилейного гаража и желдорветки Юкспорйок – Нефелин

В качестве примера А. А. Жигульский рассмотрел эффективность работы системы противолавинных сооружений Юбилейного гаража и участка железнодорожной ветки Нефелин – Юкспорйок.

Анализ проведенных расчетов показал, что нагорные террасы на конусах выноса лавинных очагов №13 и №14 и противолавинный железобетонный забор не обеспечивают полной защиты гаража «Юбилейный» и железной дороги Юкспорйок – Нефелин от воздействия экстремальных лавин, а лишь снижают степень их воздействия и возможный материальный ущерб.

Расчеты показали, что после прохождения лавиной защитных сооружений, в результате взаимодействия с ними скорость движения такой лавины должна снизиться на 50%, а сила ударного воздействия должна погаситься на 80%. При преодолении железнодорожной ветки скорость движения лавины должна снизиться еще на 5%. Сила ударного воздействия этой лавины в пределах территории гаража снизится до 5–20% от максимального значения и будет составлять от 2 до 13 т/м^2.

Таким образом, большинство противолавинных сооружений в Хибинах рассчитаны на рядовые лавины и не обеспечивают 100%-ной защиты объектов от лавин с экстремальными динамическими характеристиками. Поэтому для полного предотвращения материального ущерба и возможных человеческих жертв необходимо постоянно контролировать лавиноопасные зоны и своевременно проводить профилактические мероприятия по предупредительному спуску лавин безопасных объемов.

Глава 15. Хибины нужно уважать!

Хибины не отличаются своей высотой, как Кавказ или Альпы. Их высота всего 1200 м, но наши горы находятся за Полярным кругом. Погода здесь так изменчива, что были случаи, когда в середине лета в Хибинах замерзали туристы. Помните, Крайний Север не прощает к себе неуважительного отношения, как неопытным путешественникам, так и асам горных походов. Большинство людей подводит их гибельная самоуверенность: «Я знаю, что это опасно, но со мной ничего не случится».

Что же нужно делать, чтобы в горах свести риск к минимуму? Самое главное – овладеть правилами поведения в горах. Нужно помнить о последствиях каждого своего шага, реально оценить риск и принять правильное решение. Тут-то и проявляются уровень тактического мышления, зрелость и рассудительность участников похода, их подлинное мастерство и мужество. В противном случае беда неизбежна. К сожалению, статистика несчастных случаев, произошедших в Хибинах, неутешительна. Вот некоторые обстоятельства лавинных трагедий, произошедших у нас в горах.

15 января 1950 года около 13 часов группа школьников в количестве 11 человек поднималась по южному склону горы Вудъяврчорр. Во время подъема они дважды слышали характерный звук, возникающий при просадке снежного пласта, но не обратили на него внимания и продолжали подъем. В результате своих неосторожных действий лыжники вызвали лавину, которая накрыла всю группу. К счастью, несколько школьников были засыпаны частично и смогли самостоятельно выбраться из-под завала и начать поиск своих товарищей, однако троих пострадавших они не смогли обнаружить. Для проведения спасательных работ сразу же были отправлены военнослужащие и группа заключенных. Первым откопали Сафиулина только в 16 часов. Он был еще живой и тяжело стонал. По дороге в больницу он умер. Остальных пострадавших откопали

только в 18 часов, уже мертвых. Обвал произошел в месте проведения горнолыжных соревнований. Нужно отметить, что 30 января 1935 года, 2 и 8 февраля 1948 года снежные обвалы уже вызывались лыжниками. 28 февраля 1948 года начальник Снежно-метеорологической службы В. П. Пузанов направил письмо в горисполком о необходимости вынести горнолыжную трассу с лавиноопасного склона горы Вудъяврчорр, но оно замалчивалось из-за ложного опасения скомпрометировать Кировск как место проведения всесоюзных соревнований по горнолыжному спорту. Только несчастный случай со школьниками заставил власти закрыть гору Вудъяврчорр для проведения соревнований и тренировок.

Около 15 часов 14 февраля 1968 года студентка медучилища со своей подругой решили прокатиться с южного отрога горы Кукисвумчорр. При подъеме по заснеженному склону она вызвала лавину, которая засыпала ее. К счастью, подруга не пострадала и сразу же вызвала помощь. Несмотря на то, что к раскопкам было привлечено много людей, пострадавшую нашли только поздно вечером, уже мертвую. Девочка находилась под снегом на глубине всего 60 сантиметров.

6 марта 1977 года туристическая группа под руководством инженера ОКБ Московского энергетического института Курындина Сергея Михайловича начала поход с железнодорожной станции Имандра. 9 марта туристы совершили подъем на перевал Ферсмана, а 10 марта в связи с непогодой вернулись на станцию и купили билеты на обратный путь. В состав группы кроме руководителя входили еще три человека: младший научный сотрудник Института прикладной геофизики Шелейкис Ирина Юрьевна, студенты II курса МЭИ Лукьянов Борис Иванович и Дугаева Наталья Александровна.

11 марта погода улучшилась, и группа продолжила свой маршрут на перевал Северный Чоргорр. Взяв перевал, участники группы надели лыжи и начали спускаться с перевальной точки вниз по склону. Проехав всего 20–30 метров, туристы выехали на снежный карниз, который не выдержал нагрузки и обрушился на лавиноопасный склон вместе со всей группой, вызвав при этом лавину. Погибли все.

30 октября 1979 года группа белорусских туристов под руководством Б. И. Громеницкого в составе 5 человек отправилась со станции Имандра вдоль р. Меридиональный до р. Часнайок. Сделав радиальный выход на перевал Юмьечорр, прошла перевал Северный Чоргорр. Далее туристы сделали радиальный выход на перевал Южный Чоргорр и поднялись на вершину горы Часначорр.

6 ноября Б. И. Громеницкий и В. Я. Карпович в разное время и разными путями вышли на разведку перевала Ферсмана. В 12 часов В. Я. Карпович, произведя разведку перевала, по пути к лагерю решил съехать по снежному склону сидя, чем и вызвал лавину, увлекшую его вниз. Почти одновременно сошли еще две лавины, перекрывшие своими отложениями конус первой лавины.

На поиски пострадавшего было затрачено 410 человеко-дней, но найти тело не удалось. Летом, когда лавина растаяла, тело туриста обнаружили в расщелине под скалой.

13 августа 1982 года туристическая группа Московской городской станции юных туристов, проходя через перевал Ворткеуай, заметила на снежнике вытаявший рюкзак и труп человека в голубом анораке.

Раскопки снежника шли 10 дней. Было перелопачено 4 тысячи 200 кубометров плотного ледяного снега, пока последний, седьмой участник туристской группы

студентов Ленинградского университета и ее руководитель Петр Алексеевич Копытов был обнаружен под снегом на глубине 8 метров.

Проявленные фотопленки из фотоаппаратов погибших позволили раскрыть эту ужасную трагедию, вызванную лавиной. Часы на руке Владимира Михайлова остановились 5 ноября 1981 года. Как же это произошло?

31 октября 1981 года туристическая группа Ленинградского университета в составе: Копытова П. А., Мельниковой Е. А., Грязных О. Н., Осминина Д. Б., Лукичева В. Н., Михайлова В. А. и Хоткевича Д. Ю. прибыла на станцию Хибины. Пройдя вверх по долине р. Малая Белая, группа одолела перевал Рамзая, спустилась к оз. М. Вудъявр, прошла через поселок Кукисвумчорр и 3 ноября подошла к перевалу Ворткеуай.

В связи с тем, что снега было мало, весь путь группа проследовала пешком, неся лыжи на себе. В скальном разломе они обнаружили снежник и решили подняться по нему на лыжах к седловине перевала. Когда группа находилась в верхней части склона, один из участников забрался на снежный карниз, чтобы сфотографировать своих товарищей. Карниз под ним обломился и обрушился на всю группу, отбросив ее к южной стене разлома. Падение карниза вызвало обрушение сухого свежего снега, который накрыл всех туристов в расщелине. Полученные при падении травмы, тяжелые рюкзаки на плечах и лыжи на ногах не позволили никому выбраться из снежного плена.

15 февраля 1983 года группа московских студентов под руководством Гориловского М. И. вышла из лесной зоны и направилась по ущелью к перевалу Суолуайв. Уже почти у самого перевала в связи с сильным ветром, метелью и наступившей темнотой туристы решили укрыться на дне оврага и переночевать.

Утром 16 февраля Гориловский М. И. и Михалев И. И. вышли из палатки на склон с целью разведки пути. Отойдя от палатки на 20 метров, они увидели, как мощный снежный надув на южном склоне оврага сдвинулся и накрыл палатку с Е. А. Авциной и Т. И. Кузнецовой. Под снегом оказались также В. В. Гордеев, А. И. Батанин и



Рис. 2. 64. Поиски туристов в лавинном снежнике в районе перевала Ворткеуай

А. В. Леликов, которые резали снежные кирпичи для устройства ветрозащитной стенки. Попытки откопать погребенных товарищей к успеху не привели.

С наступлением темноты отчаявшиеся туристы отправились пешком за помощью. Шли голодные, без лыж, по пояс в снегу около 17 часов, пока не встретили патрульную группу спасателей. Поисковые работы велись с 17 по 21 февраля. В раскопках участвовали 42 человека.

11 ноября 1985 года работник Хибинской геологоразведочной партии Ирина Коновалова решила на лыжах добраться до поселка геологов на Коашву. От Расвумчоррского рудника до поселка через перевал Юкспоррлак было около 13 километров пути. Тем не менее она так и не дошла до места. Поиски велись почти месяц. В районе перевала Юкспоррлак были обнаружены лавинные отложения снега. Раскопки отложений и зондирование поисковыми щупами не дали положительных результатов. Только в конце мая, когда снег растаял, тело И. Коноваловой обнаружили там, где и искали. На месте гибели геолога сейчас установлена мемориальная доска.

В начале ноября 1985 года житель Кировска Долганов ушел на охоту в долину р. Тульйок, где у него была охотничья избушка. 12 ноября он должен был возвратиться домой, но к намеченному сроку не вернулся. Предпринятые поиски не дали результатов. В избушке его не оказалось. Тело погибшего обнаружили в конце мая следующего года. Как выяснилось, по пути домой, не дойдя трех километров до перевала Лопарский, он попал под лавину и погиб.

В ночь с 1 на 2 апреля 1989 года из-за низкой трудовой дисциплины погибли под лавиной 2 работника геологической службы Восточного рудника. Они работали на буровой вышке, расположенной в седловине между вершинами гор Ньоркпахк и Суолуайв. В тот день был их профессиональный праздник – День геолога, и работники буровой его, естественно, отметили. Однако спиртного не хватило, и они решили сходить за ним в пос. Коашва. Разгоряченные алкоголем, рабочие пренебрегли всеми правилами техники безопасности и, чтобы сократить путь до поселка, стали спускаться не по дороге, а прямо по склону лавинного очага № 67. Во время спуска по заснеженному склону они спустили лавину, которая увлекла их за собой. Геологов обнаружили у самого края лавинных отложений под метровым слоем снега.

29 февраля 2000 года примерно в 16 часов 30 минут восьмиклассники школы №13 Денис Паламарчук и Володя Голубев залезли на западный склон горы Айкуайвенчорр, который находится напротив ул. Олимпийской. Неожиданно снег под их ногами поехал, и дети вместе с оторвавшейся снежной массой полетели вниз. Случайными свидетелями происшествия оказались две девочки. Они услышали крики мальчишек и побежали к ним на помощь. Надо было перелезть через защитную дамбу, и, прежде чем девочки добрались до места, прошло минут десять. А когда уже добрались, то никого на поверхности снега не увидели. Сообразив, что произошла беда, девочки побежали в детский приют и позвонили в милицию и «Скорую помощь». Сотрудники милиции и врачи «Скорой помощи» немедленно выехали на место происшествия. У самого подножия горы они заметили на поверхности лавинного снега руку одного из подростков. Снег раскопали и освободили ребят. Они были засыпаны всего полуметровым слоем снега. Подростки находились в снегу около часа, но врачам спасти их не удалось.

8 марта 2000 года в 10 часов утра группа туристов из г. Северодвинска в количестве 8 человек поднималась на перевал Южный Рисчорр со стороны ручья Рисйок. Высота

снега на склоне была около полуметра. Группа не дошла до седловины перевала всего 15–20 метров, как на туристов обрушилась снежная лавина и накрыла четверых участников похода. Лавина оторвалась с перегиба склона со стороны горы Каскаснюнйок. От места отрыва лавины до туристов было около 400 метров. Оставшиеся участники пришли на помощь пострадавшим и оказали им первую медицинскую помощь. 3 человека были откопаны живыми, а руководитель группы Н. Н. Семичев получил смертельную травму.

Из объяснительной записки участника событий: «Не доходя 15–20 метров до средней части седловины перевала, я увидел, как на меня летит лавина. Несло меня метров 300–350. После остановки я сразу стал пробивать себе пространство для воздуха. Таким образом, я пробил снег и поднял палку, указывая свое местонахождение. Отдышавшись, я стал самостоятельно выбираться из лавинного снега. Вытащил левую руку и обе ноги. С помощью Меньшикова поднялся из ямы. После освобождения побежал искать и освобождать Николая Семичева. При раскопке лавины мы обнаружили его мертвым».

28 ноября 2003 года в 11 часов 15 минут попали в беду туристы из г. Северодвинска. Семь туристов под руководством Олега Давыденко вышли на обледенелый склон в районе перевала Центральный горного массива Лявочорр. Чтобы найти более легкий путь, руководитель группы поднялся чуть выше своих товарищей на снежник и своим весом вызвал снежную лавину. К счастью, лавина оказалась небольшой, но ее силы оказалось достаточно, чтобы протащить неосторожных туристов вниз по камням более 100 метров. Откопавшись из снежного плена, ребята по мобильному телефону сообщили о своей беде спасателям. Эвакуация раненых благополучно завершилась в приемном покое городской больницы. Руководителю группы была сделана операция, двум туристам наложили шины, остальные отделались ушибами и ссадинами.

Глава 16. Первые жертвы фрирайда

В связи с развитием экстремальных видов отдыха в горах проблема лавинной безопасности на неконтролируемой территории постоянно возрастает. Любителей свободных спусков по опасным заснеженным склонам (фрирайдистов) с каждым годом становится все больше и больше. Практически все они представляют опасность таких спусков, но опрометчиво считают, что сильнее горной стихии. Однако Хибины не прощают такой беспечности даже опытным сноубордистам.

5 января 2006 г. около 13 часов группа сноубордистов из Санкт-Петербурга в составе трех человек решила спуститься по северному склону г. Айкуайвенчорр (лавинный очаг № 7). Первым спуск начал Михаил Соколов, следом за ним начала спускаться девушка. Спуск производился по снежному надуву, который образовался после снегопада и метели при южном направлении ветра. Под действием тяжести сноубордистов снежный пласт потерял устойчивость и начал движение вниз по склону. Девушка успела уйти из опасной зоны, а находившийся ниже по склону М. Соколов был захвачен лавиной. Когда лавина остановилась, она увидела в конце лавинных отложений часть сноуборда. Ей удалось быстро откопать Михаила, после чего она сообщила по мобильному телефону о несчастье третьему сноубордисту и попросила его вызвать спасателей. Прибывшая на место происшествия поисково-спасательная группа г. Кировска обнаружила Михаила Соколова без признаков жизни. Он скончался от полученных травм.



Рис. 2.65. Схема спуска группы сноубордистов, л.о. 7. г. Айкуайвенчорр. 05.01.2006 г.

По данным обследования, лавина состояла из мягкой снежной доски, лавинные отложения – мелкокомковатые, площадь отложений – 1,5 тыс. м^2, объем лавинных отложений – 1,5 тыс. м^3. Длина линии отрыва лавины составила 25 метров, максимальная толщина снега в линии отрыва – 0,7 м. Общая длина пути лавины составила 500 метров.

Второй смертельный случай произошел 27 марта 2006 г. Около 16 часов группа из 4 сноубордистов предприняла спуск по южному склону г. Кукисвумчорр (лавинный очаг № 227). Мощный слой свежеметелевого снега на склоне привлек внимание любителей экстремальных спусков. Первый сноубордист прошел по краю снежного надува и выехал в безопасное место, чтобы посмотреть, как спустятся его попутчики. Спускавшийся вторым 20-летний гражданин Эстонии Кикас Расмус решил проехать по середине снежного пласта, который под действием его тяжести просел и стал двигаться вниз по склону.

Если бы сноубордист был опытным спортсменом, то у него был бы шанс выйти из опасной зоны, пока снежный пласт не раскололся на блоки. Однако Кикас Расмус продолжал скользить на сноуборде вниз по движущемуся снежному пласту, пока не потерял равновесие. После падения он был поглощен лавинным потоком и оказался в нижней части лавинных отложений на глубине 3 метров. Остальные участники спуска, не увидев его на поверхности снега, вызвали спасателей. В поисках пострадавшего приняли участие 23 человека. В 19.50 Кикас Расмус был найден мертвым. Смерть сноубордиста наступила от удушья и множественных травм.

Обследование лавины, проведенное специалистами Центра лавинной безопасности, показало, что обрыв снежного пласта произошел в припочвенном слое глубинной кристаллической изморози. Толщина снежного покрова в линии отрыва на отдельных участках достигала 2,5 метра. Общая длина пути лавины составила 900 метров. Лавинные отложения состояли из крупных комьев и снежных глыб, достигающих объема



Рис. 2.66. Толщина снега в зоне отрыва лавины, л.о. 227. г. Кукисвумчорр. 27.03.2006 г.

нескольких кубометров. Площадь лавинных отложений составила 12 тыс. м^2, а объем лавинного снега 20 тыс. м^3.

За период с 6 по 9 апреля 2006 года в Хибинах выпало 37 мм осадков, большая часть которых была перенесена южным ветром на северные склоны гор. Образовавшаяся в нижних горизонтах снежного покрова крупнокристаллическая изморозь явилась дополнительным фактором повышенной лавинной опасности на склонах северной экспозиции.

10.04.06 г. погода в Хибинах была слегка морозная, тихая и солнечная, идеальная для активного отдыха в горах. Семь человек, любителей фрирайда из Санкт-Петербурга, целый день провели на горе Айкуайвенчорр. Под вечер решили сократить путь к месту своего проживания на Географической станции МГУ и спуститься по лавинному очагу № 7, где уже произошел несчастный случай с их земляком 5 января. Ребята были достаточно опытными сноубордистами и знали об опасности такого решения, но рискнули спускаться по заснеженному склону.

Группа поднялась на кресельном подъемнике и пошла пешком по вершине г. Айкуайвенчорр. Дойдя до края лавинного очага № 7, ребята стали спускаться по очереди вниз по заснеженному склону. Подрезанный сноубордистами огромный снежный пласт шириной около 400 метров устремился вниз. Три молодых человека успели выехать из опасной зоны и смогли наблюдать, как лавина поглощает их товарищей.

В момент начала движения лавины стоявший ниже всех Николай Купцов фотографировал, как спускаются Ольга Минкевич и Алексей Мамонтов. Ян Юхневич был на самом верху склона, практически у линии отрыва лавины. Огромная масса снега



Рис. 2.67. Общий вид лавины на южном склоне г. Кукисвумчорр, л.о. 227. 27.03.2006 г.

со скоростью около 100 км/час пронеслась больше километра вниз по склону. После остановки лавины спасшиеся сноубордисты бросились вниз искать своих товарищей. В нижней части лавинных отложений они обнаружили Яна Юхневича. Все тело его было сковано плотным снегом, а голова оказалась на поверхности. На его счастье, он оказался живым. Ребята бросились откапывать друга и позвонили в службу спасения за помощью.

Звонок поступил в 19 часов 30 минут. Оперативная группа спасателей тут же выехала на место происшествия. Ольгу Минкевич обнаружили через полчаса по звуку радиомаяка. Она лежала на глубине 3 метров без признаков жизни. Вероятнее всего, Ольга погибла от удушья. Яна доставили в городскую больницу, где первые сутки он провел в отделении реанимации, а потом его перевели в травматологию с диагнозом обморожение, сдавление грудной клетки и травма позвоночника.

Поиск сноубордистов проводился силами спасателей, специалистов Центра лавинной безопасности и проводника с собакой до 4 часов утра 11 апреля. Плотность лавинного снега составила 340 кг/м^3, а площадь лавинных отложений – около 68 тыс. м^2. Высота снежных завалов в отдельных местах превышала 4 метра. Общий объем лавинных отложений составил около 40 тыс. м^3.

11 апреля в городской администрации был создан штаб, который занимался организационными вопросами. Кроме спасателей и специалистов-лавинщиков к поиску

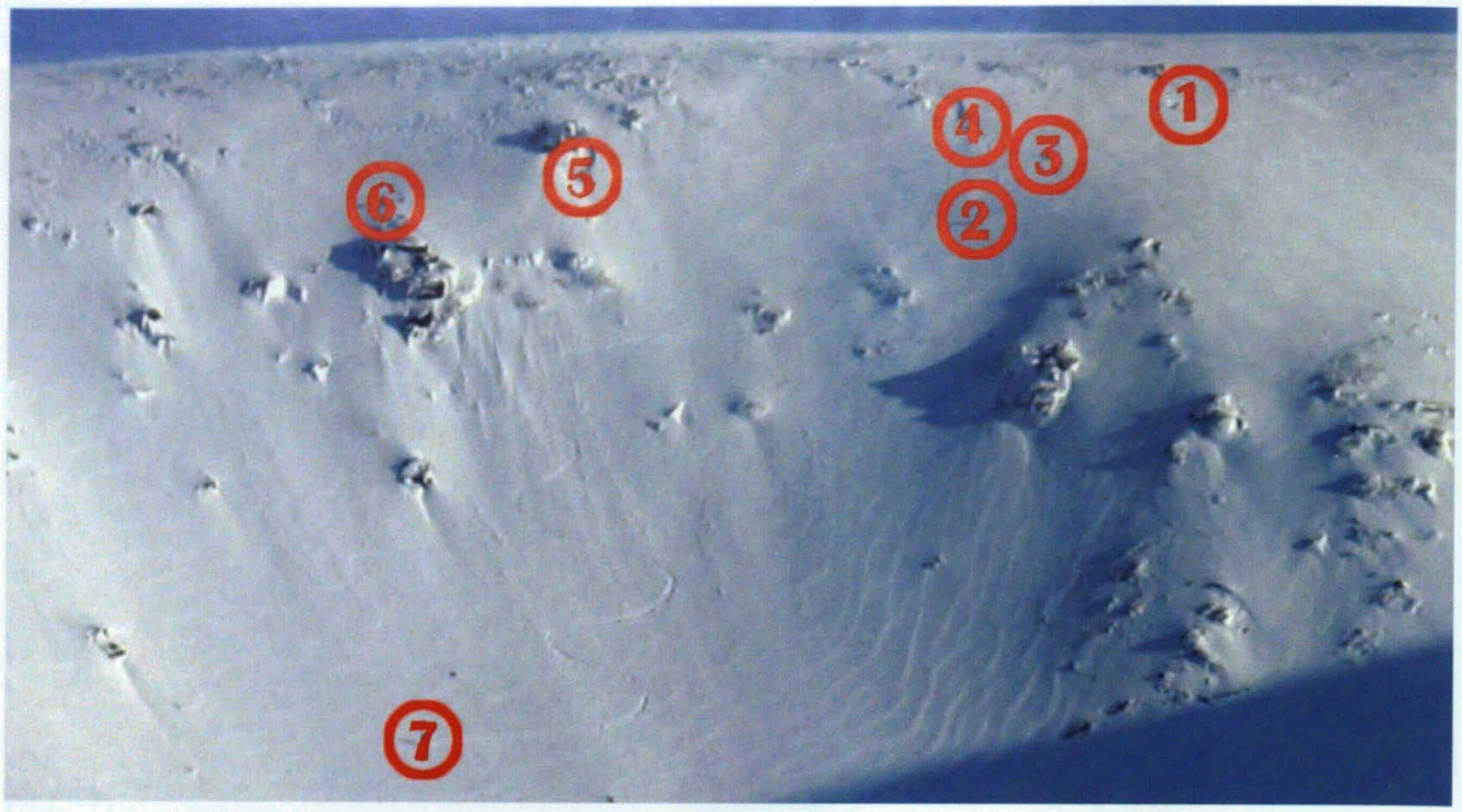


Рис. 2.68. Местоположение сноубордистов перед сходом лавины: 1) Я. Юхневич, 2) Н. Купцов, 3) А. Мамонтов, 4) О. Минкевич. г. Айкуайвенчорр, л. о. 7. 10.04.2006 г.

пострадавших приступили сотрудники спецназа таможенной службы, внутренних дел, горно-спасательного отряда и общественники, всего около 50 человек. Для предупреждения схода новой лавины из числа лавинщиков были выставлены посты дозора.

12 апреля на помощь кировчанам приехали спасатели из Мурманска, Мончегорска и Кандалакши, проводники с собаками и саперы с миноискателями. Спасатели были разбиты на группы, которые методом тщательного зондирования начали вести поиск.



Рис. 2.69. Поиск пострадавших с помощью собаки, л.о. 7. г. Айкуайвенчорр. 12.04.2006 г.



Рис. 2.70. Поиск пострадавших миноискателем, л.о. 7. г. Айкуайвенчорр. 12.04.2006 г.



Рис. 2.71. Место обнаружения А. Мамонтова. 13.04.2006 г.

На участках, где лавинные завалы превышали длину щупа, к работе был подключен ратрак, который снимал слой лавинного снега за слоем. Поиск продолжался до 22 часов и не дал положительного результата.

13 апреля поиски возобновились в 10 часов утра, и уже через час было обнаружено тело Алексея Мамонтова. Голова погибшего находилась на глубине 80 см от



Рис. 2.72. Местоположение пострадавших на конусе выноса лавины:
1) Я. Юхневич, 2) О. Минкевич, 3) А. Мамонтов, 4) Н. Купцов.
г. Айкуайвенчорр, л.о. 7, 13.04.2006 г.

поверхности снежной массы. Если бы у него был электронный маяк, возможно, его успели бы спасти.

Получалось, что трое найденных под снегом сноубордистов лежали прямо по оси лавины, поэтому спасатели приняли решение сосредоточить поиск щупами по центру лавинных отложений. Это решение оказалось правильным, т. к. через час на глубине четырех метров был обнаружен последний из пострадавших Николай Купцов.

Глава 17. Шанс на спасение

Печальные события, связанные с лавинами, обычно возникают из-за того, что люди забывают или игнорируют самые простые правила поведения в горах. Это касается не только дилетантов, но и опытных альпинистов, которых погибло в горах немало.

В связи с этим не могу не упомянуть одного из самых заметных лавинщиков нашей страны Н. А. Урумбаева. Он хорошо знал наши горы и был постоянным участником Хибинских конференций по снежным лавинам. Великолепный горнолыжник и альпинист, Нурис не мог жить без гор. Именно поэтому он поступил учиться в Московский государственный университет, где под руководством профессора Г. К. Тушинского защитил кандидатскую диссертацию по лавинам. Кажется, о лавинах он знал все или почти все.

В начале боевых действий в Афганистане, когда потери Советской армии только от лавин превысили 300 человек, командованию потребовался специалист по лавинам. Не случайно выбор пал на Н. А. Урумбаева. Он прошел в качестве консультанта по снежным лавинам при командовании ограниченного контингента войск всю Афганскую кампанию и спас немало наших солдат и офицеров от «белой смерти». На войне его уважали все – и свои, и враги. Трудно было поверить, что этот замечательный человек, после того, что он пережил, может сам стать жертвой лавины.

Что же нужно делать, чтобы в горах свести риск к минимуму? Самое главное – овладеть правилами поведения в горах. Человек, который не соблюдает простейших правил поведения в горах, играет со стихией, как игрок в русскую рулетку. Нужно понимать последствия каждого своего шага, реально оценить риск и принять правильное решение.

Итак, прежде чем отправиться в горы, необходимо тщательно продумать свой маршрут и правильно оценить свои физические возможности и своих партнеров. В Хибинах погода очень изменчива как в пространстве, так и во времени, поэтому крайне важно знать снеголавинную обстановку и прогноз погоды. Любой маршрут в горах неизбежно будет пересекать более или менее лавиноопасные участки местности, поэтому нужно выбирать для движения каменистые и малозаснеженные склоны. Наличие прочесов в древесной растительности или угнетенного кустарника на склоне является признаком частого схода лавин. Движение на лыжах наискосок заснеженного склона может привести к его подрезанию и нарушению устойчивости снежного пласта.

Гибель людей, попавших в лавину, может наступить в результате травм, не совместимых с жизнью, болевого шока, переохлаждения и удушья. Нередко жертвы лавины получают серьезные ранения от ударов посторонних предметов, жестких комьев снега, камней, обломков деревьев и ударов летящего в лавине человека о грунт, выступы скал и деревья. В среднем из ста человек, попавших в лавину и частично засыпанных

лавинным снегом, 28 получили травмы и не смогли самостоятельно откопаться. Из ста человек, засыпанных лавинами, удается откопать живыми всего около 40 человек.

Во время схода лавины вихревые движения в снежном потоке создают зоны разрежения и сжатия, способствующие образованию снежной пыли, которая глубоко проникает в дыхательные пути и приводит к удушью. Если же дыхательные органы были защищены и жертва во время движения лавины не задохнулась, то при остановке лавинный снег уплотняется, сдавливает грудную клетку, вдавливает лицо в снежную массу, что также приводит к нарушению дыхания и гибели. В результате выделения тепла вокруг лица образуется ледяная корка, которая препятствует поступлению воздуха в легкие.

Немногие отдают себе отчет в том, что значит оказаться в лавинном завале. Существует ошибочное мнение, что снег – пушистый и легкий материал. Между тем снег во время движения сильно уплотняется и через короткое время после остановки смерзается в монолит. Смерзшийся снег лишает жертву свободы движений и часто делает ее абсолютно беспомощной. Кричать, находясь в снежном плену, совершенно бесполезно, т. к. звуки, идущие от жертвы, практически не слышны на поверхности снега, поэтому их может услышать только специально обученная собака. В то же время засыпанный лавиной человек хорошо слышит шаги спасателей и звук снегоходов, движущихся по лавинным отложениям.

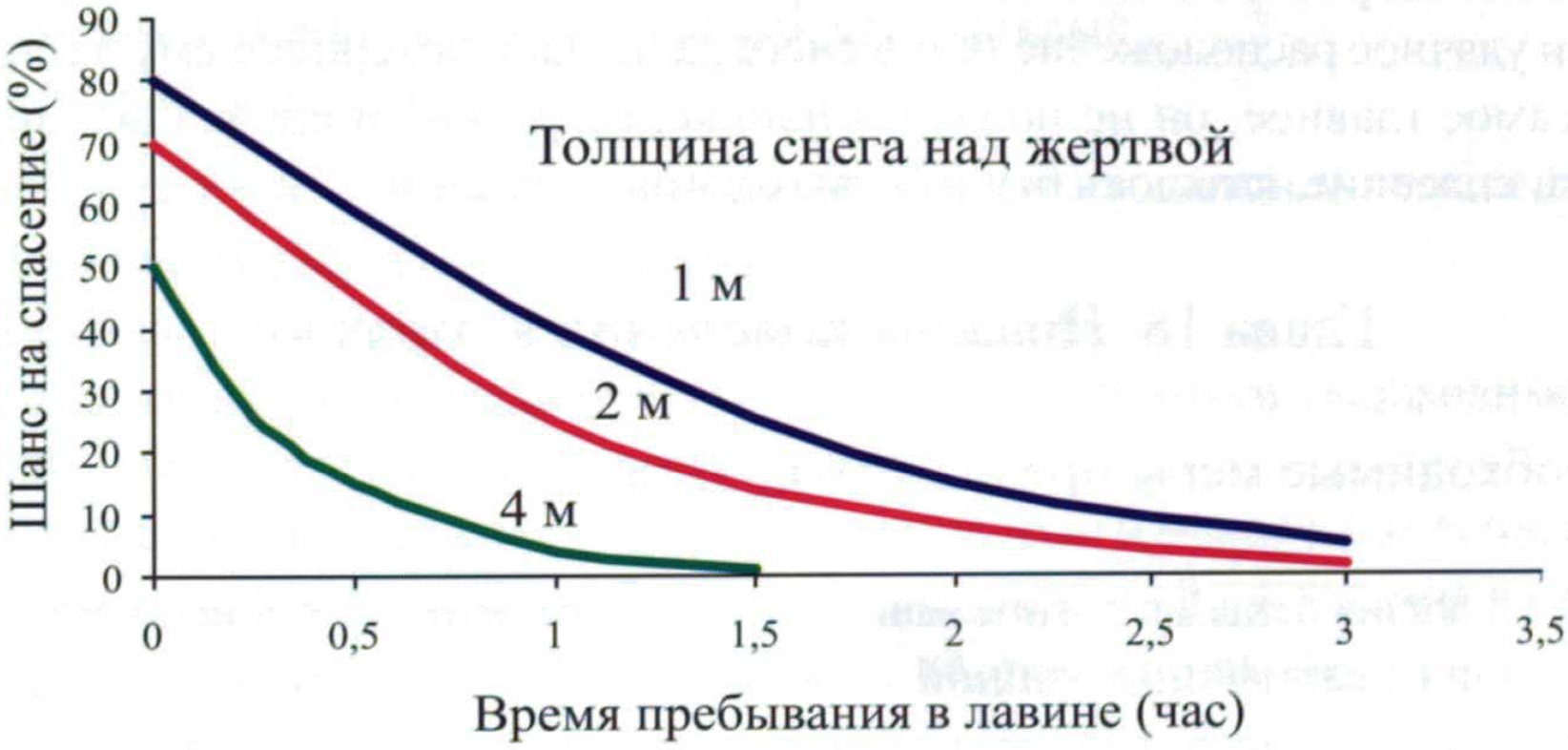


Рис. 2.73. Вероятность выживания в зависимости от времени пребывания в лавине (в часах) и толщины снега над жертвой (в метрах)

Анализ случаев выживания людей, попавших в лавину, позволяет сделать вывод, что в тех случаях, когда помощь приходит быстро, а человек погребен сравнительно небольшим слоем лавинного снега, шанс остаться в живых довольно высокий. Статистический анализ несчастных случаев, проведенный швейцарскими специалистами, установил следующую зависимость между шансом выжить, временем пребывания человека под снегом и толщиной снега над жертвой [63].

В середине 90-х годов прошлого века по Мурманскому телевидению прошел сюжет о жителе поселка Ревда, самостоятельно освободившемся из лавинного плена. Постараюсь дословно передать его рассказ. «Дело было в декабре. Я с товарищем возвращался домой с рыбалки с Сейдозера. Было уже довольно темно, когда мы поднялись на перевал Эльморайок и начали спуск вниз. Неожиданно раздался какой-то странный шум,

и снежное облако накрыло нас с головой. Когда я очнулся, то понял, что оказался под лавинным завалом. На мое счастье, я лежал под лавиной на спине лицом вверх, но снег, хоть и был еще достаточно рыхлым, не позволял мне даже пошевелиться. Было трудно дышать, и я, чтобы увеличить пространство вокруг лица, стал судорожно хватать снег губами и глотать. Мой товарищ пострадал меньше. Я слышал, как он ходит по лавине и ищет меня. Я пытался подать ему сигнал криком, но он не слышал меня. Тогда я начал сжимать ладонями снег в комок. Снег уплотнился, и у меня появилась хоть небольшая свобода движения в пальцах рук. Я сжимал и сжимал снег ладонями, увеличивая свободное пространство и свободу движения рук. Наконец мне удалось приблизить руки к лицу и расширить воздушную камеру около рта и носа. Своим дыханием я согревал руки и продолжал упорно уплотнять снег, делая комья. Постепенно и верхняя часть туловища получила некоторую свободу движений. Прошел не один час, пока мне удалось пробить рукой лавинный снег. Было уже совершенно темно, и я мог видеть звезды через отверстие в снегу. Стало гораздо легче дышать. Это придало мне сил и вселило надежду, и я с удвоенной энергией стал бороться за свою жизнь. Около восьми часов потребовалось отчаянной борьбы со снегом, чтобы я выбрался на поверхность лавины. И только тогда я заметил приближающуюся цепочку огней. Это спешили на помощь спасатели рудника Карнасурта, вызванные по тревоге моим товарищем».

Небольшая скорость лавины из сухого рыхлого снега, малая мощность лавинных отложений и удачное расположение тела в снеге дали шанс потерпевшему на счастливый исход. Но самое главное, он не поддался панике, не раскис и сделал все возможное, чтобы найти спасение, казалось бы, в безвыходной ситуации.

Глава 18. Правила поведения в горах

§ 1. Необходимые меры предосторожности

Здоровье и жизнь людей в лавине зависят от своевременного проведения поисковых работ и оказания квалифицированной первой медицинской помощи пострадавшим. Температура тела человека, находящегося под снегом, понижается в среднем на 3^0C в час. У попавшего в лавину в результате кислородного голодания происходят необратимые процессы. Старайтесь до минимума сократить время поиска пострадавших, т. к. уже через три часа после попадания в лавину 90% пострадавших погибает, однако в отдельных случаях люди оставались живыми после нескольких суток пребывания в лавине [92].

Руководитель туристической группы несет персональную ответственность за жизнь и здоровье каждого участника похода. Неграмотные действия туристических групп, покоряющих Хибины, неоднократно приводили к несчастным случаям и гибели туристов и как следствие – к уголовной ответственности руководителя похода.

Чтобы избежать таких последствий, руководитель туристской группы еще до выхода на маршрут обязан проверить наличие у каждого участника похода электронного маяка или лавинной ленты, лопаты, специального лавинного зонда или щупа из лыжных палок, а также группового страховочного снаряжения.

Лавинная лента – это капроновая тесьма или веревка ярко-красного цвета длиной около 30 метров, которая укрепляется к поясному ремню. При попадании человека в

лавину существует большая вероятность того, что в результате турбулентного движения лавинного потока после остановки лавины часть ленты окажется на поверхности лавинных отложений. В таком случае поиск пострадавшего займет считанные минуты.

Подойдя к лавиноопасному участку, необходимо провести тщательную оценку обстановки:

1. Крутизну и экспозицию склона, форму рельефа, наличие обрывов, камней и растительности.

2. Состояние снежного покрова на лавиноопасном склоне.

По результатам оценки принять принципиальное решение – отказаться или преодолевать опасный участок.

Отказаться от преодоления лавиноопасного склона следует, когда:

1. Продолжается или недавно прошел обильный снегопад с образованием снежных полей.

2. Продолжается или недавно прошла метель с образованием снежной доски, снежных надувов и карнизов.

3. На аналогичных склонах сошли лавины.

4. Снег оседает с характерным ухающим звуком, что свидетельствует о наличии в снеге ослабленных слоев.

5. Склон интенсивно освещен солнцем, снег мокрый.

6. Отсутствие видимости.

Приняв решение о преодолении лавиноопасного склона, необходимо выработать тактический план действий:

1. Выбрать оптимально безопасный путь движения.

2. Определить порядок следования группы, меры страховки, необходимое время на преодоление опасных участков и пути в целом.

Путь следует выбирать по контрфорсам, каменистым и менее заснеженным склонам, даже если это удлинит путь, потребует нежелательного набора высоты и организации страховки. Нельзя останавливаться на отдых на лавиноопасных склонах и конусах выброса лавин.

Подготовка к преодолению лавиноопасного участка:

1. Выставить наблюдателя на безопасное место с хорошим обзором пути движения.

2. Указать порядок движения и дистанции между участниками.

3. Распустить лавинные ленты, вынуть руки из темляков палок, расстегнуть и ослабить плечевые ремни рюкзака, включить и проверить исправность электронных приборов поиска в лавине.

4. Наметить порядок действий на случай схода лавины.

В случае схода лавины:

1. Наблюдатель и все участники обязаны криком предупредить идущего об опасности, заметить место его исчезновения в лавине.

2. Идущий должен стараться выкатиться к краю лавины, освободиться от палок и сбросить рюкзак. В лавине нужно действовать активно, энергичными плавательными движениями удерживать себя на поверхности, а в случае затягивания в снежный поток

стараться выбраться на поверхность и сохранять вертикальное положение. В момент торможения лавины человек должен сделать все возможное, чтобы выбраться на поверхность лавины. После окончательной остановки лавины, пока снег не отвердел, необходимо приложить максимум усилий для отжимания от лица быстро твердеющего снега и всеми способами разрушать ледяную корочку, образующуюся на стенках снежной камеры в результате дыхания и выделения тепла телом.

§ 2. Организация спасательных работ

Участники, не попавшие в лавину, должны немедленно приступить к спасательным работам:

1. В случае, если существует опасность схода новой лавины, выставить наблюдателя на безопасное место с хорошим обзором лавиноопасного склона, в обязанности которого входит оповещение криком, выстрелом из ракетницы или другим способом участников поиска. В Хибинах, как правило, снежная лавина достигает конуса выноса за 40–50 сек. Этого времени достаточно, чтобы спасателям отбежать в сторону от оси движения снежного потока на 50–100 метров.

2. Искать на поверхности, ниже места исчезновения, лавинную ленту или предметы снаряжения пострадавшего; не найдя их, необходимо начать поиск методом ускоренного зондирования, а при наличии радиомаяков – с помощью электронных приборов поиска в лавине.

3. Обнаружив пострадавшего в лавине, начать интенсивное откапывание, не считаясь с напряжением и усталостью.

4. Приблизившись к голове, освободить рот и нос от снега и приступить к искусственному дыханию.

5. Откопав полностью, перенести пострадавшего в палатку и продолжить искусственное дыхание в сочетании с закрытым массажем сердца, укутать теплыми вещами и согреть грелками. Грелки изготавливаются из полиэтиленовых мешочков, в которые помещаются намоченные в горячей воде и слегка отжатые полотенца.

6. После восстановления сердечной деятельности и дыхания пострадавшего можно напоить чаем или кофе.

При затянувшемся поиске:

1. Направить не менее двух человек в ближайший населенный пункт за помощью и сообщить в спасательную службу о несчастье.

2. Продолжить поиск способом тщательного зондирования [64].

§ 3. Места наиболее вероятного нахождения пострадавшего в лавине

Если лавина сходит по крутому склону, не делает поворотов и на ее пути нет препятствий, то пострадавший чаще всего может находиться на расстоянии 15–20 метров в ту или другую сторону от осевой линии лавины в нижней зоне лавинных отложений. В лавине, сошедшей с плоского склона, пострадавший чаще всего находится в отложениях снега на конусе выноса лавины. В лотковых лавинах с извилистой траекторией движения пострадавший чаще всего может быть у крутых изгибов, нагромождения

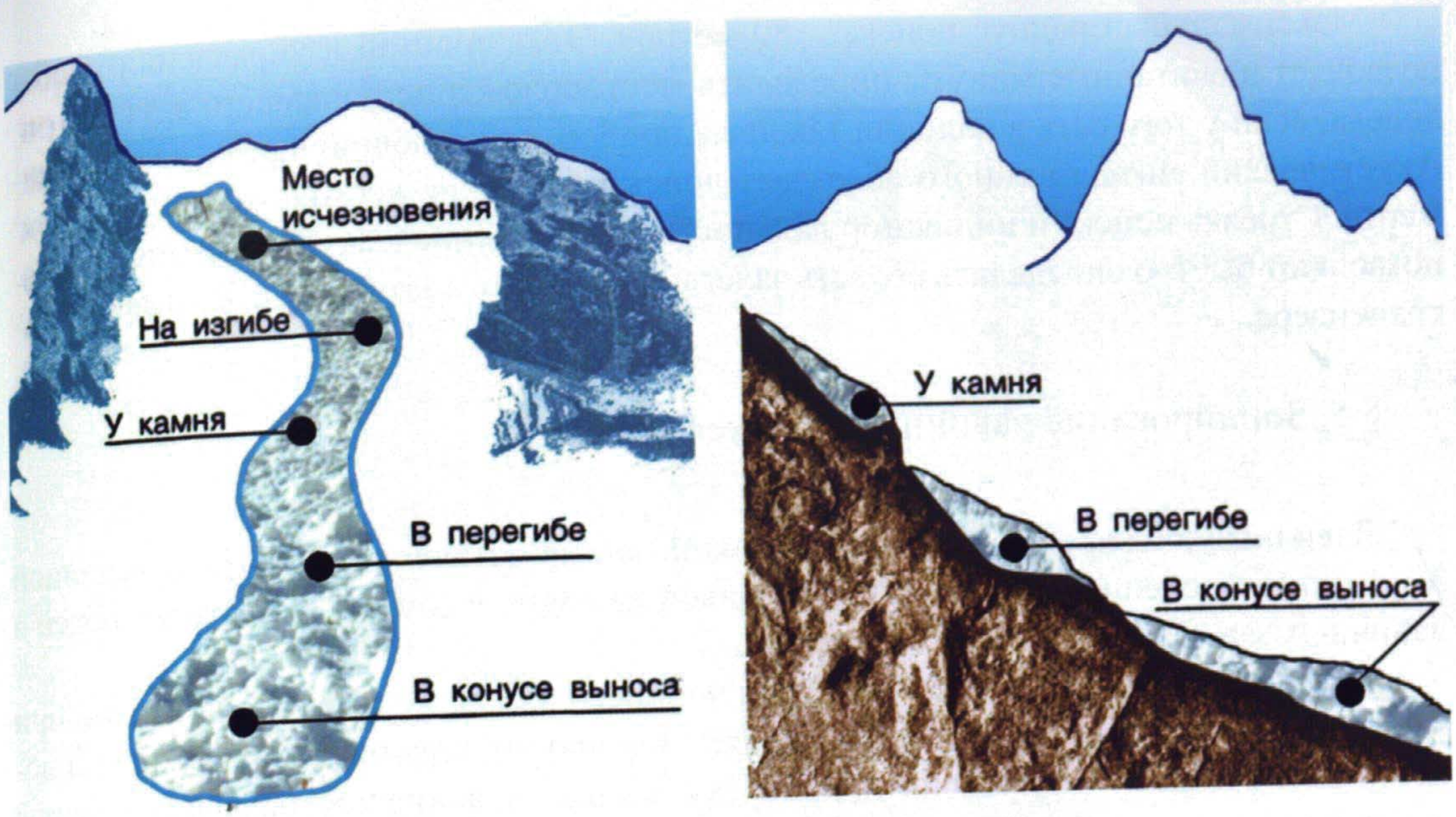


Рис. 2.74. Места вероятного нахождения пострадавшего в лавине

камней, в местах с резким перегибом склона. Поиск можно начинать от места исчезновения вниз или по конусу вверх. Выбирается тот способ, который обещает более быстрое обнаружение, однако второй вариант более надежен при реальной опасности повторного схода лавины.

§ 4. Поиск с помощью электронных маяков

Электронные маяки являются лучшими средствами оперативного обнаружения попавшего в лавину, именно поэтому они становятся сейчас необходимым атрибутом каждого уважающего себя любителя горного туризма. В экипировку хибинских лавинщиков входит персональный лавинный трансивер Focus-1 фирмы ORTOVOX, работающий как на прием, так и на передачу сигнала стандартной частоты 457 kHz.



Рис. 2.75. Внешний вид лавинного трансивера Focus-1

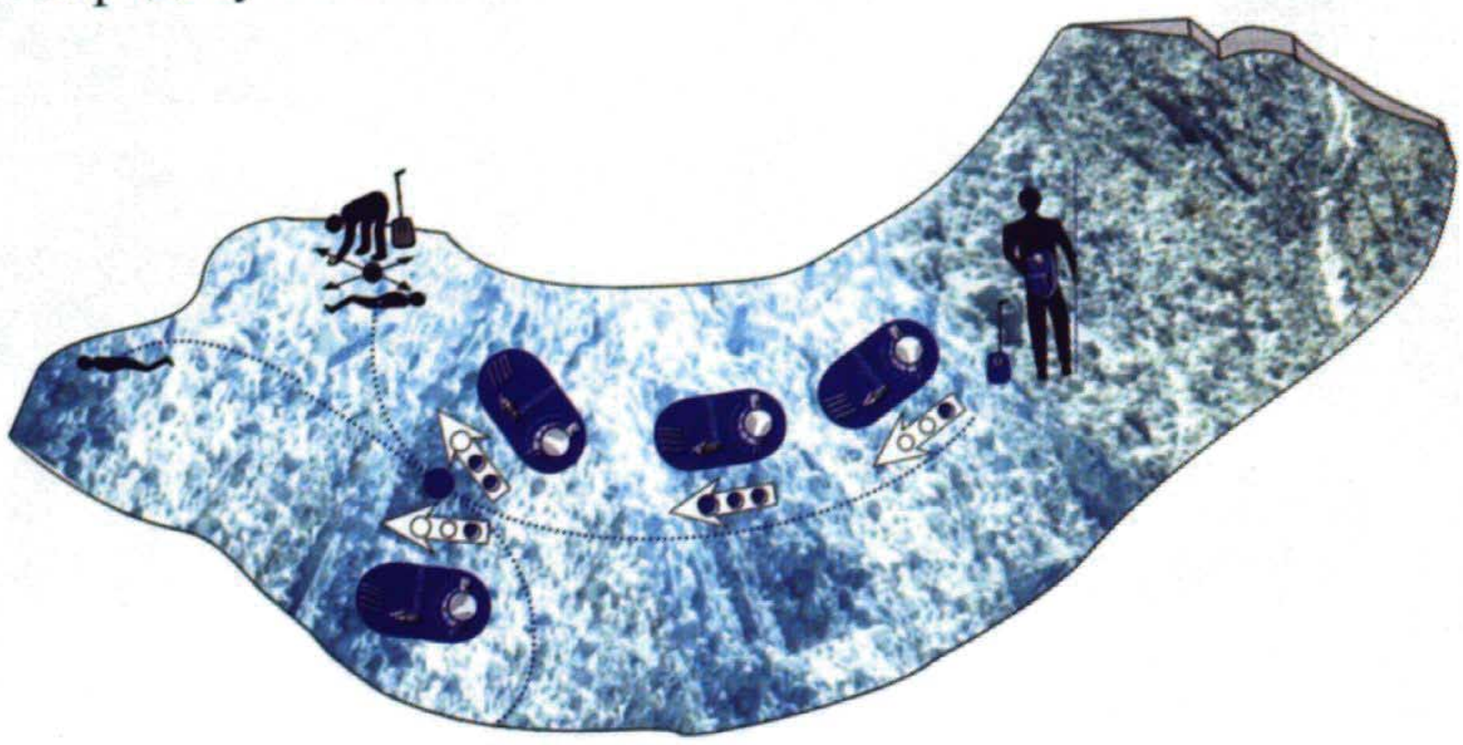


Рис. 2.76. Порядок поиска в лавинных отложениях двух пострадавших с помощью лавинного трансивера Focus-1

Максимальный радиус поиска – 80 метров. Этот простой в управлении прибор позволяет в считанные минуты определить местоположение попавшего в лавину человека, если у того есть в наличии такой же прибор, работающий в режиме передачи. Акустический сигнал намного облегчает поиск и спасение нескольких погребенных жертв. Стрелка поиска и индикатор дальности в дополнение к акустическому сигналу позволяют быстро определить область залегания второго, а затем и третьего лавинного трансивера.

§ 5. Зондирование лавинных отложений снега

Лавинный зонд представляет собой тонкий, легкий металлический стержень длиной 3 – 4 метра со специальной зубчатой коронкой на конце и служит для поиска людей в лавинных завалах.

Зонд нужно вводить строго вертикально, поскольку даже небольшой наклон при толщине лавинного снега 4 метра отклоняет коронку от заданного положения на десятки сантиметров. Это приводит к пропуску местоположения пострадавшего. Зонды вводятся нажатием рук без резких ударов, одновременно, по команде руководителя. При сильных морозах зондировать можно в перчатках или легких рукавицах.

При обнаружении подозрительного предмета зонд поворачивается на 180^0 по часовой стрелке и вынимается наружу. По следам, оставленным на зубьях коронки (ткань, земля, трава, кровь), можно судить об обнаруженном предмете. При соприкосновении коронки с телом человека зонд немного амортизирует, при этом звук практически отсутствует.

В зондировании должно принимать максимально возможное число спасателей. Все выстраиваются в плотную шеренгу. Шеренга спасателей должна продвигаться снизу вверх, соблюдая равнение. Чаще всего группа не в состоянии сразу охватить по ширине весь лавинный конус. В этом случае зондирование надо начинать с зоны наиболее



Рис. 2.77. Поиск пострадавших в лавине методом зондирования, л. о. № 7, 10.03.2006 г.

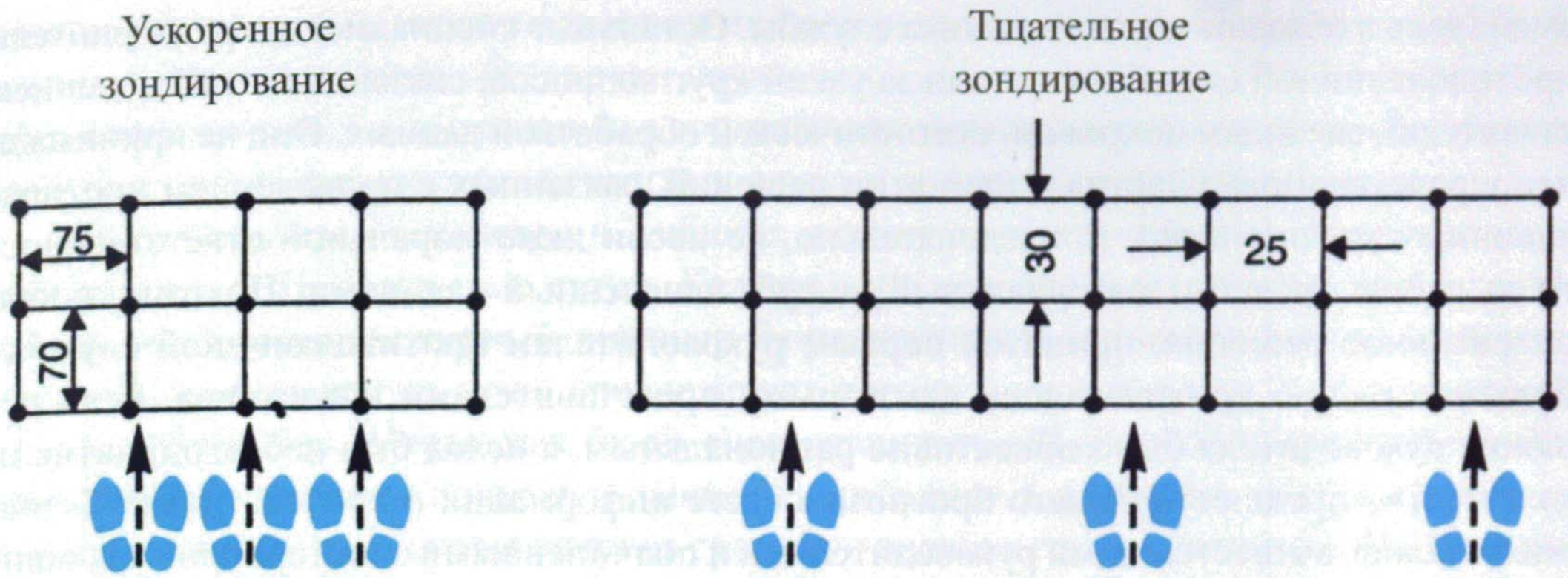


Рис. 2.78. Методы зондирования

вероятного нахождения засыпанного лавиной. Потом зондируют остальные участки.

Важным условием успешного проведения поиска в лавине является четкое взаимодействие всех участников и безусловное выполнение всех команд руководителя.

При ускоренном зондировании лавинные зонды и щупы из лыжных палок вводятся на расстоянии 70–75 см один от другого. При этом методе вероятность отыскания пострадавшего составляет около 70%, зато участок поиска проходится в пять раз быстрее, чем при тщательном зондировании, что дает больше надежд извлечь из лавины пострадавшего живым.

К тщательному зондированию прибегают, когда ускоренное не дало результатов. В этом случае зонды погружают в снег на расстоянии 25–30 см друг от друга. Шесть человек, делая каждый по три погружения зонда перед собой, прощупывают полосу в 5 метров шириной.

Глава 19. Психологические аспекты управления противолавинной службой

По данным экспертов из восьми стран мира, фундаментальные противолавинные сооружения обеспечивают безопасность от лавин на 90%, локальные прогнозы – на 70% и способы предупредительного спуска – на 60% [65].

Таким образом, выбор мест под строительство в лавиноопасных зонах, проектирование лавинозащитных сооружений, прогноз места и времени схода лавин, предупредительный спуск лавин, разработка и проведение мероприятий по предупреждению несчастных случаев и аварий от лавин связаны с определенным риском. Ошибки в принятии таких решений приводят к значительному материальному ущербу и гибели людей, поэтому каждое решение, содержащее риск, связано с определением ответственности. Чем больше риск, чем выше вероятность нежелательного исхода, тем большая ответственность ложится на плечи принимающего решение. Как правило, повышенная ответственность вызывает стресс и хроническое состояние тревоги у руководителя, принимающего такое решение.

В течение пятидесяти лет существования противолавинной службы комбината «Апатит» принятие решений, связанных с проведением противолавинных мероприятий,

вменялось в обязанности начальника службы. Остальные специалисты и руководители противолавинной службы отвечали за узкий круг вопросов, связанных с наблюдением за погодой, снежным покровом, статистической обработкой данных. Они не принимали непосредственного участия в принятии решений, связанных с проведением противолавинных мероприятий, и, следовательно, не несли даже моральной ответственности за гибель людей и материальный ущерб, нанесенный лавинами. Поэтому любое оперативное решение, принятое первым руководителем противолавинной службы, безответственно критиковалось некоторыми представителями коллектива. Если решение руководителя было объективно рациональным, а исход был неблагоприятным, то качество предшествующего прогноза в свете информации о последствиях обычно оценивалось вышестоящими руководителями и подчиненными апостериорно как ошибочное. За период с 1936 по 1981 год трое руководителей противолавинной службы были привлечены к уголовной ответственности, а остальные были сняты с должности за те или иные промахи в работе.

Неустойчивое положение руководителя противолавинной службы отражалось на морально-психологическом климате коллектива. Изменить организацию работы противолавинной службы комбината «Апатит» мне помогла научная работа польского ученого Ю. Козелецкого «Психологическая теория решения» [58]. К руководству были приняты следующие ее выводы:

1. Коллективные решения более рациональны, или, говоря языком политиков, менее субъективны.

2. Обсуждение проблемы в коллективе позволяет лучше и всесторонне оценить альтернативы и устранить явно невыгодные варианты.

3. Групповой принцип принятия решения более демократичен. Все члены коллектива, совместно принимая решения, разделяют ответственность за избранные варианты действий. Как правило, это улучшает отношения между людьми.

4. При коллективном решении повышается вероятность осуществления принятого решения, т. к. члены группы включаются в процесс выполнения своего собственного постановления.

5. Уровень риска, предпочитаемый группой, выше среднего риска, допускаемого индивидом, т. к. группа принимает решение более высокого уровня риска. Ответственность разделяется между всеми ее членами, что уменьшает страх перед неудачей.

Внедрение в практику работы противолавинной службы первых четырех выводов давало возможность изменить психологию безответственности, улучшить морально-психологический климат в коллективе, избежать грубых ошибок в принятии оперативных решений и нейтрализовать оппонентов в случае возникновения чрезвычайной ситуации. Конечно, ответственность за окончательное решение должна соответствовать должностному уровню каждого специалиста противолавинной службы.

В настоящее время в Центр лавинной безопасности ОАО «Апатит» входят две снеголавинные станции: «Центральная» и «Восточная», бюро прогнозов и бюро снеголавинных работ. Работа на снеголавинных станциях и в бюро прогнозов ведется круглосуточно. Каждые три часа дежурные специалисты проводят комплекс метеорологических наблюдений и на основе методик, разработанных в ЦЛБ, производят оценку лавинной опасности на подконтрольной территории. Если ситуация оценивается как лавиноопасная, то дежурные специалисты обязаны в срочном порядке доложить об

этом своим непосредственным руководителям и начальнику ЦЛБ. После всестороннего изучения снеголавинной обстановки начальник ЦЛБ, с учетом мнения специалистов, принимает окончательное решение в соответствии с разработанными «Планами мероприятий по предотвращению несчастных случаев и аварий от снежных лавин».

Снеголавинная обстановка в Хибинах находится под контролем специалистов и руководителей ЦЛБ круглые сутки. Каждое утро специалисты собираются на совещание, на котором дежурный инженер бюро прогнозов проводит анализ погодных условий за прошедшую ночь, прогнозирует погоду и снеголавинную обстановку на предстоящий день. Начальник бюро снеголавинных работ докладывает результаты шурфований снежного покрова и данные снегосъемок в лавинных очагах. Он обязан выявить опасные накопления снега на склонах и оценить его устойчивость. Начальники снеголавинных станций докладывают снеголавинную обстановку на территории Центрального и Восточного рудников. Каждый руководитель подтверждает свои выводы письменным заключением и дает свои предложения в соответствии с «Планами мероприятий по предотвращению аварий и несчастных случаев от лавин», в соответствии с которыми опасный участок должен быть закрыт. В том случае, если их доводы хорошо аргументированы, начальник противолавинной службы соглашается с подчиненными и дает команду на проведение оперативных мероприятий. В случае необходимости устойчивость снежного покрова на лавиноопасном склоне проверяется минометным обстрелом или подрывом взрывчатых веществ.

Практика показала, что рядовые специалисты, как правило, перестраховываются в оценке лавинной опасности. Решения на уровне начальников бюро и снеголавинных станций более рациональны, но и они не всегда совпадают с окончательным решением первого руководителя. Естественно, чтобы не попасть впросак, каждый специалист и руководитель службы должен относиться к выполнению своих обязанностей ответственно и постоянно повышать свой профессиональный уровень. Такая система работы сочетает в себе коллективную разработку решения с индивидуальной ответственностью каждого специалиста.

III. ВОДОСНЕЖНЫЕ ПОТОКИ

Глава 1. Общая характеристика ВСП

В мае 1957 года, обследуя южную часть Хибинских гор, отряд лавинщиков под руководством В. Н. Аккуратова обнаружил в верховьях долины реки Расвумйок огромные отложения снега, состоящие из крупных окатанных комьев. Обследования показали, что снег оторвался примерно с половины склона в овражной борозде, а необычная дальность выброса превзошла имеющиеся на тот момент представления о дальности выброса лавин. Крутизна склона в месте отрыва составила всего 7–8^0. Максимальная мощность снежного покрова в месте отрыва составляла около 3 м, а средняя – около 1,5 м. В центре плоскости отрыва у поверхности грунта образовался подснежный канал стока. Это навело на мысль, что причиной выброса огромной массы снега послужило увеличение притока талой воды в количестве, превышающем пропускную способность подснежного канала стока, или произошла его закупорка, что привело к созданию повышенного давления подснежного потока воды. Таким образом, повышенное гидродинамическое давление явилось начальным силовым импульсом движения огромной массы снега вниз по овражной борозде. По генетическому признаку образования этот



Рис. 3.1. Песчано-гравийные конусы, образовавшиеся в результате фонтанирования подснежных вод в русле р. Гакмана и избирательной абляции (таяния) снега



Рис. 3.2. Подпруженное озеро в верховьях р. Вуоннемйок. 22.06.2005 г.

вид склонового процесса В. Н. Аккуратовым был классифицирован как гидронапорная лавина.

Последующие обследования Хибинского горного массива показали, что открытое хибинскими лавинщиками природное явление имеет широкое распространение и разделяется на несколько видов. По составу и характеру движения учеными МГУ этот тип параселевых потоков был отнесен к снеговым селям и получил научное название водоснежный поток (ВСП), в зарубежной литературе – «Slushflow» [107].

Водоснежные потоки являются активным рельефообразующим фактором в Хибинах. Эрозионная способность водоснежных потоков зависит от скорости, характера движения и плотности селевой массы, достигающей значений 1100 кг/м^3 и более. По ходу движения водоснежные потоки захватывают продукты выветривания горных пород и выносят их на большие расстояния, формируя конусы выноса, внешне схожие с аккумулятивными конусами ливневых селей. Содержание каменно-обломочного материала в отдельных потоках может достигать нескольких тысяч м^3. Вес отдельных транспортируемых обломков горных пород может достигать нескольких тонн. В 1949 году водоснежный поток, образовавшийся в третьем левом притоке р. Вуоннемйок, вынес за один раз столько каменно-обломочного материала, что он запрудил реку и образовалось озеро.

Вследствие своей внезапности, высокой скорости движения и больших объемов ВСП относятся к особо опасным стихийно-разрушительным явлениям природы. Рассчитанные для Хибин скорости ВСП в среднем колеблются от 4 до 8 м/сек, но на крутых участках могут достигать 20 м/сек. Ударное давление ВСП зависит от его скорости, объемного веса и угла взаимодействия потока с препятствием и описывается формулой:

$$P = \frac{\lambda \times V^2}{g} \times \sin^2\beta,$$



Рис. 3.3. Фидерная подстанция, разрушенная селеподобным ВСП в долине р. Гакмана в мае 1995 года

где P – давление, λ – объемный вес, g – ускорение свободного падения, β – угол взаимодействия потока с препятствием. Таким образом, при скорости потока 20 м/сек и объемном весе 900 кг/м^3 сила прямого удара ВСП составит 36 т/м^2.

По характерным геоморфологическим и геоботаническим признакам учеными Проблемной лаборатории снежных лавин и селей географического факультета МГУ в Хибинах выявлено 217 очагов ВСП [73]. Среди очагов ВСП в Хибинах преобладают денудационные воронки, в том числе и лавиносборы, на втором месте – короткие пологие долины. Повторяемость ВСП в разных очагах от 3–10 лет и реже. Большинство из них зарождается в руслах ручьев, имеющих сезонный сток. Зимний сток в них отсутствует. В местах образования ВСП русло ручьев, как правило, имеет гладкую скальную поверхность с углом наклона 5–35°. Водоснежные потоки в Хибинах наблюдались только в период весеннего снеготаяния, хотя в горах соседней Норвегии ВСП наблюдались во время оттепелей и зимой.

Глава 2. Основные типы ВСП

§ 1. Лавиноподобные ВСП

Водоснежные потоки разделяются на три основных типа: лавиноподобные, селеподобные и паводкоподобные [88].

Лавиноподобные ВСП образуются в начальный период снеготаяния в V-образных руслах водотоков, когда русловая толща снега еще имеет отрицательную температуру. Основными механизмами образования лавиноподобных ВСП являются: гидронапорный, гравитационный и суффозионный. При гравитационном механизме движение возникает вследствие намокания снежной толщи и увеличения составляющей силы тяжести, направленной вдоль склона. Этот механизм напоминает срыв лавины, но при насыщении нижнего слоя снега водой. Такой механизм наблюдается в Хибинах в местах, близких по



Рис. 3.4. Лавиноподобный ВСП в воронке над АБК Расвумчоррского рудника. 17–18 мая 2005 года

своим морфологическим характеристикам к зонам зарождения лавин. Суффозионный механизм связан с процессом разрушения и выноса снега в результате напорной фильтрации в основании снежной толщи. Разрушение происходит, как было установлено наблюдениями, при скорости фильтрации 3 см/сек. Такая скорость достигается, когда фильтрация происходит под некоторым напором. Напорная фильтрация наблюдается в начальный период таяния в слое снега между подстилающей поверхностью и водоупорными ледяными слоями при увеличении фильтрационного стока.

В обычных условиях разрушение структуры снежного покрова в припочвенном слое происходит последовательно снизу вверх по руслу. Это обычный процесс формирования подснежного канала стока. В случае же образования ВСП процесс разрушения охватывает единовременно значительный участок русловой толщи снега, при этом возникают разрывы, просадки и в конечном итоге потеря устойчивости снега. Гидронапорный механизм связан с прорывом талых вод на снежную поверхность, в количестве, достаточном, чтобы напитать снежную толщу, лежащую ниже разрыва. Такое явление наблюдается в узких горловинах денудационных воронок, как в момент образования подснежного канала стока, так и позже, когда по каким-либо причинам резко уменьшается сечение подснежного канала.

Преобладающие углы наклона в зоне зарождения составляют 20–30°. Для лавиноподобных ВСП характерна малая степень водонасыщенности. Объемное содержание воды составляет около 10–20%, содержание каменного материала незначительно. По характеру движения и отложениям лавиноподобные ВСП мало отличаются от мокрых лавин. Отрыв лавиноподобных водоснежных потоков в каждой воронке происходит, как правило, в одном и том же месте, а дальность выброса напрямую зависит от массы



Рис. 3.5. Зона отрыва ВСП. Воронка АБК. 17–18.05.2005 г.

водоснежного потока и геоморфологических особенностей очага ВСП. Чем лучше канализировано русло ручья и больше его длина, тем дальность выброса лавиноподобного ВСП будет дальше.

Таблица 3.1

Характеристики лавиноподобных ВСП, сошедших в воронке над АБК Расвумчоррского рудника

Дата	Объем отложений, в тыс. $м^3$	Угол отрыва, в град.	Высота отрыва, в абс. м	Высота остановки, в абс. м	Горизонтальная проекция пути, в м
11.05.1982	6,0	25–30	700	520	360
19.05.1988	2,9	25–30	700	555	260
15.05.2003	0,5	25–30	705	584	205
6.05. 2004	8,5	25–30	700	515	410
17–18.05.2005	20,6	25–30	710	500	475

Воронка над АБК Расвумчоррского рудника характеризуется малой длиной канализированного русла. Водоснежный поток, образующийся в устье денудационной воронки, практически сразу выходит на веерообразный конус выноса и растекается по нему, как обычная мокрая лавина. При этом часть воды отфильтровывается в грунт и коэффициент трения ВСП увеличивается.

Уменьшение воды в составе водоснежного потока можно использовать в защитных мероприятиях. Практика показала, что при взаимодействии ВСП, образовавшихся в лавинном очаге № 84, с отвалами горных пород на Восточном руднике жидкая фракция ВСП отфильтровывается отвалами и подвижность потока резко уменьшается. В перспективе это свойство отвалов можно использовать в защитных целях при проектировании карьера в долине р. Юкспорйок. Чтобы полностью исключить угрозу ВСП и паводков из долины р. Гакмана, там нужно разместить вскрышные породы.



Рис. 3.6. Верхняя часть отложений ВСП. В центре – промоины, образованные водой в хвосте потока. Воронка АБК. 17–18.05.05 г.



Рис. 3.7. Средняя часть отложений ВСП. Воронка АБК. 17–18.05.05 г.



Рис. 3.8. Нижняя часть отложений ВСП. Воронка АБК. 17–18.05.05 г.

§ 2. Селеподобные ВСП

Селеподобные ВСП отличаются от лавиноподобных большим содержанием воды и грязекаменного материала в общей массе потока. Объемное содержание воды составляет около 20–50%, содержание каменного материала – 8–12%. Преобладающие углы наклона в зоне зарождения ВСП составляют 10–20°. Основным механизмом образования для них является прорывной, реже суффозионный и гидронапорный.



Рис. 3.9. Зона формирования селеподобного ВСП в долине р. Гакмана. 19.05.88 г.



Рис. 3.10. Зона транзита селеподобного ВСП в долине р. Гакмана. 19.05.88 г.

Прорывной механизм возникновения ВСП характерен для русел, перегораживаемых лавинами или ВСП, выше которых скапливается вода. Высота лавинных плотин в Хибинах достигает 6–8 м, а объем подпруженных озер – нескольких тысяч м^3. Они образуются преимущественно в среднем и верхнем течении боковых притоков рек Хибин.

Образованию селеподобных ВСП предшествуют интенсивное таяние снежного покрова и обильные дожди, обеспечивающие возможность накопления большого количества воды выше плотин. Селеподобные потоки благодаря большому количеству воды, высокой степени текучести обладают значительной эродирующей способностью и огромной разрушительной силой.



Рис. 3.11. Фрагменты железобетонной стены фидерной подстанции, вынесенные селеподобным ВСП. Долина р. Гакмана. Май 1995 г.



Рис. 3.12. Характерные отложения селеподобного ВСП в средней части долины р. Гакмана. 19.05. 2003 г.

Отложения селеподобных ВСП отличны от селевых лишь более рыхлым содержанием и меньшей сортировкой обломочного материала. По мере движения вниз по долине селеподобные ВСП могут трансформироваться в паводковые ВСП, а те в свою очередь в паводковую волну. Такая трансформация характерна для ВСП, образующихся в долине р. Гакмана.

§ 3. Паводкоподобные ВСП

Паводкоподобные ВСП характеризуются максимальной водонасыщенностью и крайней степенью текучести, приближающейся к водному потоку. Объемное содержание воды составляет 60–70%, содержание каменного материала до 4%. Преобладающие углы наклона в зоне зарождения ВСП составляют 5–10°. Для паводковых ВСП характерны фильтрационный и прорывной механизмы образования.



Рис. 3.13. Место отрыва паводкового ВСП в водоотводном канале р. Гакмана. 15.05.2003 г.



Рис. 3.14. Отложения паводкового ВСП на дороге к защитной дамбе. 15.05.2003 г.

Фильтрационный механизм связан с уменьшением сил сцепления между зернами снежной толщи, насыщенной водой. При этом снег стекает как разжиженная масса. В Хибинах такие потоки наблюдаются в руслах при выходе фильтрующихся вод на снежную поверхность с наклоном до 5–8° или в узких пологих руслах, где фильтрация происходит длительное время по всей снежной толще. Возникают паводкоподобные ВСП при тех же метеоусловиях, что и селеподобные. По мере движения паводковые ВСП часто трансформируются в паводковую волну, разрушающая сила которой может проявляться на расстоянии нескольких километров от конца отложений снега и грязи.

Глава 3. Диагностика и прогноз ситуаций, связанных с образованием водоснежных потоков

Регулярные наблюдения за водоснежными потоками проводятся в Хибинах с середины 50-х годов XX века. Все зарегистрированные ВСП образовались исключительно в период весеннего снеготаяния между 28 апреля и 10 июня. До середины 90-х годов методики диагностики и прогноза ситуаций, связанных с образованием водоснежных потоков, не существовало.

В практике прогнозирования ВСП использовался опыт специалистов, основанный на отдельных признаках, присущих их сходу. По материалам исследований, проведенных В. Н. Сапуновым, основными признаками начала периода опасности ВСП является наступление глубокой оттепели на уровне Хибинских вершин и относительно небольшая высота снега в русле.

При поддержке Норвежского исследовательского совета при правительстве Норвегии специалистами Центра лавинной безопасности ОАО «Апатит» и Норвежского геотехнического института в 1998 году была разработана и внедрена в практику первая методика прогнозирования ВСП в Хибинах [102].

Для разделения ситуаций с водоснежными потоками и без них были использованы линейный дискриминантный анализ и формула Байеса. Такие параметры, как средние температура и относительная влажность воздуха, скорость ветра, облачность, осадки, толщина снега, оказались малоинформативными, поэтому вполне естественно, что для разделения ситуаций стали использоваться основные параметры, характеризующие ВСП. Это – толщина снега на склоне и суточное поступление воды в снежный покров. Суточное количество воды, поступившей в снежный покров в результате снеготаяния, рассчитывается на основе упрощенной модели теплового баланса.

$$Q_M = Q_H + Q_E + Q_N \quad (1),$$

$$Q_H = (0{,}8V_{sz} + 0{,}6)t_{sz} \quad (2),$$

$$Q_E = (0{,}8V_{sz} + 0{,}6)1/y\ (e_{sz} - e_0) \quad (3),$$

$$Q_N = (-0{,}16(1 - C) + 0{,}81(1 - C)^{1/2} + 0{,}07)\ Q_{ex}\ (1 + 0{,}13\ (1 - C) + 0{,}05\ln D - 0{,}87) + (0{,}265\delta\ T^4_{sz} + 18{,}4C - 23{,}9) - 81{,}8 \quad (4),$$

где Q_M – энергия, затраченная на таяние снега, Q_H – турбулентный поток тепла, Q_E – поток тепла, связанный с конденсацией и испарением, Q_N – радиационный баланс (все в мм/сут.), V_{sz} – скорость ветра в районе зоны зарождения ВСП, t_{sz} – температура воздуха в этом районе, e_{sz} –давление водяного пара в этом районе, e_0 – парциальное давление насыщенного водяного пара при 0 °С, у – влажноадиабатический градиент температуры, 0,6°/ 100 м, С – облачность, в долях единицы, Q_{ex} – количество солнечной энергии, поступающее на границу атмосферы на данной широте в данное время года, мм/сут., D – число дней с последнего снегопада, δ – постоянная Стефана – Больцмана, T_{sz} – температура воздуха в зоне зарождения ВСП, в К°. Энергия в формулах 1–4 выражается толщиной эквивалентного слоя воды, образующегося при таянии снега. Суточное поступление воды в снежный покров является наиболее информативным параметром, который используется и для прогноза паводка в Хибинах.

Дискриминантная функция для классификации дней с водоснежными потоками и без них выглядит так:

$$F(h,i) = 0{,}0221h + 0{,}0962i - 5{,}11,$$

где i – суточное поступление воды в снежный покров, мм, h – толщина снега, см. Если F(h,i) больше или равна нулю, день классифицируется как с водоснежным потоком,

в противном случае – без него. При проверке метода было правильно диагностировано 78,8 % дней с водоснежными потоками и 85,5% дней без них.

Формула Байеса для классификации дней с водоснежными потоками и без них выглядит так:

$$P(S/x_1,\ldots, x_n)=\frac{1}{1+\left(\frac{1}{P(S)}-1\right)\frac{P_N(x_i)\,\rho_N(x_h)}{P_s(x_i)\,\rho_S(x_h)}},$$

где $P(S/x_1,\ldots,x_n)$ – условная вероятность ситуации с ВСП, $P(S)$ – априорная вероятность ситуации с ВСП, $\rho_S(x_i)$ – условная плотность вероятности признака x_i и $\rho_N(x_h)$ – условная плотность вероятности признака x_h для S-ситуации с ВСП и N-ситуаций без ВСП.

Точность категорической классификации, при пороговой вероятности, равной 0,4 для обоих типов ситуаций, составила около 80%.

Оба метода диагностики легко трансформируются в прогностические, если вместо текущих данных использовать прогностические величины. При суточном осреднении с помощью скользящего среднего, примененного к стандартным метеорологическим данным, можно получить значение дискриминантной функции или вероятности образования ВСП с разрешением 3 часа. Таким образом, помимо того, что данные методы можно применять как чисто формальные процедуры для прогнозирования водоснежных потоков, они могут быть использованы как мощное средство, помогающее прогнозистам наблюдать процесс в динамике и пересматривать субъективные оценки вероятности образования ВСП.

Глава 4. Меры защиты от ВСП

Опыт защиты от ВСП весьма ограничен. Первый минометный обстрел зоны формирования водоснежного потока был проведен по предложению автора из 120-миллиметрового миномета 19 мая 1978 года на горе Коашва. Снежный покров в русле лавинного очага № 84 был разрушен, и талые воды смогли беспрепятственно стекать



Рис. 3.15. Место формирования ВСП. Лавинный очаг № 22. На втором плане – лавинозащитная дамба. 21.04.2003 г.



Рис. 3.16. Карьер-ловушка на конусах выноса лавиносборов № 22–23. 21.04.2003 г.

вниз. В результате минометного обстрела угроза образования ВСП в лавинном очаге № 84 была устранена [50]. Позднее был проведен минометный обстрел русла лавинного очага № 227 на горе Кукисвумчорр. На этот раз был использован 160-миллиметровый миномет. В обоих случаях после обстрелов образования водоснежных потоков не произошло, однако больше обстрелов зон зарождения ВСП не производилось из-за отсутствия такой необходимости.

В принципе противолавинные сооружения, построенные в Хибинах, в той или иной степени служат и для защиты от ВСП. В полдень 19 мая 1988 года во время планового осмотра лавинных очагов мы заметили, что снег в горловине лавинного очага № 22 приобрел лазурную окраску. Площадь пятна была порядка 100 м^2, и она на глазах увеличивалась в размерах. Было ясно, что через некоторое время снег в русле будет не в состоянии удерживать воду и водонасыщенная снежная масса ударит по строителям, возводящим противолавинные сооружения на конусах выноса лавинных очагов № 22 и № 23. Нужно было принимать срочные меры. Мы въехали на стройплощадку, быстро посадили рабочих на машину и вывезли в безопасное место. Через пятнадцать минут произошел прорыв и мокрая снежная масса объемом около 25 тыс. м^3 устремилась вниз на недостроенные противолавинные сооружения. Водоснежный поток перекрыл три транспортные бермы, сбросил с уступа автодороги кузов грузового автомобиля и остановился в частично отрытом строителями карьере-ловушке в 130 метрах от железной дороги. По ходу движения водоснежная масса размыла верхнюю транспортную берму. Ширина размыва составила 10 метров, а глубина 1 метр. Угол склона вместе отрыва ВСП, по данным замеров, составил 17–20°.

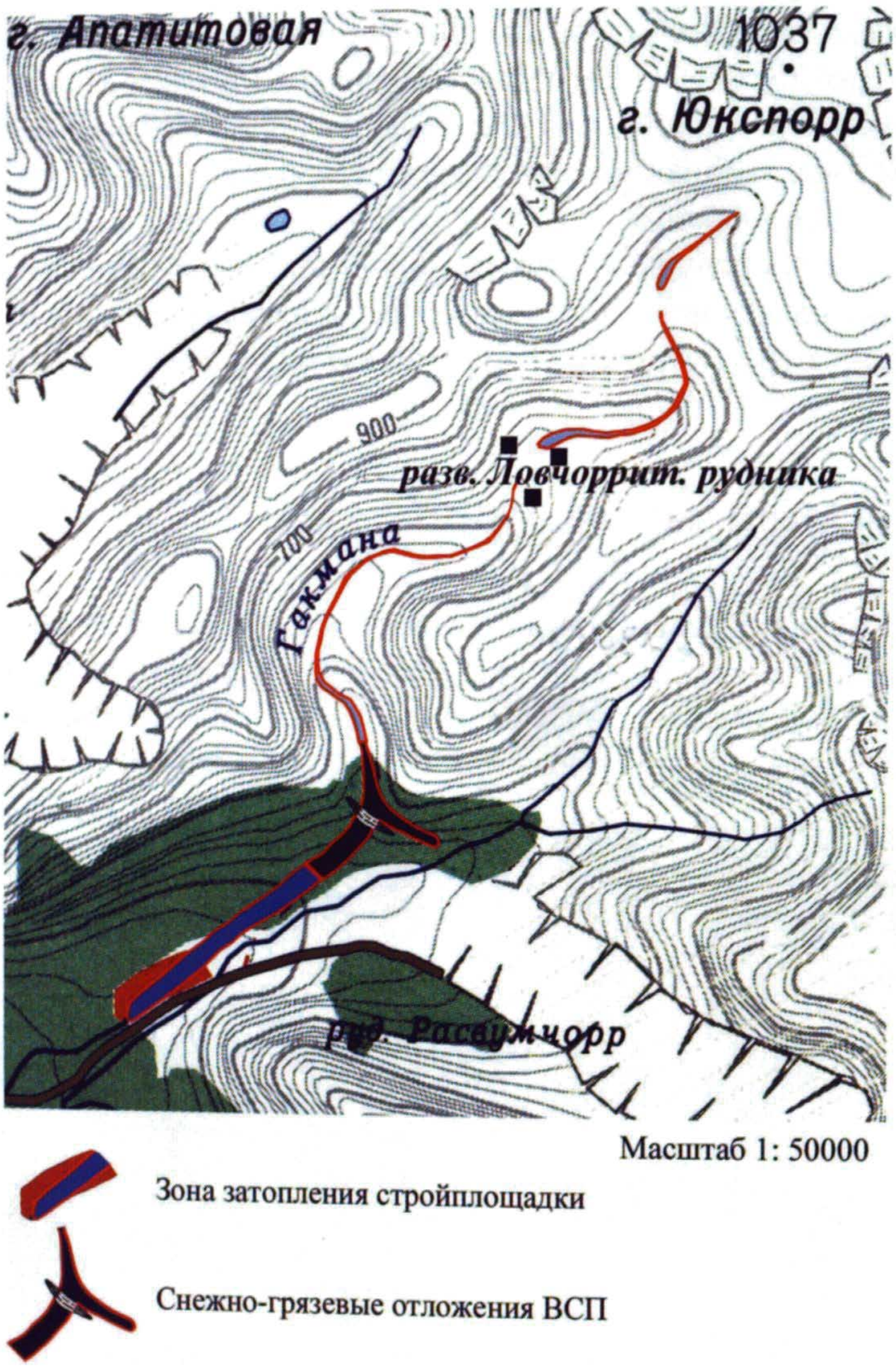


Рис. 3.17. Карта водоснежных потоков, сошедших 19.05.1988 г. в долине р. Гакмана

За 16 лет эксплуатации защитных сооружений, пос-

троенных на конусах выноса лавинных очагов № 22 и № 23, железная дорога и жилые дома по улице Комсомольской ни разу не подвергались воздействию снежных лавин и водоснежных потоков.

Специальная защита от ВСП потребовалась в связи с проектированием Коашвинского карьера. В 1980 году в долине ручья Коашва была сооружена 24-метровая дамба с отводным каналом и прораном по проекту, разработанному К. Ф. Войтковским. Дамба была построена для защиты Коашвинского карьера от ВСП, формирующихся в русле лавинного очага № 76. За период эксплуатации этой дамбы ВСП в лавинном очаге № 76 не наблюдался, поэтому оценить работу этого защитного сооружения пока невозможно.

Необходимость строительства защитных сооружений в долине р. Гакмана проявилась 19 мая 1988 года, когда в 14 часов мощный поток грязной воды ворвался на стройплощадку Юкспорского рудника и затопил часть фундаментов строящихся объектов. Только по счастливой случайности обошлось без жертв. Рабочие заметили приближающийся вал воды и успели выскочить из котлована и убежать из опасной зоны.

При осмотре специалистами места аварии было установлено, что затопление строительной площадки Юкспорского рудника произошло в результате схода водоснежного потока из долины р. Гакмана.

На момент схода ВСП температура воздуха поднялась до +13° и выпало более 10 мм жидких осадков, что привело к интенсивному таянию снежного покрова в горах и поступлению воды в русла ручьев и малых рек. Осмотр водоотводной дамбы и русла канала для отвода р. Гакмана был произведен за 2 часа до схода ВСП. Русло реки и водоотводный канал были заполнены снегом, сформировавшимся в течение зимы. Сток воды был незначительным, а русло было в самой первой стадии формирования. Наличие мощного снежного покрова в русле препятствовало фильтрации талых вод.

Детальное обследование ВСП и долины р. Гакмана было произведено 22–24 мая специалистами ЦПЗ Ю. Л. Зюзиным, И. Г. Поповым, Н. А. Харченко и Б. Б. Вахмистровым. В результате обследования долины р. Гакмана кроме основного ВСП в верховьях долины были обнаружены еще два небольших водоснежных потока.

Отрыв верхнего ВСП произошел на отметке 850 м. Крутизна днища долины в месте отрыва составляла 8°. Водоснежный поток прошел вниз по долине 550 м и, войдя в русло, имеющее меньший уклон, выплеснулся на поверхность снежного покрова. Объем снежных отложений составил 550 м^3.

Следующий выброс водоснежной массы произошел на расстоянии 100 м ниже по долине. Водоснежный поток, захватывая мелкие камни и песок с днища и бортов русла, прошел вниз по долине 1300 м и, потеряв скорость, вновь выплеснулся на снежный покров. Угол русла в месте отрыва составил 10°, в месте остановки 4°. Объем снежных отложений составил 500 м^3.

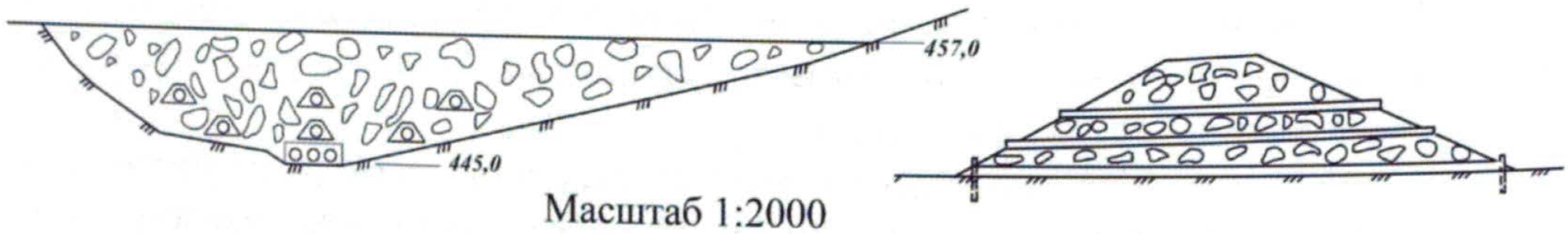
Основная масса снега сорвалась в 50 метрах ниже от границы отложений второго потока. Отрыв снежного пласта произошел на отметке 620 м. Угол уклона в месте отрыва снежного пласта составил всего 5°. Во время движения ВСП в узкой извилистой части русла произошло резкое торможение потока и его сжатие. Мощный вал водоснежной массы преодолел это препятствие и ринулся вниз. Высота заплесков на поворотах русла достигала 10 м, а размер перемещаемых камней до 2 м^3. По расчетам скорость ВСП на этом участке пути составила 10 м/сек. На выходе из долины снежно-грязевая масса заполнила водоотводный канал полностью, разрушила дамбу и устремилась по старому руслу р. Гакмана.



Рис. 3.18. Очистка фундаментов после воздействия паводковой волны, вызванной ВСП 19 мая 1988 г. Слой песка и грязи после откачки воды

Далее основная масса потока достигла грунтовой дороги к автосъезду Юкспорского рудника и перехлестнула ее. Поток состоял преимущественно из воды, что обеспечивало ему особую подвижность. Миновав водопропускной тоннель под железной дорогой, водный поток устремился на территорию стройплощадки Юкспорского рудника и затопил ее. По словам строителей, передний фронт потока был высотой около 1,5 м. Общий объем водоснежного потока составил около 80 тыс. м^3. Нижняя отметка отложений – 405 м. Расстояние от начала движения до конца снегокаменных отложений – 3,3 км. Общий объем водного потока оценивается в 40 тыс. м^3. Длина его пробега составила 1,2 км при перепаде высот 50 м.

В 1988 году по предложению автора на выходе из долины р. Гакмана была сооружена 12-метровая защитная дамба со сливными трубами, расположенными на трех уровнях. По руслу р. Гакмана были расположены три стальные обетонированные трубы диаметром 1020 мм, три трубы в песчано-гравийной обсыпке на высоте 3 мет-



Масштаб 1:2000

Рис. 3.19. Защитная дамба в долине р. Гакмана

ров и три аналогичные трубы на высоте 6 метров над уровнем основания дамбы. По наблюдениям автора, в период весеннего паводка уровень воды в нижних трубах не превышал 60–70 см.

За период эксплуатации защитная дамба выдержала два удара ВСП, которые первоначально сформировались как селеподобные, но по мере движения вниз по долине трансформировались в паводкоподобные ВСП. Первый удар ВСП дамба выдержала в мае 1995 года, а второй – 15 мая 2003 года. В обоих случаях уровень водоснежной массы перед дамбой поднялся выше уровня второго ряда водопропускных труб.



Рис. 3.20. Момент взаимодействия паводкового ВСП с защитной дамбой. 15.05.2003 г.

Сотрудники Центра лавинной безопасности И. Г. Попов и Б. Б. Вахмистров стали очевидцами схода ВСП паводкового типа в долине Гакмана, который сошел в 12.30 15 мая 2003 года, и сделали описание этого довольно редкого явления: «При подходе к дамбе поток двигался с характерным шумом. Нижний ряд водопропускных труб не справился с потоком, и уровень водоснежной массы резко поднялся до среднего ряда водопропускных труб.

Спустя несколько минут в образовавшемся перед дамбой водоеме образовалась воронка, и вода с шумом устремилась по трубам на внешнюю сторону дамбы и далее волной покатилась по каналу вниз. После спада воды перед дамбой остались загрязненные отложения снега».

Паводковая волна достигла русла реки Юкспорйок и прошла вниз по долине еще более километра. Масштаб паводковой волны, образовавшейся после остановки ВСП перед защитной дамбой, определялся пропускной способностью двух нижних рядов водопропускных труб. Чтобы избежать нежелательных последствий воздействия паводковой волны в дальнейшем, ее размер можно регулировать числом рабочих дренажных труб, расположенных в дамбе.



Рис. 3.21. Снежно-грязевые отложения перед защитной дамбой после спада воды. 15.05.03 г.



Рис. 3.22. Паводковая волна, образовавшаяся за защитной дамбой.15.05.03 г.

Таким образом, мероприятия по защите от водоснежных потоков могут быть достаточно разнообразны – от типично противолавинных для лавиноподобных потоков до гидротехнических для паводкоподобных ВСП. В зависимости от типа ВСП по генезису, механическому составу и движению и в соответствии с характером защищаемого объекта можно воздействовать на снежную, водную или каменную составляющие потока.

IV. ПАВОДКИ В ХИБИНАХ

Глава 1. Гидрологическая характеристика Хибин

Большое количество осадков в Хибинах при сравнительно малом испарении и наличии скальных или образованных мореной водоупорных горизонтов определяют наличие большого количества ручьев и рек. Реки имеют крутые в верховьях и постепенно выполаживающиеся в нижнем течении продольные профили. Длина рек и площадь их бассейнов ограничены небольшими размерами горного массива. Долины рек прямолинейны, а их профиль ступенчатый и порожистый. Реки берут начало в цирковых и перевальных озерах или образуются в результате слияния ручьев у подножий склонов. В горной зоне и на порожистых участках хибинские реки отличаются крайней неровностью водной поверхности и бурным течением. При выходе в долину течение становится более спокойным. Средние скорости течения в хибинских реках 0,4 – 0,6 м/сек, а в период половодья возрастают до 2 м/сек [72].

Таблица 4.1.

Гидрографические характеристики главных рек Хибин

Река	Длина, км	Уклон, %	Площадь бассейна, км^2	Бассейн озера
Большая Белая	20	16,5	227	Имандра
Малая Белая	12	44,9	80	Имандра
Гольцовка	16	44,3	90	Имандра
Кунйок	39	16,5	341	Имандра
Майвальтайок	17	–	61	Умбозеро
Тульйок	23	–	224	Умбозеро
Вуоннемйок	17	22,0	85	Умбозеро

Сток рек образуется в результате выпадения дождей, таяния снега в горах и конденсации атмосферной влаги на поверхности земли во время туманов. Часть воды, поступающей на поверхность земли, затрачивается на заполнение отрицательных форм микрорельефа и на впитывание в почву. Только после заполнения отдельных углублений и притом после того момента, как интенсивность дождя или таяния снега станет превосходить интенсивность инфильтрации, возникает сток.

Для количественной оценки стока рек применяются следующие его характеристики.

Объем стока W м^3 – количество воды, протекающее в русле реки через данный замыкающий створ за промежуток времени T суток,

$$W = 86400 Q_{ср} T,$$

где $Q_{ср}$ – средний расход в м/сек за время Т суток; 86400 – число секунд в сутках.

Модуль стока М л/сек×км^2 – количество воды, стекающей с единицы площади в единицу времени,

$$M = 10^3 \frac{Q}{F},$$

где F – водосборная площадь в км^2.

Слой стока Y – слой воды в миллиметрах, равномерно распределенной по площади F и стекающей с водосбора за некоторый промежуток времени Т суток,

$$Y = \frac{86{,}4TQ}{F}.$$

Слой стока за год в миллиметрах: Y = 31,54M.

Коэффициент стока η – безразмерная величина, характеризующая отношение величины слоя стока с данной площади за некоторый промежуток времени к величине слоя атмосферных осадков, выпадающих на эту площадь за тот же промежуток времени.

Твердый сток определяется количеством вынесенного материала (т/сутки) и зависит также от размера зерен, от состава и текстуры первичной породы.

Сток, происходящий по поверхности земли, называется склоновым или поверхностным стоком. Часть талой и дождевой воды просачивается через грунт, пополняя запасы грунтовых вод, которые тоже попадают в речную сеть подземными путями. Поверхностный и подземный сток формируют речной сток. Все главные реки Хибин имеют постоянный сток. Вода, движущаяся по неровной поверхности земли в виде склонового стока, может скапливаться в неровностях поверхности, образует небольшие ручейки. Ручьи изменяют конфигурацию первичных склонов, образуют мелкие овражки, превращая их в маленькие долины с крутыми склонами. Продолжающееся увеличение объема воды, переносимой ручьями, приводит к усилению эрозии, в результате чего образуются ветвящиеся дренажные системы, в каждую из которых стекает вода из собственного небольшого водосборного бассейна.

Водосборный бассейн – это площадь поверхности земли, с которой вода и осадки выносятся в русло потока. Граница водосборного бассейна называется водоразделом, так как он отделяет сток одной речной системы от стока другой.

Величина стока главных рек за период весеннего снеготаяния в основном зависит от площади бассейна и водного запаса снежного покрова, который колеблется от 400 до 500 мм. Доля летне-осеннего стока составляет 20–30% от годового объема. Зимний сток постоянных рек незначителен, а их истоки расположены несколько ниже, чем летом. Годовой цикл водного режима главных рек Хибин можно подразделить на четыре фазы: весеннее половодье, летняя межень, осенние паводки и зимняя межень.

Зимние расходы главных рек целиком обусловлены грунтовым питанием. Минимум речного стока, наступающий в конце периода отрицательных температур, выражает минимальную величину грунтового питания, которое в значительной степени зависит от высотного положения бассейна, от того, насколько сильно подземные воды питают поверхностные водотоки.

По классификации Б. Д. Зайкова, реки Хибин относятся к восточноевропейскому типу. Реки этого типа характеризуются высоким и длительным половодьем и понижен-

ным стоком в летнюю и зимнюю межени. Продолжительность половодья колеблется в зависимости от размеров речных бассейнов. Летом проходят кратковременные дождевые паводки. Осенние подъемы уровней и расходов под влиянием обложных дождей бывают ежегодно [35].

Реки транспортируют содержащиеся в них взвешенные осадки, заставляя грубые частицы скользить и перекатываться по дну, перенося тонкий песчаный и глинистый материал во взвешенном состоянии, а растворимые соединения в растворе. Перенос во время паводков как более крупных обломков, так и большого объема осадков свидетельствует о том, что увеличение водоносности и скорости течения реки значительно увеличивают ее способность переносить осадки. Эта дополнительная способность к транспортировке является результатом увеличения турбулентности движения воды. Для грубозернистого материала размеры самых крупных частиц, переносимых по дну реки, изменяются прямо пропорционально скорости течения в степени 2,6 [8].

$$M = к \times V^{2.6},$$

где M – объем частицы, V – скорость движения воды, к – гидродинамический коэффициент, зависящий от формы и плотности переносимой частицы.

Притоки главных рек – ручьи – зарождаются на высотах 500–700 м. Длина их не превышает 3 км при площади водосборного бассейна 3–8 км^2. Наклон русла ручьев и малых рек в верховьях достигает 15^0, в низовьях – $1–2^0$, поэтому скорость их течения значительно выше главных рек. При впадении в главную реку ширина притоков достигает 3–5 м, а глубина – 0,5–1,0 м. Величина среднего слоя стока в период весеннего снеготаяния достигает 500–700 мм. Доля летне-осеннего стока в притоках составляет всего 10–20%. В зимний период сток в них отсутствует. Годовой цикл водного режима притоков главных рек Хибин имеет три фазы: весеннее половодье, летняя межень и осенние паводки.

Глава 2. Водный баланс в долине реки Вуоннемйок

Особый практический интерес представляет водный баланс в долине реки Вуоннемйок, где расположены Коашвинский и Ньоркпахский карьеры. Река Вуоннемйок берет начало близ перевала Юкспоррлак на отметке около 575 м и впадает в Умбозеро. Исток имеет вид родника, питаемого водами тающего снежника. В зимнее время течение наблюдается лишь с отметки около 285 м. Длина реки 17 км, средний уклон 22%. Ширина в верховьях 0,5–3,0 м, в нижнем течении 10–20 м. В верховьях берега крутые, обрывистые высотой до 5 м, сложены кристаллическими породами, пересеченными тектоническими трещинами. В среднем и нижнем течении берега сложены рыхлыми породами и имеют высоту от 0,5 до 50 м. Площадь водосбора составляет примерно 85 км^2, из них около 50% лежит на отметках свыше 500 м, представляя горные плато и склоны гор.

Зимние расходы р. Вуоннемйок целиком обусловлены грунтовым питанием. Минимум речного стока, наступающий в конце периода отрицательных температур, выражает минимальную величину грунтового питания. Максимум речного стока наблюдается в период весеннего половодья.

В 1963 году минимальный расход составил 0,26 м^3/сек, минимальный модуль стока 3,06 л/сек×км^2, среднегодовые значения соответственно составили 2,06 м^3/сек и



Рис. 4.1. Половодье на р. Вуоннемйок в верхнем течении. 23.05.2005 г.

24,3 л/сек×км^2, максимальные – 15,06 м^3/сек и 177 л/сек×км^2. Таким образом, в период весеннего половодья расход воды в русле р. Вуоннемйок увеличивается почти в 60 раз по сравнению с зимней меженью. Это обстоятельство создает благоприятную возможность оценить динамические ресурсы подземных вод данного бассейна.

Подземные воды долины делятся на два типа: трещинные воды в кристаллических породах и поровопластовые воды в рыхлых осадочных породах. В горновершинном и горносклоновом ярусах рельефа трещинные воды зоны аэрации погружаются в глубокие части массива и на отметках 500–600 м и ниже образуют водоносную зону трещинно-жильных вод. Частично они выходят на склонах в виде сезонно действующих горных источников. В нижних частях склонов и в долинах трещинно-грунтовые воды переходят в трещинно-напорные воды.

Водообильный комплекс рыхлых отложений достигает значительной мощности. В районе апатитовых залежей он достигает 85 м. Строение водоносного комплекса рыхлых отложений сложное. Выделяются напорные водоносные слои и подгоризонты грунтовых вод, разграниченные прослойками глин и полупроницаемыми отложениями морены. В горных долинах происходит в основном накопление и разгрузка подземных вод.

Приходная часть водного баланса состоит из атмосферных осадков и конденсации водяных паров непосредственно из воздуха. Количество атмосферных осадков в горной и низинной части бассейна резко различно, поэтому для расчета принимаются данные по горно-лавинным станциям «Центральная» (1091м) – 1461 мм и «Юкспор» (910 м) – 1093 мм, двум долинным метеостанциям «Коашва» (310 м) – 1040 мм и «Восточная» (210 м) – 849 мм и данным метеопоста «Умба-исток» (150 м) – 471 мм, которые характеризуют количество осадков в верхней, средней и нижней зоне водосборного бассейна. Среднее количество атмосферных осадков по этим станциям для всей площади бассейна составит 983 мм в год.

По данным измерений, конденсация водяного пара в Хибинах составляет 30 мм в год. Таким образом, приходная часть водного баланса в бассейне р. Вуоннемйок составляет 1013 мм.

Расходная часть водного баланса составляет речной сток, подземный сток и испарение воды. По данным гидрологических измерений, проведенных на р. Вуоннемйок в 1963 году, М. Д. Малышев произвел расчеты, по которым среднемноголетняя величина слоя годового стока р. Вуоннемйок составила 713 мм [66]. Средняя величина испарения на Кольском полуострове составляет 150 мм. Таким образом, нетрудно посчитать среднюю величину подземного стока, которая составляет 150 мм в год.

Глава 3. Прогнозирование весеннего паводка

Весеннее половодье представляет собой основную фазу водного режима рек Хибин. Основными элементами весеннего половодья являются: начало и конец половодья, его продолжительность, максимальный расход и уровень, продолжительность подъема и спада и объем стока. Прогноз элементов весеннего половодья зависит от запасов воды в снежном покрове, количества жидких осадков, выпадающих во время половодья, температуры, влажности воздуха, скорости ветра, солнечной радиации, увлажненности и промерзания почвы. К началу весеннего снеготаяния толщина снега в руслах притоков главных рек Хибин составляет в среднем 3–5 м, а их бассейны практически полностью покрыты снегом. Снеготаяние в Хибинах обычно начинается в третьей декаде апреля или первой декаде мая. Весеннее половодье начинается с интенсивного подъема уровней и роста расходов воды в руслах рек. Это происходит через одну-две недели после перехода среднесуточной температуры воздуха через 0 ^{0}C, так как отдача воды снежным покровом начинается только после того, как снег полностью пропитается водой. Скопление воды на поверхности льда вследствие таяния снега и льда в русле горных долин приводит к образованию снежниц, предвестниц скорого паводка.

Весной расход воды в руслах ручьев и рек увеличивается настолько, что нарушает нормальную работу рудников, а иногда приводит к их простою, поэтому прогнозиро-



Рис. 4.2. Снежница в русле р. Кукисйок за день до начала половодья. 24.05.2005 г.

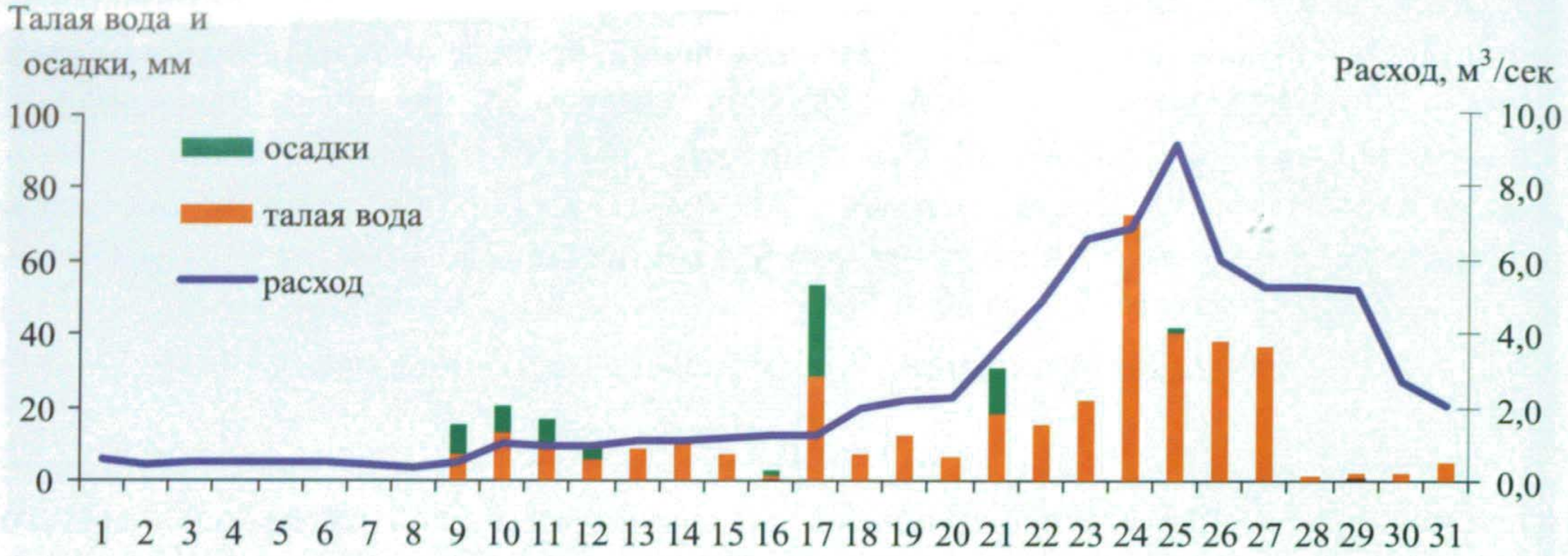


Рис. 4.3. Комплексный график интенсивности снеготаяния, количества жидких осадков и среднего расхода воды в канале № 11 в мае 2005 года

вание времени начала резкого подъема весенних водопритоков является настоятельной необходимостью для рудников комбината «Апатит».

Анализируя комплексный график интенсивности снеготаяния, количества жидких осадков и среднего расхода воды в канале № 11, можно определить прогностические критерии весеннего паводка в долине р. Вуоннемйок. Водоотводный канал № 11 построен для отвода вод из Коашвинского и Ньоркпахкского карьеров. Объем откачиваемых вод из карьерных пространств составляет около 25% в расходе воды в канале и 75% – сток ручьев Коашва, Китчепахк и других источников.

Суточное количество воды, поступившей в снежный покров в результате снеготаяния, рассчитывается на основе упрощенной модели теплового баланса, для высоты 400 м над уровнем моря. Данная модель приведена выше в главе «Водоснежные потоки». Талая снеговая вода и жидкие атмосферные осадки являются основными составляющими стока воды в период весеннего половодья. При прогнозировании весеннего паводка в Хибинах нужно контролировать три основные его фазы: начальный период снеготаяния, период насыщения снежного покрова водой и формирования каналов поверхностного стока и собственно паводок.

Как правило, в начальный период снеготаяния высота снежного покрова достигает своих максимальных значений. Обычно это случается во второй декаде апреля. В результате солнечной радиации, положительных дневных температур воздуха снег начинает оседать, а его плотность возрастает до 400 кг/м^3 и более. В этот период на изменение водозапаса снега влияют атмосферные осадки, конденсация влаги на поверхность снега и его испарение. Величина водозапаса снежного покрова имеет важное значение в прогнозировании масштаба паводка, т. к. доля талых вод в период весеннего половодья составляет не менее 70% в стоке вод. В 2005 году за начало этого периода можно принять 20 апреля, когда средняя высота снежного покрова на отметке 400 м достигла максимальных значений – 136 см при плотности 370 кг/м^3 и затем стала постепенно уменьшаться до 98 см. К 8 мая снежный покров полностью пропитался водой, а его плотность достигла 450 кг/м^3. Расход воды в канале № 11 в этот день имел наиболее низкое значение за весь год – 0,4 м/сек^3 и определялся объемом откачиваемых грунтовых вод из Коашвинского и Ньоркпахкского карьеров.

Период насыщения снежного покрова водой и формирования каналов поверхностного стока наступает при прогреве всей снежной толщи до 0^0С и его уплотнении до 400 – 450 кг/м^3. В этот период снежный покров уже не может удерживать свободную влагу и начинает ее пропускать в грунт. В зависимости от состояния поверхности земли часть воды уходит на пополнение грунтовых вод, а оставшаяся часть начинает формировать подснежные каналы стока. В 2005 году этот период продолжался 12 дней, с 8 по 20 мая. За это время в районе Коашвинского карьера выпало 68 мм жидких осадков, средняя высота снежного покрова за счет интенсивного таяния уменьшилась до 31 см, его водозапас снизился на 120 мм, а средний расход воды в канале возрос до 2,2 м^3/сек. Таким образом, в предпаводковый период общая сумма жидких осадков и слой талой воды составил 188 мм. Естественно, что от года к году эта величина будет не постоянной, т. к. она зависит от высоты и плотности снежного покрова и метеорологических условий его таяния, что нужно учитывать при прогнозировании даты начала весеннего паводка.

Весенний паводок или весеннее половодье характеризуется резким подъемом уровня воды и резким увеличением расхода воды в руслах ручьев, рек и каналов. 21 мая 2005 года расход воды в 11-м канале стал резко увеличиваться и достиг своего пика 25 мая, когда средний расход воды составил 9,1 м^3/сек. За этот период выпало 13 мм жидких осадков, а водозапас снежного покрова уменьшился на 168 мм, при этом максимальная потеря водозапаса снежного покрова – 72 мм – наблюдалась 24 мая.

Глава 4. Прогнозирование дождевых паводков

Паводки формируются и под влиянием дождей, однако не всякий дождь образует паводок, а лишь тот, интенсивность выпадения которого больше инфильтрации и аккумуляции воды в неровностях рельефа. Высота, время подъема и спада воды зависит от площади орошения дождем, а также размеров и конфигурации водосборного бассейна, морфологических особенностей русла, влияющего на скорость добегания воды.

Ливневые дожди обычно одновременно охватывают сравнительно ограниченные территории, поэтому размер и форма паводков на главной реке зависят от паводков на притоках. Может случиться так, что паводки, сформированные на притоках в разное время, достигают главной реки в определенном месте одновременно. Накладываясь друг на друга, они могут вызвать опасный подъем уровня воды на главной реке.

Объем дождевых паводков прямо зависит от количества и интенсивности выпадения жидких осадков, увлажненности и воднофизических свойств почв, геологического строения речного бассейна, рельефа, растительности и хозяйственной деятельности.

Анализируя комплексный график среднего расхода воды в канале № 11 и суточного количества осадков, можно заметить, что обильный дождь (27,6 мм), выпавший 9 сентября, не вызвал существенного подъема воды в канале, однако увлажнил почву и создал благоприятные условия для образования последующего дождевого паводка. Обильный дождь, выпавший 14 и 15 сентября, увеличил расход воды в канале с 2,1 м^3/сек до 5,8 м^3/сек.

В Хибинах дождевые паводки, как правило, наблюдаются в осенние месяцы, когда выпадает большая часть жидких осадков, а их испарение резко снижается по сравнению с летними месяцами.

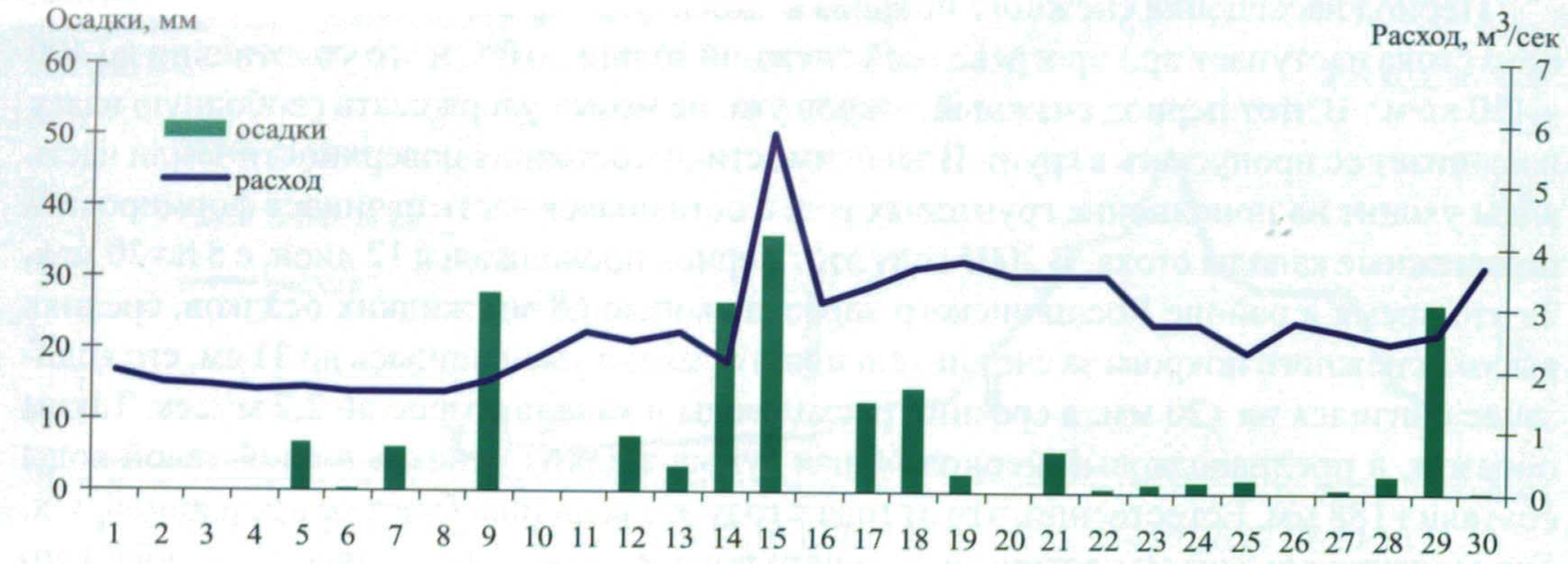


Рис. 4.4. Комплексный график среднего расхода воды в канале №11 и суточного количества жидких осадков в сентябре 2005 года

Глава 5. Обводнение рудников и карьеров

Подземные воды в толще Хибинского горного массива сосредоточены в трещинах. В верхней зоне 300–500 м трещины заполняются водой эпизодически во время весеннего снеготаяния и дождей, а ниже постоянно. Поскольку подножия горных склонов и дно долин закрыты толщей рыхлых отложений, содержащей водоупорные горизонты, в ней и в покрытых ею массах коренных пород подземные воды приобретают напорный характер. Водоносные трещины в коренных породах с нарастанием глубины встречаются в среднем все реже, но каждая из них оказывается все более водообильной. Верхняя граница зоны насыщения подземных вод называется зеркалом или уровнем грунтовых вод. Зеркало грунтовых вод имеет тенденцию в сглаженном виде повторять конфигурацию поверхности земли. Вблизи постоянно текущих рек, озер и болот зеркало грунтовых вод приближается к поверхности земли.

Таким образом, в наилучших условиях оказываются нагорные карьеры, из которых талые и дождевые воды уходят вниз по трещинам. В наихудших условиях обводнения оказываются карьеры, расположенные на дне долин (Саамский, Коашвинский, Расвумчоррский и Ньоркпахский), которые требуют круглогодичного водоотлива. Объем подтопления напрямую зависит от глубины и размеров карьеров, что хорошо иллюстрируется на рис. 4.6.

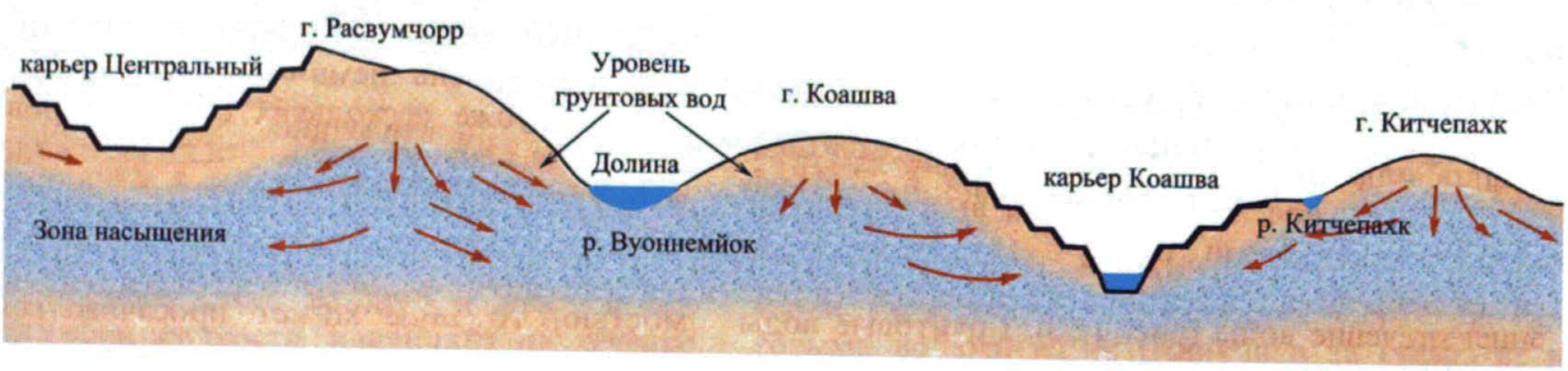


Рис. 4.5. Локальный уровень грунтовых вод по отношению к возвышенности, долине р. Вуоннемйок и карьерам Центрального и Восточного рудников.

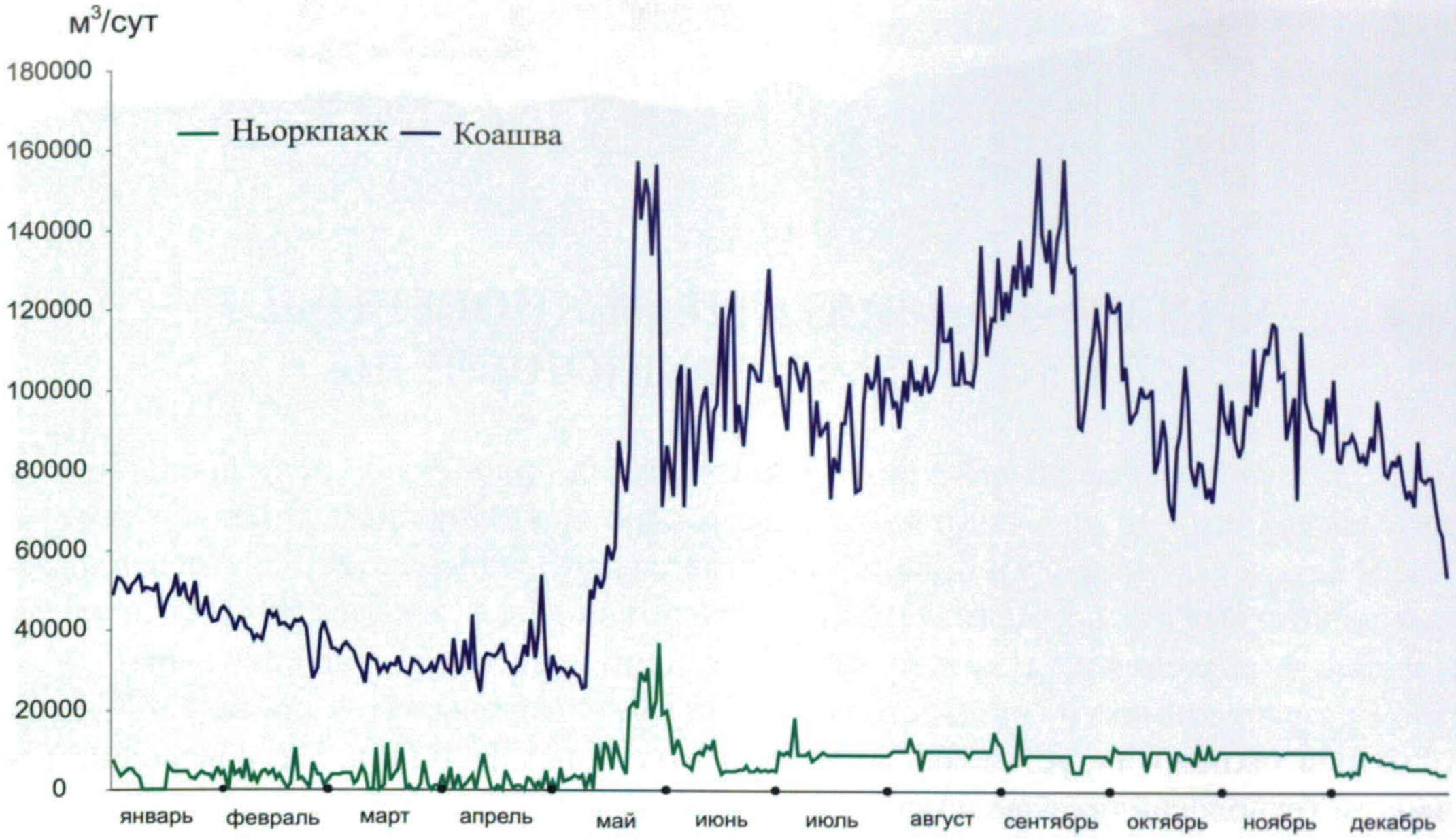


Рис. 4.6. Водоотлив в карьерах Ньоркпахк и Коашва в 2005 году

В период весеннего паводка объем поступающей воды в карьеры резко увеличивается за счет таяния снега в контурах карьеров, повышения уровня грунтовых вод и выпадения жидких осадков. В этот период даже нагорный карьер Центрального рудника испытывает определенные трудности в работе, связанные с затоплением рудоспусков.

В период летне-осенних паводков, связанных с большим количеством жидких осадков, объем водоотлива в долинных карьерах может также достигать экстремальных значений, что необходимо учитывать при проектировании системы водоотливных сооружений. В практике работы Саамского, Расвумчоррского и Коашвинского карьеров были случаи затопления нижних горизонтов из-за ошибок проектирования и нарушения правил эксплуатации водоотливных систем. Обводнение карьеров и подземных рудников существенно ухудшает условия работы и вызывает дополнительные затраты на откачку воды

С новым типом выброса подземных вод горняки столкнулись при разработке Саамского карьера Кировского рудника. Он углублен в дно долины более чем на 200 м. Выше него воды реки Саамки были отведены по подземному тоннелю через гору Юкспор, но воды, содержащиеся в толще рыхлых отложений, не были перехвачены. Вокруг карьера в зеркале подземных вод образовалась депрессия, и воды стали поступать в него не только с верхнего, но и с нижерасположенных участков дна долины. Затраты на борьбу с обводнением карьеров и ущерб от ликвидации аварий и простоев в целом по комбинату «Апатит» оценивается около 2% от себестоимости продукции.

Участки подземных рудников, расположенные в верхней зоне, испытывают значительное обводнение лишь в теплое время года, а глубокие горизонты обводнены круглогодично и нуждаются в постоянной откачке воды. При прорывах напорных вод по трещинам максимальные расходы достигают 0,03 м^3/сек. Это нарушает нормальную работу рудника и вызывает простой горных участков.

V. НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Неблагоприятные воздействия производства на природную среду представляют интерес для каждого жителя Хибин. Отрицательное влияние производственной деятельности на природную среду в Хибинах выражается нарушением естественных ландшафтов гигантскими карьерами, отвалами и хвостохранилищами, а на еще большей площади – в виде загрязнения воздуха и водоемов отходами процесса обогащения руды.

Прямые химические воздействия могут быть сокращены путем применения малоотходной технологии, установки водяных и воздушных фильтров, т. е. совершенствованием технологии производства.

Нарушается природная среда и в результате геологоразведочных работ, скоплений производственных и бытовых отходов. Все более значительным становится отрицательное воздействие на природу Хибин туристов, срубающих деревья, оставляющих кострища и мусор.

Прямые механические воздействия неизбежны, пока в Хибинах добывается руда. Для природы и человека разрушительны даже небольшие обрушения грубообломочных отвалов пустой породы, но особо разрушительными являются сравнительно редкие обрушения, причиной которых служит потеря устойчивости больших по объему горных масс на контакте естественного склона и тела отвала.

Глава 1. Обрушение отвалов на Центральном руднике

§ 1. Расвумйокский обвал

Первоначально всю вскрышную породу на Центральном руднике планировалось складировать в один большой отвал емкостью 400 млн. м^3 в долине р. Расвумйок и поверх него размещать отвал забалансовой руды. Отвал сразу начал деформироваться. Наблюдения за скоростью деформации отвалов были организованы маркшейдерской службой Центрального рудника в 1964 году.

В это же время Всесоюзный научно-исследовательский институт маркшейдерских измерений (ВНИМИ) стал заниматься изучением устойчивости отвалов и бортов карьера Центрального рудника. В 1966 году учеными ВНИМИ был представлен отчет, в котором было дано заключение об устойчивости отвалов Центрального рудника. Как рассказывал старший маркшейдер Центрального рудника Ю. В. Гарманов: «Я верил ученым и за 1 день до первого обрушения отвала спускался по откосу почти до нижней бровки, чтобы поставить репера. На отвале были трещины шириной до 0,5 метра, а из глубины горной массы раздавался характерный клокочущий звук. Скорость деформации отвала составляла 4 метра в сутки».



Рис. 5.1. Образование трещин на поверхности отвала в результате его деформации. Центральный рудник. 04.08. 2005 г.

Отвал обрушился 18 сентября 1967 года. Горная масса перескочила через речку Расвумйок и выплеснулась на противоположный склон, а затем растеклась вниз по долине на 400 метров.

Ученые ВНИМИ считали единственно возможной причиной обрушения отвала наличие прослойки глины мощностью до 0,3 метра, обнаруженной в одном из шурфов в долине р. Расвумйок.



Рис. 5.2. Отложения горной массы в долине р. Расвумйок

§ 2. Каменный обвал в Раслакском цирке

После этого изучением отвалов Центрального рудника стал заниматься Горный институт КФАН СССР, который к началу 1973 года представил руководству комбината «Апатит» отчет. По заключению этого отчета был сделан вывод – обрушение отвалов происходит только на склонах южной экспозиции из-за оттаивания прослоек льда и снега, а отвалы северной экспозиции устойчивы. Не успели специалисты комбината «Апатит» ознакомиться с отчетом, как 13 июня 1973 года в Раслакском цирке рухнули 8-й и 9-й отвалы, расположенные на склонах северной экспозиции.

19 июня 1973 года группа сотрудников Цеха противолавинной защиты комбината «Апатит» и Проблемной лаборатории снежных лавин и селей МГУ провели рекогносцировочное обследование раслакского обрушения горных отвалов [33]. По данным обследования, основная масса отвала сорвалась с левого склона цирка, имеющего верхнюю отметку около 800 м. Следы отрыва прослеживались по всему цирку на расстоянии 100–300 м от края плато. Правый край каменного потока начинался из отвалов ущелья Дразнящее Эхо.

Линия отрыва имела ломаный вид. Наибольшая толщина оторвавшихся масс составляла примерно 20–25 м. В результате обрушения местами обнажились выходы коренных пород. Общая длина отрыва составляла около 1 км, а крутизна склона в месте отрыва 35–37°. Отложения горных пород начинаются в Раслакском цирке, заполняют долину ручья Бурового и заканчиваются у морены. Поверхность отложений была бугристая, с многочисленными глыбами смерзшихся горных пород, снега и льда. Средний диаметр обломочных пород составил 30–50 см. Нижняя часть селя длиной около 1 км состояла из грязекаменной массы. На левом борту долины следы эрозионной деятельности селя в виде стесанного дерна и части делювия прослеживались до высоты 50–80 м над дном долины. Ширина отложений колебалась от 500 м в начале до 100–150 м в конце языка, в среднем около 200 м. Средняя толщина отложений была около 10 м, а общая длина пути составила 3,35 км. Это дает примерный объем массы отложений в 6 млн. м^3. В результате завала русла ручья Безымянного образовалось подпрудное озеро площадью около 5–10 тыс. м^2

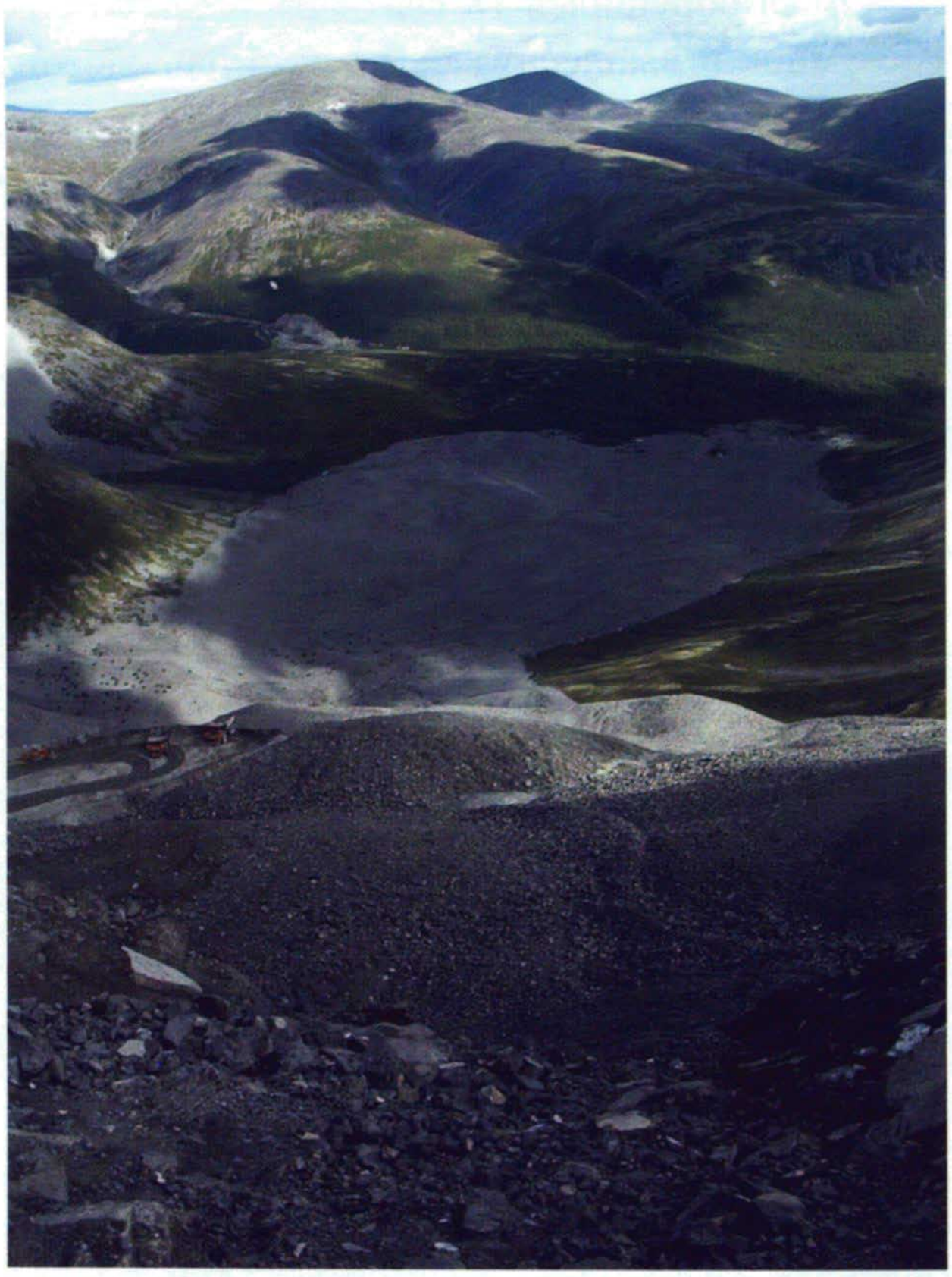


Рис. 5.3. Общий вид каменного обрушения в Раслакском цирке

и глубиной до 2–3 м. Главной особенностью каменного обвала была его необычайно большая дальность выброса.

Учитывая исключительную опасность эксплуатации отвалов Центрального рудника, перед комбинатом «Апатит» возникла необходимость фундаментальных исследований этого рукотворного феномена, для чего был заключен договор с Институтом механики МГУ. Целью исследований, проводимых под руководством академика С. С. Григоряна, было построение количественной модели для описания медленных движений отвалов горной массы, насыщенной ледяными включениями, и выяснение природы явлений, приводящих к разрушению отвала и быстрому его уходу вниз по горному склону. Второй задачей договора было построение количественной модели быстрого ухода разрушенного отвала и, в частности, выявление природы аномально большой дальности выброса отвальной массы, обрушившейся в июне 1973 г. в Раслакском цирке. Основные результаты этой работы приведены ниже.

Глава 2. Движение горных отвалов на склонах гор

§ 1. Формирование отвала горной массы до момента обрушения

В начале формирования отвала горная масса распределяется на постепенно выполаживающемся склоне относительно тонким слоем. В начальной стадии роста отвала порода будет располагаться на склоне так, что поверхность отвала будет наклонена под углом естественного откоса. Отвалы горной породы Центрального рудника содержат значительное количество ледяных включений. Это обусловлено спецификой климатических условий. Снег, попадая в горную массу, создает ледяной «цемент» в теле отвала. Наличие заметного ледяного компонента приводит к тому, что материал отвала приобретает свойство ползучести, и под действием силы тяжести в нем развиваются



Рис. 5.4. Формирование отвала № 11 Центрального рудника. В средней и нижней части отвала видны плоскости отрыва небольших порций горной массы. 22.06.2005 г.

относительно медленные движения. Эти движения, а также непрерывное поступление новых порций породы приводят к сползанию породы вниз по горному склону, постепенному росту со временем напряжений в породе, особенно на поверхности контакта отсыпанной в отвал породы с подстилающей поверхностью. В результате в местах наибольших напряжений может быть достигнут предел прочности смеси породы и льда, и тогда в этих местах начнется разрушение.

Локальное разрушение приведет к перераспределению напряжений в соседних объемах, распространению процесса разрушений в эти объемы и т. д. – по отвалу пройдет «волна» разрушения, материал отвала окажется раздробленным на слабо связанные с основанием и друг другом блоки, которые обрушатся вниз по склону каменной лавиной.

Процессы движения горной массы отвала до и после разрушения отличаются по темпу развития, механизму и природе сил, управляющих этими движениями. На стадии до разрушения эти движения управляются свойством ползучести «монолитной», сцементированной ледяными включениями породы и происходят весьма медленно. После разрушения, когда силы сопротивления движению вниз по склону раздробленной породы оказываются значительно меньшими и движение развивается в динамическом режиме, им управляют инерция движущихся масс, сила тяжести и сила трения о подстилающую поверхность.

§ 2. Динамика движения отвала

Предполагалось, что процесс движения потерявшего устойчивость отвала и движение снежной лавины имеют сходную природу, и он может быть описан следующим уравнением движения:

$$\frac{\partial y}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial s} = g\sin\varphi - \operatorname{sign}(u)\,\mu a_y - \frac{ku^2}{R}\,\frac{L}{2F}\,\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{a_y F^2}{L^2}\right) \qquad (1),$$

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial (u\,F)}{\partial s} = 0$$

где t – время, s – координата, направленная вдоль моделирующего канала, u(s,t) – проекция скорости потока на ось s, осредненная по поперечному сечению канала, F(s,t) – площадь поперечного сечения канала, занятая потоком, L(s) – ширина канала (глубина потока h(s,t) = F/L), φ(s,t) – наклон канала, g – ускорение силы тяжести, a_y(s,u) – проекция полного ускорения частиц в потоке на перпендикуляр к склону, μ – коэффициент кулоновского трения, k – коэффициент турбулентного сопротивления, $R = FL/(L^2 + 2F)$ – гидравлический радиус.

Коэффициент кулоновского трения μ влияет главным образом на дальность выброса, а коэффициент турбулентного сопротивления k – на средние скорости потока. Для расчета движения отвала были приняты наиболее реалистические значения μ = 0,18 и k = 0,15, при этом расчетная дальность выброса составила 1790 м вместо фактической 3300 м.

Отсюда следовало, что значительную часть времени движения общая сила сопротивления должна была быть существенно меньше той, которая реализовывалась в расчетах. Оказалось, что для лавин и оползней, выделяющихся аномально большими

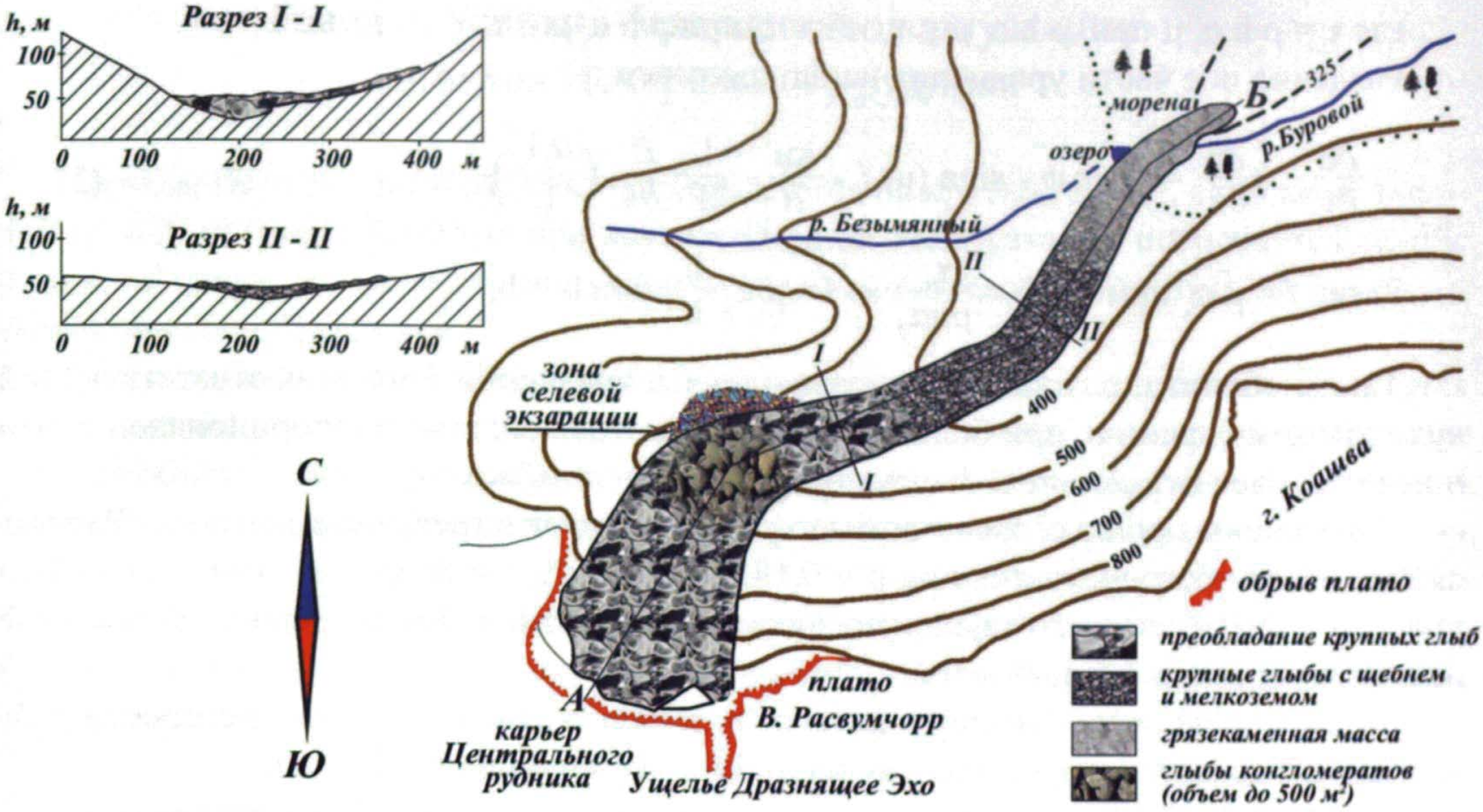


Рис. 5.5. Схема каменного обвала 13 июня 1973 г.

размерами, коэффициенты сопротивления существенно ниже принимаемых по классической теории.

В результате авторами была выдвинута гипотеза о «предельных разрушающих напряжениях» на контакте движущейся массы со склоном, которая позволяет теоретически объяснить многочисленные экспериментальные факты, свидетельствующие об относительном снижении сил сопротивления движению обвалов при увеличении объема пришедших в движение масс.

Суть этой гипотезы заключается в том, что движение селевой массы сопровождается частичным проскальзыванием вдоль поверхности склона. В этом случае касательное напряжение, обусловленное проскальзыванием и выступающее в роли сопротивления движению, имеет вид:

$$\tau = \rho\, h\, a_y\, \mu,$$

где ρ – средняя плотность селевой массы в потоке. Как видно из формулы, касательное напряжение растет одновременно с ростом «гидростатического» давления $\rho\, h\, a_y$ на подстилающую поверхность.

Вместе с тем совершенно ясно, что начиная с некоторого значения этого давления дальнейшее увеличение τ оказывается невозможным в силу того, что будет достигнут предел прочности слабейшего из трущихся материалов (склон–поток) и начнется его разрушение при постоянном $\tau = \tau_*$, где τ_* – разрушающее напряжение. Таким образом, для обусловленного скольжением касательного напряжения на подстилающей поверхности имеем условие $\tau \leq \tau_*$.

Уравнение импульсов, записанное для элемента массы $dm = ds\, Lhp$, имеет вид:

$$dm\left(\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial s}\right) = dm\, g \sin\varphi - \operatorname{sign}(u)\,\tau\, ds L - \frac{ku^2}{R}\, dm - \frac{L}{2F}\,\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{a_y F^2}{L^2}\right) dm \quad (2),$$

где $\tau = \rho\, h\, \alpha_y\, \mu$ при $\rho\, h\, \alpha_y\, \mu \le \tau_*$ и $\tau = \tau_*$ при $\rho\, h\, \alpha_y\, \mu > \tau_*$.

Разделив обе части уравнения на dm, получим

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial s} = g \sin\varphi - \operatorname{sign}(u) f - \frac{ku^2}{R} - \frac{L}{2F}\frac{\partial}{\partial s}\left(\frac{a_y F^2}{L^2}\right) \qquad (3).$$

Здесь $f = \mu\, \alpha_y$ при $h \le h_* = \frac{\tau_*}{\rho \mu \alpha_y}$ и $f = \mu\, \alpha_y \frac{h_*}{h}$ при $h > h_*$

Таким образом, в отличие от уравнения 1 в уравнении 3 член, соответствующий кулоновскому трению, при больших глубинах потока обратно пропорционален h, что и находит свое отражение в отмеченном выше масштабном эффекте.

С помощью пробных расчетов было установлено, что требуемая дальность Раслакского обвала обеспечивается при $\mu = 0{,}18$, $k = 0{,}15$ и $\tau_* = 0{,}26$ кг/см^2. Этому значению τ_* при $\rho \approx 2$ т/м^3 соответствует критическая толщина $h = 7$ м и среднее нормальное давление на склон $\delta \approx 1{,}44$ кг/см^2.

Несмотря на очень большую дальность выброса отвала, расчетные скорости движения потока оказались весьма умеренными и не превышали 20 м/сек.

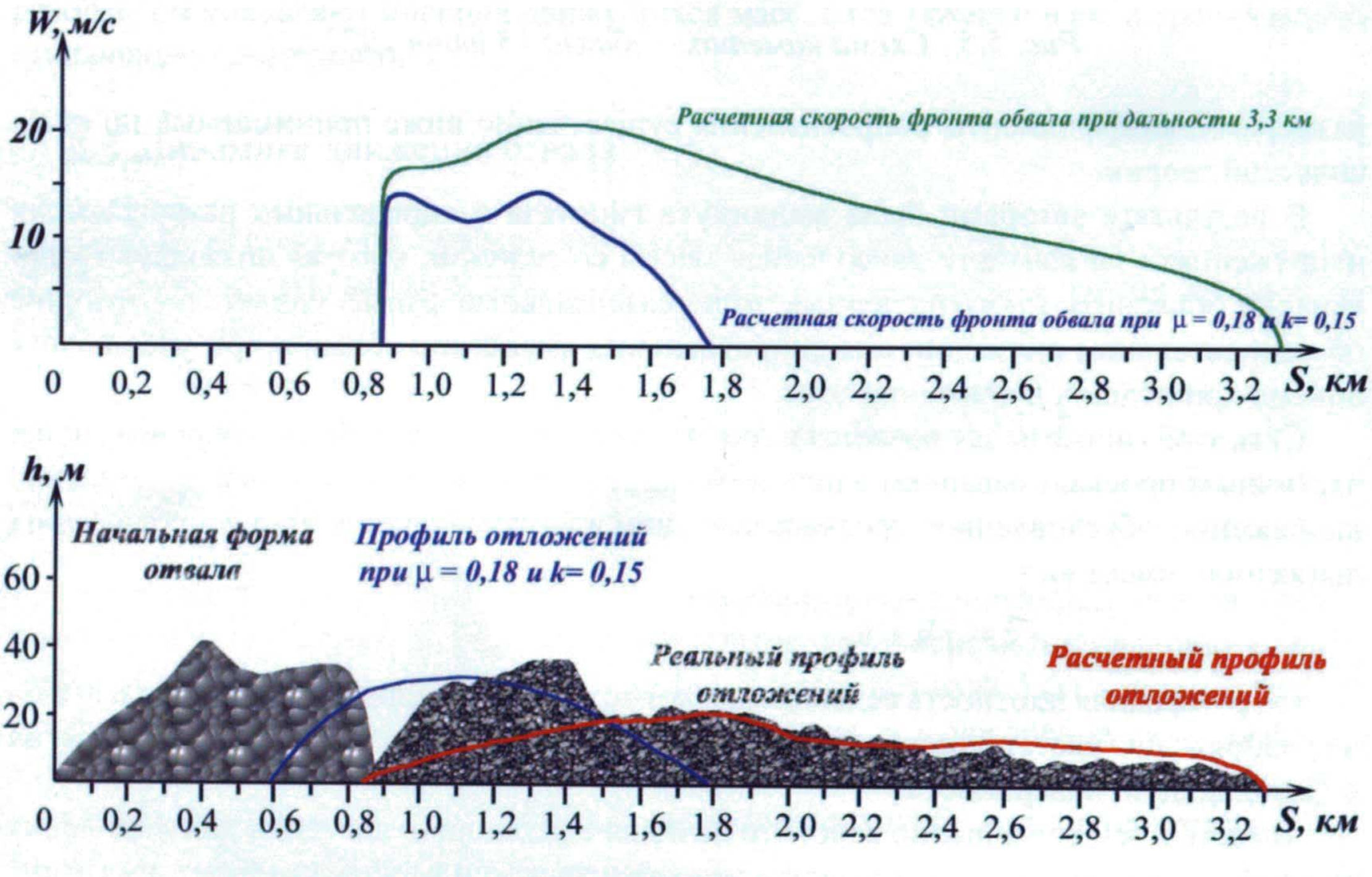


Рис. 5.6. Расчетная скорость фронта и профиль отложений Раслакского обвала

Именно на примере Раслакского обвала С. С. Григорян и А. В. Остроумов теоретически обосновали особую опасность крупномасштабных обвально-оползневых процессов. Трагические события 20 сентября 2002 г., произошедшие на Кавказе, когда обрушившиеся ледяные массы ледника Колка общим объемом около 100 млн. м^3 заполнили всю Кармадонскую котловину и прошли вниз по долине еще 12 км, подтвердили выводы ученых.

Глава 3. Условия безопасной эксплуатации отвалов Центрального рудника

Отвалы Центрального рудника располагаются на крутых, до 40°, склонах и высотой до 420 метров, в которых при круглогодичной эксплуатации погребается свыше 4 млн. м^3 снега. По мере отсыпки отвалы начинают оседать, скользить по склону и периодически обрушаться.

Скорость деформации отвала определяется рядом факторов, основными из которых являются: заснеженность отвальной массы, крутизна склона, его высота, интенсивность и объем отсыпки вскрышной породы на единицу фронта. При систематическом маркшейдерском контроле за скоростью деформации отвала работа возможна и на постоянно движущихся отвалах, если скорость деформации не превышает 50 см/сут. При достижении этого критерия отсыпка отвала прекращается. Для создания условий безопасной работы необходимо определенное время, поэтому для бесперебойной работы Центрального рудника необходимо иметь несколько отвалов.



Рис. 5.7. Отвалы Центрального рудника. 4.08.2005 г.

Каждый конкретный склон имеет свои морфометрические характеристики и свою критическую массу. Как показала практика и результаты дальнейших исследований, зимняя предельная емкость отвалов более чем в два раза превышает летнюю. Оценка приемной способности отвала выполняется по методике, разработанной Горным институтом КФ АН СССР [61].

Таблица 5.1

Параметры обрушений отвалов Центрального рудника

№ п/п	№ отвала	Дата обрушения	Количество дней до обрушения со скоростью оседания ≥ 0,5 м /сутки	Скорость перед обрушением, м/сутки	Объем обрушения, млн. м^3	Высота отвала, м
1	4	18.09.1967	30	4,0	0,7	230
2	6	25.12.1969	35	11,0	2,45	240
3	4	03.09.1970	21	4,0	1,5	230
4	1	31.07.1972	7	2,6	1,5	330
5	8, 9	13.06.1973	-	-	4,0	400
6	5	07.07.1974	28	4,2	1,3	210
7	13	26.08.1974	4	1,5	3,4	420
8	8, 9	03.10.1974	-	2,6	2,6	400
9	5	25.12.1975	-	-	0.5	240
10	17	13.03.1976	14	2,8	4,1	300
11	13	05.05.1978	4	0,32	2,0	420
12	7	16.01.1979	42	4,9	1,5	250
13	5	04.11.1979	-	3,0	1,3	310
14	15	08.03.1980	27	2,8	3,2	300
15	20	10.03.1980	-	0,06	2,6	340
16	7	03.07.1980	14	5,41	2,7	350
17	17	14.05.1981	11	0,65	1,1	345
18	15	14.05.1981	11	1,4	6,0	350
19	7	25.01.1982	35	4,53	2,2	240
20	7	05.06.1982	23	7,1	0,8	250
21	17	31.08.1982	13	3,0	2,7	300
22	7	01.05.1983	14	6,45	2,4	240
23	7	24.11.1983	10	5,18	1,5	240

Как видно из таблицы 5.1, произошло всего 23 крупных обрушения отвалов горных пород на Центральном руднике. Последнее обрушение произошло 24.11.1983 года. Таким образом, благодаря совместным исследованиям ученых и специалистов комбината «Апатит» удалось создать технологию безопасной отсыпки вскрышных пород на склонах г. Расвумчорр. Следует также отметить, что с расширением карьера Центрального рудника абсолютная высота отсыпки отвалов снизилась, уменьшились и углы склонов, на которых размещаются отвалы. Это также повысило их устойчивость.

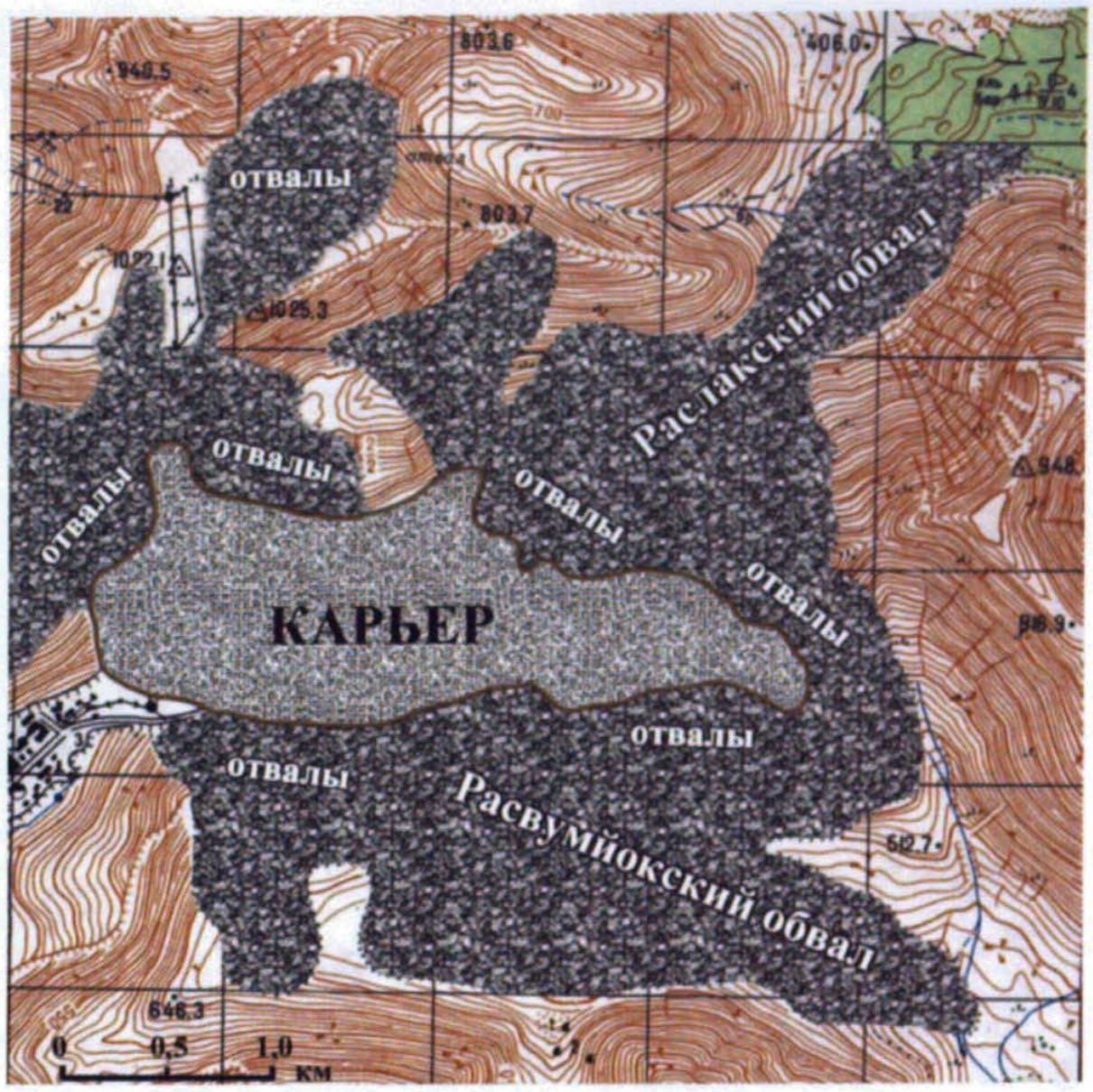


Рис. 5.8. Схема горных работ Центрального рудника. 17 мая 2002 года

Глава 4. Обрушение заколов на Кировском и Расвумчоррском рудниках

Серьезной проблемой при комбинированной разработке апатито-нефелиновых месторождений подземным и открытым способами является обрушение заколов в карьер.

В результате подземных выработок апатито-нефелиновых руд покрывающая кровля начинает раскалываться на блоки, которые под действием силы тяжести начинают



Рис. 5.9. Закол над Северным карьером Кировского рудника. 25.08.2005 г.



Рис. 5.10. Заколы в зоне обрушения Расвумчоррского рудника. 2.08.2005 г.

оседать и заполнять подземные выработки. Большая часть блоков, оседая, постепенно разрушается на месте. Другие отколовшиеся от борта карьеров блоки при просадке начинают отклоняться от горы в сторону карьера и в конце концов заваливаются на бок.

Объемы заколов достигают огромных размеров, и их падение представляет большую опасность. Так, падение закола объемом 1,3 млн. м^3 с горы Юкспор, произошедшее 17 мая 2002 года, широким фронтом пересыпало скальной породой все транспортные и рабочие бермы Саамского карьера. Падение каменного монолита с высоты нескольких сот метров и массой около 4 млн. тонн сопровождалось сильнейшими раскатами грома и облаком пыли, которое накрыло поселок Кукисвумчорр.

Заколы над карьером Расвумчоррского рудника по своим масштабам не отличаются от заколов Кировского рудника и представляют реальную опасность, которую следует учитывать при планировании горных работ вблизи зон обрушения.

Прогнозирование времени падения заколов пока еще остается трудноразрешимой задачей. Частота падения заколов в среднем составляет 1 раз в 2–3 года. Как правило, заколы падают во время массовых взрывов на рудниках, однако в некоторых случаях они падают и самопроизвольно, как это было 17 мая 2002 года на Кировском руднике.

Ведение горных работ в непосредственной близости от заколов представляет большую опасность. Для избежания несчастных случаев и аварий маркшейдерская служба комбината «Апатит» ведет постоянный инструментальный контроль за отвалами горной массы Центрального рудника и заколами, нависающими над карьерами Кировского и Расвумчоррского рудников.

Глава 5. Обрушения горной породы на пологих склонах

В рельефе Хибин преобладают поверхности с наклоном, равным углу естественного откоса (30–35^0), и более пологие, что обуславливает медленные сползания грунта под влиянием силы тяжести.

В отдельных случаях из-за повышенной сейсмичности, вызванной мощными взрывами на рудниках, горные породы на склонах близлежащих гор разрушаются и в виде каменных обвалов скатываются к подножию гор.

Так, по свидетельству очевидцев, в момент производства подземного ядерного взрыва верхний слой камней, щебня и песка, покрывающий коренные породы, пришел в движение и обрушился вниз по склону горы Куэльпорр. Движение горной массы сопровождалось облаком пыли. Отложения каменной лавины у подножия горы образовали характерную осыпь. В результате искусственно созданного землетрясения на близлежащих склонах гор также были обнаружены свежие осыпи камнеобломочного материала, образовавшиеся в результате обрушения горных пород.



Рис. 5.11. Каменная осыпь на горе Куэльпорр. 2.08.2005 г.

Глава 6. Каменные обвалы, связанные с суффозией

Ошибки, допущенные на стадии проектирования, обычно приводят к негативным последствиям. В частности, на стадии проектирования Саамского карьера возможность оползания моренных и аллювиальных толщ горных пород была не предусмотрена. Саамский карьер углублен в дно долины более чем на 200 метров. Выше карьера воды реки Саамки были отведены по подземному тоннелю через гору Юкспор, но воды,

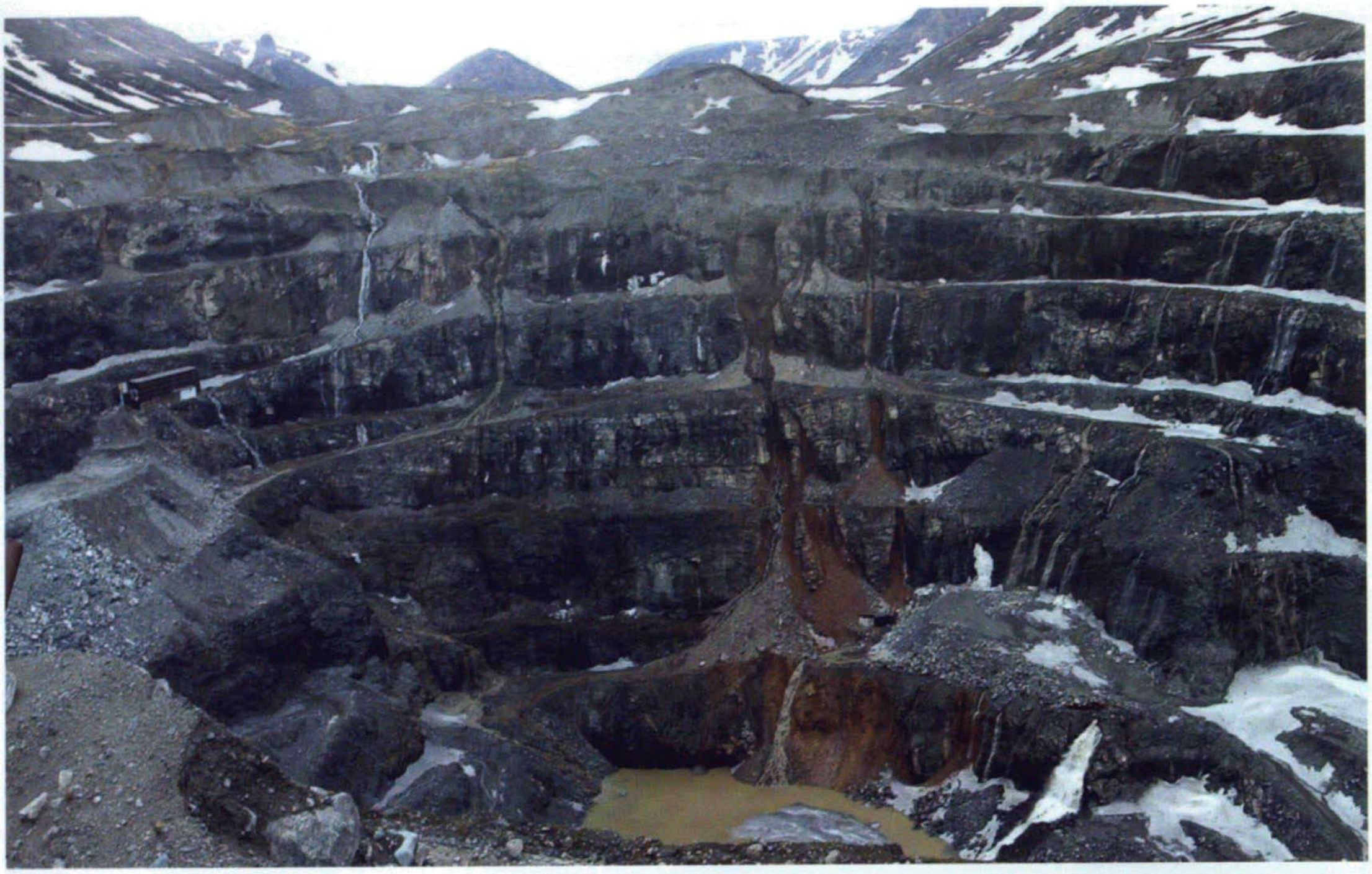


Рис. 5.12. Разрушения берм Саамского карьера в результате суффозии. 27.05.2005 г.

содержащиеся в толще рыхлых пород, перехвачены не были. Вокруг карьера в зеркале подземных вод образовалась депрессия, и воды стали поступать в него не только с верхнего, но и с нижерасположенного участка дна долины. В нормальной обстановке их удавалось непрерывно откачивать, но со временем здесь стали проявляться залповые выбросы подземных вод, превосходящие технические возможности их откачки и вызывающие перебои в работе карьера. Многие выбросы сопровождались суффозией, т. е. вымыванием тонких по механическому составу слоев рыхлых отложений. В результате суффозии в толще рыхлых отложений, в том числе на уступах карьера, стали происходить провалы глубиной до 20 метров, которые создавали перебои в работе транспорта. Всего было зафиксировано более 40 случаев разрушения транспортных берм.

Мне пришлось быть невольным свидетелем этого опасного явления. Летом 1976 года я поднимался на машине ЗИЛ-131 по транспортной берме Саамского карьера, идущей со стороны Апатитовой горы. Впереди шел самосвал, груженный породой, идущий на отвал, расположенный в верховьях Саамской долины. Неожиданно дорога под задними колесами стала прогибаться и проваливаться. К счастью, самосвал успел миновать опасный участок. Транспортная берма полностью разрушилась на протяжении около 10 метров, а сошедший оползень пересыпал две нижерасположенные бермы, перекрыв нам обратный путь. Потребовалось несколько часов, чтобы расчистить транспортные бермы и освободить нас из плена.

Восстановить разрушенную берму не представилось возможным, поэтому заезд в долину р. Саамки пришлось перепроектировать со стороны Юкспорского борта карьера. В настоящее время и этот путь закрыт для движения в связи с обрушением закола с горы Юкспор.

VI. ДРУГИЕ ОПАСНЫЕ СКЛОНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Глава 1. Камнепады

Разрушение горных пород на месте их залегания под действием температурных колебаний, замерзания и оттаивания воды, химического воздействия атмосферных осадков и деятельности организмов называется выветриванием. В результате выветривания горные породы приобретают более подвижное состояние, способность легче перемещаться по земной поверхности. Самопроизвольное обрушение каменного материала происходит на склонах круче угла естественного откоса. Поскольку в Хибинах преобладают склоны менее 35^0, обвалоопасные площади здесь невелики и сосредоточены преимущественно в тыловых частях цирков. Наличие каменных осыпей и отдельных фрагментов скал у подножия крутых горных склонов дает представление о границах зон камнепадов.



Рис. 6.1. Характерная зона камнепадов. Перевал Кукисвум. 21.06. 2006 г.

Повторяемость незначительных по объему камнепадов в Хибинах ежегодная, крупных – раз в десятки и сотни лет. Масштаб обрушения горных пород зависит от массы горной породы, подготовленной морфодинамическими процессами к обрушению, и внешнего импульса, которым может служить деятельность человека или землетрясения.

В связи с интенсивной разработкой апатито-нефелиновых месторождений происходит стремительное в геологическом времяисчислении перемещение огромных масс горной породы. За 75 лет горных работ значительно изменился рельеф поверхности, нарушены связи тектонических элементов, а объемы одновременно взрываемых ВВ достигают 500 тонн. Все эти факторы не только быстро меняют ландшафт Хибин, но и приводят к усилению сейсмичности горного массива и обострению опасных склоновых процессов.

Глава 2. Селевые процессы в Хибинах

§ 1. Условия формирования селевых явлений в Хибинах

Для формирования селей в Хибинах необходимо на склонах и в руслах ручьев достаточной крутизны соответствующего количества продуктов разрушения горных пород и образования на площади селеопасного бассейна стока воды в количествах, обеспечивающих снос и перемещение по склонам и руслам ручьев накопленного рыхлообломочного материала.

Формирование селевых потоков, объем выноса, разрушительная способность и повторяемость зависят от предварительного увлажнения поверхности бассейна, количества и режима выпадения осадков. Сели могут возникнуть при продолжительных дождях, сопровождаемых короткими ливнями интенсивностью 1 мм/мин и более. Однако не всякий даже очень интенсивный ливень образует сель. Это зависит от наличия и степени подготовленности к смыву рыхлообломочного материала на склоне.

В Хибинах выражены 2 типа селевых потоков с оплывины и водокаменные потоки, которые проявляются достаточно редко, с частотой 1–3 раза в год. Современная денудационная роль оплывин и водокаменных потоков незначительна в связи с их редкой повторяемостью. За последние 50 лет в Хибинах сошло не более 150–200 селевых потоков. Наибольшее количество их наблюдалось в 1955 и 1962 гг.

§ 2. Оплывины

Срыв грунта с гладких коренных склонов вследствие его переувлажнения называется оплывиной. Они происходят на склонах положе угла естественного откоса, покрытых грубообломочным слоем морены толщиной до 1 метра, во время обильных осадков.

Такой покров неустойчив сам по себе и оползает под тяжестью человека. В случае сильных летних ливней он испытывает давление потока дождевой воды и размыв песчаного заполнителя, уменьшающие его устойчивость, и срывание вниз в виде оползня, переходящего в сель.

Оплывины, как правило, имеют точечный отрыв и полностью оголяют коренной склон на участках шириной в несколько десятков и длиной до 500 м. Достигнув подножия склона, они создают нагромождения песчано-щебнисто-глыбового материала с

включением фрагментов растительности. Оголенный скальный склон медленно темнеет в течение десятилетий и веков вследствие выветривания и зарастания лишайниками.

§ 3. Водокаменные потоки

Склоновые сели в большинстве случаев имеют тот же ливневой генезис, что и оплывины. От оплывин они отличаются лишь тем, что сходят по узким руслам. По вещественному составу склоновые сели в Хибинах представляют водокаменный поток, в массе которого преобладает грубообломочный материал, который перемешивается преимущественно в виде взвешенных наносов. Водокаменные потоки характерны для районов, сложенных кристаллическими горными породами, какими являются горные породы Хибин.

Классический селевой бассейн обычно состоит из трех основных геоморфологических зон: зоны селеобразования, в которой происходит питание селей водным и твердым материалом, транзитной зоны, расположенной ниже ее, и зоны селевых отложений.

В зоне транзита селевой поток имеет наибольшие скорости и обладает огромной разрушительной силой. В процессе движения селевые потоки вследствие большой насыщенности твердым материалом производят помимо размыва также значительное истирание коренных пород, слагающих поверхность русла.



Рис. 6.2. Долина р. Куньйок. Типичная оплывина, сошедшая 29.07.2003 г.



Рис. 6.3. Селевые отложения в долине р. Куньйок. 21.06.2006 г.

При выходе селевого потока с крутого участка транзитной зоны на участок с пологим уклоном начинается отложение обломочного материала. Классической формой отложений селевых выносов является веерообразный конус выноса. Первыми останавливаются наиболее крупные глыбы, скальные обломки и валуны. Затем прекращается движение более мелких глыб, камней, щебенки и гравия. Таким образом, происходит естественная сортировка твердого материала по крупности, что и обуславливает конусообразное расположение селевых отложений.

РЕШЕНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ И ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ В ОАО «АПАТИТ»

За 75 лет своего существования комбината «Апатит» накоплен бесценный опыт взаимодействия крупнейшего горно-химического предприятия с природной средой. В начале промышленного освоения Хибин вследствие отсутствия опыта и заблаговременного научного внимания неожиданно возникли серьезные проблемы.

Десятки тысяч людей были насильственно привезены в Хибины, чтобы строить рудники, фабрики и сам город. Лишенные элементарных жилищно-бытовых условий, люди терпели ужасные лишения, болели и умирали. Перед руководителями строительства горно-химического комбината в Хибинах возникла острая проблема сохранения рабочей силы. Для обоснования дополнительных затрат, связанных с неблагоприятными климатическими условиями жизни и работы, местные власти были вынуждены организовать в 1930 году метеорологические наблюдения в пос. Кукисвумчорр.

Проблемы, связанные с длительными простоями из-за снежных заносов на железной дороге, соединяющей Кировский рудник с разъездом Белый, заставили руководство треста «Апатит» заняться и этой проблемой. В 1933 году была создана специальная снегозащитная станция Кировской железной дороги.

С первых дней освоения Хибин местная власть и жители знали об угрозе схода снежных обвалов, но пока несчастные случаи, связанные с лавинами, носили эпизодический характер, эта проблема замалчивалась. Только лавинная катастрофа, произошедшая 5 декабря 1935 года, заставила государство обратить на эту проблему внимание. В 1936 году в составе треста «Апатит» была организована первая в мире Снежно-метеорологическая служба, ныне Центр лавинной безопасности.

Для решения проблемы борьбы с выбросами грунтовых вод в подземных выработках в 1937 году было организовано гидрогеологическое подразделение. И в настоящее время существует серьезная проблема обводнения подземных рудников и карьеров ОАО «Апатит».

Взаимодействие производства и природной среды Хибин по мере освоения новых месторождений, накопления отходов производства, применения более мощной техники расширялось и усложнялось, а инженерно-географическое обоснование проектов развития комбината «Апатит» отставало от требуемого уровня. В 60-е годы были упущены из вида угроза затопления Саамского карьера, неизбежность загрязнения оз. Имандра при существующем варианте размещения хвостохранилища АНОФ-2 или опасность обрушения горных отвалов на Центральном руднике. Проекты делались по среднеевропейским стандартам и как бы в расчете на самоочищающуюся природную среду.

Насколько возможно, специалисты комбината «Апатит» исправляли ошибки проектирования своими силами, создавая собственные службы и привлекая к решению возникших проблем специалистов из научных организаций.

По мере углубления горных выработок возникли проблемы, связанные с горным давлением. Для разработки систем контроля геодинамической безопасности на рудниках ОАО «Апатит» был образован Центр геофизического мониторинга. С целью уменьшения негативных последствий обрушений покрывающих пород и обеспечения безопасности работы карьеров, объектов промплощадок, расположенных вблизи зон обрушений, и подземных рудников учеными Горного института КНЦ РАН и маркшейдерской службы комбината «Апатит» была разработана система практических мероприятий.

Отдел охраны природы ОАО «Апатит» постоянно контролирует план мероприятий по снижению вредного воздействия промышленных стоков на естественные водоемы, улучшению состояния воздушного бассейна городов Кировск, Апатиты и более полному использованию сырьевых ресурсов Хибинского массива.

Контроль за вредными производственными факторами осуществляет Санитарная лаборатория ОАО «Апатит».

Конечно, нельзя полностью исключить все неблагоприятные взаимодействия производства и природной среды, но путем предусмотрительного проектирования можно значительно снизить неблагоприятные факторы, чреватые катастрофами для производства и природы, и минимизировать затраты на устранение их негативных последствий.

Список литературы

1. Абшаев М.Т., Кучмезов О. М. Вероятностно-статистический подход к индикации и прогнозу некоторых атмосферных явлений. – Труды Всесоюзного симпозиума по применению статистических методов в метеорологии. Гидрометеоиздат, Л., 1971, с. 23–30.

2. Аккуратов В. Н. К вопросу о генезисе пятнистой мерзлоты в Хибинах. – Снег и лавины Хибин. Изд-во МГУ, М., 1967, с. 124–125.

3. Аккуратов В. Н., Пантелеев В. Д. Влияние взрывов мин на структуру и механические характеристики снега. Тр ВГИ, вып. 12, 1967, с. 260–273.

4. Аккуратов В. Н. Прогноз наступления лавинной опасности по величинам метелевого переноса и температурного сжатия снега. – Вопросы использования снега в борьбе с заносами и лавинами. М., 1956, с. 167–183.

5. Аккуратов В. Н. Метеорологические условия образования лавин в Хибинах. – МГИ, вып. 12, М., 1966, с. 132–138.

6. Аккуратов В. Н. Генетическая классификация лавин. – Труды Эльбрусской высокогорной экспедиции, том 1. Кабардино-Балкарское книжное издательство, Нальчик, 1959, с. 215–232.

7. Аккуратов В. Н., Нечаев Н. Ф. Отчет о выполнении темы «Исследование удара снежных лавин о неподвижное препятствие». Комбинат «Апатит», Кировск, 1969, 131 с.

8. Аллисон А., Палмер Д. Геология. Изд-во «Мир», Москва, 1984, 565 с.

9. Анисимов М. И. Снег и снежные обвалы. Изд-во АН СССР, М., 1958, 98 с.

10. Арсентьев А. И., Красносельский Э. Б., Усынин В. И. Инженерная гляциология в горном деле. Труды I Всесоюзного координационного совещания по инженерной гляциологии. Кольский филиал АН СССР, Апатиты, 1973, с. 27–30.

11. Беленький Б. М. Климатические условия района карьеров комбината «Апатит» им. С. М. Кирова. – Снег и лавины Хибин. М., 1967, с.126–137.

12. Беленький Б. М. Суровость погоды в районе Центрального рудника комбината «Апатит» им. С. М. Кирова. – Природа и хозяйство Севера, вып. 3, Апатиты, 1971, с. 75–80.

13. Беленький Б. М. Гололедно-изморозевые образования на плоской вершине горы Юкспор. Труды ГГО, вып. 85, Л., Гидрометеоиздат, 1958.

14. Беленький Б. М., Ржевский Б. Н. О количественной оценке гололедно-изморозевых отложений в Хибинах (на примере горных плато и склонов). – Труды I Всесоюзного координационного совещания по инженерной гляциологии (6–9 апреля 1970 г., г. Кировск). АН СССР, Апатиты, 1973, с. 48–52.

15. Беленький Б. М., Иванова Л. Я. и др. Количественная характеристика метелей в Хибинах по многолетним инструментальным наблюдениям. – МГИ, вып. 23, М., 1974, с. 141–146.

16. Беленький Б. М. Некоторые характеристики туманов горных плато Хибин. – Исследования снега и лавин в Хибинах. Л., 1975, с. 157–162.

17. Благовещенский В. П. Количественная оценка лавинной опасности малоизученных горных районов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора географических наук. Институт географии АН СССР, Москва, 1990, 48 с.

18. Бобрышев А. В. Некоторые результаты экспериментальных исследований светопроницаемости снежных образцов. Вопросы геофизики, гляциологии и географии снежного покрова. Изд-во ГО СССР, Апатиты, 1972, с.18–19.

19. Божинский А. Н., Лосев К. С. Основы лавиноведения. Гидрометеоиздат, Л., 1987, 280 с.

20. Болов В. Р. Руководство по предупредительному спуску снежных лавин с применением артиллерийских систем КС-19 (временное). М., ГИМИЗ, 1984, 106 с.

21. Борисов А. А. Климаты СССР. – Издательство «Просвещение», М., 1967, с. 213–217.

22. Бучинский В. Е. Атлас обледенения проводов. Гидрометеоиздат, Л., 1955, с. 88.

23. Ващалова Т. В. Палеографический подход к реконструкции лавинной активности в целях долгосрочного прогноза (на примере Хибин). – Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. МГУ, М., 1987, с. 181.

24. Войтковский К. Ф. Основы гляциологии. «Наука», М., 1999, с. 255.

25. Войтковский К. Ф. Механические свойства снега. «Наука», М., 1977, с. 126.

26. Войтковский К. Ф. Лавиноведение. Изд-во МГУ, 1989, 157 с.

27. Гирс А. А. Многолетние преобразования атмосферной циркуляции и изменения солнечной активности. «Метеорология и гидрология», № 12, 1959.

28. Гофф А. Г., Оттен Г. Ф. Экспериментальное изучение движения снежных обвалов. – Тбилисский научно-исследовательский институт сооружений, вып. XXVII, Тбилиси, 1936, с. 63–77.

29. Гофф А. Г., Оттен Г. Ф. Мероприятия по борьбе с обвалами, примененные в районе Кировска. – В сб. Снег и снежные обвалы в Хибинах. Л.–М., Гидрометеоиздат, 1938, с. 89–98.

30. Гофф А. Г., Оттен Г. Ф. Расчетные нагрузки для противолавинных сооружений. – В сб. Снег и снежные обвалы в Хибинах. Гидрометеоиздат, Л.–М., 1938, с. 86–89.

31. Гофф А. Г., Оттен Г. Ф. Динамика давления при ударе снежного обвала. – «Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз.», 1941, № 3, с. 351–353.

32. Григорян С. С., Урумбаев Н. А. О природе лавинной воздушной волны. Научные труды ин-та механики МГУ, 1975, № 42, с. 74–82.

33. Григорян С. С., Остроумов А. В. Отчет №1724 «О механике формирования и обрушения отвалов горной массы». Институт механики МГУ, 1975, 34 с.

34. Гутер Р. С., Овчинский Б. В. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта. «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, М., 1970, с. 432.

35. Давыдов Л. К., Дмитриева А. А., Конкина Н. Г. Общая гидрология. Гидрометеоиздат, Л., 1973, 462 с.

36. Данишевский Г. М. Патология человека и профилактика заболеваний на Севере. «Медицина», М., 1968.

37. Дементьев А. А. Снежный покров в горных районах Кольского полуострова. Материалы второй научной конференции Северного филиала Географического общества СССР, март 1969 г. – Природа и хозяйство Севера, вып. 2, ч. 2. Апатиты, 1971, с. 104–109.

38. Дроздов О. А., Васильев В. А., Кобышева Н. В. и др. Климатология. Гидрометеоиздат, Л., 1989, 567 с.

39. Дюнин А. К. Метель. – Гляциологический словарь. Гидрометеоиздат, Л., 1984, с. 264–266.

40. Дюнин А. К., Матвиенко В. С. Механика горных метелей. – МГИ, вып. 23, М., 1974, с.136–141.

41. Жигульский А. А. Опыт оценки инженерных противолавинных сооружений в Хибинах. – Труды третьего Всесоюзного совещания по лавинам. Гидрометеоиздат, Л., 1989, с.19–28.

42. Заморский А. Д. Атмосферный лед. Изд-во АН СССР, М.–Л., 1955, 377 с.

43. Зверев А. С. Синоптическая метеорология. Гидрометеоиздат, Л., 1977, с. 578.

44. Зеленой И. К. Климат района г. Кировска. – Труды Кольской базы АН СССР, выпуск 6, Изд-во АН СССР, М. – Л., 1940, с. 77–89.

45. Зеленой И. К. О первых годах борьбы с лавинами в районе города Кировска. Труды I Всесоюзного координационного совещания по инженерной гляциологии. Кольский филиал АН СССР, Апатиты, 1973, с. 5–16.

46. Зеленой И. К. О количественной характеристике метелей. «Метеорология и гидрология», № 1–2, 1940, с. 124–125.

47. Зюзин Ю. Л. Опыт использования байесовского подхода для индикации лавинной опасности в Хибинах. – Труды третьего Всесоюзного совещания по лавинам. Гидрометеоиздат, Л., 1989, с. 185–187.

48. Зюзин Ю. Л. 50 лет цеху противолавинной защиты – первой лавинной службы СССР. – Труды третьего Всесоюзного совещания по лавинам. Гидрометеоиздат, Л., 1989, с. 6–14.

49. Зюзин Ю. Л. Preventive release of avalanches in Khibiny mountains. Материалы международного симпозиума в Кировске, сентябрь 2001 г. – МГИ, вып. 94, 2003, с.149–152.

50. Зюзин Ю. Л. Предупредительный спуск лавин в Хибинах. – Горный журнал, ГУП «Издательский дом «Руда и металлы», М., 9.1999, с. 57–59.

51. Зюзин Ю. Л. Лавинная опасность в Хибинах: влияющие факторы, индикация и прогноз. Горный журнал, Изд. дом «Руда и металлы», М., сентябрь 2004, с. 85–86.

52. Ижболдина В. А. Аэросиноптические условия возникновения и схода метелевых лавин в Хибинах. – Снег и лавины Хибин. Гидрометеоиздат, Л., 1975, с. 51–63.

53. Ижболдина В. А. Прогноз лавинной опасности в горах Кольского полуострова на основе синоптического анализа. – Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук. ВГИ, Нальчик, 1983, 163 с.

54. Имбри Д., Имбри К. П. Тайны ледниковых эпох. «Прогресс», М., 1988, с. 208–209.

55. Инструкция по проектированию и строительству противолавинных защитных сооружений СН 517-80. Стройиздат, М., 1980, 15 с.

56. Капитан Широкшин. Геогностический обзор берегов Кандалакшской губы и Белого моря до г. Кеми в Архангельской губернии. – Горный журнал, ч.1, кн. III. СПб., 1835, с. 419.

57. Каталог ледников СССР. – Том 1, часть 1, Хибинские горы. Гидрометеоиздат, Л., 1966, с. 50.

58. Козелецкий Ю. Психологическая теория решения. Издательство «Прогресс», Москва, 1987, 504 с.

59. Козик С. М. Расчет движения снежных лавин. Гидрометеоиздат, Ленинград, 1962.

60. Котляков В. М. Снежный покров земли и ледники. Гидрометеоиздат, Л., 1968, 478 с.

61. Красносельский Э. Б., Оводенко Б. К. Информационный отчет «Особенности организации и эксплуатации высоких заснеженных отвалов на горных склонах и условий перехода на циклично-поточное производство». Горный институт КФ АН СССР, Апатиты, 1977, 52 с.

62. Красносельский Э. Б. Возникновение снежных лавин в карьерах и защита от них. Исследования снега и лавин в Хибинах. Гидрометеоиздат, Л., 1975, с. 33–139.

63. Лосев К. С. По следам лавин. Гидрометиоиздат, Л., 1983, с. 135.

64. Лукоянов П. И. Безопасность в лыжных походах и чрезвычайных ситуациях зимних условий. Москва, 1998, с. 45–55.

65. Люкшандерль Л. Спасите Альпы. Издательство «Прогресс», М., 1987, с. 53–55.

66. Малышев М. Д. Водный баланс в долине реки Вуоннемйок. Природа и хозяйство Севера, вып. 2, ч. 2, Апатиты, 1971, с. 124–131.

67. Международная классификация снега. – МГИ, вып. 10, 1964, с. 254–265.

68. Михель В. М., Руднева А. В., Липовская В. И. Переносы снега при метелях и снегопадах на территории СССР. Гидрометеоиздат, Л., 1969, 203 с.

69. Молочников А. В., Пузанов В. П. Сведения об обвалах в районе города Кировска. – В сб. Снег и снежные обвалы в Хибинах. Л.–М., Гидрометеоиздат, 1938, с. 51–65.

70. Молочников А. В., Пузанов В. П. Сведения об обвалах в районе города Кировска. – В сб. Снег и снежные обвалы в Хибинах. Л.–М., Гидрометеоиздат, 1938, с. 51–65.

71. Молочников А. В., Пузанов В. П. Зависимость образования снежных обвалов от метеорологических условий. – В сб. Снег и снежные обвалы в Хибинах. Л.–М., Гидрометеоиздат, 1938, с. 66–70.

72. Мягков С. М., Бабурин В. Л., Баранова Т. Г. и др. Природные условия Хибинского учебного полигона. Издательство Московского университета, 1986, с. 82.

73. Мягков С. М., Сапунов В. Н. Пояснительная записка к карте-схеме очагов водоснежных потоков Хибин масштаба 1: 50 000. МГУ, М., 1991, 8 с.

74. Павлов А. П. Инверсии температуры в Хибинских горах. – Труды Кольской базы АН СССР, выпуск 6, Изд-во АН СССР, М. – Л., 1940, с. 19–50.

75. Павлов А. П. Метеорологические условия образования снежных лавин в Хибинах. – Труды Кольской базы АН СССР, выпуск 6, Изд-во АН СССР, М. – Л., 1940, с. 51–76.

76. Павлов А. В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. Якутское кн. изд-во, 1975.

77. Пермяков Р. С. Особенности разработки нагорных месторождений Заполярья. «Наука», Л., 1969, 234 с.

78. Перов В. Ф. Первый ледник в Хибинах. «Природа», 1958, № 7.

79. Перов В. Ф. Снежники, ледники и мерзлотный рельеф Хибинских гор. – Результаты исследований по международным геофизическим проектам, гляциология, № 22. Издательство «Наука», М., 1968, 118 с.

80. Ржевский Б. Н., Шаль Э. Э. Оценка эффективности противолавинных сооружений в Хибинах по результатам их эксплуатации в 1935–1978 гг. – МГИ, вып. 38, 1980, с. 241–249.

81. Ржевский Б. Н. Отчет по теме: « Измерение ударной силы лавин механическими датчиками», ПО «Апатит», Кировск, 1981, с. 55.

82. Ржевский Б.Н. Тайна горы Айкуайвенчорр. ИИП «Север», Мурманск, 2000, 216 с.

83. Ржевский Б. Н., Самойлов В. А. Отчет о результатах обследования Раслакского селя (13 июня 1973 г.). Комбинат «Апатит», ЦПЗ, 1973, 16 с.

84. Рубинштейн Е. С. К проблеме изменения климата. Труды НИУ ГУГМС, 1-я серия, вып. 22, 1946.

85. Савельев Б. А., Лаптев М. Н., Лаптева Н. И. Строение, состав и физико-механические свойства снега в Хибинах и их изменение в процессе метаморфизма. Снег и лавины Хибин. М., Изд-во МГУ, 1967, с. 201– 239.

86. Сазонова Т. Д. О расчете баланса снегонакопления на горных плато на примере горы Юкспор, Хибины. Материалы второй научной конференции Северного филиала Географического общества СССР, март 1969 г. – Природа и хозяйство Севера, вып. 2, ч. 2, Апатиты, 1971, с. 110–115.

87. Самойлов В. А. Отчет о выполнении темы «Изучение механизма движения лавин методом наземной стереофотограмметрической съемки». Производственное объединение «Апатит», Кировск, 1978, 75 с.

88. Сапунов В. Н. Комплексная характеристика водоснежных потоков Хибин. – Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. МГУ, Москва, 1991, 25 с.

89. Снег. Справочник под редакцией Грея Д. М. и Мэйла Д. Х. Гидрометеоиздат, Л., 1986, 751 с.

90. Таблицы восхода и захода солнца, начала и конца гражданских сумерек, продолжительности светлого времени суток, времени начала и конца освещенности различной степени. Мурманское УГМС, Мурманск, 1966, с. 19–21.

91. Тихомиров И. К. Общая характеристика климата Кольского полуострова и задачи дальнейших климатических исследований в этом районе. – Труды Кольской базы АН СССР, выпуск 6, Изд-во АН СССР, М. – Л., 1940, с. 3–18.

92. Туркевич М. Поисково-спасательные работы в горах. – МЧС России, 2000, с. 239–252.

93. Тушинский Г. К. Ледники, снежники, лавины Советского Союза. – Госиздат географической литературы, М., 1963, с. 311.

94. Усынин В. И., Беленький Б. М. Микроклимат карьеров Севера. – Исследования снега и лавин в Хибинах. Л., 1975, с.140–151.

95. Фомин А. Г. Вопросы теоретического обоснования противолавинных мероприятий на железных дорогах.

96. Харвей Д. Научное объяснение в географии. Издательство «Прогресс», М., 1974, с. 502.

97. Чащин В. П., Деденко И. И. Труд и здоровье человека на Севере. Мурманское книжное издательство, 1990, 104 с.

98. Черноус П. А. Некоторые результаты оценки качества определения лавинного риска. – МГИ, вып. 91, 2001, с.105–109.

99. Черноус П. А. Применение многомерного дискриминантного анализа для распознавания лавиноопасных ситуаций. – Исследования снега и лавин в Хибинах, Л., 1975, с. 64–70.

100. Черноус П. А. Изменчивость лавинообразующих факторов и моделирование возникновения лавин метелевого типа (на примере Хибин). – Дисс. на соискание ученой степени кандидата географических наук, ПО «Апатит», Кировск, 1987, 193 с.

101. Черноус П. А., Зюзин Ю. Л., Бобрышев А. В. Метелемеры ЦПЗ и результаты их испытаний. – Труды третьего Всесоюзного совещания по лавинам. Гидрометеоиздат, Л., 1989, с. 95–101.

102. Черноус П. А., Тяпкина О. Ю., Хестнес Э., Бакхой С. Диагностика и прогноз ситуаций, связанных с образованием водоснежных потоков. – МГИ, вып. 88, 2000, с.113–117.

103. Шабельников В. А. Об организации противолавинной защиты горнолыжных комплексов в районе поселка Красная Поляна (долина р. Мзымта). – МГИ, вып. 96, 2004, с.196–200.

104. Шнитников А. В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. – «Зап. Геогр. Об-ва СССР», т. 16, М. – Л., 1957.

105. Яковлев Б. А. Климат Мурманской области. Мурманское книжное издательство, Мурманск, 1961, с. 180.

106. Barashev N. V. Calculation of rime deposition on the surface of the Khibiny plateau. Материалы международного симпозиума в Кировске, сентябрь 2001 г. – МГИ, вып. 94, 2003, с. 128–130.

107. Erik Hestnes and Lawrense J. Onesti. Slushflow questionnaire – an illustrated reiew. NGI, 1988, p 2.

108. Larsen Jan Otto. Snow-creep forces on masts. Annals of Glaciological Society, vol. 26, Cambridge, 1998, pp. 19–21.

109. McClung D., Schaerer P. The Avalanche Handbook. Publication The Mountaineers 1011 SW Klickitat Way, Seattle, Washington, 1993, 217 p.

110. Nakaya U. Snow crystals: natural and artificial. – Cambridge: Harward Univ. Press, 1954, 510 p.

Оглавление

Вступительное слово С. М. Миронова 3
Вступительное слово Ю. А. Евдокимова 4
Вступительное слово А. В. Григорьева 5
Предисловие 6

I. КЛИМАТ ХИБИН

Глава 1. Исследование климата в Хибинах 8
Глава 2. Место и время производства метеорологических наблюдений в Хибинах 9
Глава 3. Основные особенности рельефа Хибин 11
Глава 4. Погода и климат Хибин 12
Глава 5. Циркуляция атмосферы над Кольским полуостровом 13
Глава 6. Климатическая характеристика сезонов 14
Глава 7. Заполярное солнце 16
§ 1. Солнечная освещенность 16
§ 2. Продолжительность солнечного сияния 19
§ 3. Оптические явления 20
§ 4. Радиационный баланс 21
§ 5. Солнечная активность 23
Глава 8. Атмосферное давление 24
Глава 9. Облачность 25
Глава 10. Осадки 29
Глава 11. Температура воздуха 36
§ 1. Средние температуры воздуха 36
§ 2. Экстремальные значения температуры воздуха 37
§ 3. Температурные инверсии 40
§ 4. Суточный ход температуры воздуха 42
Глава 12. Ветер 44
§ 1. Направление ветра 44
§ 2. Скорость ветра 45
§ 3. Хибинские фёны 47
Глава 13. Влажность воздуха 48
Глава 14. Туманы 49
Глава 15. Гололедо-изморозевые явления 52

§ 1. Гололедица и гололед 53
§ 2. Зернистая изморозь 55
§ 3. Сложные гололедо-изморозевые явления 56
§ 4. Кристаллическая изморозь 59
Глава 16. Метелевый перенос снега 59
Глава 17. Снежный покров 64
§ 1. Снежные кристаллы 64
§ 2. Международная классификация снежинок 65
§ 3. Формирование снежного покрова 67
§ 4. Плотность снежного покрова 73
§ 5. Ползучесть снега 73
§ 6. Сдвиговая ползучесть 74
§ 7. Расчет нагрузок при ползучести снежного покрова на склоне [94] 75
§ 8. Объемная ползучесть 76
§ 9. Теплопроводность снежного покрова 78
§ 10. Радиационные свойства снега 79
§ 11. Водоудерживающая способность снега и его водопроницаемость 81
§ 12. Влияние снежного покрова на жизнь и хозяйственную деятельность человека 83
§ 13. Влияние снежного покрова на растительный и животный мир 84
Глава 18. Суровость климата 86
Глава 19. Современное изменение гляциосферы и климата в Хибинах 88

II. СНЕЖНЫЕ ЛАВИНЫ В ХИБИНАХ

Глава 1. История создания противолавинной службы в Хибинах 98
§ 1. Начало 98
§ 2. Основные этапы изучения лавин и разработки методов предотвращения лавинной опасности в Хибинах 101
Глава 2. Основные понятия, связанные с лавинами 102
Глава 3. Классификации снежных лавин 104
Глава 4. Лавиноопасные зоны 108
Глава 5 . Снежный покров на лавиноопасном склоне 111
§ 1. Высота снежного покрова 111
§ 2. Механические свойства снега 113
§ 3. Стратиграфия снежного покрова 114
Глава 6. Метеорологические факторы лавинообразования в Хибинах 115

Глава 7. Синоптические условия образования лавин в Хибинах 117
§ 1. Синоптические ситуации, связанные с образованием сухих лавин 117
§ 2. Синоптические ситуации, связанные с образованием мокрых лавин 119
Глава 8. Индикация и прогноз лавинной опасности в Хибинах 120
Глава 9. Динамика хибинских лавин 126
§ 1. Общие сведения 126
§ 2. Экспериментальные исследования силы удара лавин в Хибинах 127
§ 3. Конструктивные особенности установки 129
§ 4. Основные результаты эксперимента 130
§ 5. Стереофотограмметрическая съемка лавин 132
§ 6. Аппаратура для стереофотосъемки 133
§ 7. Основные результаты стереосъемки лавин 134
Глава 10. Снежно-воздушная волна лавины 136
Глава 11. Предупредительный спуск лавин 138
Глава 12. Лавины с горы Юкспор 145
§ 1. Гора-убийца 145
§ 2. Хроника аварий и несчастных случаев на горе Юкспор 147
Глава 13. Лавины, связанные с горными работами 149
§ 1. Лавины с нерабочих бортов карьеров 149
§ 2. Лавины с откосов горных отвалов 151
§ 3. «Домашние» лавины 152
Глава 14. Инженерные противолавинные сооружения 152
§ 1. Воспрепятствование интенсивному снегонакоплению в лавиносборах 152
§ 2. Искусственное укрепление снежного покрова на склонах гор 153
§ 3. Сооружения для разделения лавиннного потока 154
§ 4. Инженерные сооружения для изменения направления движения лавин 154
§ 5. Лавинотормозящие сооружения 156
§ 6. Каменно-набросные дамбы 158
§ 7. Оценка эффективности инженерных противолавинных сооружений в Хибинах 161
Глава 15. Хибины нужно уважать! 162
Глава 16. Первые жертвы фрирайда 166
Глава 17. Шанс на спасение 172
Глава 18. Правила поведения в горах 174

§ 1. Необходимые меры предосторожности 174
§ 2. Организация спасательных работ 176
§ 3. Места наиболее вероятного нахождения пострадавшего в лавине 176
§ 4. Поиск с помощью электронных маяков 177
§ 5. Зондирование лавинных отложений снега 178
Глава 19. Психологические аспекты управления противолавинной службой 179

III. ВОДОСНЕЖНЫЕ ПОТОКИ
Глава 1. Общая характеристика ВСП 182
Глава 2. Основные типы ВСП 184
§ 1. Лавиноподобные ВСП 184
§ 2. Селеподобные ВСП 187
§ 3. Паводкоподобные ВСП 189
Глава 3. Диагностика и прогноз ситуаций, связанных с образованием водоснежных потоков 189
Глава 4. Меры защиты от ВСП 191

IV. ПАВОДКИ В ХИБИНАХ
Глава 1. Гидрологическая характеристика Хибин 197
Глава 2. Водный баланс в долине р. Вуоннемйок 199
Глава 3. Прогнозирование весеннего паводка 201
Глава 4. Прогнозирование дождевых паводков 203
Глава 5. Обводнение рудников и карьеров 204

V. НЕБЛАГОПРИЯТНЫЕ ТЕХНОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ
Глава 1. Обрушение отвалов на Центральном руднике 206
§ 1. Расвумйокский обвал 206
§ 2. Каменный обвал в Раслакском цирке 208
Глава 2. Движение горных отвалов на склонах гор 209
§ 1. Формирование отвала горной массы до момента обрушения 209
§ 2. Динамика движения отвала 210
Глава 3. Условия безопасной эксплуатации отвалов Центрального рудника 213
Глава 4. Обрушение заколов на Кировском и Расвумчоррском рудниках 215
Глава 5. Обрушения горной породы на пологих склонах 217
Глава 6. Каменные обвалы, связанные с суффозией 217

VI. ДРУГИЕ ОПАСНЫЕ СКЛОНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ

Глава 1. Камнепады 219

Глава 2. Селевые процессы в Хибинах 220

§ 1. Условия формирования селевых явлений в Хибинах 220

§ 2. Оплывины 220

§ 3. Водокаменные потоки 221

Решение инженерно-географических проблем в Хибинах 223

Список литературы 225