

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И КОНТРОЛЮ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (САРНИГМИ)
имени В. А. БУГАЕВА

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ

34516



ЛЕНИНГРАД ГИДРОМЕТЕОИЗДАТ 1979

В пособии охарактеризованы основные факторы лавинообразования, дан обзор методов прогнозирования лавиноопасных периодов, приведены графики и уравнения, используемые в прогностической практике снеголавинных станций Госкомгидромета и лавинных служб других организаций. Изложены основы фоновых и локальных прогнозов лавинной опасности.

Практическое пособие предназначено для работников снеголавинных станций, подразделений Госкомгидромета и ведомств, составляющих прогнозы лавинной опасности.

Практическое пособие по прогнозированию лавинной опасности подготовлено в САРНИГМИ с использованием материалов ВГИ, ЗакНИГМИ, Узбекского, Киргизского, Казахского, Таджикского и Сахалинского УГКС.

Составитель

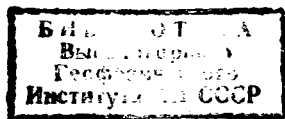
канд. техн. наук Ю. Д. Москалев
 Ответственный редактор
 канд. геогр. наук Л. А. Канасев

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ ПО ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЛАВИННОЙ ОПАСНОСТИ

Редактор Л. А. Чепелкина. Техн. редактор М. И. Брайнина. Корректор Л. И. Хромова.

Сдано в набор 09.07.79. Подписано в печать 20.11.79. М-13249. Формат 60×90¹/₁₆. Бум. тип. № 1. Лит. гарн. Печать высокая. Печ. л. 12,5. Уч.-изд. л. 14,09. Тираж 1000 экз. Индекс ГЛ-34. Заказ № 321. Цена 1 руб. 10 коп. Заказное. Гидрометеоздат. 199053. Ленинград, 2-я линия, д. 23.

Ленинградская типография № 8 ЛПО «Техническая книга» Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 190000, Ленинград, Прачечный пер., 6.



1903030200-188
 П 069(02)-79

без объявл.

© Госкомгидромет, 1979 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Практическое пособие по прогнозированию лавинной опасности является первым опытом обобщения применяемых в практике противолавинных служб СССР и разрабатываемых методов прогноза времени наступления и окончания периодов лавинной опасности. Оно предназначено в первую очередь для снеголавинных станций (СЛС) в системе Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды, но может быть использовано и другими ведомствами.

Издание данного пособия вызвано давно назревшей необходимостью свести воедино довольно многочисленные и разнообразные методики, разработанные и разрабатываемые в республиканских, территориальных управлениях и научно-исследовательских учреждениях Государственного комитета СССР по гидрометеорологии и контролю природной среды. Сведения об этих методиках рассеяны в литературе, ведомственных инструкциях, гидрометеорологических фондах и потому были до настоящего времени мало доступны работникам снеголавинных станций и противолавинных служб. В предлагаемом пособии, помимо отечественного, отражен и зарубежный опыт прогнозирования лавинной опасности во времени. Перспективные, но еще не используемые на практике методы прогноза лавинной опасности при помощи математического аппарата многомерной статистики, опознавания образов и множественной корреляции изложены в пособии конспективно, для общей ориентировки читателя. Обширный круг вопросов, касающихся прогнозирования лавинной опасности в пространстве, регионального распространения и режима снежных лавин, в данном пособии не рассматривается, так как он обобщен в ряде существующих книг и карт лавиноопасных районов СССР.

Разделы 1 и 2 пособия по прогнозированию лавинной опасности составлены в лаборатории лавин и оперативного обслуживания при Среднеазиатском региональном научно-исследовательском гидрометеорологическом институте (САРНИГМИ) канд. техн. наук Ю. Д. Москалевым. Раздел 3 написан д-ром геогр. наук М. Ч. Залихановым (Высокогорный геофизический институт) и канд. геогр. наук В. Ф. Граковичем (Центральная

аэрологическая обсерватория); при работе над пособием использованы материалы, предоставленные специалистами САР-НИГМИ (канд. геогр. наук Г. Г. Харитоновым и Н. Ф. Дроздовской), Закавказского научно-исследовательского гидрометеорологического института (канд-ты геогр. наук В. Ш. Цомая и К. Л. Абдушелишвили), Киргизского республиканского управления по гидрометеорологии и контролю природной среды (Н. В. Максимовым и др.), Казахского, Таджикского республиканских и Сахалинского территориального управлений по гидрометеорологии и контролю природной среды, а также ряд опубликованных работ Гидрометеорологической службы СССР, Московского университета, цеха противолавинной защиты комбината «Апатит» и Новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта.

Пособие состоит из трех разделов: 1) основы лавинного прогнозирования, 2) методы прогноза лавин для отдельных районов СССР и 3) систематизация снеголавинных наблюдений с целью составления лавинных прогнозов на ЭВМ. Первый раздел касается методов, пригодных в любых физико-географических районах и являющихся основой для разработки локальных методов; во втором разделе даны методы, используемые в настоящее время в конкретных районах СССР или находящиеся в стадии разработки и испытаний.

За немногими исключениями, оговоренными в тексте, эмпирические методы прогнозирования лавинной опасности, предложенные республиканскими и территориальными управлениями, еще не апробированы. Любой опыт и критические замечания по изложенным методикам представляют большую ценность и позволят со временем усовершенствовать методику лавинных прогнозов.

1. ОСНОВЫ ЛАВИННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

1.1. МЕХАНИЗМ ЛАВИНООБРАЗОВАНИЯ

Лавины, или снежные обвалы — это массы снега, пришедшие в движение и низвергающиеся по горному склону (иногда пересекающие дно долины и выходящие на противоположный склон). Объем крупных лавин достигает 2—3 млн. м³. Снег, лежащий на склоне, обрушивается вследствие потери им равновесия. Для спонтанного (самопроизвольного) возникновения лавины слой снега должен находиться в состоянии, близком к предельному равновесию; в этих условиях для ее начала бывает достаточно ничтожного толчка.

Энергичное воздействие на снежный покров может вызвать лавину (обычно небольшую), несмотря на некоторый запас прочности в нем, если будет дан начальный импульс какой-то массе, которая продолжает движение и захватывает снег и обломочный материал на своем пути благодаря высвобождению потенциальной энергии силы тяжести и превращению ее в кинетическую энергию движения лавины.

Возможны случаи, когда в слое снега накапливается энергия упругих деформаций вследствие сокращения объема снега (при перекристаллизации, понижении температуры и т. п.) или его деформации под действием силы тяжести. Если эти внутренние напряжения не успевают исчезать, то нарушение сплошности в одном каком-то месте вызывает образование лавины (когда сила трения недостаточна для удержания снежного пласта на склоне).

При достаточной устойчивости снега на склонах лавины не образуются даже при взрывах и землетрясениях.

В естественных условиях неустойчивое состояние снежного покрова на склонах возникает вследствие: 1) перегрузки склонов снегом при снегопадах и метелях (или его релаксации — расслабления), 2) появления в снежной толще ослабленных прослоек при перекристаллизации снега, его таянии или промачивании дождевой водой.

Снег с момента его выпадения непрерывно изменяется. На формирование лавины оказывают влияние размеры, форма, состояние поверхности снежинок, условия их падения в атмосфере и отложения на склонах гор, состояние подстилающей поверхности и ряд других условий.

В зависимости от этих факторов по накоплении того или иного количества свежеснегавшего или переметенного метелью снега образуются лавины свежеснегавшего или метелевого снега (сухого или мокрого).

Отложившийся на склонах снег подвергается процессам оседания (уплотнения) и перекристаллизации, протекающим одновременно с той или иной скоростью, зависящей от метеорологических условий и состояния подстилающей поверхности. Уплотнение снега увеличивает его прочность в то время как перекристаллизация снега сказывается на его прочностных свойствах более сложным образом.

В процессе оседания (вязкого уплотнения) происходит деформация снега, приводящая к его перемещению на склонах, так как оседание направлено не перпендикулярно к подстилающей поверхности, а под действием составляющей силы тяжести, направленной параллельно склону, отклоняется вниз. Таким образом, оседание можно считать одним из факторов, обуславливающих движение снега на склоне.

Наблюдения показали, что скорость сползания на склоне пропорциональна скорости оседания снежного покрова. Особенно большие скорости сползания наблюдаются на перегибах склонов. В этих местах деформация снежного покрова достигает критического значения вследствие растяжения, что вызывает появление плоскости разрушения (разрыва), влекущее за собой обрушение лавин.

Оседание различных слоев снежного покрова происходит с различной интенсивностью — от 0,5 до 5 см/сут, что обусловлено возрастом и плотностью снега. Кроме того, оседание происходит не равномерно, а скачкообразно. Большие скорости оседания, достигающие более 4—5 см/сут, наблюдаются в свежеснегавшем снеге.

В дальнейшем скорость оседания нагруженного слоя снежного покрова значительно уменьшается, составляя в среднем 0,3—0,6 см/сут. Нагрузка на снег от выпадающего на его поверхность свежего снега увеличивается скачкообразно.

Оседание снега в природных условиях происходит под действием его собственного веса, повышения температуры воздуха, ветра, дождей, выпадающих на поверхность снега, и других причин. Учет влияния каждого из перечисленных факторов на процесс оседания снега практически чрезвычайно сложен, поэтому на практике используются лишь косвенные показатели процесса развития оседания снежного покрова. Эти косвенные показатели выявляются путем построения графиков связи схода лавин с из-

менением главнейших метеорологических элементов и высоты снежного покрова.

В первой стадии перекристаллизации снежинки приобретают округлую форму вследствие миграции водяных паров с лучей в центральную часть. Одновременно более мелкие снежинки и обломки их лучей испаряются и исчезают, тогда как более крупные и округлые кристаллы в процессе сублимационной перекристаллизации растут. Когда разрушение снежинок не компенсируется уплотнением снега вследствие его оседания под действием силы тяжести, процесс, называемый деструктивной (разрушительной) метаморфозой снега, может привести к образованию лавин в течение ближайших дней по окончании снегопада. В процессе деструктивной метаморфозы свежавыпавший снег перерождается в зернистый.

В дальнейшем размеры зерен в снеге увеличиваются за счет роста более крупных кристаллов и исчезновения (возгонки) более мелких, при этом появляется кристаллическая огранка зерен (этот процесс называется конструктивной, или созидательной, метаморфозой), происходит значительное изменение структуры во всей толще снега вследствие миграции водяных паров по порам снега в направлении температурного градиента, т. е. от зон с более высокой температурой к зонам с более низкой. Так как температура почвы и припочвенных слоев снега обычно выше, чем температура воздуха, в снеге происходит вынос вещества (с одновременным разрыхлением снега) из нижних слоев в верхние. В результате этого большая часть зерен перерождается в крупные сплошные или полые (бокаловидные) кристаллы глубокой изморози. Снег с большим содержанием глубокой изморози приобретает хрупкую структуру, количество связей (ледяных перемычек) между кристаллами уменьшается и может образоваться слой сыпучего снега, так называемого снега-пльвуна. Процесс образования снега-пльвуна приводит к образованию опасных ослабленных горизонтов, служащих поверхностями срыва и скольжения лавин. Такие лавины, называемые лавинами сублимационного диафореза (правильнее, сублимационной перекристаллизации), могут возникать при различных метеорологических условиях, казалось бы, без видимой причины. В их подготовке большую роль играют условия всей предшествующей части зимы.

Глубинная изморозь может подвергаться перекристаллизационному разрушению с изменением ее внешнего облика и перерождением в крупнозернистый снег. Этот процесс носит название процесса регрессивного метаморфизма. Снежный покров при этом приобретает более однородное строение, что уменьшает лавинную опасность.

Прогрев снега до температуры, близкой к нулю, при оттепелях и весеннем снеготаянии, а также выпадение дождя на снежный покров могут служить причиной образования влажных

и мокрых лавин. Увлажнение снега до известного предела увеличивает его прочность, но далее с увеличением количества влаги он обрушивается со склонов.

Если в ясную морозную погоду солнечные лучи прогревают поверхность снежного покрова, то вследствие парникового эффекта происходит таяние внутри верхнего слоя снега, который образует небольшие поверхностные лавины. При весеннем снеготаянии и обильных дождях снежный покров пропитывается водой на всю толщину и образуются крупные лавины, захватывающие снег до самой почвы.

Лавины могут обрушиваться как с плоских склонов (осовы — снежные оползни), так и из эрозионных ложбин на склонах, денудационных воронок и деформированных каров (лотковые лавины); движение лавин может происходить и по отвесным стенам (падающие и прыгающие лавины). В зависимости от вида поверхности может чередоваться движение лавины по грунту и по воздуху, а в зависимости от свойств снега вся лавина или ее часть может распыляться и двигаться в форме снежного облака (снежнопылевая лавина). Скорости движения снежнопылевых лавин достигают 50 м/с и более, при этом им сопутствуют воздушные волны и течения, опережающие лавину, уходящую вперед после остановки основной массы лавинного снега и нередко приносящие большие разрушения, чем сама лавина. (Воздушные волны иногда возникают и при непылевидных лавинах и крупных обвалах льда, горных пород, а также при некоторых селях.)

В зависимости от свойств снега и строения снежного покрова лавины могут начинать движение, либо срываясь как пласт снега (так называемая снежная доска), либо осыпаясь с какого-то участка и образуя расширяющийся поток рыхлого снега.

Пластовыми бывают обычно метелевые лавины и лавины сублимационной перекристаллизации. Они могут сходить как в зимний морозный период, так и в период весеннего снеготаяния. Движение пластовых лавин происходит либо по поверхности нижележащего снега, если срывается верхняя часть снежного покрова, либо по грунту, если срывается снежный покров на всю толщину. Разгоняясь, поверхностная лавина нередко захватывает и нижележащие слои снега. В месте отрыва снежного пласта в снеге остается характерный уступ ломаных, зигзагообразных очертаний. Пластовая лавина, начав свое движение как осов в снегосборной воронке лавиносбора (площади, на которой образуется и развивается лавина) и набрав скорость, продолжает двигаться как лотковая лавина, достигнув суженного участка лавиносбора и войдя в лавинное русло.

Лавины рыхлого, сыпучего снега редко достигают очень больших размеров, но могут служить причиной схода более крупных пластовых лавин, если попадают на участок с недостаточно устойчивыми снежными слоями.

В оперативной практике заключение о возможностях лавинообразования фактически составляется с нулевой заблаговременностью, поскольку общепризнано, что предсказание точного времени схода лавины невозможно. Поэтому, как считает большинство исследователей, лавинный прогноз предполагает заблаговременное определение некоторого временного интервала, в течение которого снегонакопление и механическая неустойчивость снега на склонах, обусловленные изменением метеорологических условий, приведут к сходу лавин. Время начала и окончания этого периода должно (во всех случаях) контролироваться профилактическими способами лавинной защиты. Таким образом, задача сводится к опознаванию ситуаций, во время которых следует ожидать схода лавин.

В лавинном прогнозировании можно выделить две основные группы методов, основанные на:

- 1) изучении стратиграфического разреза и оценке устойчивости снежной толщи на склонах (их целесообразно применять при прогнозе лавин, образующихся вследствие сублимационной перекристаллизации);

- 2) анализе метеорологических процессов, приводящих к сходу лавин (применимы главным образом для прогноза лавин, возникающих от явно выраженного действия метеорологических факторов).

Эти методы должны использоваться по возможности параллельно, так как они дополняют друг друга.

Прогноз, основанный на изучении строения и развития снежного покрова, учитывает всю сумму погодных воздействий на снег и внутренние процессы в снежной толще; но он требует систематических наблюдений с начала зимы в зонах лавинообразования, что не всегда легко выполнимо. Тем не менее он пока не является абсолютно надежным, не отражая всего многообразия реологических, термодинамических и других процессов, приводящих к лавинообразованию. Трудности при его использовании заключаются в сильной изменчивости свойств снега.

Возможно использование методов прогноза, основанных на установлении статистических критериев времени схода лавин в различных метеорологических условиях, учитывающих характер изменений прочности и устойчивости снежной толщи. Простейшим показателем устойчивости снежного пласта на склоне является отношение прочности снега в опасном горизонте (выраженной через сцепление, твердость, сопротивление резанию и т. д.) к снеговой нагрузке на опасный горизонт.

Фактически только при отношении, равном двум—четырем, снег залегает абсолютно устойчиво, когда лавины не образуются даже от взрыва, поэтому в расчет вводят дополнительные коэффициенты, определяемые условиями погоды, развития снежного покрова и т. д.

Другой ряд методов предлагает устанавливать наступление лавиноопасного периода, основываясь на статистической связи между временем наступления лавинной опасности и изменением снего-метеорологических элементов, определяющих сход лавин. Недостатком этих методов является прежде всего их локальный характер. Применение их возможно только после нескольких лет наблюдений, на основании которых могут быть выявлены основные лавинообразующие факторы и численные их значения для данной местности.

Прогноз, основанный на одних лишь метеорологических данных, не всегда бывает достаточно определенным; лавины, обусловленные перекристаллизацией снежного покрова, при этом плохо прогнозируются, так как их обрушение слабо связано с текущей метеорологической обстановкой.

Незаслуженно меньшее внимание уделяется анализу синоптических процессов. Между тем проблема прогноза последних более изучена по сравнению с проблемой лавинных ситуаций и располагает методами прогноза с заблаговременностью до 24 ч и более.

Для условий горной местности эта проблема разработана недостаточно.

Методы, основанные на учете процессов атмосферной циркуляции, целесообразно использовать только для фонового мелко-масштабного прогноза. Установлено, что лавинообразование происходит при самых разнообразных синоптических процессах. Наличие той или иной синоптической обстановки еще не может определенно указать на возможность лавинообразования по району исследований. Однако учет синоптического фона, предшествующего сходу лавин, в принципе позволяет составлять прогноз определенной метеорологической ситуации, которая может рассматриваться как основа прогноза лавинной опасности. Конкретизация его осуществляется на основе анализа условий погоды, состояния снежного покрова и особенностей рельефа, с учетом характера физических процессов, определяющих механическую устойчивость снега на склоне (табл. 1).

1.2. АНАЛИЗ СНЕГО-МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

При прогнозировании лавинной опасности следует в первую очередь обращать внимание на следующие явления:

а) интенсивные снегопады, особенно сопровождающиеся ветром, с приростом высоты снега более 30—50 см;

б) сильные ветры и метелевый перенос снега во время и после снегопада;

в) образование снежных карнизов и скоплений снега в снегосборах; обрушение снежных карнизов, помимо того, что оно опасно само по себе, может вызвать крупную лавину, если

Классификация лавинных условий (Avalanche classification, 1973)

Условие	Влияние на лавинную деятельность
Постоянные факторы	
1. Условия рельефа	
1.1. Относительная высота	
Общие топографические условия:	Влияние зависит от широты местности и высоты окружающих гор
зона гребней и высоких плато	Сильное влияние ветра, карнизы, местные пластовые лавины
зона над верхней границей леса и под гребнями	Обширные площади образования пластовых лавин
зона ниже верхней границы леса	Уменьшенное воздействие ветра. Меньше пластовых лавин, преобладает тип лавин из мягкой снежной доски
1.2. Угол наклона (α)	
$>35^\circ$	Возможно образование рыхлых лавин (водонасыщенные лавины при очень малых углах)
$>25^\circ$	Возможно образование пластовых лавин
$>15^\circ$	Установившееся или ускоренное течение (скольжение)
$<20^\circ$	Замедленное течение (скольжение) или отложение
1.3. Ориентация склона	
по отношению к солнцу	На затененных склонах усиливается образование пластовых лавин. На солнечных склонах усиливается образование мокрых лавин
по отношению к ветру	На подветренных склонах возрастает накопление снега (сугробов); это способствует образованию пластовых лавин. На наветренных склонах — наоборот
1.4. Характер рельефа	
открытые, ровные склоны русла, воронки, гребни	Осо́вы Русловые, концентрированные, лотковые лавины
изменения крутизны	Отрывы пластовых и рыхлых лавин на выпуклых склонах
уступы	Пылевые лавины, образование каскада
1.5. Шероховатость	
гладкая поверхность почвы	Скольжение снега (по влажной почве); это благоприятствует образованию грунтовых лавин

Условие	Влияние на лавинную деятельность
выступающие препятствия (скалы, пороги) растительность	Поверхностные лавины над общим уровнем неровностей Трава способствует скольжению снега и образованию грунтовых лавин Кустарник уменьшает число лавин, если не перекрыт снегом Лес, если густой, предотвращает образование лавин
Генетические переменные	
2. Предшествовавшая погода (за период около 5 дней назад)	
2.1. Снегопад	Возрастание нагрузки. Увеличение массы неустойчивого материала. Наиболее важный фактор
тип нового снега	Пушистый снег — рыхлые лавины Связный снег — пластовые лавины
Суточные приросты глубины нового снега	Прогрессирующая неустойчивость с увеличением глубины снега (на склонах с $\alpha > 25^\circ$). Отрыв нового или старого снега
интенсивность снегопада	Прогрессирующая неустойчивость при более высокой интенсивности; это способствует срыву нового снега; опасность распространяется на пологие склоны
2.2. Дождь	Способствует сходу мокрых рыхлых или мягких пластовых лавин. Вызывает смешанные снежные и земляные оползни
2.3. Ветер	Двойное влияние: усиливает местное накопление снега (см. п. 1.3) и увеличивает хрупкость снега
направление	Повышенная опасность образования пластовых лавин на подветренных склонах. Образование карнизов
скорость и продолжительность	Возрастание местной опасности от пластовых лавин с увеличением скорости и продолжительности ветра
2.4. Тепловые условия	Неоднозначное влияние на прочность и напряжения, т. е. на лавинообразование:
температура снега и содержание в нем свободной воды	Повышение температуры снега вызывает кризис
температура воздуха солнечная радиация	Увеличение содержания свободной воды способствует лавинообразованию
тепловое излучение	Одинаковое влияние при всех ориентациях Преобладающее влияние на склонах солнечной экспозиции
	Выхолаживание снежной поверхности ночью и в тени, существенное при безоблачном небе, способствует образованию поверхностной и глубинной изморози (см. п. 3.2)

Условие	Влияние на лавинную деятельность
3. Состояние старого снега Суммарное влияние погоды за весь истекший период зимы 3.1. Полная глубина снега 3.2. Стратификация Чередование слоев с различной прочностью старые поверхностные слои внутреннее строение снежного покрова	Не основной фактор лавинной опасности. Влияет на массу сходящей по грунту лавины. Важна для уплотнения и метаморфизма снежного покрова. Поверхностные лавины см. п. 1.5 Устойчивость определяется слабейшим в смысле прочности горизонтом. Рыхлость (поверхностная изморозь!), хрупкость, шероховатость важны при последующем снегопаде Отрывы старого снега, обусловленные слабыми промежуточными слоями (старые поверхности) и глубокой изморозью (экстремальные лавины)
4. Спусковые факторы 4.1. Естественный отрыв внутренние причины внешние причины (без участия человека) 4.2. Отрыв, вызываемый человеком непреднамеренный спуск лавины преднамеренный превентивный спуск	Естественные лавины Спонтанные лавины Естественно вызванные лавины Случайная лавина (обрушение) Искусственно вызванная лавина (обрушение)

обломки карниза падают на склон с неустойчивым снежным покровом. Осаждение снега из снего-ветрового потока на подветренном склоне создает под карнизами опасные снежные скопления, увеличивающие массу лавины;

г) наличие на склонах снежных досок (плит)¹, отличающихся от окружающего снега более темной матовой поверхностью, которая свидетельствует о наличии плотного ветрового насте;

д) появление трещин в снежном покрове и оседание его с характерным шумом. Трещины свидетельствуют о растягивающих напряжениях в снежном покрове, но не всегда приводят

¹ Снежная доска (плита)— это текстурное образование снега, дающее при разрушении плитовые отделности.

к лавинообразованию. (В ряде случаев, когда образование трещин не приводит к сходу лавин, можно говорить о ликвидации напряжений в зоне растяжения снежного пласта.) Если снег пластичен, то может в зоне сжатия сминаться в складки, а в зоне растяжения — образовать зияющие трещины до почвы. Проседание снега свидетельствует о наличии пустот в снежной толще, образовавшихся в процессе перекристаллизации. Если на крутом склоне силы трения недостаточно для удержания просевшего снежного пласта, то образуется лавина;

е) скатывание со склонов снежных комьев, катышей, рулонов, улиток, характерных для влажного снега. Снежные комья образуют небольшие лавины, которые в свою очередь могут обрушить более крупную лавину со склона, где снежный покров неустойчив. Но нередко они свидетельствуют лишь о неустойчивости самого верхнего слоя снега, без серьезной лавинной опасности;

ж) появление слоев глубинной изморози и пустот в снеге; неоднородный переслаивающийся снежный покров вообще более лавиноопасен, чем однородный (в последнем случае даже мощный пласт снега может сползать по склону, смятаясь в складки, но без образования лавины);

з) резкие изменения температуры и относительной влажности воздуха, предвещающие приближение снегопада; резкое понижение температуры может вызвать внутренние напряжения в снежной доске вследствие температурного сокращения снега;

и) оттепели, интенсивное снеготаяние, дожди, ведущие к сильному увлажнению толщи снега;

к) уменьшение прочности снега до критических значений прочностных характеристик.

Зарубежной практикой выработаны следующие признаки наличия лавинной опасности [253]:

а) мощный слой рыхлого «дикого» (сыпучего) или пороховидного снега отлагается на твердой поверхности старого снега. Возникает опасность от лавин из рыхлого рассыпчатого снега или мягкой снежной доски на крутых склонах. Эта опасность возрастает с увеличением высоты нового снега;

б) мощный слой дикого или пороховидного снега отлагается на слое рыхлого грубозернистого снега, который может тоже вовлекаться в лавину из рыхлого снега или мягкой снежной доски;

в) грубозернистый несвязный снег (так называемый снег-пльвун) на твердой подстилающей поверхности образует многочисленные небольшие лавины рыхлого снега (ручейковые лавины);

г) новый влажный снег на ледяной или снежной корке образует снежные катыши, которые могут вызвать лавину из рыхлого влажного снега или снежной доски;

д) грубозернистый мокрый снег на твердой подстилающей поверхности очень легко дает лавины из рыхлого мокрого снега или мокрой снежной доски;

е) вся толща снега состоит из мокрого грубозернистого снега, что создает опасность грунтовых (скользящих по грунту) лавин из мокрого рыхлого снега или мокрой снежной доски;

ж) уплотненный ветром новый снег отделен от твердой подстилающей поверхности тонким слоем поверхностной изморози, что создает очень благоприятные условия для схода лавин из снежной доски;

з) слои старого снега, разделенные слоем снега-пльвуна, перекрыты свежевыпавшим снегом, что создает опасность от лавин из снежной доски;

и) новый метелевый снег умеренной и большой твердости отлагается на снег-пльвун, что создает опасность грунтовых лавин из снежной доски;

к) новый метелевый и плотный старый снег пропитаны водой. Водонасыщенные зоны над ледяными прослойками могут послужить смазкой для лавин из мокрой снежной доски;

л) мокрый новый или старый снег отделен от более плотного подстилающего слоя мокрым грубозернистым снегом, который служит смазкой для лавины;

м) влажные плотные слои снега находятся на грубозернистом рыхлом снеге, по которому могут соскользнуть грунтовые лавины;

н) на поверхность холодного сухого свежевыпавшего снега, который лежит на прочном основании, без перерыва отлагается более теплый плотный снег. Это очень благоприятствует сходу лавин из мягкой снежной доски;

о) мощный слой пушистого нового снега пропитывается с поверхности водой от дождя, что ведет к сходу лавин из мягкой снежной доски (влажной или мокрой). Если новый снег подстилается ледяной коркой, то это усугубляет лавинную опасность;

п) на прочном старом снеге, припорошенном сухой рассыпчатой снежной крупой (служащей слоем «смазки»), отлагается мягкий снег или образуется ветровая снежная доска. Это вызывает сход лавин из мягкой или твердой снежной доски;

р) достаточно мощный слой плотной, тяжелой снежной крупы образует жесткую снежную доску на твердой, гладкой поверхности старого снега, что создает лавинную опасность;

с) обильное выпадение снега, даже совсем мягкого и пушистого, приводит к сходу лавин из мягкой снежной доски. Ледяные корки от дождя при этом опаснее, чем солнечный наст.

Любой прогноз следует по возможности проверять одним из следующих способов:

а) обстрелом лавинноопасных склонов, преследующем также профилактическую цель (в случае если прогноз не подтвердился

и лавина не сошла, обстрел будет способствовать закреплению снега на склонах);

б) взрывными работами или обрушением карнизов (что преследует также профилактические цели);

в) вырезкой монолитов в снежной толще на склоне небольшой протяженности, находящемся в тех же условиях, что и лавиносбор; лавинная опасность существует, если монолит сползает под действием собственного веса (при этом следует строго придерживаться правил безопасности и обеспечить надежную страховку работающим на склоне).

Наиболее простой метод изучения снежной толщи, без которого не должны обходиться даже упрощенные методы прогноза лавин,— это шурфование и зондирование снежного покрова с помощью зондов различных конструкций. По скорости погружения зонда, силе сопротивления снега погружению, звуку, которым сопровождается забивание зонда, мощности снежного покрова и характеру подстилающей поверхности опытный наблюдатель определяет, в устойчивом или неустойчивом состоянии находится снег на склоне, и в соответствии с этим может сделать заключение о близкой лавинной опасности или судить об отсутствии таковой.

Процесс естественной стабилизации снега на склоне после очередного крупного снегопада может затянуться на длительное время, чему, кроме осадков, в известной мере способствуют низкие температуры воздуха. Для сокращения периода лавинной опасности рекомендуются профилактические меры по обрушению снега на лавиноопасных участках (взрывание зарядов взрывчатых веществ или обстрел лавинных очагов). Эти меры одновременно служат для проверки устойчивости снега на склоне и подтверждения лавинной опасности.

Лавинный прогноз составляется в такой последовательности:

а) производится оценка лавинной опасности при снегопаде в период залегания устойчивого снежного покрова начиная с момента накопления достаточного количества снега для покрытия неровностей подстилающей поверхности лавинных очагов;

б) все снегопады в этот период оцениваются на отсутствие или наличие лавинной опасности. Прогноз лавин из свежевыпавшего снега составляется двух видов: «лавиноопасно» и «нелавиноопасно»;

в) прогноз «лавиноопасно» выдается во время снегопада с момента выпадения критических значений осадков (мокрый и сухой снег в различных сочетаниях), если интенсивность осадков при данной температуре воздуха равна или выше критического значения. Метеорологический срок, в который расчетные параметры (интенсивность и температура) превысили критические значения, принимается за начало периода лавинной опасности;

г) прогноз «нелавиноопасно» выдается с начала снегопада до момента накопления критических осадков. При количестве осадков, равном и более критических, прогноз «нелавиноопасно» выдается в случаях, когда интенсивность осадков при данной температуре воздуха оказалась ниже критических значений. С каждым последующим метеорологическим сроком во время снегопада прогноз уточняется;

д) окончание периода опасности схода лавин из свежевывавшего снега определяется в большинстве случаев прекращением снегопада или перерывом более 12 ч (если снегопад возобновится по прошествии 12 ч и более, прогноз составляется заново от момента возобновления снегопада).

По мере накопления фактического материала критические значения лавинообразующих параметров уточняются.

В качестве основного пособия при снеголавинных наблюдениях рекомендуется «Руководство по снеголавинным работам» (временное) издания 1965 г. [147].

Изложенные ниже правила являются возможной основой для разработки методов прогноза лавинной опасности, учитывающих конкретные физико-географические условия. Приводимые критические значения отдельных метеорологических элементов следует рассматривать как примерные, уточняя их по мере накопления фактического материала. Выделение основных лавинообразующих факторов является условным, так как они зависят друг от друга и кроме них, вероятно, действует ряд других факторов, которые еще недостаточно изучены.

Достоверность прогнозов лавинной опасности существенно зависит от правильности прогноза погоды в горах. Следует иметь в виду, что в большинстве случаев можно предсказать лишь большую или меньшую вероятность схода лавин или дать общую оценку лавинной опасности. Могут быть случаи, когда лавины не сходят, хотя вероятность лавинообразования существует.

Заблаговременность прогнозов лавин, основанных на анализе фактической снего-метеорологической обстановки и изменений, происходящих в снежном покрове, невелика и обычно измеряется часами. Это связано с отсутствием количественных методов прогнозов интенсивности осадков, интенсивности и продолжительности оттепели и т. п. Поэтому для увеличения заблаговременности прогнозов лавин необходимо сочетание различных методов прогнозирования как упрощенных (по внешнему виду снежного покрова, с помощью зондирования и изучения стратиграфии снежной толщи, по резкому перелому погоды и синоптическим ситуациям, предшествующим и сопутствующим сходу лавин), так и расчетных (по ходу отдельных метеорологических элементов и изменениям, происходящим в снежном покрове, по комплексу снего-метеорологических условий и т. д.).

1.2.1. Лавины, вызванные снегопадами и метелями

Начало опасности от лавин «прямого действия», связанных с видимым воздействием метеорологических процессов при снегопаде или сразу после него, определяется комплексом следующих лавинообразующих факторов [154].

1. Высота старого снега. Старый снег заполняет все неровности на склоне, тем самым подготавливая гладкую, ровную поверхность, способствующую соскальзыванию лавин. Количество снега, необходимое для этого, зависит от микрорельефа, характера растительности и наличия на склоне различных предметов, таких, как крупные камни, пни и т. д. Таким образом, можно определить, какой должна быть высота (глубина) старого снега, чтобы на данном склоне могли зарождаться лавины.

На гладких травянистых склонах бывает достаточно снега высотой 15 см, чтобы возникла лавинная опасность, тогда как на поверхность с крупными скальными выступами, кустами или пнями должен выпасть слой снега порядка 1,5—2 м. В среднем высота снега колеблется в пределах 0,6—0,8 м. Первые снегопады обычно не сопровождаются лавинообразованием.

Здесь основное правило: чем больше высота старого снега, тем вероятнее сход лавин. Однако бывают исключения, когда в зависимости от свойств снега даже 10—20-сантиметровый слой его таит в себе лавинную опасность. В данном случае не так важно абсолютное значение высоты старого снега, как его высота по отношению к характерной высоте неровностей.

2. Состояние подстилающей поверхности. Оно влияет на прочность закрепления снежного покрова на склоне и на процессы перекристаллизации снега.

Выделяются три типа подстилающей поверхности: каменная, растительный слой и снежная.

Крупноглыбовая каменная поверхность хорошо удерживает снег. Россыпь мелких камней и щебень ослабляют связь снежного покрова со склоном, так как способствуют образованию глубинной изморози. Оттаявшая лёссовая или глинистая поверхность под снегом тоже благоприятствуют срыву лавин.

Растительность оказывает различное действие на устойчивость снега на склонах. Травянистые растения с высокими стеблями увеличивают лавинную опасность, особенно если трава полегает вниз по склону (что происходит вследствие медленного оползания снежного покрова). Очень лавиноопасны склоны, поросшие курильским бамбуком (на Сахалине и Курильских островах); они отличаются пониженным трением и сцеплением снега с подстилающей поверхностью.

Скошенная трава лучше удерживает снег. Общеизвестно снегозадерживающее действие густого леса и частого крупного ку-

старника, но редкий лес или низкорослый кустарник не являются препятствием для схода лавин.

При особо неустойчивом залегании снега в горных лесах (слабосвязный, так называемый дикий снег, или подтаявший разрыхленный «гнилой» снег в дождливую погоду) и лесной подстилке, облегчающей соскальзывание снега, лавины могут быть обрушены или самопроизвольно образуются даже в лесу с нормальной густотой.

Если кустарник на склоне имеет высоту менее высоты снежного покрова, то лавины сходят поверх кустарника.

В литературе указывается на наиболее быстрый рост глыбинной изморози на склонах, покрытых лишайником и стелющимся кустарником (кедровый стланник, рододендрон и др.)¹.

Снежная поверхность чрезвычайно чувствительна к изменениям погоды. По характеру поверхности старого снега можно судить о том, будет ли свежавыпавший снег иметь хорошее сцепление со старым. Гладкая поверхность снежной (ветровой) доски или скользкая ледяная корка чрезвычайно благоприятствуют сходу лавин. Вероятность последнего особенно увеличивается, если такая поверхность припудрена порошковидным снегом толщиной несколько сантиметров. Так же действует и наличие изморози на поверхности снежного покрова. В некоторых случаях новый снег может приобретать прочные связи со старым, даже если поверхность последнего покрыта плотной ледяной коркой; это возможно в тех случаях, когда снегопад происходит при температуре, близкой к нулю, или если температура поверхности снежного покрова относительно высока. Иногда поверхность очень рыхлого старого или нового снега способна обеспечить лишь слабые связи, тогда как уплотненный снег создает более благоприятные возможности для закрепления свежавыпавшего снега.

Под действием ветра поверхность снега на отдельных участках становится шероховатой, изобилующей ветровыми застругами, которые удерживают новый снег и уменьшают возможность лавинообразования. Ноздреватая корка от дождя тоже хорошо удерживает вышележащий снег.

Особенности старого снега определяют то количество свежавыпавшего снега, которое он может выдержать не разрушаясь, и его способность удерживаться на склоне, не вовлекаясь в лавину при скольжении вышележащего слоя. Неустойчивые снежные доски в старом снежном покрове сами по себе могут образовывать лавины, так как свежавыпавший снег создает для них критические условия равновесия, даже если сам лежит устойчиво. Слабые или плохо связанные между собой слои, погребенные ледяные корки или полости в толще старого снега — все это способствует возникновению лавин. Особенно

¹ Наблюдения это не всегда подтверждают. (Прим. ред.)

предрасполагают к лавинообразованию слои и прослойки глубоинной изморози, отличающейся очень слабой, хрупкой структурой и плохо выдерживающей нагрузку от вышележащих слоев. Даже очень тонкий слой старого снега, состоящего преимущественно из глубоинной изморози, может послужить причиной схода лавин после сильного снегопада.

Если слой глубоинной изморози сформировался частично, его прочность возрастает, и только несколько метелей или снегопадов подряд создадут перегрузку и вызовут лавины. При сходе лавины по слою глубоинной изморози последняя обычно оказывается на поверхности оставшегося снега, и иногда из нее образуется прочная ледяная корка, по которой легко соскальзывают новые лавины.

Появление гладкой корки или ледяного слоя у поверхности почвы от дождя или оттепели ранней зимой также часто приводит к возникновению катастрофических лавин. Эта скользкая поверхность обычно очень прочна, обеспечивает хотя и слабое, но достаточное сцепление, чтобы выдержать большую нагрузку, поэтому здесь требуется накопление большого количества снега прежде чем сойдут лавины.

Если после схода лавины на поверхности обнажается или образуется ледяная корка, это служит причиной образования повторных лавин по мере накопления снега; такие лавины могут сходить сразу же после отложения снега или возникать в связи с нарастанием неустойчивости. В конце зимы или ранней весной в результате повышения температуры может создаться лучшее сцепление свежеснегавшего снега с ледяными корками и лавинная опасность со временем уменьшается.

3. Высота свежеснегавшего (свежеотложенного) снега. Один из важнейших факторов образования лавин «прямого действия» — это количество свежеснегавшего снега или отложенного метелями в лавиносборе. Для возникновения лавин не обязательно, чтобы высота свежеснегавшего снега была особенно большой; при соответствующих условиях даже тонкий его слой может вызвать крупные лавины. Но, как правило, большое увеличение высоты снега служит предупреждением о лавинной опасности, и чем обильнее свежеснегавший снег, тем эта опасность больше. Прирост высоты от снегопада 30 см и более приводит к сходу значительных по размеру лавин, прирост менее 30 см обычно не создает серьезной лавинной опасности, за исключением некоторых районов с очень рыхлым (например, Киргизский хребет в Северном Тянь-Шане), сыпучим снегом, где прирост 10—15 см является критическим. Даже это количество снега при наличии метелевого переноса вызывает локальную лавинную опасность от снежных досок на подветренных склонах.

В Швейцарских Альпах выпадение 30—50 см снега создает лавинную опасность для туристов, 40—70 см — опасность для

путей сообщения и коммуникаций, 70—120 см — угрозу для населенных пунктов, а при 110 см и более возникает катастрофическая ситуация.

Высота свежавыпавшего снега должна учитываться в сочетании с изменениями температуры воздуха. Так, известны случаи, когда при температуре воздуха ниже -10°C и высоте нового снега 30 см в условиях Западного Тянь-Шаня лавины не образуются.

В условиях Кабардино-Балкарии (северные склоны системы Большого Кавказа) при повышении температуры воздуха до 0°C и выпадении слоя нового снега 10 см и выше начинается сход лавин. В этом районе отложение снега 12—15 см и более при северо-западном ветре со скоростью 8—15 м/с вызывает лавинообразование на второй-третий день после снегопада.

4. Вид свежавыпавшего снега. От формы снежных кристаллов при снегопаде в значительной мере зависит тип лавин, которые могут возникнуть, и самая возможность их возникновения. Так, например, мучнистый снег (крупа), имеющий плотность, наибольшую для свежавыпавшего сухого снега, и предрасположенность к слеживанию, служит причиной возникновения лавин из снежных досок. Свежавыпавший снег, который полностью состоит из ледяных игл или мелких, покрытых инеем и замерзшими капельками воды (обзерненных) кристаллов простой формы, также дает сход лавин из плотных снежных досок. Степень обзернения снежинок влияет на первоначальную устойчивость свежавыпавшего снега: необзерненные кристаллы образуют неустойчивый слой, который вскоре осыпается, обзернение их увеличивает устойчивость слоя, но это позволяет ему достигнуть опасной мощности, что создает большую лавинную опасность. Пушистый войлокообразный снег, состоящий преимущественно из звездочек и дендритов (веточек), обычно не образует снежные доски, если только не подвергается интенсивному метелевому переносу, хотя иногда, если кристаллы покрыты инеем или обзернены, из него может возникнуть мягкая снежная доска. Если снежные кристаллы в виде звездочек и веточек выпадают в морозную безветренную погоду, то при обильном снегопаде создаются условия, благоприятные для схода лавин из рыхлого снега. Сложная форма и большая удельная поверхность благоприятствуют переплетению и сминанию лучей снежинок, но они термодинамически неустойчивы. Такой первоначально устойчивый снег вскоре лишается структурных связей вследствие перекристаллизации с испарением и разрушением лучей снежинок и образует «ручейковые» лавины.

Серия небольших снегопадов, особенно при низкой температуре, создает менее устойчивый снежный покров со сложным наслоением, чем малое количество обильных снегопадов. В этом случае нередко имеют место слабые связи между слоями и малая механическая прочность снега, если он не подвергся

переотложению ветром. Очень глубокий сухой рыхлый порошок-видный снег обычно приобретает большую механическую прочность, после того как осядет и будет перекрыт при последующих снегопадах (если сразу же не сойдут лавины).

5. Плотность свежевыпавшего снега. Существует определенная связь лавинообразования со значительным отклонением плотности снега от нормальной, поэтому необходимо измерять плотность неосевшего (не успевшего уплотниться) свежевыпавшего снега. Плотность должна измеряться в поверхностном слое немедленно после его образования (см. стр. 38), пока еще не сказалось оседание снега, особенно при относительно теплой погоде. Что считать нормальной плотностью — должно устанавливаться наблюдениями; средняя плотность свежевыпавшего снега (по многолетним наблюдениям) обычно колеблется в пределах $0,06—0,08$ г/см³ или выше (около $0,1—0,2$ г/см³) в зависимости от климатических условий. Иногда наблюдается значительное отклонение от этих значений, и чем оно больше, тем вероятнее сход лавин. Наибольшие плотности ($0,25—0,35$ г/см³ и выше) приводят к возникновению лавин из снежных досок; необычно малая плотность (порядка $0,01$ г/см³), когда снег выпадает при очень холодной и безветренной погоде, обычно ведет к образованию лавин из рыхлого (дикого) снега. Понижение плотности снега во время снегопада при положительной температуре воздуха в течение суток, по наблюдениям в Приэльбрусье, ведет к массовому лавинообразованию.

6. Интенсивность снегопада (скорость отложения снега, выраженная в сантиметрах в час). Если снег накапливается очень быстро, то возрастающее напряжение сдвига в нем не успевает компенсироваться увеличением его прочности; и наоборот, при медленном отложении снега возрастание прочности от вязкого уплотнения и слипания снежинок увеличивает его устойчивость. Снег высотой около $0,5$ м, отложившийся за $2—3$ дня, может не вызывать особых опасений, но если то же его количество выпадает за $10—12$ ч — возможен повсеместный сход лавин. В большинстве случаев интенсивность снегопада $2,5$ см/ч близка к критической, выше которой часты случаи схода больших лавин, особенно если снегопад не ослабевает в течение нескольких часов. В некоторых районах интенсивность снегопада $1,0—1,5$ см/ч и даже менее уже благоприятствует лавинообразованию.

Например, в Северном и Внутреннем Тянь-Шане при интенсивности снегопада до $0,15$ см/ч лавины не наблюдаются, но с возрастанием интенсивности до $0,8$ см/ч лавины наблюдаются в $45—75$ % случаев. Для интервала $0,65—0,95$ см/ч отмечено лавинообразование в $65—75$ % числа случаев.

7. Количество и интенсивность выпадения осадков (скорость, с которой слой воды в виде снега отлагается при снегопаде или метели) — это мера приращения массы снега на единицу площади

горизонтальной проекции склона, связанная с лавинообразованием более тесно по сравнению с интенсивностью снегопада.

Так как осадкомеры в горах дают ненадежные показания и неудобны для пользования во время снегопадов и особенно метелей, интенсивность выпадения осадков обычно подсчитывается как произведение интенсивности снегопада на плотность свежевыпавшего снега. Так, упомянутой выше критической интенсивности снегопада $2,5 \text{ см/ч}$ при плотности свежевыпавшего снега $0,06 \text{ г/см}^3$ соответствует интенсивность выпадения осадков $0,15 \text{ мм/ч}$ слоя воды. Опыт лавинных прогнозов в США показал, что интенсивность выпадения осадков $2,5 \text{ мм/ч}$ или более сама по себе указывает на большую вероятность лавинообразования, быстрое же отложение 25 мм слоя воды характеризует возможный сход лавин. В горах Колорадо для слабых снегопадов критическим является выпадение 25 мм слоя воды за 40 ч , а для сильных — 23 мм за 15 ч . Во Французских Альпах критическое накопление осадков составляет слой воды 100 мм за 3 суток (длительное выпадение осадков со средней интенсивностью $1,4 \text{ мм/ч}$).

Лавинная опасность от снегопада усугубляется наличием ветра. Имеется тесная связь между выпадением осадков в течение некоторого времени с интенсивностью более $2,5 \text{ мм/ч}$ при ветре со скоростью выше некоторой критической (более $6\text{--}7 \text{ м/с}$ по американским данным) и сходом лавин. Так, возникновение больших лавин из снежных досок при снегопаде (или сразу после него) почти всегда связано с высокой интенсивностью выпадения осадков в сочетании с сильным ветром.

Прирост массы снега на склоне может быть выражен через критическую сумму осадков (так называемый коэффициент интенсивности выпадения осадков), равную слою воды, длительно отлагающейся с интенсивностью $2,5 \text{ мм/ч}$ и более, при ветре, скорость которого превышает критическую. Так, если в течение 10 ч при неослабевающем ветре выпадают осадки в виде снега с интенсивностью 3 мм/ч , критическая сумма осадков равна 30 мм . Она выражает совместное влияние ветра и снегопада. Если интенсивность осадков менее $2,5 \text{ мм/ч}$ или они выпадают при слабом ветре, критическая сумма не вычисляется. Значения критической суммы $10\text{--}25 \text{ мм}$ могут быть приняты в качестве признака возможности лавинообразования. Сход разрушительных лавин часто наблюдается при критической сумме осадков $75\text{--}100 \text{ мм}$ и выше. Так, например, катастрофические лавины в Швейцарии в 1951 г. совпали с увеличением указанной суммы до 120 мм и более.

Осадки с высокой интенсивностью в течение короткого периода не обязательно приводят к сходу лавин, но отложение слоя воды (в виде снега) более 25 мм при достаточно большой интенсивности этого процесса благоприятствует лавинообразованию (в Скалистых горах США). В районе перевала Тюя-Ашу

(Северный Тянь-Шань) не обнаруживается отчетливой связи между интенсивностью выпадения осадков и количеством снегопадов, приведших к лавинообразованию. Это может быть следствием того, что здесь интенсивные снегопады происходят в более мягких температурных условиях, когда свежавыпавший снег быстро оседает и упрочняется. С другой стороны, теоретическая оценка влияния интенсивности и длительности снегопада на степень лавинной опасности показывает, что с продолжением снегопада лавинная опасность не обязательно возрастает [216].

8. Оседание снега (вязкое уплотнение вследствие ползучести) ведет к упрочнению снежного покрова со скоростью, более или менее пропорциональной температуре и начальной плотности. Снег малой плотности имеет малую начальную прочность, но оседает быстро; плотный снег при большой начальной прочности оседает медленно и упрочняется более за счет «спекания» (отверждения со временем), чем за счет уплотнения. Сильно осевший снег меньше стремится соскользнуть со склона, чем неосевший. Особенно важное значение имеет оседание свежавыпавшего снега во время снегопада или метели и сразу после их окончания. Даже сильный снегопад не может создать большой лавинной опасности, если снег оседает очень быстро, сразу же после выпадения. Оседание старого снега во время снегопадов и метелей показывает степень его уплотнения и упрочнения от веса свежавыпавшего снега; это также важно при прогнозировании лавинной опасности. Оседание, существенное для лавинообразования, колеблется в очень широких пределах и должно уточняться по результатам наблюдений для каждого конкретного района. Обычно оседание свежавыпавшего снега на 15—20 % и более свидетельствует об увеличении его устойчивости на склоне.

В процессе самого оседания какое-то время существует лавинная опасность, связанная, по-видимому, с противоположными тенденциями снега к уплотнению и упрочнению вследствие оседания и к потере структурных связей и ослаблению вследствие перекристаллизации. При этом надо также иметь в виду то, что, как и многие другие материалы и вещества, снег, выдерживающий определенную нагрузку в течение короткого времени, может быть разрушен этой и даже меньшей нагрузкой по истечении достаточно длительного времени.

В определенных условиях оседание старого снега может создавать лавинную опасность, если слой снега осядет под снежной доской, достаточно прочной, чтобы не разрушиться, и если под ней образуются полости, уменьшающие устойчивость снежной доски, находящейся в напряженном состоянии и являющейся источником лавинной опасности. Внутренние напряжения в слое снега возникают, помимо действия силы тяжести, еще и вследствие уменьшения объема снега при его перекристаллизации. Все это способствует возникновению лавин.

9. Ветер. Лавиноопасные периоды часто сопровождаются сильным ветром, но роль его в разных случаях неодинакова. Ветер бывает иногда сопутствующим фактором, но во многих районах создает или увеличивает локальную лавинную опасность. Ветровой перенос, измельчение и переотложение снежинок приводят к образованию твердых корок и снежной доски на поверхности снежного покрова. Метелевый снег отлагается в определенных местах, обычно на подветренной стороне гребней в понижениях рельефа и позади препятствий, образуя сугробы. Лавиносорбы таким образом очень быстро «заряжаются». Метелевый снег обычно состоит из тонких частиц (в среднем около 0,1 мм в поперечнике), достигает высокой плотности и обладает относительно высокой начальной прочностью, которая быстро увеличивается вследствие спекания. Это почти наверняка приводит к формированию опасной снежной доски, хрупкой, подобно керамике, и потому легко растрескивающейся при разрушении ее в какой-то точке.

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 и скопления ниже их рыхлого снега (снежные мешки). Карнизы, обрушиваясь, увлекают за собой неустойчивый снежный покров на нижележащем склоне.

Ветер, имеющий силу, достаточную для переноса снега во время снегопада или в его отсутствие, служит предупреждением о лавинной опасности. Многочисленные наблюдения показывают, что средняя критическая, способствующая лавинообразованию скорость ветра колеблется около 7 м/с, хотя она и может изменяться в довольно широких пределах. Когда в течение некоторого времени средняя скорость ветра достигает 12—15 м/с или превышает это значение, обязательно образуются различные типы снежных ветровых досок. Однако размеры и места образования этих последних очень изменчивы, и некоторые факторы, влияющие на их формирование, еще недостаточно изучены. В одних случаях от действия ветра сходят лавины из снежных досок на ограниченных участках подветренных склонов; в других же случаях, особенно при обильных снегопадах, снежные доски могут появиться повсеместно независимо от направления ветра. Единственно надежное правило в данном случае — это остерегаться лавинной опасности всегда, когда дует сильный ветер. Но есть указания и на верхний предел скорости (по отрывочным данным, выше 30—35 м/с), когда ветер вызывает образование не снежной доски, а лишь ветрового наста или же попросту сдувает снег со склонов.

10. Температура. Влияние температуры сложно и многосторонне: при оценке лавинной опасности следует учитывать как температуру воздуха, так и температуру внутри снежного

покрова и на его поверхности, которые связаны с температурой воздуха неоднозначно.

Прямой связи схода лавин с температурой воздуха не обнаруживается. Повышение температуры в лавиноопасные периоды является сопутствующим явлением при сильных снегопадах.

Роль температуры проявляется главным образом во влиянии на структуру и прочность снега. С температурой воздуха связан тип выпадающих снежных кристаллов: крупные сложные кристаллы наиболее обычны при повышенной температуре, маленькие простые кристаллы — при низких температурах. Таким образом, с температурой воздуха связаны тип и плотность свежевыпавшего снега, а отсюда и его начальная механическая прочность.

Существует также связь между температурой и скоростью упрочнения снега: при понижении температуры уменьшаются скорости как вязкого уплотнения (оседания), так и возникновения новых структурных связей («спекания»). Кроме того, прочность данного типа снега в данный момент находится в обратной зависимости от температуры: при понижении ее прочность снега возрастает. Однако замечено, что в большинстве случаев вероятность лавинообразования имеет тенденцию к возрастанию при понижении температуры за пределы обычных отрицательных значений. Около 0°C свежевыпавший снег хорошо сцепляется со старым, очень быстро упрочняется вследствие оседания и уплотнения с образованием новых связей между зернами, так что возможная его неустойчивость длится недолго. Если снег отлагается при низкой температуре, то, хотя он может представлять и меньшую угрозу немедленного обрушения, его прочность нарастает медленно и он создает длительную лавинную опасность. Что касается изменений температуры во время снегопадов, то прогрессирующее ее понижение часто увеличивает устойчивость снежного покрова, тогда как повышение дает обратный эффект. Однако отмечались и обратные тенденции, поэтому некритическое использование эмпирических связей может ввести прогнозиста в заблуждение.

Изменения температуры во время снегопадов и метелей также влияют на возникновение лавин. Если вначале отлагается влажный и липкий снег почти при 0°C , а через некоторое время температура постепенно понижается и выпадающий снег становится легким и пушистым, слой свежевыпавшего снега имеет достаточную устойчивость, так как относительно теплый, влажный снег в его основании часто образует прочные связи с подстилающей поверхностью и хорошо выдерживает более легкий сухой снег, выпавший после. И наоборот, при повышении температуры к концу снегопада или метели создается обстановка, более благоприятная для лавинообразования, так как сухой снег не обеспечивает нужного сцепления с подстилающей поверхно-

стью старого снега и не обладает достаточной прочностью, чтобы выдержать более влажный и плотный снег.

Изменения температуры оказывают большое влияние на состояние старого снега, являющегося основанием для вновь отлагающихся слоев. Например, если в течение нескольких последовательных дней наблюдается значительная суточная амплитуда температуры с переходом через 0°C , то поверхностные слои снежного покрова упрочняются вследствие попеременного таяния и замерзания. Это способствует его закреплению на склонах. Как правило, продолжительность периодов лавинной опасности находится в обратной зависимости от температуры в течение зимы. При относительно теплой погоде, когда температура близка к нулю, неустойчивость снежного покрова сильно увеличивается, но быстро проходит: либо лавины сходят сразу же при снегопадах или метелях, либо снег быстро оседает и в дальнейшем не представляет почти никакой опасности, т. е. в этих условиях лавинная опасность может быть большой, но непродолжительной. По мере понижения температуры периоды лавинной опасности становятся более длительными, и при низких температурах (ниже -18°C) они могут длиться до нескольких дней или даже недель. Низкие температуры в сочетании с сильным ветром особенно благоприятны для образования ветровых снежных досок, обрушение которых трудно предвидеть. Если температура не повышается, такие доски могут долго оставаться в неустойчивом состоянии. Очень холодная погода может также замедлить процесс образования снежной доски, и в течение нескольких дней или недель после отложения снежный пласт будет безопасным. В дополнение к этому низкая температура воздуха способствует возникновению больших температурных градиентов и появлению глубинной изморози, что создает условия неустойчивости снежного покрова (но процесс перекристаллизации при очень низких температурах сильно замедляется и практически останавливается во время морозов ниже -40°C).

С температурой связаны вязкость и хрупкость снега, а также возникновение в плотной снежной доске внутренних напряжений. При повышенной температуре снег вязок. При низких температурах он приобретает хрупкость и в нем появляются внутренние напряжения. При этом снежная доска легко растрескивается при нарушении ее сплошности в какой-либо точке, а ее обломки образуют лавину, если силы трения недостаточны для удержания обломков на склоне.

Между температурой воздуха и температурой поверхности снежного покрова, на которую отлагается свежавыпавший снег, существует различие в пределах нескольких градусов. По данным исследований, проведенных в Киргизии, температура поверхности снега в среднем примерно на 2°C теплее, чем температура воздуха, хотя в отдельных случаях она бывает холоднее на $6-7^{\circ}\text{C}$.

Изменения температуры поверхности снега показывают более тесную связь с лавинами «прямого действия», чем изменения температуры внутри снежного покрова (которые тем не менее являются очень важным фактором в формировании перекристаллизационных лавин «замедленного действия»).

Лавинообразование зависит, кроме перечисленных выше, и от других факторов, как, например: от солнечной радиации, числа или коэффициента устойчивости (стр. 64—76) снежного покрова, ползучести, релаксации напряжений, снижения длительной прочности («расслабление»), влияния дефектов структуры (микротрещины и т. п.) и возможно температурного сокращения снега.

Лавины возникают не сразу после изменения погоды, а спустя некоторый промежуток времени, необходимый для нарушения устойчивости снежной толщи. Но для лавин, непосредственно связанных с изменениями метеорологических факторов, этот промежуток времени обычно невелик, поэтому важно предвидеть изменения погоды. Анализ синоптических ситуаций, предшествующих и сопутствующих образованию лавин, позволяет давать прогноз лавинной опасности для горного хребта и отдельных крупных его участков с большей заблаговременностью, чем прогноз по началу того или иного явления (например, по началу снегопада или метели).

Анализ материалов наблюдений за лавинами в конкретном горном районе позволяет выявить основные метеорологические условия, вызывающие лавинообразование. Вывод о большей или меньшей вероятности схода лавин в первом приближении может быть сделан чисто качественно на основе рассмотрения факторов, перечисленных выше: чем большее число их способствует лавинообразованию, тем вероятнее сход лавин. При этом необходимо иметь в виду возможность наличия в снежном покрове опасного горизонта разрыхления. Наличие глубинной изморози следует всегда расценивать как признак вероятного лавинообразования независимо от условий погоды. Для уточнения лавинного прогноза следует рассмотреть совместное влияние на вероятность схода лавин (в конкретных снего-метеорологических условиях) десяти основных лавинообразующих факторов: 1) высоты старого снега, 2) состояния подстилающей поверхности, 3) высоты свежеснежного покрова, 4) вида выпавшего снега, 5) его плотности, 6) интенсивности снегопада, 7) интенсивности выпадения осадков и слоя воды, 8) оседания снега, 9) ветра и 10) температуры. Этот анализ выполняют одним из следующих способов в зависимости от накопленного опыта.

А. Каждому фактору приписывается знак плюс или минус, смотря по тому, способствует он или нет сходу лавин, и нуль, если он не влияет на лавинообразование в данное время. Избыток отрицательных знаков позволяет предположить отсутствие или малую степень лавинной опасности, избыток положительных

знаков — наличие опасности и тем большей, чем больше этот избыток. Этот прием оценки вероятности лавинообразования наименее точен, так как не учитывает удельный вес (значимость) каждого фактора в образовании лавин, и им можно пользоваться только первое время, пока нет достаточного ряда наблюдений.

Б. Каждому фактору приписывают от 0 до 10 баллов в зависимости от предрасположения к лавинообразованию, и эти баллы суммируют; чем больше сумма баллов, тем вероятнее сход лавин. Возможные пределы суммы — 0 и 100, причем 0 означает наименьшую и 100 — наибольшую вероятность схода лавин.

Сумма баллов от 40 до 60 является указанием на условия, граничащие с опасными, когда могут возникнуть незначительные снежные обвалы; если же сумма равна или более 75, следует немедленно предупредить о надвигающейся угрозе схода лавин.

Вес каждого фактора зависит как от его численного значения или качественной характеристики, так и от значимости в лавинообразовании. Оценка значимости (информативности) снего-метеорологических факторов должна определяться из наблюдений за условиями лавинообразования в течение достаточно длинного ряда лет. Примеры такой ориентировочной оценки приведены на стр. 114—122, а также в работе [261] для двух лавиноопасных районов США. Были проанализированы почти 20-летние данные о следующих лавинообразующих факторах: 1) сумма осадков за снегопад, 2) средняя интенсивность осадков, 3) максимальная интенсивность осадков, 4) общее количество нового снега, 5) оседание нового снега, 6) скорость ветра, 7) направление ветра, 8) максимальное изменение температуры в течение снегопада, 9) число Атуотера — интенсивность выпадения осадков, превышающая 2,5 мм/ч при скорости ветра больше 20 км/ч (5,5 м/с), 10) отношение снеговой нагрузки к сопротивлению пенетрации по данным зондирования снежной толщи. Прежде всего были построены вариационные диаграммы численных значений этих факторов при сходе лавин, разбитых на две градации по магнитуде (условной характеристике размеров и энергии лавины). По этим данным построены диаграммы вероятности лавинообразования, которые показали следующее:

1) для всех лавин, за исключением небольших (с магнитудой 1 и 2), факторы 1—4, 7 и 9-й показывают общую тенденцию к возрастанию лавинной опасности с увеличением их численных значений, а факторы 5, 6, 8 и 10-й — колебание вероятности лавинообразования около 0,5;

2) для наиболее крупных лавин (с магнитудой 10 и более) все факторы, за исключением 5 и 6-го, показывают общую тенденцию к возрастанию лавинной опасности с увеличением их численных значений, тогда как факторы 5 и 6-й — колебание вероятности лавинообразования около 0,2;

3) на вероятности лавинообразования более влияет максимальная интенсивность осадков, чем средняя;

4) направление ветра является более значимым фактором, чем его скорость;

5) повышение температуры в течение снегопада указывает на возрастание опасности от наиболее крупных лавин.

При малом числе известных случаев схода лавин (что всегда имеет место в первые годы наблюдений

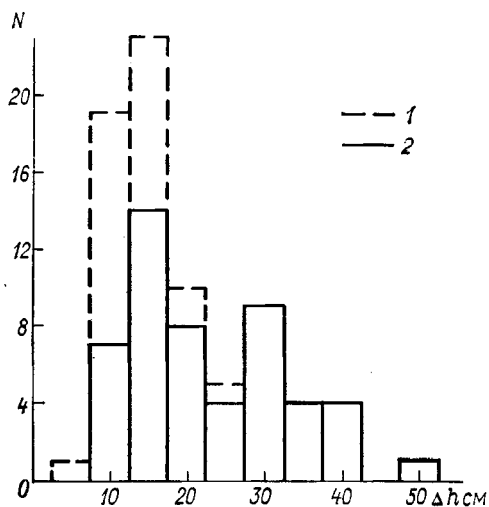


Рис. 1. Гистограмма числа случаев N снегопадов с различной высотой Δh свежевыпавшего снега в районе СЛС Тюя-Ашу Южная.

1 — все снегопады, 2 — снегопады с лавинами.

систематизации данных о снего-метеорологических факторах при сходах лавин, который в принципе сводится к следующему.

Принимаются десять (или иное число) наблюдаемых снего-метеорологических факторов, которые предполагаются лавинообразующими. Численные значения или качественные характеристики этих факторов «квантуются»: численные значения разбиваются на интервалы (как это обычно делается в статистике), а качественные характеристики упорядочиваются в ряд по предполагаемой степени влияния на лавинообразование. Каждому интервалу и ступени ряда приписывается тот или иной балл; для компактности записей, о которых речь пойдет ниже, наиболее удобно принять шкалу до 10 баллов, используя цифры от 0 до 9 (при этом 0 может означать отсутствие сведений; в другом варианте отсутствие сведений можно обозначать прочерком—черточкой).

Например, можно использовать такую шкалу.

в районах с умеренной лавинной активностью) для определения удельных весов лавинообразующих факторов целесообразнее всего применять простые приемы статистической обработки материалов: построение вариационных рядов, гистограмм (рис. 1) и т. д. для каждого из наблюдаемых снего-метеорологических факторов. Особенностью подобной интерпретации фактического материала является то, что он постоянно пополняется, а это требует многократной перестройки графиков и пополнения таблиц.

Достаточно удобен для этой цели способ систематизации данных о снего-метеорологических факторах при сходах лавин, который в принципе сводится к следующему.

Принимаются десять (или иное число) наблюдаемых снего-метеорологических факторов, которые предполагаются лавинообразующими. Численные значения или качественные характеристики этих факторов «квантуются»: численные значения разбиваются на интервалы (как это обычно делается в статистике), а качественные характеристики упорядочиваются в ряд по предполагаемой степени влияния на лавинообразование. Каждому интервалу и ступени ряда приписывается тот или иной балл; для компактности записей, о которых речь пойдет ниже, наиболее удобно принять шкалу до 10 баллов, используя цифры от 0 до 9 (при этом 0 может означать отсутствие сведений; в другом варианте отсутствие сведений можно обозначать прочерком—черточкой).

Например, можно использовать такую шкалу.

I. Высота старого снега: 0 — нет данных; 1 — нет снега; 2 — снег глубиной до 10 см; 3 — 10—30 см; 4 — 30—50 см; 5 — 50—100 см; 6 — 1,0—1,5 м; 7 — 1,5—2,0 м; 8 — 2—3 м; 9 — свыше 3 м.

II. Характер подстилающей поверхности: 0 — нет данных; 1 — бесснежная, неровная, изрытая, каменистая, заросшая и т. п. поверхность; 2 — бесснежная, грубошероховатая поверхность; 3 — бесснежная, шероховатая поверхность; 4 — бесснежная, гладкая поверхность; 5 — снежная, очень неровная прочная поверхность (заструги, следы ветровой коррозии, ноздреватая поверхность после глубоких оттепелей); 6 — снежная, шероховатая, прочная поверхность; 7 — снежная, ровная, прочная поверхность (настовая корка, метелевый снег); 8 — снежная, рыхлая поверхность (пушистый снег), поверхностная изморозь; 9 — ледяная гладкая корка.

III. Толщина нового снега: 0 — нет данных; 1 — нет нового снега; 2 — новый снег до 10 см; 3 — то же 10—30 см; 4 — то же 30—50 см; 5 — то же 50—100 см; 6 — то же 1,0—1,5 м; 7 — то же 1,5—2,0 м; 8 — то же 2—3 м; 9 — то же свыше 3 м.

IV. Тип ледяных кристаллов: 0 — нет данных (и т. д. для всех факторов, принимаемых во внимание).

Условия схода лавин представляются многомерным вектором, проекции конца которого попадают в те или иные интервалы и ступени шкал (осей) для наблюдаемых факторов. При отсутствии (пропуске) наблюдения возникает неопределенность в положении точки проекции конца вектора на данной оси; это соответствует тому, что конец вектора находится не в определенной точке, а в какой-то плоскости; при большем числе отсутствующих данных это будет уже не плоскость, а тело с тремя и более измерениями. В таких случаях наблюдения обесцениваются, но при их скудности могут быть еще использованы, хотя и с меньшим весом (ценой). Каждый случай схода лавины записывается 10-значным псевдочислом (в случае 10 снего-метеорологических факторов), например: 0632795361. Эти псевдоцифры (кодовые группы) вписываются в журнал, имеющий отдельную графу (при вертикальном построении таблицы) или строку (при горизонтальном построении таблицы) для каждого интервала (ступени) снего-метеорологического фактора. По заполнении страницы (в пределах графы или строки) запись для данного интервала значений фактора переходит на следующую страницу. Относительные размеры граф (или строк) для разных интервалов (ступеней) дают представление о характере распределения значений (характеристик) данного лавинообразующего фактора, т. е. таблица является одновременно и гистограммой, где число случаев в данном интервале равно числу записей псевдоцифры для наблюдаемых лавин.

Чтобы в дальнейшем можно было вычислить частоту случаев или вероятностей лавинообразования, в указанных таблицах

следует записывать снего-метеорологические условия при всех снегопадах и метелях, выделяя цветом записи или иным способом те из них, которые сопровождались лавинами.

Для каждого снего-метеорологического фактора отводится отдельный журнал или серия страниц в общем журнале. После очередного наблюдения лавины или группы лавин записи немедленно пополняются. Так как значение (вес) единичного слу-

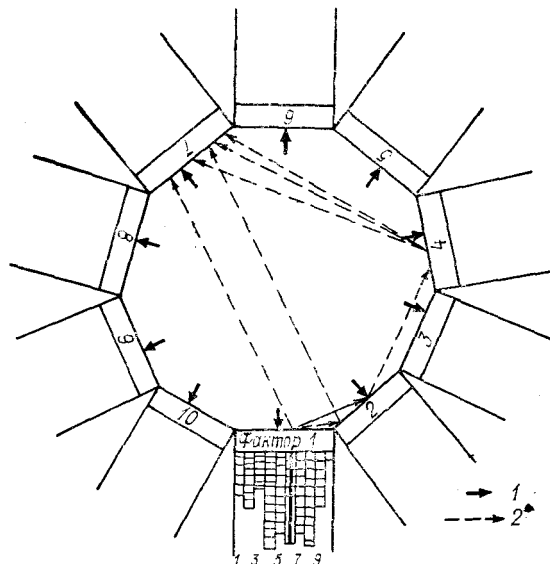


Рис. 2. Примерная схема сравнения текущей снего-метеорологической ситуации с бывшими лавинными ситуациями (по факторам 1, 2, 4 и 7).

1 — квантованные значения составляющих для текущей обстановки; 2 — значения факторов 2, 4 и 7, которые сочетались с текущими значениями фактора 1, затем значения факторов, которые сочетались с этими выбранными из таблиц значениями и т. д. (для упрощения схемы показаны только отдельные линии и приблизительный вид таблицы для фактора 1).

чая или массового единовременного лавинообразования (с точностью до промежутка между сроками наблюдений) различны, то можно отразить это различие в весе, например, подчеркиванием псевдоцифр для нескольких лавин (одна черта) или массового их схода (две черты). Аналогично может быть отражен относительный объем лавин (даже единичную крупную лавину следует по меньшей мере приравнять массовому сходу мелких осовов).

Для текущей оценки и прогноза лавинной опасности в конкретной снего-метеорологической ситуации текущие значения и характеристики лавинообразующих факторов записываются в виде псевдоцифры (серии квантованных чисел проекций конца вектора, характеризующего текущую или прогнозируемую обста-

новку), затем составляющие этого псевдочисла сопоставляются с табличными записями последовательно, фактор за фактором. Если в таблицах нашлось псевдочисло с теми же составляющими (с точностью до шага квантования), что наблюдаются или ожидаются, то можно считать, что в аналогичной обстановке был лавинный прецедент; тогда объявляется лавинная опасность (немедленно или заблаговременно).

Например, текущая ситуация оценивается псевдочислом 0632795361, для которого нашелся лавинный прецедент с тем же числом, почему и объявлена лавинная опасность.

Если, напротив, все компоненты псевдочисла приходится на интервалы, где нет лавинных прецедентов, то это может означать либо отсутствие лавинной опасности, либо очень редкую снего-метеорологическую обстановку, которая ранее не отмечалась. Тогда на помощь приходит информация о состояниях снежного покрова и погоды, которые наблюдались, но не сопровождалась лавинообразованием (псевдочисла для случаев без лавин): если подобные ситуации отмечались ранее, то с большой вероятностью можно заключить, что данная обстановка не лавиноопасна; если же таких ситуаций не было, но лавинообразующие факторы по своим величинам или характеру способствуют лавинообразованию, то следует объявить лавинную опасность.

Но эти два крайних простых случая имеют место лишь тогда, когда снего-метеорологическая обстановка повторилась с тем же или близким сочетанием значений лавинообразующих факторов; чаще всего лавинная опасность возникает при их различных сочетаниях.¹ В этом наиболее общем случае поиск лавинного прецедента значительно усложняется и производится путем выбора из таблиц всех сочетаний баллов лавинообразующих факторов, которые частично совпадают с баллами в псевдочисле (кодовой группе) оцениваемой ситуации.

Нередко только часть признаков указывает на лавинный прецедент, по другим же признакам лавинных прецедентов не обнаруживается. Если это не связано просто с редким, не наблюдавшимся ранее, но лавиноопасным значением данного фактора, то свидетельствует об отсутствии лавинной опасности в данный момент.

Так как значения и качественные характеристики лавинообразующих факторов и здесь дают самые разнообразные сочетания, то поиск аналогичных ситуаций также усложняется и ведется следующим образом (рис. 2).

Берут первую цифру псевдочисла, характеризующего оцениваемую снего-метеорологическую обстановку. Допустим, высота старого снега характеризуется шестью баллами. В таблице для

¹ Если точки, отвечающие лавинным ситуациям, образуют многомерное «облако», то критерием лавиноопасности оцениваемой обстановки является попадание проекций соответствующей точки в интервалы, образуемые проекциями этого облака по оси координат.

высоты старого снега находим графу для шести баллов. В этой графе все псевдочисла для случаев с лавинами будут начинаться с цифры 6; среди них отыскиваем все псевдочисла, где одна цифра или более совпадает с цифрами псевдочисла оцениваемой обстановки (если нашлось псевдочисло, где совпали все цифры, то имеем дело с первым случаем, рассмотренным выше, т. е. с лавинной опасностью). Лучше всего такое сличение цифр производить по порядку: сначала для второго фактора, затем для третьего и т. д. Допустим, для второго фактора, характеризующего семью баллами, не нашлось прецедента с лавинами; тогда следует проверить и состояние без лавин, чтобы определить, является ли текущая (оцениваемая) обстановка нелавиноопасной или же редкой (и поэтому сомнительной с точки зрения безопасности). Далее повторяют процедуру сравнения по третьему фактору, обратившись к соответствующим таблице и графе, где в третьей позиции цифры совпадают. Пусть в этой графе нашлось число, где в четвертой позиции (для четвертого фактора) балл совпал с соответствующим баллом оцениваемой обстановки. Тогда следует обратиться к таблице для четвертого фактора и выполнить поиск совпадений баллов по другим факторам. Таким образом перебираются все цепочки совпадений; если при этом найдутся прецеденты по всем факторам (позициям), обстановку следует считать лавиноопасной, хотя и не идентичной текущей оцениваемой обстановке.¹

Эта трудоемкая процедура сравнения многофакторных (многомерных) наблюдений и поиска прецедентов облегчается применением перфокарт. При больших массивах снеголавинной информации ее целесообразно вводить в современные информационные системы с автоматизированным поиском и использовать какой-либо из существующих алгоритмов классификации многомерных наблюдений, т. е. задача диагноза и прогноза лавинной опасности тогда сводится к машинному опознаванию образов и дискриминантному анализу (см., например, стр. 85—90, 100—105, 168—172).

Снего-метеорологические факторы или их сочетания образуют так называемое факторное или фазовое многомерное пространство, в котором случаи наблюдений изображаются точками двух видов — с лавинами и без лавин (точки «с лавинами» в свою очередь могут быть подразделены соответственно типам лавин). Эти сведения накапливаются в памяти электронно-вычислительной машины (ЭВМ) и служат для определения лавинной опасности путем отнесения точки, изображающей снего-метеорологическую обстановку в данный момент, к тому или другому виду точек. Для этого существует ряд методов, для которых созданы программы, проходящие в настоящее время проверку на факти-

¹ При этом, впрочем, остается некоторая вероятность того, что оцениваемая обстановка все же не относится к лавиноопасным.

ческом материале для ряда лавиноопасных районов СССР. При сравнительно малом объеме вычислений они могут производиться с помощью более простых вычислительных средств.

Чтобы от диагноза перейти к прогнозу лавинной опасности, следует ввести в рассмотрение не текущие, а ожидаемые значения и характеристики лавинообразующих факторов. Для этого последние экстраполируются по тенденции или по инерции (для мало изменяющихся факторов) на какое-то время вперед в зависимости от заблаговременности прогноза, после чего выполняется описанная выше процедура. Так как снего-метеорологическая обстановка непрерывно меняется и зачастую непредвиденным образом, в прогноз лавинной опасности своевременно вводятся поправки и уточнения. Конец лавинной опасности определяется по изменению обстановки, обеспечивающей устойчивость снежного покрова, или по прекращению схода лавин.

Помимо комплексного метода прогноза лавинной опасности, используется ряд более простых методов прогноза лавин при метелях и снегопадах.

Если какой-либо из лавинообразующих факторов в данной местности является решающим (для определенного типа лавин), могут быть применены эмпирические и полуэмпирические методы прогноза, основанные на связи схода лавин со снего-метеорологическими элементами, за которые могут быть приняты: интенсивность метелевого переноса (для лавин метелевого снега) или количество выпавшего снега (для лавин свежевыпавшего снега), скорость ветра, сумма значений температуры воздуха и т. д. Прогностические связи устанавливаются на основе анализа наблюдений за сходом лавин, снежным покровом и погодой за ряд лет. Такие связи, естественно, имеют локальное значение и не могут быть использованы в других физико-географических районах без предварительной проверки.

Одновременный количественный учет более чем двух-трех лавинообразующих факторов затруднителен без применения специального математического аппарата и вычислительной техники. Здесь наиболее перспективны методы опознавания образов с самообучением ЭВМ.

Эмпирические методы, имеющие локальное или региональное значение, изложены в разделе 2. Заслуживает внимания также анализ хронологических графиков выпадения осадков или прироста высоты снежного покрова и изменения температуры воздуха или поверхности снежного покрова при снегопадах. Примеры таких графиков показаны на рис. 3. График строится в процессе снегопада, пополняясь после каждого наблюдения. Зная критическую сумму осадков (в данном случае около 15 мм) и уловив из графика тенденцию накопления (интенсивность выпадения) осадков, можно путем графической экстраполяции кривой накопления до пересечения с линией критической суммы осадков определить момент начала ожидаемого схода лавин.

При этом резкие изменения температуры воздуха и особенно поверхности снежного покрова способствуют лавинообразованию (при затяжных снегопадах и в первые несколько суток после них резкие повышения температуры снежной поверхности вызывают повторные сходы лавин).

На трансканадской автомагистрали и в Скалистых горах Колорадо (США) наряду с анализом метеорологической обста-

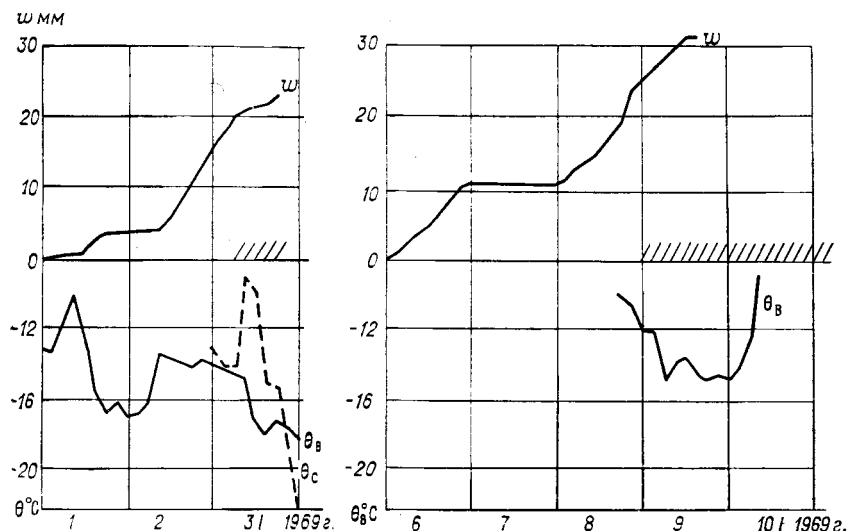


Рис. 3. Графики накопления осадков w при снегопадах и изменений температуры воздуха $\theta_{\text{в}}$ и поверхности снежного покрова $\theta_{\text{с}}$ в районе СЛС Дукант (Чаткальский хребет, Тянь-Шань).

Штриховкой показаны лавиноопасные периоды. Критическая сумма осадков от начала снегопада 20—25 мм, приращение суммы осадков от момента возобновления снегопада до начала лавиноопасного периода — около 15 мм при средней интенсивности выпадения осадков 0,6—0,8 мм/ч. Начало лавинообразования совпало с резкими изменениями температуры воздуха и поверхности снежного покрова.

новки, шурфованием и зондированием снежной толщи практикуется построение контрольных кривых накопления осадков при снегопадах (снежных штормах) с целью выбора наиболее благоприятного момента для профилактического обрушения лавин [N. C. Gardner по [237]. Стрелками на графике (рис. 4) отмечаются определенные из опыта критические значения этой нагрузки, наблюдающиеся за 4—6 ч до схода первой лавины. Из серии кривых получают осредненные кривые для снегопадов различных типов (длительные снегопады малой интенсивности и короткие снегопады большой интенсивности), служащие затем для контроля. Эти контрольные кривые вычерчиваются на прозрачной основе и используются при прогнозах: как только нагрузка от свежевыпавшего снега превысит 1 г/см², график нарастания снеговой нагрузки, который строится во время снегопада,

сравнивают с контрольной кривой для соответствующего типа снегопада. Если эта кривая быстро приближается к контрольной кривой, следует объявить лавинную опасность для проведения профилактических мер. Если интенсивность выпадения осадков превысит таковую, определенную по контрольной кривой после достижения снеговой нагрузки $1,5 \text{ г/см}^2$, то требуются более срочные профилактические меры. И наоборот, когда кривая все время остается ниже контрольной, лавинная опасность будет менее острой.

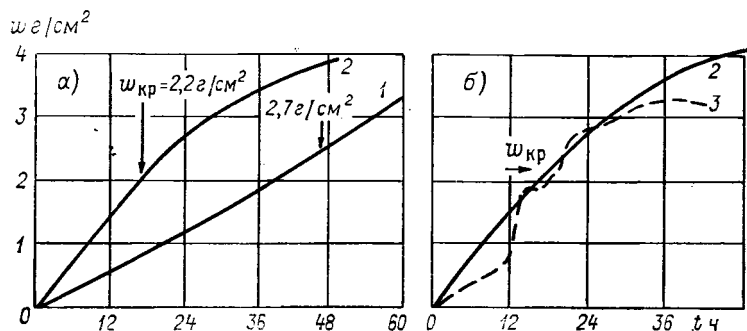


Рис. 4. Типовые (осредненные) графики нарастания во времени t снеговой нагрузки w при снегопадах и метелях (а) в Скалистых горах Колорадо (США) и применение такого графика для прогноза лавинной опасности (б).

Стрелками на графиках показаны критические значения снеговой нагрузки $w_{кр}$ и момент, когда необходимо начать профилактический обстрел лавиноопасных склонов.

1 — длительные снегопады малой интенсивности ($2,7 \text{ г/см}^2$ за 48 ч), 2 — короткие снегопады большой интенсивности ($2,2 \text{ г/см}^2$ за 18 ч), 3 — сравниваемая кривая нарастания снеговой нагрузки.

Для прогноза времени схода лавин свежавыпавшего снега в зависимости от интенсивности снегопада можно применять следующую формулу¹ [97]:

$$t = \frac{c \sec \alpha}{i \rho (\sin \alpha - f \cos \alpha)}, \quad (1.2.1)$$

где t — время, ч; c — сцепление на контакте свежавыпавшего снега со старым с учетом тенденции изменения, кг/м^2 ; ρ — плотность выпадающего снега, кг/м^3 ; i — интенсивность снегопада (приrost высоты снежного покрова), м/ч ; α — угол наклона снегосбора (зоны отрыва лавин); f — коэффициент трения свежавыпавшего снега по контакту со старым. При отсутствии данных о коэффициенте трения следует приравнять его нулю (ошибка идет в запас заблаговременности прогноза).

Рекомендуется следующая методика прогнозирования по этой формуле: 1) заметить время от начала снегопада до

¹ Здесь и далее сцепление (c) и плотность (объемный вес) снега (ρ) даны в практически употребляемых внесистемных единицах (кг/м^2 и кг/м^3).

момента образования слоя нового снега толщиной 3—5 см и найти интенсивность снегопада; 2) определить опытным путем плотность нового снега, сцепление и коэффициент трения на ожидаемой поверхности скольжения; 3) вычислить момент наступления лавиноопасного периода.

Плотность и прочностные характеристики снега определяют в соответствии с «Руководством по снеголавинным работам» [147]. Плотность еще не осевшего снега можно измерить также следующим способом: подходящий невысокий сосуд выставляют на поверхность снежного покрова до заполнения падающим снегом, осторожно удаляют ножом его избыток и взвешивают; из полученного веса вычитают вес пустого сосуда и разность делят на его объем (или, растопив снег, измеряют объем получившейся воды и делят его на объем сосуда).

Та же формула может применяться и для прогноза лавин во время метелей, если под величиной i понимать интенсивность нарастания толщины снежного покрова от метелевого переноса.

Следует иметь в виду возможность схода лавин по ослабленному слою старого снега и производить несколько вариантов расчета для разных горизонтов, пользуясь формулой

$$t = \frac{c \sec \alpha}{i \rho (\sin \alpha - f \cos \alpha)} - \frac{h_{\text{ст}}}{i}, \quad (1.2.2)$$

где $h_{\text{ст}}$ — высота старого снега над опасным слоем, м; значения c и f относятся к этому опасному слою.

Во время снегопада следует периодически повторять измерения и вводить в прогноз необходимые уточнения.

Другой расчетный способ прогноза лавин во время снегопадов основан на вычислении критической высоты $h_{\text{кр}}$ свежавыпавшего снега [14]:

$$h_{\text{кр}} = \frac{0,5c}{\rho \sin \alpha}, \quad (1.2.3)$$

где c — сцепление в опасном слое или на контакте, кг/м²; ρ — средняя плотность снега над опасным слоем или контактом, кг/м³.

Эта формула применима в том случае, если параметры свежавыпавшего снега определяются в области отрыва лавин или в достаточно репрезентативном пункте.

Значения высоты свежавыпавшего h и старого H снега, необходимые для схода лавин, должны быть таковы: $h \geq 10$ см, $H \geq 25$ см.

Прогноз лавинной опасности составляется следующим образом:

1) определяют плотность и сцепление нового снега при накоплении его более 10 см. При меньшем накоплении лавинная опасность отсутствует;

2) рассчитывается по формуле (1.2.3) критическая высота снега;

3) определяется средняя скорость прироста высоты снега i (см/ч) по снегомерным рейкам в лавиносборах;

4) определяется время наступления лавинной опасности по формуле

$$t = \frac{h - h_0}{i}, \quad (1.2.4)$$

где t — время от момента измерений до схода лавин, часы; h — расчетная критическая высота свежевывавшего снега, см; h_0 — высота снега в начальный момент (когда проводились определения p и c), см.

1.2.2. Лавины от сублимационной перекристаллизации снега и смешанные

Анализ метеорологических условий должен дополнять, но не подменять изучение развития снежной толщи и формирования в ней опасных горизонтов глубинной изморози, так как сам по себе еще не дает уверенного ответа на вопрос о возможности схода лавин. Для прогноза опасности от лавин, вызываемых действием сублимационной перекристаллизации, необходимо учитывать не только текущую погоду, но и метеорологические условия всей предыдущей части зимы.

Особенно важно знать температурный режим снежного покрова в зоне отрыва лавин. Температурный градиент в снежной толще вызывает миграцию водяных паров в сторону более низкой температуры — чаще всего вверх. В результате этого происходит ослабление нижних слоев и перемещение вещества в верхние слои. Совместное действие этих факторов приводит к формированию лавин сублимационной перекристаллизации, которые трудно предвидеть по одним только метеорологическим факторам. Единственный способ предсказания лавинной опасности такого рода — это изучение стратиграфических разрезов, физического состояния снега, регистрация погоды в течение всей зимы, составление и анализ комплексного графика хронологического хода значений метеорологических элементов и развития снежной толщи, способ построения и образцы которых даны в «Руководстве по снеголавинным работам» [147]. В прогнозе таких лавин может оказать помощь знание условий погоды ранней зимой.

Состояние самых нижних слоев снежного покрова лучше всего определяет устойчивость его в целом. Чаще всего нестабильность создается глубинной изморозью, образовавшейся ранней зимой при ясной погоде, когда в неглубоком снегу имеют место большие температурные градиенты (обычно на склонах северной экспозиции). Лавины часто сходят по ослабленному

горизонту, а не по контакту свежавыпавшего снега со старым. Наиболее опасны склоны с неглубоким, но почти полностью перекристаллизованным снегом, на который добавляется нагрузка от снегопада или метели.

Процесс перекристаллизации может протекать очень быстро, если температура снега приближается к 0°C . Перекристаллизация ускоряется и от давления вышележащих слоев снега. Из-за уменьшения объема снега при перекристаллизации в снежном покрове создаются значительные внутренние напряжения.

Механически слабый слой глубинной изморози, находящейся у поверхности земли, не может выдержать сколько-нибудь значительной нагрузки, и первый же сильный снегопад вызывает массовый сход лавин.

Если глубинная изморозь сформировалась лишь частично, то прочность опасного горизонта достаточна, чтобы выдержать несколько снегопадов. После схода лавин оставшаяся на поверхности скольжения глубинная изморозь иногда превращается в твердую корку, которая создает отличную поверхность скольжения для последующих лавин.

Образование в начале зимы гладкой корки или слоя льда у поверхности почвы — это другая обычная причина последующего схода лавин. Такой слой имеет большую прочность, но образует хорошую поверхность скольжения. Тогда критическим фактором становится характер связей между ледяной коркой и вышележащим слоем; эти связи, хотя и относительно слабые, все же прочнее глубинной изморози и обеспечивают накопление большого количества снега, прежде чем сорвется лавина. Лед, обнаженный после схода лавин, может послужить причиной лавинообразования при последующих снегопадах. Но в конце зимы и начале весны в условиях повышения температуры новый снег достаточно прочно сцепляется со льдом и опасность соскальзывания лавин по этому контакту с течением времени уменьшается.

Чрезвычайно опасно, когда снегопад при сравнительно высокой температуре образует пушистый покров, на который в дальнейшем сильным ветром навевается метелевый снег, образующий снежную доску. Под последней происходит бурный процесс перекристаллизации, часто приводящий к полному исчезновению горизонта пушистого снега и замещению его непрочной щеткой кристаллов глубинной изморози, расположенной в основании снежной доски.

Неоднородность снежной толщи, особенно наличие в ней корок или слабых слоев, создает возможность схода лавин почти на всех стадиях развития снежного покрова; особенное внимание надо обращать на такие явления в начале зимы.

Серия небольших снегопадов, особенно при низких температурах, создает значительно менее устойчивый снежный покров, чем меньшее количество обильных снегопадов. В первом случае нередко имеют место слабые связи между слоями и малая

механическая прочность снега, если он не подвергся переотложению ветром. Очень глубокий сухой рыхлый порошковидный снег обычно приобретает большую механическую прочность, после того как осядет и будет перекрыт при последующих снегопадах (если сразу же не сойдет в виде лавин).

Уменьшение прочности отдельных слоев может привести к лавинообразованию в снежном покрове, который до этого был вполне устойчивым. Продолжительные периоды холодной погоды без осадков должны свидетельствовать об опасности, как и периоды ясной погоды, во время которой наблюдается сильное радиационное выхолаживание снега на теневых склонах. Если снежный покров достаточно глубок, это выхолаживание сказывается только на поверхностном слое, который может быть либо опасен сам по себе, либо становится опасным после снегопада, не будучи в состоянии выдержать снеговую нагрузку. Маломощный снежный покров благоприятствует появлению больших температурных градиентов. Это может быть и в середине зимы в снегосборах, потерявших часть снега вследствие схода лавин. В нетронutom снежном покрове могут не развиваться опасные горизонты, но это не мешает многократному сходу лавин в одних и тех же лавиносборах.

Процессы перекристаллизации разрушают и ледяные корки: кристаллы льда теряют сцепление друг с другом и образуют рыхлое скопление зерен, которое может служить смазкой для вышележащей снежной доски.

Наличие в снежной толще ледяных корок, даже практически непроницаемых для воздуха и водяных паров, не может служить препятствием для сублимационной перекристаллизации. Водяные пары, мигрируя в пределах слоя под действием градиента температуры и встречая препятствие в виде корки, сублимируются с выделением теплоты фазового перехода; это повышает температуру корки, над которой возникает местный увеличенный градиент температуры, способствующий возгонке льда и миграции водяных паров до следующего препятствия, изотермической зоны или слоев с противоположно направленным температурным градиентом.

Обычно неоднородность снежного покрова увеличивается после его образования, отложения новых слоев и процессов преобразования снега; но к весне снежный покров постепенно приобретает более однородную зернистую структуру, что должно было бы увеличить его устойчивость. Однако весной вступают в действие другие факторы: снеготаяние и дожди, увлажняющие снег.

Учесть все многочисленные особенности строения и эволюции снежного покрова при эпизодических наблюдениях практически невозможно; только систематические наблюдения за развитием снежной толщи могут дать основу для прогноза лавин, связанных с сублимационной перекристаллизацией снега. Наиболее

удовлетворительные результаты получаются при сочетании климато-метеорологического анализа с шурфованием и зондированием снежного покрова, методика проведения которых изложена в «Руководстве по снеголавинным работам» (1965).

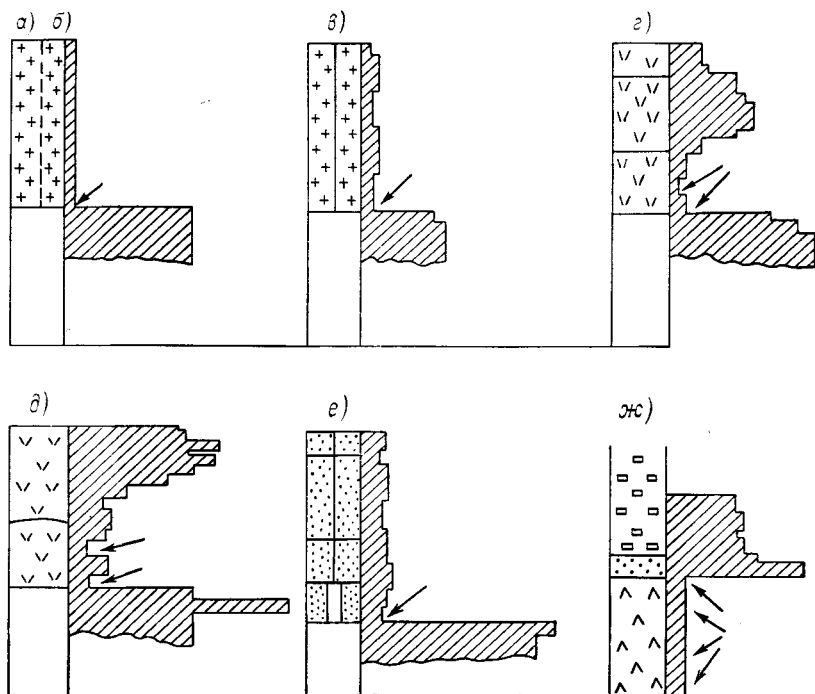


Рис. 5. Типовые стратиграфические колонки снежного покрова, совмещенные с эпюрами зондирования (в относительных единицах прочности снега), при опасности схода лавин из:

а — свежесыпавшего пушистого снега, *б* — свежесыпавшего сухого порошкovidного снега, *в* — свежесыпавшего влажного порошкovidного снега, *г* — уплотненного снега, *д* — снежной доски, *е* — влажного и мокрого фирнизованного снега, *ж* — несвязного снега. Стрелками показаны возможные поверхности скольжения лавин.

Распознавание лавинной опасности при помощи зондирования основано на выделении опасных горизонтов в снежном покрове (рыхлого снега, пустот, ледяных корок) по скорости погружения зонда, силе сопротивления введению (забиванию) зонда, звуку, которым сопровождается эта работа, высоте снежного покрова над ослабленным слоем. Следует помнить, что с помощью снежного зонда не выделяются тонкие прослойки слабого снега, поэтому шурфование снежного покрова или отбор проб снежным буром обязательны. Анализ эпюры зондирования и стратиграфической колонки снежной

толщи позволяет установить наличие или отсутствие лавинной опасности. По мере накопления материалов наблюдений вырабатываются зависимости для определения степени лавинной опасности и типовые совмещенные стратиграфические колонки и эпюры твердости (рис. 5), с которыми сравниваются данные шурфования и зондирования для определения типа ожидаемой лавины. В качестве примера дается табл. 2.

Таблица 2

Эмпирические зависимости для прогнозирования лавинной опасности по данным зондирования конусным зондом [231]

Лавинная опасность	Сопротивление зонду R кг	Сцепление (вычисленное по формуле $c \approx 1,4R$), кг/дм ²	Соотношение прочности соседних слоев
Серьезная (лавина может возникнуть в ближайшее время)	Менее 1,5	Менее 2,0	Более 4,0
Средняя (лавина может возникнуть при механическом нарушении снежного покрова)	1,5—5	2—7	2,5—4,0
Низкая (почти полностью отсутствует угроза лавин)	5—21	7—30	2,5—1,5
Отсутствует	Более 21	Более 30	Менее 1,5

Время формирования горизонта глубинной изморози, определяющее момент возникновения опасности от лавин вследствие сублимационной перекристаллизации, может быть подсчитано по формуле [226]

$$t = \rho \frac{d}{I} = \frac{37d}{d\theta/dz} \frac{P}{P_0} \left(1 + \frac{\Theta^{3/2}}{21,5} \right), \quad (1.2.5)$$

где

$$I = 0,75 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{P_0/P}{1 + \frac{\Theta^{3/2}}{21,5}} \frac{d\theta}{dz}, \quad (1.2.6)$$

где t — время в сутках, необходимое для образования кристаллов глубинной изморози; $\rho = 0,25 \div 0,30$ г/см³ — средняя плотность глубинной изморози; d — толщина слоя, равная среднему размеру кристалла, см; I — напряженность потока водяного пара¹, г/(см²·сут); Θ — среднее отрицательное значение температуры снега (°C) на данной глубине; $\frac{d\theta}{dz}$ — градиент

¹ Эта величина определяется расчетом или экспериментально в соответствии с п. 143 «Руководства по снеголавинным работам» (1965).

температуры, $^{\circ}\text{C}/\text{см}$; P — атмосферное давление на данной высоте; P_0 — атмосферное давление на уровне моря (давление воздуха подставляется в одинаковых единицах — безразлично каких).

Оценка лавинной опасности вследствие сублимационной перекристаллизации может основываться на повторных оценках устойчивости снежного покрова (с. 64—76), для чего требуются данные о высоте и физико-механических свойствах снега в зонах отрыва лавин: плотность, сцепление (или сопротивление сдвигу), коэффициент или угол трения, предел прочности снега на разрыв и др. Так как физико-механические свойства снега могут сильно изменяться в зависимости от погоды и времени суток, необходимо получать своевременную информацию об этих изменениях, что можно осуществить либо путем применения автоматической аппаратуры, установленной в зонах лавинообразования (или в типичном для данного района лавиносборе), либо на основании корреляционных связей между свойствами снега в лавиносборах и на площадке, где ведутся ежедневные наблюдения (круглосуточные в период возможной лавинной опасности). Если имеются данные о плотности (или запасе воды) и прочностных характеристиках по всему разрезу снежной толщи, расчет ведется в нескольких вариантах (для разных слоев) и в качестве основы для прогноза принимается минимальное значение устойчивости; в других случаях определяется запас устойчивости для всей толщи в целом или для той ее части, которая лежит выше ослабленного горизонта, выделенного визуально в процессе шурфования снежного покрова.

С целью получения количественных данных о физико-механических свойствах снежного покрова для расчета его критической высоты производится шурфование снежной толщи на заранее выбранных площадках с периодичностью в 10 дней. В некоторых случаях для уточнения данных об изменении структуры и физико-механических свойств снега шурфование производится и в других местах и с интервалом меньше 10 дней.

Во время шурфования определяют:

1) стратификацию снежной толщи с описанием контактов и слоев по их структурным особенностям с указанием даты образования контактов и слоев;

2) плотность каждого снежного слоя;

3) предел прочности на сдвиг по каждому контакту или лавиноопасному слою;

4) предел прочности на разрыв каждого слоя.

Данные шурфования и измерений в хронологическом порядке и отдельно для каждой площадки заносят в журнал по форме табл. 3.

Нумерация слоев и контактов идет снизу вверх.

В графах 10—14 записывают даты и соответствующие значе-

Таблица 3

Номер шурфа	Дата наблюдения	Порядковый номер слоя, контакта	Предел прочности снега на сдвиг, кг/м ²	Коэффициент трения снега по снегу, контакту	Описание слоя, контакта	Высота слоя, зоны контакта, м	Предел прочности снега на разрыв, кг/м ²	Плотность снега, кг/м ³	Ожидается					Примечание
									Дата	Предел прочности снега на сдвиг, кг/м ²	Коэффициент трения снега по снегу, контакту	Предел прочности снега на разрыв, кг/м ²	Высота снега над слоем, контактом, м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

ния пределов прочности снега на сдвиг, на разрыв, коэффициента трения снега по снегу или контакту в наиболее спасном, слабом и нагруженном горизонте (слое, контакте) и высоты снега над этим горизонтом. Прогнозируемые значения получают экстраполяцией с учетом направления и значений температурного градиента.

Например, на 15/I 1954 г. предел прочности на сдвиг по одному из контактов был равен 350 кг/м², 25/I 1954 г.— 310 кг/м², 5/II 1954 г.— 250 кг/м². В среднем за сутки предел прочности уменьшался на $\frac{350 - 250}{20} = 5$ кг/м². При аналогичной погоде

или при аналогичном распределении температуры и упругости водяного пара в снеге можно ожидать, что на 10/II 1954 г. предел его прочности на сдвиг снизится до $250 - 5 \cdot 5 = 225$ кг/м².

В случаях же изменения температурных и связанных с ними влажностных градиентов в снежном покрове нужно применять криволинейную экстраполяцию. В данном примере за первые 10 дней предел прочности в среднем в день уменьшался на 4 кг/м², а в последующую декаду с увеличением градиента в слое, лежащем на данном контакте, происходило уменьшение предела прочности в среднем на 6 кг/м² в сутки. Тогда естественно допустить, что если и в последующую декаду сохранится та же тенденция возрастания градиента, то предел прочности

изменится пропорционально этому значению. В данном случае в третьей декаде февраля изменение предела прочности снега за каждые сутки будет приблизительно 8 кг/м^2 , а предел сдвиговой прочности снега на 10/II 1954 г. мог снизиться до $250 - 8 \cdot 5 = 210 \text{ кг/м}^2$.

При уменьшении же указанного градиента в слое, для которого ведутся вычисления, предел прочности сравнительно с предыдущим шурфованием может и не измениться, а при смене направления градиента, наоборот, даже может увеличиться. Все это требует много времени и внимания для правильной оценки направления и размера изменения предела прочности на сдвиг по каждому контакту. Для суждения об этих процессах необходимы данные о распределении и изменении во времени температуры в снежном покрове. Для такой экстраполяции требуется не менее трех—пяти последовательных шурфований.

Графы 5 и 8 в табл. 3 («Коэффициент трения...» и «Предел прочности...») заполняются по данным последнего шурфования.¹

Для каждого опасного слоя, контакта и для каждого лавиносбора по этим данным вычисляется (в метрах) критическая высота снежного покрова [7 и др.]

$$h_{кр} = \frac{Klc \sec \alpha}{Kl\rho (\sin \alpha - f \cos \alpha) - \sigma_p}, \quad (1.2.7)$$

где K — коэффициент, зависящий от формы лавиносбора ($K = 0,5$ для ровных склонов и $K = 0,375$ для денудационных воронок); l — длина склона (по скату), м; c — предел прочности на сдвиг (сцепление) по данному контакту, кг/м^2 ; ρ — плотность снега над контактом, кг/м^3 ; α — угол склона; f — коэффициент трения; σ_p — предел прочности снега на разрыв, кг/м^2 .

Плотность снега, залегающего на данном контакте, вычисляется как средневзвешенное по мощности:

$$\rho = \frac{1}{h} \sum_{i=1}^n \rho_i h_i, \quad (1.2.8)$$

где $h = \sum_{i=1}^n h_i$ — суммарная высота слоев над данным контактом;

h_i — высота i -го слоя, м; ρ_i — плотность i -го слоя, кг/м^3 ; i — номер слоя; n — общее число слоев над данным контактом.

Например, над рассматриваемым контактом залегают три слоя снега с плотностью 400 кг/м^3 при высоте $0,2 \text{ м}$, 300 кг/м^3 при высоте $0,15 \text{ м}$ и 200 кг/м^3 при высоте $0,35 \text{ м}$. Средняя плотность этих слоев

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{0,2 + 0,15 + 0,35} \cdot (400 \cdot 0,2 + 300 \cdot 0,15 + 200 \cdot 0,35) = \\ &= 280 \text{ кг/м}^3. \end{aligned} \quad (1.2.9)$$

¹ В связи с техническими трудностями определения коэффициента трения в полевых условиях можно использовать его ориентировочное значение для зернистого снега $0,3-0,4$. (Прим. ред.)

Сравнивая расчетную критическую высоту снега с фактической для каждого контакта по каждому лавинобору, оценивают устойчивость снежной толщи на склоне. Если фактическая высота приближается к расчетной критической, то снежная толща имеет тенденцию перейти из устойчивого состояния в неустойчивое. Основным в прогнозировании лавин такого типа является определение момента, когда фактическая высота достигает критического расчетного значения. При этом рекомендуется строить графики сравнения этих двух величин для каждого контакта или слоя. На оси абсцисс откладываются даты, а на оси ординат — разность между расчетной и фактической высотами.

Приближение фактической высоты к расчетной может идти двумя путями: изменением (уменьшением) сцепления в снежном покрове и приращением массы снега во время снегопада или метели. Поэтому графу 14 табл. 3 следует заполнять данными о фактической высоте с ожидаемым приращением ее от снегопада или метели. Это приращение нужно приводить к средней плотности снежной толщи, лежащей на данном контакте,

$$\Delta h = h_c \cdot \frac{\rho_c}{\rho}, \quad (1.2.10)$$

где Δh — расчетное (приведенное) приращение высоты, см; h_c — высота нарастающего слоя снега фактической плотности, см; ρ — плотность старого снега, кг/м³; ρ_c — плотность нового снега, кг/м³.

Плотность свежевывавшего снега определяется непосредственными наблюдениями. Плотность слоя снега, образующегося в лавиноборах при метели, принимается ориентировочно равной: при сильной метели 400 кг/м³, при средней метели 300 кг/м³, при слабой метели 200 кг/м³.

При понижении температуры наблюдается сход так называемых лавин температурного сокращения снега¹.

Прогнозирование этих лавин ведется также путем вычислений критической высоты снега и сравнения ее с фактической высотой [5 и др.]. Для этого применяется формула

$$h_{кр} = \frac{K l c \sec \alpha}{K l \rho (\sin \alpha - f \cos \alpha) + a E \cdot \Delta \Theta - \sigma_p}, \quad (1.2.11)$$

где a — коэффициент (град⁻¹), характеризующий сокращение снежного пласта при понижении температуры; E — модуль упругости снега, кг/м²; $\Delta \Theta$ — уменьшение температуры снега, °С; остальные обозначения см. в формуле (1.2.7).

При вычислениях используются данные о температуре и физико-механических свойствах снега, получаемые при

¹ Существует сомнение относительно правильности термина «лавина температурного сокращения снега», так как при низких температурах объем снега сокращается вследствие процесса перекристаллизации [252].

шурфовании или экстраполяции. Температурный коэффициент α определяется по графику (рис. 6) в зависимости от средней плотности снежной толщи, лежащей на данном контакте. Модуль упругости снега вычисляется по эмпирической формуле

$$E = 1,1 \cdot 10^6 \rho, \quad (1.2.12)$$

где ρ — плотность снега, г/см³; E в г/см².

Расчет температурных напряжений в снежном покрове является довольно условным, так как закон Гука не вполне приме-

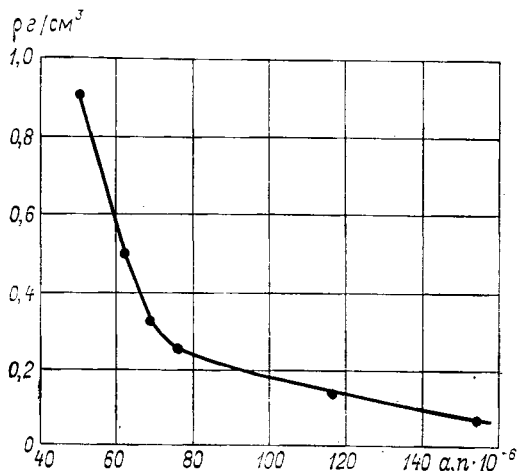


Рис. 6. Определение коэффициента линейного расширения снега α по его плотности ρ .

ним к снегу. Кроме того, существует мнение, что понижение температуры вызывает сокращение длины снежного пласта не путем температурного сокращения, а за счет уменьшения объема снега при его «спекании» и перекристаллизации, которая при понижении температуры воздуха (и, следовательно, поверхности снежного покрова) ускоряется вследствие возрастания температурного градиента в снежном покрове.

Недостаточно определенным остается выбор начальной температуры снега: в момент его образования или в момент наиболее высокой температуры. Считается, что можно рекомендовать за начальную температуру принимать самое высокое ее значение за предыдущий относительно теплый период.

Вычисления ведутся последовательно, начиная от первого и кончая последним контактом. К вычислениям приступают немедленно при начале понижения температуры снега.

При наличии снежных досок, подстилаемых глубинной изморозью, рекомендуется проверить устойчивость снежного покрова путем нагружения монолита в естественном за-

легании: на безопасном склоне, но по возможности аналогичном лавиносбору (с такими же экспозициями, углом наклона и высотой снежного покрова), вырезается монолит снега достаточных размеров без отделения от подстилающей поверхности так, чтобы не произошло разрушение или опрокидывание его от собственного веса. Связь с подстилающим слоем не должна нарушаться, боковые грани монолита делают вертикальными. На монолит надевается шарнирная рамка с горизонтальной площадкой, на которую небольшими порциями помещается нагрузка (в виде металлических пластин, гирь и т. п.) до момента сдвига монолита от разрушения глубинной изморози. Суммарный вес монолита и рамки с грузом, отнесенный к площади основания рамки, характеризует критическую снеговую нагрузку на единицу площади опасного горизонта, по достижении которой возможен сход лавин. Эта критическая нагрузка $p_{кр}$ (кг/м^2) связана с критическим водозапасом $w_{кр}$ (мм) в слое снега над опасным горизонтом соотношением $p_{кр} = w_{кр} \cos \alpha$, где α — угол склона. Если в данный момент водозапас слоя снега над опасным горизонтом равен w , лавинная опасность наступит при выпадении $\Delta w = w_{кр} - w$ осадков в виде снега.

Если монолит сползает без приложения нагрузки, под действием собственного веса, то имеет место непосредственная лавинная опасность.

На достаточно крутых склонах, где силы трения в снеге недостаточно для удержания его на склоне, для возникновения перекристаллизационных лавин достаточно, чтобы произошло хрупкое разрушение глубинной изморози, так как при этом уничтожается сцепление в опасной прослойке.

В естественных условиях хрупкое разрушение глубинной изморози происходит, как только давление $\sigma = \rho h \cos \alpha$ от вышележащих слоев и предел прочности на сжатие глубинной изморози $\sigma_{пр}$ сравниваются. В большинстве случаев это происходит вследствие увеличения давления за счет свежевыпавшего снега.

Время возникновения (в часах) лавинной опасности при этом вычисляется по формуле [62]

$$t = \frac{k \Delta w_{кр}}{i \rho \cos \alpha}, \quad (1.2.13)$$

где $\Delta w_{кр} = \sigma_{пр} - w \cos \alpha$ — критическое значение водозапаса снежного покрова (в миллиметрах), численно равное снеговой нагрузке на горизонтальную поверхность в кг/м^2 ; $i = \frac{\Delta h}{\Delta t}$ — интенсивность снегопада (увеличения высоты снега в лавиносборе), м/ч ; ρ — плотность снега, кг/м^3 ; k — эмпирический коэффициент (около 0,5); $\sigma_{пр}$ — предел прочности на сжатие глубинной изморози, кг/м^2 ; α — угол склона в лавиносборе; h — высота

(м) и $w = \rho h$ — водность (мм) снега над опасным горизонтом.

Для ускорения расчетов служит номограмма (рис. 7).

$$\Delta w_p = \frac{\Delta w}{\cos \alpha} \text{ кг/м}^2$$

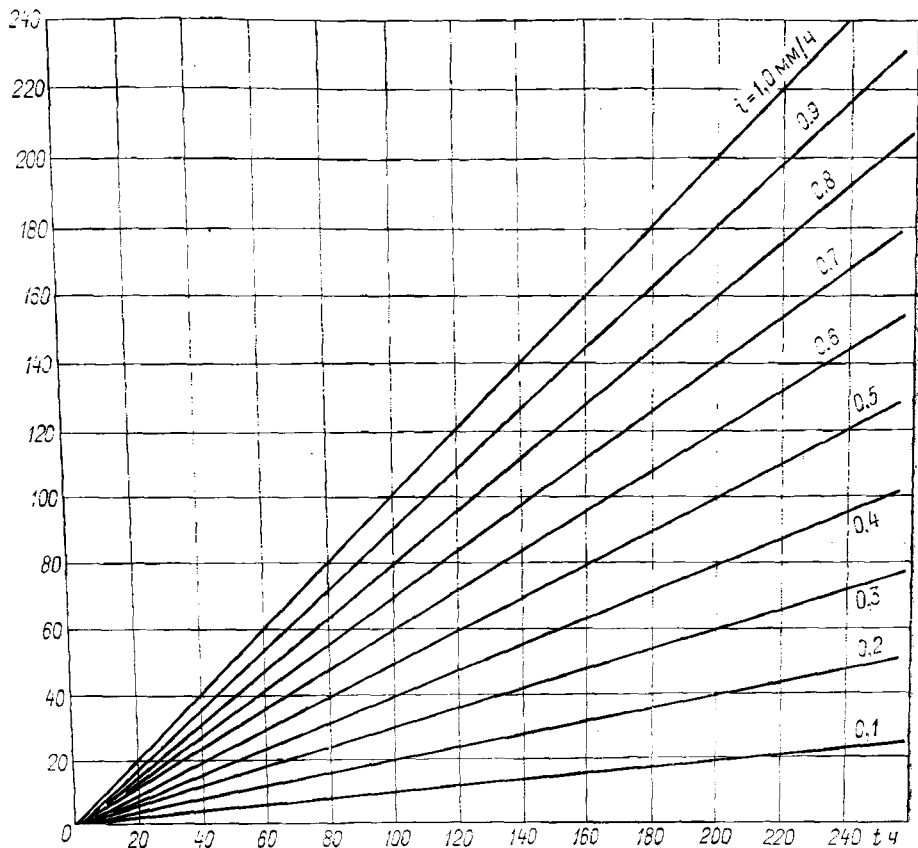


Рис. 7. Номограмма для расчета времени возникновения t лавинной опасности по интенсивности снегопада i и критическому приращению водозапаса снега (снеговой нагрузки) Δw_p .

Более подробно методы оценки устойчивости снежного покрова и связанных с этим расчетов излагаются на стр. 64—76.

1.2.3. Лавины из мокрого снега

Прогноз лавин из мокрого снега основан на анализе наблюдений за температурой, теплообменом и влажностью снежного покрова. Обычно массовый сход этих лавин происходит весной, когда температура снега повышается и начинается его повсеместное таяние. Однако лавины из мокрого снега возможны и зи-

мой в результате оттепелей и выпадения дождя на снежный покров.

Необходимым условием для образования лавин из мокрого снега является возникновение и распространение зоны нулевой температуры в снежном покрове, поэтому в прогнозе лавин этого типа используются графики термоизоплет, методика построения которых изложена в «Руководстве по снеголавинным работам» [147]. Когда температура снега достигает 0°C , вероятность схода лавин зависит от содержания свободной воды в нем и от влияния таяния и увлажнения снега на его структуру и прочностные свойства. Вода, насыщающая снежную толщу или фильтрующаяся в ней, влияет на ее устойчивость, увеличивая вес снега, уменьшая его прочность и сопротивляемость деформациям, а также создавая смазку на возможных поверхностях скольжения, таких, как ледяные прослойки или подстилающий грунт. Хотя плотность, содержание свободной воды и прочностные характеристики снега могут быть измерены, в настоящее время отдают предпочтение косвенным методам оценки скорости образования талой воды в снеге или проникновения в снег дождевой воды. При оценке скорости снеготаяния принимается во внимание экспозиция склона, конвективный теплообмен при турбулентном режиме (температура воздуха и скорость ветра), радиационный баланс. Необходимо учитывать, что длинноволновая радиация от теплых облаков может дать значительный вклад в повышение температуры снежного покрова, который близок к абсолютно черному телу в отношении теплового излучения.

Часто причиной схода лавин из мокрого или влажного снега бывает повышенный приток тепла в новый снег; особенно опасны в этом отношении теплые солнечные дни после снегопада, когда из свежевывающего увлажненного снега образуются поверхностные «ручейковые» лавины с точечным отрывом. Они возникают при сочетании следующих условий [79]:

- 1) наличие на горных склонах снежного покрова мощностью, достаточной для перекрытия неровностей склона (камни, кочки, тропинки, пучки травы и т. д.) и создания выровненной поверхности скольжения. В противном случае лавинный процесс прервется в самом начале;

- 2) наличие на склонах слабосвязного снега, свойства которого приближаются к свойствам сыпучего снега (обладающего тем не менее ненулевым сцеплением);

- 3) увлажнение верхних слоев сухого снежного снега за счет тепла, поступившего извне или, реже, за счет выпадения мокрого снега, образующего в слое ранее отложенного сухого снега увлажненную зону. В случаях когда мокрый снег находится под сухим (что возможно при снегопадах, начинающихся мокрым, а заканчивающихся сухим снегом), опасность схода упомянутых лавин не возникает.

Мощность (толщина слоя) свежевывавшего снега может быть различной, но не менее 6—8 см.

Большинство лавин мокрого снега с точечным отрывом сходит в ближайшие 1—2 дня после прекращения снегопада и рассеяния облачности в часы, близкие к полудню, когда верхний слой нового, слабосвязного, рассыпчатого снега увлажняется и приобретает слипаемость.

Для своевременного предсказания таких лавин требуется следить за изменениями верхнего слоя снега и улавливать момент появления мокрого липкого снега на рассыпчатом сухом, когда следует объявить начало опасности от лавин подобного рода.

Выявить существование такого расслоения снега и определить границу между мокрым и сухим снегом можно следующим образом.

На поверхности снега разбрызгивают 15—30 мл раствора яркого красителя (чернила, марганцевокислый калий и т. д.), чтобы образовалось пятно диаметром 10—20 см. Через одну-две минуты снег разрезают по пятну так, чтобы отвесная стенка шла вдоль склона через пятно. На этой стенке можно видеть четкие контуры окрашенных слоев снега. Если поверхностный слой влажный, то он будет пропускать раствор красителя широким фронтом, который резко меняет направление движения с вертикального на параллельное склону, дойдя до сухого снега. Нижнее основание струйки раствора, движущейся параллельно склону, является границей между увлажненным и сухим снегом. Если окрашенная вода проходит через весь слой снега вертикальной широкой (в случае сплошь мокрого снега) или узкой (в случае сплошь сухого снега) струей, не меняя направления на параллельное склону, то расслоение снега по влажности и соответствующая ему лавинная опасность отсутствуют.

Другой простейший способ — это наблюдение за характером сдвига верхнего слоя свежего снега при его сталкивании: углубляемой в снег лопаточкой или ребром ладони на глубине 6—10 см производится попытка сдвинуть снег по склону. Если верхняя часть слоя легко, как по намыленной поверхности, скользит по нижней, образуя движущийся, непрерывно растущий, обращенный основанием вниз треугольник слипшегося снега, то плоскость скольжения является границей мокрого и сухого снежного покрова. Если легкости скольжения не наблюдается, а сдвигаемый снег вспучивается бугром, то это означает, что слой состоит из одного сухого снега. Если сдвигаемый снег выклинивается к поверхности или, напротив, внедряется под верхний слой, то, значит, свежий снег весь увлажнен. В двух последних случаях опасность схода лавин рассматриваемого вида отсутствует.

Прогнозирование периода опасности от лавин из свежевывавшего увлажненного снега может быть сведено к прогнозированию

нию периода возникновения и существования описанного выше расслоения свежего снега по влажности.

Чтобы предсказать время появления поверхностного слоя влажного снега, требуется: 1) определить количество тепла q_1 , необходимое для образования липкого лавиноопасного снега; 2) рассчитать на ближайший день суммарное количество всех основных потоков тепла q_2 в снег (и из снега), способствующих (и препятствующих) образованию влажного липкого снега; 3) решить полученное таким образом уравнение (неравенство) теплового баланса снега $q_2 \geq q_1$.

Количество тепла q_1 в кал/см², достаточное для образования в свежавыпавшем сухом снеге поверхностного слоя мокрого липкого снега,

$$q_1 = q_n + q_y, \quad (1.2.14)$$

где q_n — количество тепла, потребное для нагрева выхоложенного верхнего слоя снега до температуры таяния; q_y — количество тепла, затрачиваемое на увлажнение снега до такой степени, чтобы он приобрел способность к слипанию.

На единицу поверхности снежного покрова

$$q_n = ZC\rho\bar{\Theta}_c, \quad (1.2.15)$$

где Z — толщина прогреваемой зоны, см; C — удельная теплоемкость льда ($C \approx 0,5$ кал/°C); ρ — плотность снега, г/см³; $\bar{\Theta}_c$ — средняя по толщине слоя температура прогреваемого слоя снега;

$$q_y = ZL\rho \frac{a}{100}, \quad (1.2.16)$$

где L — теплота плавления льда; a — влажность, при которой снег приобретает способность к слипанию, %.

Слипаемость свежего снега становится заметной при его влажности около 5 %.

Тогда

$$q_1 = Z\rho (C\bar{\Theta}_c + La). \quad (1.2.17)$$

Для того чтобы в свежем снеге плотностью 0,10—0,12 г/см³ при средней по слою температуре от —5 до —10°C образовалась увлажненная зона толщиной 5—10 см (наиболее часто наблюдаемая толщина слоя увлажняющегося за день сухого снега), достаточно 5—10 кал/см². При $\bar{\Theta}_c$, приближающейся к 0°C, q_1 уменьшается до 2 кал/см².

Поступление тепла в поверхностный слой снежного покрова (или потеря им тепла) происходит в основном за счет: конвективного обмена теплом с атмосферой q_τ , теплоты испарения (возгонки) льда q_v и радиационного потока q_p .

Для расчета суммарного теплового потока в кал/(см²·сут) из атмосферы в снег

$$q_a = q_\tau + q_p \quad (1.2.18)$$

рекомендуется эмпирическая формула

$$q_{a. \text{ сур}} = 38,7 [(\Theta_c - \Theta) + 1,75(e_c - e)] (0,18 + 0,0098v), \quad (1.2.19)$$

где Θ_c — температура поверхности снега, °С; Θ — температура воздуха на уровне психрометрической будки, °С; e_c — максимальная упругость водяного пара при температуре поверхности снега, мбар; e — упругость водяного пара в воздухе, мбар; v — скорость ветра по флюгеру, м/с.

Если принять температуру тающего снега 0°С, а максимальную упругость водяного пара под снегом 6,1 мбар, то после пересчета суммарного среднего суточного теплового потока в кал/(см²·ч) и округлений

$$q_{ay} = 1,6 [1,7 (6,1 - e) - \Theta] (0,2 + 0,1v) \Delta t, \quad (1.2.20)$$

где Δt — продолжительность теплообмена в часах.

Радиационный тепловой поток

$$q_p = Q \cdot (1 - A) - \varepsilon_{\text{эф}}, \quad (1.2.21)$$

где Q — поток суммарной радиации, кал/(см²·мин); A — альбедо снежного покрова; $\varepsilon_{\text{эф}}$ — эффективное излучение деятельной поверхности, кал/(см²·мин).

Коротковолновая радиация, способная проникать на некоторую глубину в снежную толщу, имеет наибольшее значение в прогнозе лавин рассматриваемого вида.

Данные о температуре Θ и скорости v берутся из прогнозов погоды или определяются экстраполяцией по наблюдениям с учетом тенденции. Остальные величины получаются расчетом из наблюдений и прогнозов.

Интенсивность возможной солнечной радиации зависит главным образом от высоты солнца. Если пренебречь внутригодовыми и многолетними колебаниями солнечной постоянной (приблизительно 2 кал/(см²·мин)) и сравнительно небольшими в зимнее время в горах изменениями мутности атмосферы, то суточный ход интенсивности возможной суммарной радиации Q в данном географическом районе в зимнее время года будет иметь определенные значения.

Например, для снеголавинных станций Кызылча и Дукант (Западный Тянь-Шань) наблюдаемые и вычисленные средние месячные значения интегральной суточной возможной солнечной радиации таковы:

	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
q_p кал/(см ² ·сут)						
наблюдаемые	327	263	302	427	570	690
вычисленные	330	270	302	396	532	666

Некоторые расхождения наблюдаемых и рассчитанных значений объясняются различием оптической толщины атмосферы и различной закрытостью горизонта.

В условиях облачности поток суммарной радиации может как увеличиваться, так и уменьшаться. Если солнце при этом не закрыто облаками, то поток суммарной радиации, как правило, больше, чем при безоблачном небе. Если солнце закрывается облаками, то поток радиации уменьшается. В целом для дней с переменной облачностью поток суммарной радиации можно принять равным потоку при ясном небе. При сплошной облачности поток суммарной радиации уменьшается в несколько раз и мокрые лавины рассматриваемого типа не возникают.

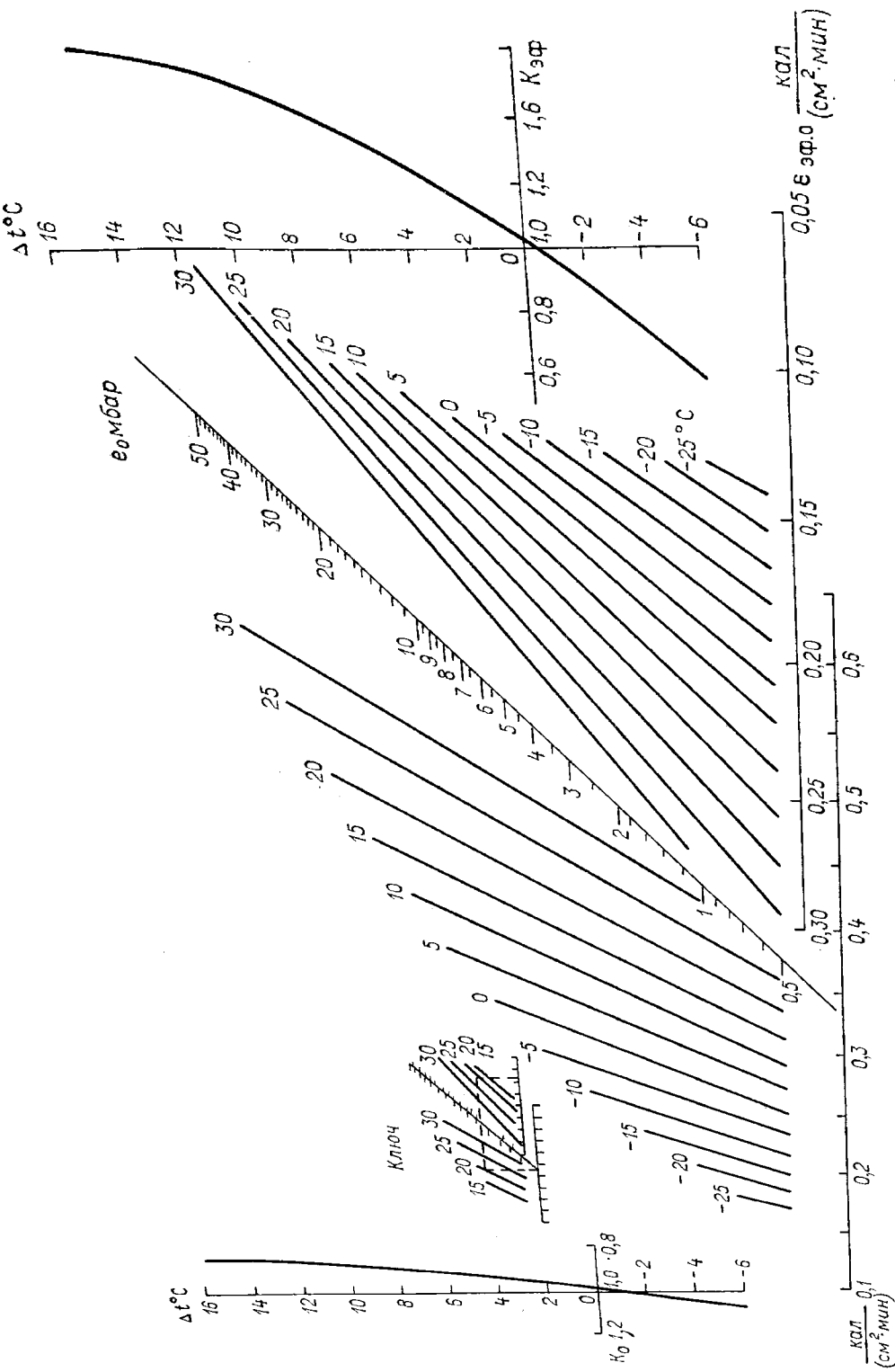
Альбедо зависит как от структуры снежного покрова, так и от облачности и от влажности снега. В холодную погоду (при температуре воздуха ниже -5°C) значение альбедо свежего снега (85—94 %) в первые 2—3 дня не меняется, в последующие дни оно уменьшается на 1 % за двое суток. Когда температура воздуха от отрицательных значений переходит к положительным и начинается снеготаяние, альбедо снежной поверхности падает до 70 %. Для прогнозов данного типа лавин можно принять среднее значение альбедо около 80 %.

Произведение $Q(1-A)$ представляет собой возможную поглощенную радиацию B_k . Ориентировочно при $A=0,8$ (альбедо 80 %) $B_k=0,2Q$. Нарастающий в течение дня поток поглощаемой снегом коротковолновой радиации удобно представлять в виде графика, с которого снимаются данные об ожидаемом B_k за любой час светлого времени.

Эффективное излучение представляет собой разность встречных потоков длинноволновой радиации поверхности земли и противоизлучения атмосферы. Для расчета эффективного излучения $\epsilon_{\text{эф. 0}}$ при ясном небе служит номограмма (рис. 8).

Правая часть номограммы служит для определения эффективного излучения при ясном небе $\epsilon_{\text{эф. 0}}$, а левая — для определения противоизлучения атмосферы ϵ_a . На наклонной центральной шкале нанесена абсолютная влажность воздуха e . Горизонтальная шкала справа служит для определения эффективного излучения поверхности, горизонтальная шкала слева — для определения противоизлучения атмосферы. Для внесения поправок на температурный градиент в слое воздуха 500 м служат дополнительные графики, расположенные по краям; ключ показывает способ пользования номограммой.

Для определения $\epsilon_{\text{эф. 0}}$ на наклонной оси графика отыскивается значение абсолютной влажности воздуха, ожидаемой на прогнозируемый период. От найденной точки проводится горизонтальная линия вправо до пересечения с наклонной линией, соответствующей температуре поверхности снега в прогнозируемый период. Допуская, что при оттепели в солнечный день температура поверхности снега равна 0°C , горизонтальную линию доводят до наклонной линии, помеченной нулем. От этой точки опускается перпендикуляр на ось абсцисс $\epsilon'_{\text{эф. 0}}$ и в месте



8. Номограмма для определения эффективного излучения $\epsilon_{\text{эф}}$ о земной поверхности и противозлучения атмосферы $\epsilon_{\text{атм}}$ при ясном небе [71].

пересечения отсчитывается значение эффективного излучения при безоблачном небе. Для учета влияния изменения температурного градиента в слое воздуха до 500 м в приближенное значение эффективного излучения вводится поправка $K_{эф}$, определяемая с помощью графика справа. На его вертикальной оси отыскивается значение разности температур почва—будка Δt_1 , равное

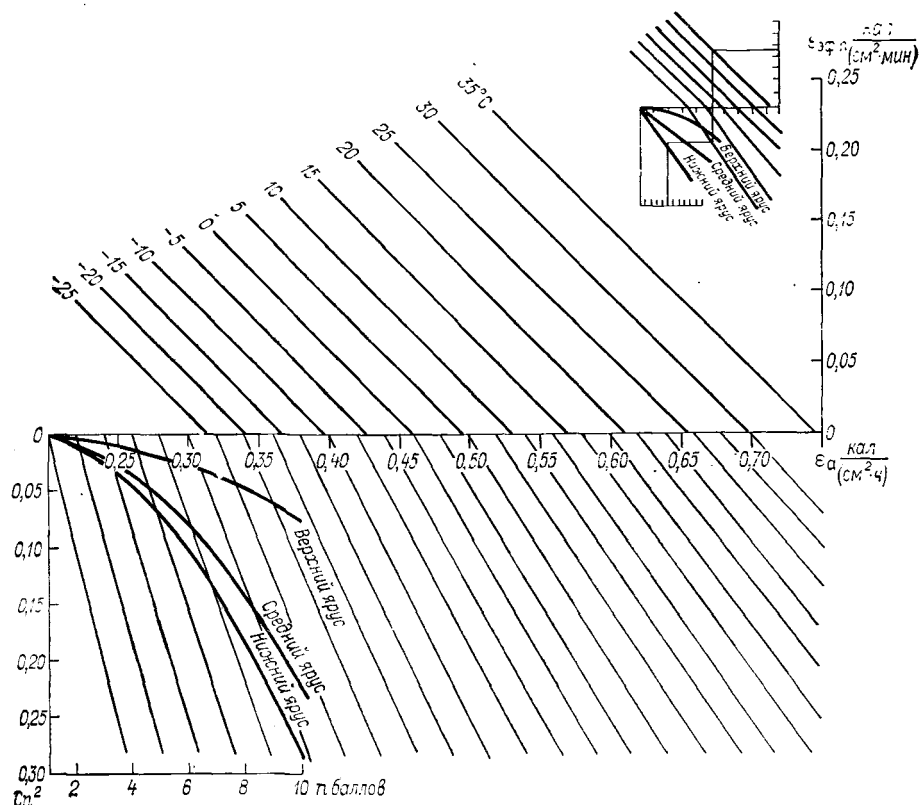


Рис. 9. Номограмма для определения эффективного излучения $\varepsilon_{эф.п.}$ земной поверхности при облачном небе [71].

При верхней облачности $K_{эф} = 0,075$ и средней облачности 0,22 и 0,28.

абсолютному значению температуры воздуха с обратным знаком, и с кривой зависимости $K_{эф} = f(\Delta t)$ снимается значение поправочного коэффициента. Значение $\varepsilon_{эф.0}$ умножают на $K_{эф}$ и получают исправленное значение при ясном небе.

Аналогично определяют значение противои излу чения атмосферы и поправочный коэффициент к нему (на левой части номограммы и левом графике).

Для расчета эффективного излучения при облачном небе $\varepsilon_{эф.п.}$ служит номограмма на рис. 9. На оси n нанесено количество облачности в баллах. На оси ε_a отложены значения

противоизлучения атмосферы при безоблачном небе. При расчетах эти значения отыскиваются по номограмме на рис. 8 в его левой части. Наклонные прямые в нижней части графика представляют собой значение $\epsilon_a (1 + K_a n^2)$ для соответствующих значений n . На вертикальной оси отложены значения $\epsilon_{\text{эф. п.}}$. Наклон прямых в верхней части графика определяется значением $\sigma \Theta^4$, где σ — постоянная Стефана—Больцмана и Θ — абсолютная температура поверхности. Наклон выбран так, чтобы на вертикальной оси $\epsilon_{\text{эф. п.}}$ получалась разность, равная $\epsilon_{\text{эф. п.}} = \sigma \Theta^4 - \epsilon_{\text{ап.}}$. Вверху дан ключ пользования номограммой.

Чтобы получить значение влажности воздуха на прогнозируемый период, необходимо прибегнуть к анализу материалов наблюдений и метеорологического прогноза (синоптического типа погоды). Ориентируясь на данные наблюдений за предыдущие дни и внося необходимые поправки в соответствии с вероятным значением влажности при конкретном синоптическом типе погоды, можно составить приближенное представление об абсолютной влажности воздуха на следующий день.

В окончательном виде уравнение, позволяющее рассчитать на ближайший день момент наступления опасности от мокрых лавин свежевывапавшего снега с точечным отрывом, выглядит так:

$$\int_0^t B_k dt - 60 \epsilon_{\text{эф}} \Delta t - 1,6 [1,7 (6,1 - e) - \Theta] (0,2 + 0,1 v) \Delta t = \\ = Z_p (\sigma \bar{\Theta}_c + La). \quad (1.2.22)$$

Здесь тепловой поток $\epsilon_{\text{эф}}$ представляется в кал/(см²·мин); множитель 60 служит для перевода из кал/(см²·мин) в кал/(см²·ч).

Для удобства расчета по этому уравнению строятся совместные временные графики $q_{\text{п}} = \epsilon_{\text{эф}} + q_a$ и B_k (рис. 10). Точки пересечения линий для прихода и потерь тепла покажут моменты начала и конца периода с возможным сходом лавин. В случае, если поток тепла из снега $q_{\text{п}}$ постоянно будет больше потока тепла B_k , поступающего в снег, соответствующие линии на графике не пересекутся, т. е. лавинная опасность от лавин рассмотренного вида не возникает.

Необходимая для расчета упругость водяного пара e (в мбар) найдена по максимальной его упругости $e_{\text{макс}}$ (в мбар, упругость водяного пара, насыщающего пространство при заданной температуре воздуха), и относительной влажности r (%) воздуха

$$e = e_{\text{макс}} r / 100. \quad (1.2.23)$$

Величина $e_{\text{макс}}$ принимается по психрометрическим таблицам [21].

Изложенные выше расчеты являются ориентировочными, так как относятся к горизонтальной поверхности. В пасмурную погоду можно приближенно считать, что дневные суммы суммар-

ной солнечной радиации на склонах и на горизонтальной площадке одинаковы. В ясную и облачную погоду суммарную солнечную радиацию, приходящую к склону, и ее дневные суммы можно вычислить по результатам измерений солнечной радиации на горизонтальной актинометрической площадке, пользуясь формулами и таблицами, приведенными в «Руководстве гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям» [145], а также в «Руководстве по снеголавинным работам» [147].

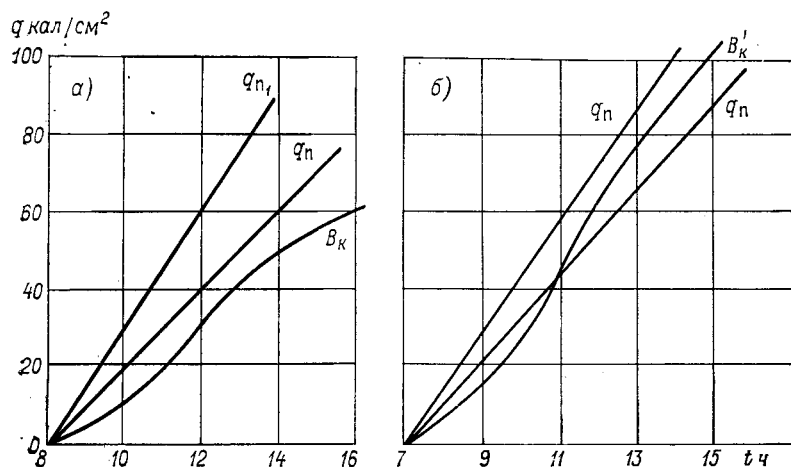


Рис. 10. Суточный ход (t —время дня) интегральной поглощенной снегом радиации B_K и интегральной суммы потоков потерь тепла q_n снегом, а — в середине зимы (15 января), б — весной (15 марта).

Общие условия: $Z=6 \text{ см}$, $\rho=0,1 \text{ г/см}^3$, $\Theta=-10^\circ\text{C}$, $n=0/0$ баллов, $r=50\%$.

Условия 15 января: $\Theta_c=0^\circ\text{C}$, $v=3 \text{ м/с}$ (q_{n1}); $\Theta_c=0^\circ\text{C}$, $v=0 \text{ м/с}$ (q_{n2}).

Условия 15 марта: $\Theta_c=1^\circ\text{C}$, $v=3 \text{ м/с}$ (q_{n1}); $\Theta_c=3^\circ\text{C}$, $v=0 \text{ м/с}$ (q_{n2}).

При прогнозировании лавинной опасности в периоды оттепелей, весеннего снеготаяния и дождей за основу берется факт, что возникновение мокрых лавин находится в прямой зависимости от наличия в снежном покрове жидкой воды. Наблюдениями установлено, что критической является влажность 10—15 %, соответствующая максимальной водоудерживающей способности старого снега. В некоторых случаях время и место схода мокрых лавин можно предсказать довольно точно при условии, что измерения влажности и температуры снега ведутся в зоне возможного отрыва. При этом следует помнить, что таяние снега может очень быстро в течение часа изменить устойчивость снежного покрова и вызвать сход лавины. Кроме того, тепловой баланс снежной толщи и процесс таяния снега зависят от расположения участка (дно

долины или гребень хребта, склон южной или северной экспозиции).

Наиболее очевидным источником поступления воды в снежный покров является дождь. Если зимой или весной проходят ливни, то их следует рассматривать как источник лавинной опасности, так как от дождя снежный покров либо становится весьма устойчивым, либо сползает со склона в виде мокрой лавины.

Сухой порошковидный снег, нередко выпадающий после таких дождей, легко соскальзывает с заледеневшей поверхности. Интенсивное таяние снега также дает большое количество воды, которое может вызвать лавинообразование. Особенно большим источником тепла при этом являются теплые ветры. Следует помнить, что интенсивность таяния снега может быть больше в туманные дни, чем в ясные, особенно при теплом ветре. Причем лавины, связанные с теплыми ветрами и ливнями, могут сходить со склонов любых экспозиций, где есть достаточно снега. На южных склонах, нагреваемых прямыми солнечными лучами, как правило, возникают мокрые лавины. Солнечные лучи могут проникать в снег на глубину около 10—20 см и вызывать таяние внутри снежного покрова даже в то время, когда температура воздуха и поверхности снежного покрова ниже нуля.

Чаще всего опасность схода мокрых лавин наблюдается в тех случаях, когда внезапный ливень или оттепель воздействуют на холодный, не успевший осесть снежный покров. Талая вода в сухом рыхлом снеге очень быстро вызывает опасную неустойчивость, ведущую к сходу больших лавин, в то время как старый, осевший снег, нагретый до температуры таяния предыдущими оттепелями, причиняет гораздо меньше беспокойства. Большую опасность всегда создает первая сильная оттепель в конце зимы. Если после ясных солнечных дней будет метель, возникает возможность обрушения мокрого снега даже в тех случаях, когда снег наметается на уже осевший, устойчиво лежащий на склоне снег.

В результате продолжительных оттепелей или дождей возникают мокрые лавины, захватывающие весь снежный покров до почвы (так называемые грунтовые лавины), которые могут быть очень большими. Они обычны на ровных задернованных или гладких скалистых склонах. В некоторых случаях лавины сходят и по мощному ледяному слою в глубине снежного покрова.

Температуры воздуха и снега оказывают большое влияние на возникновение мокрых лавин весной. Теплые ветры и солнечная радиация растапливают верхний слой снега, талая вода проникает внутрь снежной толщи и быстро нагревает ее до точки таяния. На поверхность снежного покрова могут выпадать дожди. Появление жидкой воды в снеге вызывает мокрые лавины. Ранней весной часто бывает, что в ясную солнечную погоду снежный покров остается устойчивым, но в туманный или облачный день начинают сходить крупные мокрые лавины: в яс-

ный день поступление в снег тепла от солнечной радиации в какой-то степени уравнивается потерями путем теплового излучения с его поверхности, особенно на большой высоте над уровнем моря, в результате чего снег мало нагревается днем и промерзает ночью.

Теплые ветры могут вызывать таяние снега и днем, и ночью, а облачность уменьшает потери тепла лучеиспусканием; в этих условиях происходит более интенсивное таяние и большие количества талой воды вызывают сход лавин из мокрого снега.

Таяние снега начинается при различных положительных значениях температуры воздуха в зависимости от его влажности. В районах с очень сухим воздухом (Средняя Азия, Восточная Сибирь) снег может не таять, а испаряться; при этом повышение температуры воздуха может вызвать вначале понижение температуры снега.

Наличие на поверхности снежного покрова ледяных корок, препятствующих просачиванию в снег талой воды, снижает вероятность его обрушения.

Лавинная опасность при весеннем снеготаянии уменьшается, если в результате перекристаллизации снежный покров приобрел однородное строение, благоприятствующее его дренажу.

Возникновение мокрых лавин наиболее вероятно с момента, когда в каком-то внутреннем слое снежной толщи образуется водонасыщенный горизонт. Это наблюдается в период усиленного поступления воды в снежный покров при наличии в нем слоя с низкой водопропускной способностью. Тогда могут создаться условия насыщения водой, например, слоя снега непосредственно над ледяной коркой.

Если влажность снега составляет 50—100 %, его полной влагоемкости, то водонасыщенность снега превышает его водоудерживающую способность и происходит ослабление структурных и водноадсорбционных связей в нем; при влажности 100 % образуется слой, в котором поры практически полностью заполнены водой, а прочность снега значительно снижена. Дальнейшее таяние создает над ледяной коркой водонасыщенный слой, в котором резко ослабевают силы сцепления, а вода взвешивает кристаллы льда, уменьшая силы трения в снеге, который более не может противостоять сдвигающей составляющей силы веса снега и содержащейся в нем воды.

При наличии данных, характеризующих интенсивность поступления воды в снег, можно определить высоту слоя h_b , в котором при неизменной интенсивности таяния в течение какого-то заданного времени влажность может достигнуть водоудерживающей способности e_0 [131]:

$$h_b = \frac{w_c + w_d}{e_0 - e - l/L}, \quad (1.2.24)$$

где w_c , w_d — соответственно количество талой и дождевой воды,

поступающей в снежный покров склона; e — начальная влажность; l — «запас холода» в элементарном объеме снега; L — теплота плавления. Отношение l/L характеризует количество воды, которое при замерзании выделит тепло, достаточное для компенсации «запаса холода», имеющегося в снеге (т. е. того количества тепла, которое необходимо, чтобы довести температуру снега до 0°C).

Зная глубину залегания ледяной корки h и значение h_b , можно установить время t , за которое при неизменной интенсивности поступления воды в снег она достигает ледяной корки: $t = h/h_b$. Дальнейшее таяние создает над ледяной коркой слой с насыщенностью, превышающей водоудерживающую способность снега. В этих условиях потеря устойчивости снежного покрова и сход мокрых лавин ускоряются и облегчаются фильтрационным давлением воды, просачивающейся в снеге вдоль водоупора в направлении ската склона.

Условие равновесия снежного покрова при наличии в нем фильтрующейся воды следующее [117]:

$$\operatorname{tg} \alpha \leq \frac{\rho_0 - 1,09(1 - e)\rho_e h_0}{\rho_0 + h_0} \operatorname{tg} \psi, \quad (1.2.25)$$

где ρ_0 — средняя относительная плотность снежного покрова (отношение плотности снега к плотности воды, принимаемой за единицу); ρ_e и e — относительная плотность и влажность образца снега из водонасыщенного слоя высотой h_b ; $h_0 = \frac{h_b}{h}$ (h — высота рассматриваемого снежного пласта в целом); ψ — предельный угол, при котором снег залегает устойчиво в отсутствие воды. Значение h_b находится по формуле (1.2.24) или при ламинарном движении воды и водоупорной подстилающей поверхности почвы по формуле [117]:

$$h_b \approx \frac{q_0 + i_d X}{k_\Phi \sin \alpha}, \quad (1.2.26)$$

где q_0 — расход воды на единицу ширины внутриснежного потока в верху склона; i_d — интенсивность поступления воды, мм/сут; X — протяженность склона, м; k_Φ — коэффициент фильтрации снега, м/сут; α — крутизна склона, град.

Для быстрой оценки возможности схода лавин в ряде случаев достаточно знать среднюю относительную плотность снежного покрова и ожидаемую относительную высоту водонасыщенного слоя. При этом формулу (1.2.25) можно упростить до вида

$$\operatorname{tg} \alpha \leq K_{\text{ym}} \operatorname{tg} \psi, \quad (1.2.27)$$

где

$$K_{\text{ym}} \approx \frac{1 - h_0}{1 + \frac{h_0}{\rho_0}}.$$

В качестве примера рассмотрим расчет устойчивости снежного покрова для случая схода водонасыщенной, «гидронапорной» лавины в бассейне реки Северный Долен, Киргизский хребет [108].

По данным измерений: $\alpha = 12^\circ$, $X = 876$ м, $k_\Phi = 40$ м/сут, $i_d = 0,01$ м/сут, $h_0 = 0,56$, $\rho_0 = 0,44$, $q_0 \approx 0$.

Высота водонасыщенного слоя при данных параметров равна

$$h_B \approx \frac{0,01 \cdot 876}{40 \cdot \sin 12^\circ} \approx 1,1 \text{ м.} \quad (1.2.28)$$

Рассчитываем уменьшение устойчивости снежного покрова, имеющего фильтрующуюся воду:

$$K_{\text{ум}} \approx \frac{1 - h_0}{1 + \frac{h_0}{\rho_0}} \approx \frac{1 - 0,56}{1 + \frac{0,56}{0,44}} \approx 0,15. \quad (1.2.29)$$

Перед выпадением на снежную поверхность дождя снег залегал устойчиво на склонах с крутизной до 45° . Значит, можно предположить, что $\text{tg } \psi = \text{tg } 45^\circ = 1$.

Таким образом, из формулы (1.2.27) имеем

$$\text{tg } \alpha \leq 0,15 \cdot 1 \leq 0,15. \quad (1.2.30)$$

При таком значении $\text{tg } \alpha$ снег находился в неустойчивом состоянии на склонах с крутизной всего $8-9^\circ$, что вызвало сход гидронапорной лавины в бассейне р. Северный Долен.

Для прогноза времени схода лавин во время оттепелей t можно использовать уравнение [103]

$$t = \frac{Kc}{v\rho (\sin \alpha - f \cos \alpha)}, \quad (1.2.31)$$

где K — коэффициент, учитывающий интенсивность уменьшения прочности снега на сдвиг при повышении температуры; c — сцепление снега в опасном слое при температуре Θ ; v — скорость продвижения фронта нулевой температуры в толще снега, определяемая по графику термоизоплет.

Эта методика по мере накопления данных может быть упрощена, если найти корреляционные связи между временем наступления лавинной опасности и основными лавинообразующими параметрами.

Лавины, связанные с выпадением дождя на снежный покров и снеготаянием, могут прогнозироваться по уравнениям [103]:

$$e_0\omega - \delta \left(\sum \Theta + \sum_1^n \Theta_i \right) = 0, \quad (1.2.32)$$

$$t = \frac{e_0\omega - e}{e}, \quad (1.2.33)$$

где t — момент наступления лавиноопасного периода, ч; e_0 — критическое содержание свободной воды в снежном покрове ($e_0 = 10 \div 15$ % от водозапаса в снежном покрове); ω — запас воды в снежном покрове (его водный эквивалент, или водность),

мм; e — содержание свободной воды в снежном покрове в момент выдачи прогноза; δ — стаивание в мм на 1°C положительной температуры воздуха; $\sum \Theta$ — сумма средних суточных положительных значений температуры к моменту выдачи прогноза, $^\circ\text{C}$; $\sum_1^n \Theta_i$ — сумма средних суточных положительных значений температуры воздуха (согласно данным метеорологического прогноза на несколько дней), $^\circ\text{C}$.

По расчетным методам прогноза лавин из мокрого снега еще не накоплен достаточный опыт, и они нуждаются в дальнейшей разработке.

1.3. ОЦЕНКА И ПРОГНОЗ МЕХАНИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Внутренние напряжения в снежной толще обуславливают ее опасную неустойчивость и неожиданное возникновение лавин. При длительном действии нагрузки прочность снежного покрова может значительно уменьшиться. Вследствие этого лавины могут сходить и через некоторое время после снегопада или метели.

В зависимости от своего состояния и скорости приложения нагрузки снег проявляет преимущественно вязко-пластические или упругие свойства. Его поведение определяется так называемым временем релаксации (расслабления). Если к вязко-упругому телу приложено какое-то усилие, то время, необходимое для ослабления напряжения приблизительно до 37 % ($100/e$, где $e = 2,718$) от первоначального за счет внутренних деформаций, называется временем релаксации. Для снега оно изменяется от 1 секунды до 2 недель главным образом в зависимости от его вязкости, которая в свою очередь определяется структурой и температурой снежной толщи. Чем больше коэффициент вязкости, тем больше время релаксации, тем тверже снег и тем меньше он подвержен ползучести. Чрезвычайно большая чувствительность плотного снега к изменениям температуры является важным фактором при возникновении лавин из снежных досок. С понижением температуры резко повышается коэффициент вязкости и снежный покров становится более хрупким. Такой снег менее способен к релаксации напряжений и может длительное время находиться в опасном напряженном состоянии. Если ветровую снежную доску разрушить в одной точке, трещина очень быстро распространяется по всему лавиносбору, снежный покров разламывается на части и приходит в движение. Бывает достаточно нарушить сплошность снежной доски на ее поверхности: трещина прорезает снежную доску вглубь до слоя с другой структурой и плотностью, затем продолжает распространяться в основании снежной доски параллельно поверхности склона, подрезая пласт, который лишается сцепления с подстилающими слоями и приходит в движение.

Возможно, растрескивание снежной доски происходит и от температурного сокращения снега. Упругая потенциальная энергия напряженной снежной доски обуславливает образование трещин и уничтожение сцепления в основании снежной доски.

Если снежный покров не растрескивается, то с течением времени напряжения в нем либо ослабевают, либо перераспределяются за счет внутренних деформаций при сползании. Как скоро это произойдет — зависит от вязкости снега. При температуре около 0°C он имеет пониженную вязкость и напряжения в нем быстро рассасываются. Релаксация напряжений обуславливает безопасность в лавинном отношении, пока снег достаточно прогрет; но вследствие его охлаждения после заката солнца или просто в тени от набежавшего облака снег становится хрупким, что может привести к его растрескиванию от ничтожного воздействия и сходу лавины из снежных досок.

Лавинообразование также зависит и от других факторов, пока еще малоизученных, таких, как ползучесть снега, концентрация напряжений, температурное сокращение, факторов, обуславливающих масштабный эффект (когда реальная прочность материала в массиве заметно меньше прочности, измеренной на образце), и др.

Снег, лежащий на склонах, медленно сползает вниз; этот процесс сползания протекает неравномерно соответственно изменениям вязкости. Дополнительные напряжения в снежном покрове, возникающие при его сползании, усложняют проблему оценки устойчивости. Вязкое течение снега на склонах при определенных соотношениях толщины слоя, вязкости снега и скорости течения может стать неустойчивым, т. е. резко ускориться и перерасти в лавину при внешнем воздействии.

При скорости ползучести снега $1,0\text{--}1,8$ м/сут и более вязкое течение переходит в хрупкое разрушение. Помимо вязкого течения, снежный покров скользит по подстилающей поверхности. В Швейцарских Альпах установлено, что есть определенная связь лавинообразования с повышенной скоростью сползания снежного покрова по склону.

Расчет устойчивости снежного покрова на склонах с учетом всех свойств снега требует большого объема информации и сложного математического аппарата. Ниже приводятся лишь простейшие способы оценки устойчивости путем вычисления условных ее показателей, критические значения которых уточняются на основании наблюдений.

В районах, где эмпирические критерии определения времени наступления лавинной опасности еще не установлены, рекомендуется производить шурфование снежного покрова с простейшими измерениями прочности снега и его плотности для вычисления снеговой нагрузки на опасный слой снега, определяемый визуально, и числа устойчивости снежной толщи над этим слоем.

Снеговая нагрузка на данный слой определяется либо непосредственно при помощи снегового плотномера (снегомера), либо рассчитывается послойно по измеренным значениям плотности ρ и высоты слоев снега h и затем суммируется

$$w = \sum \rho h. \quad (1.3.1)$$

Если значения ρ подставляются в кг/м³, а значения h — в метрах, то величина w получается в кг/м², что численно равно слою воды в миллиметрах.

Число устойчивости N равно отношению прочности снега на сдвиг τ_c , измеренной в опасном слое (который может служить поверхностью скольжения лавины), к снеговой нагрузке на этот слой [117]

$$N = \frac{\tau_c}{w} \approx \frac{c}{w}, \quad (1.3.2)$$

где c — сцепление в снеге или на контакте, кг/м². Величина N условна и характеризует устойчивость снега на склоне, имеющем наиболее опасную крутизну.

Если в снежном покрове имеется несколько ослабленных слоев, число устойчивости следует вычислить для каждого из них в отдельности и выбрать наименьшее (наиболее опасное) его значение. Можно считать, что при $N \geq 2$ лавинная опасность отсутствует, при N от 1 до 2 существует небольшая лавинная опасность, при N от 0,5 до 1 — серьезная лавинная опасность, а при $N < 0,5$ — угрожающая лавиноопасная обстановка.

Для конкретного слоя или группы однотипных склонов можно вычислять коэффициент устойчивости K снежной толщи

$$K = \frac{\tau_c}{\tau} = \frac{c + f\sigma}{\tau} = \frac{2c}{\rho h \sin 2\alpha} + \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (1.3.3)$$

который связан с числом устойчивости соотношением

$$K = \frac{2N}{\sin 2\alpha} + \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (1.3.4)$$

где $\tau = \frac{1}{2} \rho h \sin 2\alpha$, $\sigma = \rho h \cos^2 \alpha$ — касательное и нормальное напряжения в снеге; f — коэффициент внутреннего трения в опасном слое снега, составляющий обычно 0,3—0,6.

По ряду причин (расслабление, масштабный эффект и т. д.) обрушение снега наступает при довольно высокой рассчитанной устойчивости снежного покрова, поэтому в формулу (1.3.3) вместо сцепления c следует подставлять его уменьшенное значение k_c , отвечающее длительному нагружению снежного пласта больших размеров (поправочный коэффициент k ориентировочно равен 0,5), или уменьшить (до 4 раз) вычисленное (при $k = 1$) значение K . Если снег рыхлый, сыпучий или же на склоне образовалась снежная доска с большими внутренними напряжениями, достаточными для разрушения снежной доски при мест-

ном нарушении ее сплошности, расчет коэффициента устойчивости следует выполнять по формуле

$$K = \frac{f}{\operatorname{tg} \alpha}, \quad (1.3.5)$$

где f — коэффициент трения снега по снегу.

Если, напротив, пренебречь трением или считать его входящим в величину τ_0 , то

$$K = \frac{2k\tau_0}{\rho h_n \sin 2\alpha} \approx \frac{0,5c}{\rho h_n \sin \alpha}, \quad (1.3.6)$$

где $h_n = h \cos \alpha$; $k = 0,5$.

В Новосибирском институте инженеров железнодорожного транспорта разработан метод оценки лавинной опасности по уточненному коэффициенту устойчивости снежного покрова на склоне

$$K_{\text{ст}} = \frac{(c + f\rho h_n \cos \alpha) K_m K_d K_\phi}{\rho h_n \sin \alpha}, \quad (1.3.7)$$

где $K_{\text{ст}}$ — коэффициент стабильности (устойчивости); c — сцепление на контакте слоев, г/см²; ρ — средняя плотность снега над горизонтом, где определяется сцепление, г/см³; h — высота снега по нормали к склону над горизонтом, где измеряется сцепление, см; α — угол склона; K_m — масштабный коэффициент, отражающий переход от площади рамки (которой определяется сцепление) ко всей площади склона; в первом приближении $K_m = 0,5$; f — коэффициент трения; для сдвига снега по снегу принимается $f = 0,35$, снега по травяному покрову, по курильскому бамбуку и т. п. $f = 0,17$, для остальных случаев в первом приближении можно принимать $0,17 < f < 0,35$; K_v — коэффициент времени существования нагрузки, отражающий длительную прочность снежного покрова (в настоящее время нет точных рекомендаций по его определению; условно принимается $K_v = 1,0$, или $0,3-1,0$); K_ϕ — коэффициент, учитывающий морфологию снегосборного бассейна; для плоских склонов $K_\phi = 1$, для выпуклых склонов $K_\phi < 1$, для снегосборных воронок $K_\phi > 1$; в настоящее время для всех расчетов принимается $K_\phi = 1$.

Оценка лавинной опасности производится по следующей шкале, разработанной в Новосибирском институте инженеров железнодорожного транспорта: (для расчетов при $K_m = 0,5$; $K_v = 1$ и $K_\phi = 1$):

$K_{\text{ст}}$	Лавинная опасность
Более 1,5	Отсутствует
1,0—1,5	Отсутствует, но целесообразно провести искусственное обрушение снега в профилактических целях
Менее 1,0	Возникает вероятность самопроизвольного обрушения лавин, необходимы срочные профилактические меры

Кроме коэффициента устойчивости, иногда вычисляют запас прочности снежного покрова — разность между прочностью на сдвиг τ_c и сдвигающим напряжением в опасном слое или на опасном контакте: $\tau_c - \tau$, где $\tau_c = c + \rho h \cos \alpha$ и $\tau = \rho h \sin \alpha$. Временной ход величин τ_c , τ , $\tau_c - \tau$, а также коэффициента устойчивости можно наглядно изобразить в виде графика (рис. 11), позволяющего оценить устойчивость снежного покрова на данный момент и на некоторое время вперед, для чего кривые для

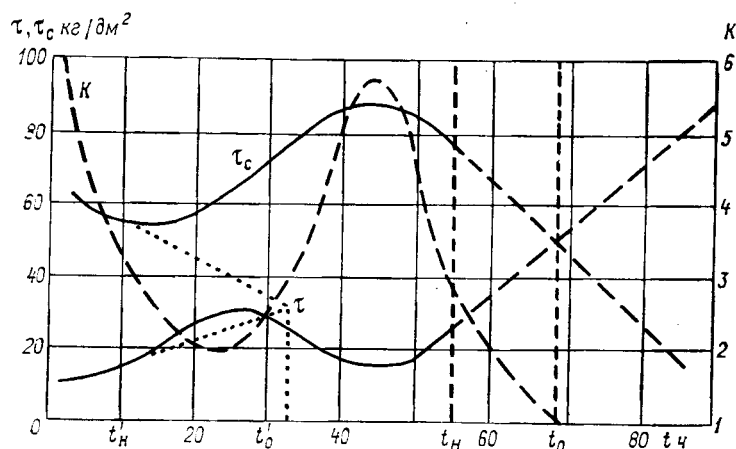


Рис. 11. Запас прочности и устойчивости снежного покрова.

τ_c и τ экстраполируются до пересечения друг с другом: в этот момент запас прочности снега равен нулю (а коэффициент устойчивости — единице).

Иногда вместо коэффициента устойчивости (1.3.6) пользуются обратной ему величиной — коэффициентом лавинной опасности. Например, для одного из районов Центрального Тянь-Шаня получены следующие градации этого коэффициента [87]:

Коэффициент лавинной опасности	Лавинная опасность
Менее 0,5	Отсутствует
0,5—1	Отсутствует, но целесообразен профилактический спуск лавин
1—2	Угрожает, необходимы срочные профилактические меры
2—3	То же, но весной

Другим методом прогноза лавинной опасности по устойчивости снежного покрова является вычисление критических значений мощности (толщины) $d_{кр}$, водности $\psi_{кр}$ снежного пласта или сцепления $c_{кр}$ в опасном горизонте.

Если снежный пласт имеет размеры более 100 м в длину и в ширину, то можно пользоваться условием равновесия

$$\rho d (\sin \alpha - f \cos \alpha) \leq c, \quad (1.3.8)$$

$$\text{или} \\ \rho d \frac{\sin (\alpha - \varphi)}{\cos \varphi} \leq c. \quad (1.3.9)$$

при отсутствии удерживающих сил на контурах пласта (эти последние составят порядка 1 % сил сцепления в подошве пласта, и ими можно пренебречь). Здесь ρ — плотность снега, кг/м³; $d = h \cos \alpha$ — толщина пласта, м; h — его высота, м; α — угол склона, град.; f — коэффициент трения; $\varphi = \arctg f$ — угол трения и c — сцепление снега, кг/м².

Отсюда критическая мощность (толщина)

$$d_{кр} = \frac{c}{\rho (\sin \alpha - f \cos \alpha)} = \frac{c \cos \varphi}{\rho \sin (\alpha - \varphi)}, \quad (1.3.10)$$

критическая водность (измеренная по вертикали)

$$w_{кр} = \frac{c}{\cos \alpha (\sin \alpha - f \cos \alpha)} = \frac{c \cos \varphi}{\cos \alpha \sin (\alpha - \varphi)}, \quad (1.3.11)$$

критическое сцепление

$$c_{кр} = \gamma d (\sin \alpha - f \cos \alpha) = \gamma d \frac{\sin (\alpha - \varphi)}{\cos \varphi}, \quad (1.3.12)$$

критический угол склона

$$\alpha_{кр} = \varphi + \arcsin \frac{c \cos \varphi}{\gamma d}. \quad (1.3.13)$$

Предельный угол безопасности (крутизна склона, при которой уже невозможен сход лавин), определяемый из условия, что равновесие снежного пласта сохраняется при любых его мощностях, равен углу внутреннего трения снега в опасном горизонте или углу трения снега о подстилающую поверхность.

Сход лавин при данной снего-метеорологической обстановке возможен, если превышаются критические значения угла склона, мощности (или высоты, или водности) снежного покрова или какой-то его части либо если единичное сцепление в опасном горизонте или контакте окажется равным или ниже критического значения.

Зная разность между критическим и фактическим (измеренным и вычисленным) значениями величин и скорость изменения во времени, рассчитывают время от данного момента до наступления лавиноопасного периода.

Для ускорения расчетов критических величин рекомендуются номограммы.

Первая из них (рис. 12) является усовершенствованием лавинограммы А. Г. Балабуева и Г. К. Сулаквелидзе. Она состоит из шкал для коэффициента f , угла трения φ , приведенного

сцепления — отношения c/ρ , наклонных лучей, помеченных углами склона α , и кривых, помеченных значениями мощности (толщины) снежного пласта d . Для расчета критической мощ-

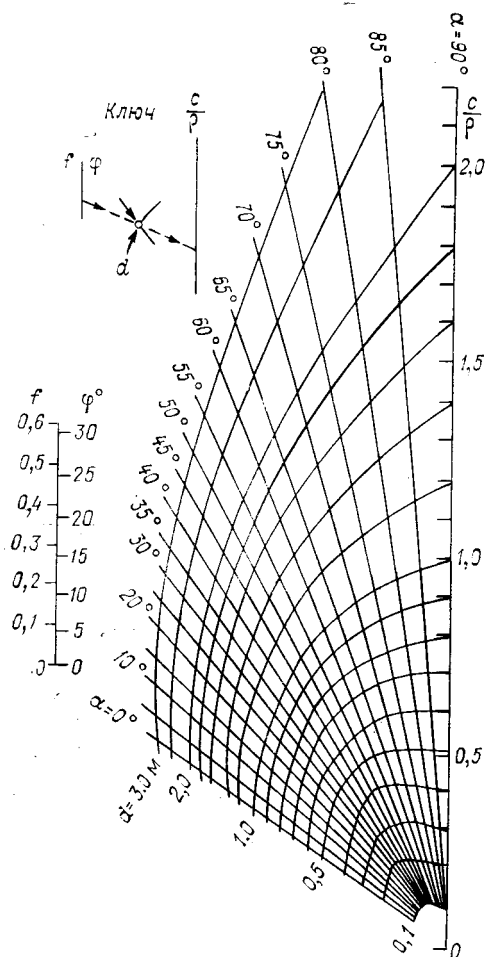


Рис. 12. Номограмма для расчета устойчивости снежного покрова на склонах по методике А. Г. Балабуева и Г. К. Сулаквелидзе.

ности $d_{кр}$ надо по заданным величинам f или ϕ и предварительно вычисленной величине c/ρ заметить точки на соответствующих шкалах и приложить к номограмме край линейки и т. п., чтобы замеченные точки лежали на одной прямой. На этой разрешающей прямой следует отыскать точку пересечения ее с наклонным лучем с пометкой α (если луча, соответствующего заданному α ,

нет, то он проводится мысленно по интерполяции между ближайшими лучами). Значение $d_{кр}$ прочитывается по пометке кривой, проходящей через эту точку пересечения (если нужно, выполняется на глаз интерполяция между ближайшими кривыми, помеченными значениями d).

Пример расчета. Дано: расчетное сцепление снега (с учетом поправок) $c=100$ кг/м², плотность $\rho=200$ кг/м³, коэффициент внутреннего трения $f=0,2$, угол склона $\alpha=35^\circ$. Требуется определить критическую толщину снежного пласта, при которой может сойти лавина.

Находим $\frac{c}{\rho} = \frac{100}{200} = 0,5$ м и по рис. 12 определяем $d_{кр}=1,2$ м.

Если при заданной толщине пласта d требуется определить критический угол склона $\alpha_{кр}$, то находится пересечение разрешающей прямой с помеченной кривой d и прочитывается значение угла $\alpha = \alpha_{кр}$.

При необходимости рассчитать при заданных величинах $f(\varphi)$, α , d и ρ критическое сцепление $c_{кр}$ одну точку замечают на шкале $f(\varphi)$, другую на пересечении помеченных линий α и d ; после чего прикладывают к номограмме линейку и на пересечении со шкалой c/ρ прочитывают вспомогательное значение $c_{кр}/\rho$, по которому вычисляют $c_{кр}$ умножением на ρ .

Толщина пласта d связана с его высотой h соотношением $d = h \cos \alpha$. Если исключить метелевый перенос, то величина h является более постоянной по сравнению с d .

Для расчета критической высоты $h_{кр}$ и критической водности $w_{кр} = \rho h_{кр}$ снежного пласта рекомендуется номограмма (рис. 13). Пользование номограммой аналогично описанному выше; при этом могут быть найдены $w_{кр}$ (и через нее $h_{кр}$ при заданном ρ), $\alpha_{кр}$, $c_{кр}$ в зависимости от того, какие величины известны, а какие вычисляются.

Пример расчета. Расчетное сцепление снега (с учетом поправок) $c=120$ кг/м², коэффициент трения $f=0,15$, водность снежной толщи над ослабленным горизонтом $w=300$ мм. Определить, на склонах какой крутизны возможен сход лавин.

Ответ: лавинная опасность существует на склонах с крутизной в пределах $37-59^\circ$.

Этот результат истолковывается следующим образом: на всех склонах круче 37° и положе 59° должны были сойти лавины (если они не сошли, то снежный покров находится в опасном напряженном состоянии или процессе ползучести, грозящем перерасти в лавину); на склонах 37 и 59° (если последние имеются в данном районе) снежный покров находится в состоянии предельного равновесия; склоны положе 37° (и теоретически круче 59°) в данный момент могут считаться нелавинноопасными.

Для оценки лавинной опасности по отношению c/w при различных коэффициентах расслабления $K_p = \frac{1}{m}$ (где m — число, показывающее, во сколько раз длительная прочность снега на склоне меньше мгновенной, оно в неявном виде может включить и масштабный фактор) служит номограмма (рис. 14). Способ пользования ею, аналогичный изложенному выше, понятен из следующего примера.

Дано: $f=0,15$; $\frac{c}{w}=2,4$; $K_p = \frac{1}{6}$. Требуется определить $\alpha_{кр}$.

Ответ $\alpha_1=37^\circ$, $\alpha_2=59^\circ$. Если в данной местности крутизна склонов достигает 55° , то опасны все склоны круче 37° . При коэффициенте расслабления

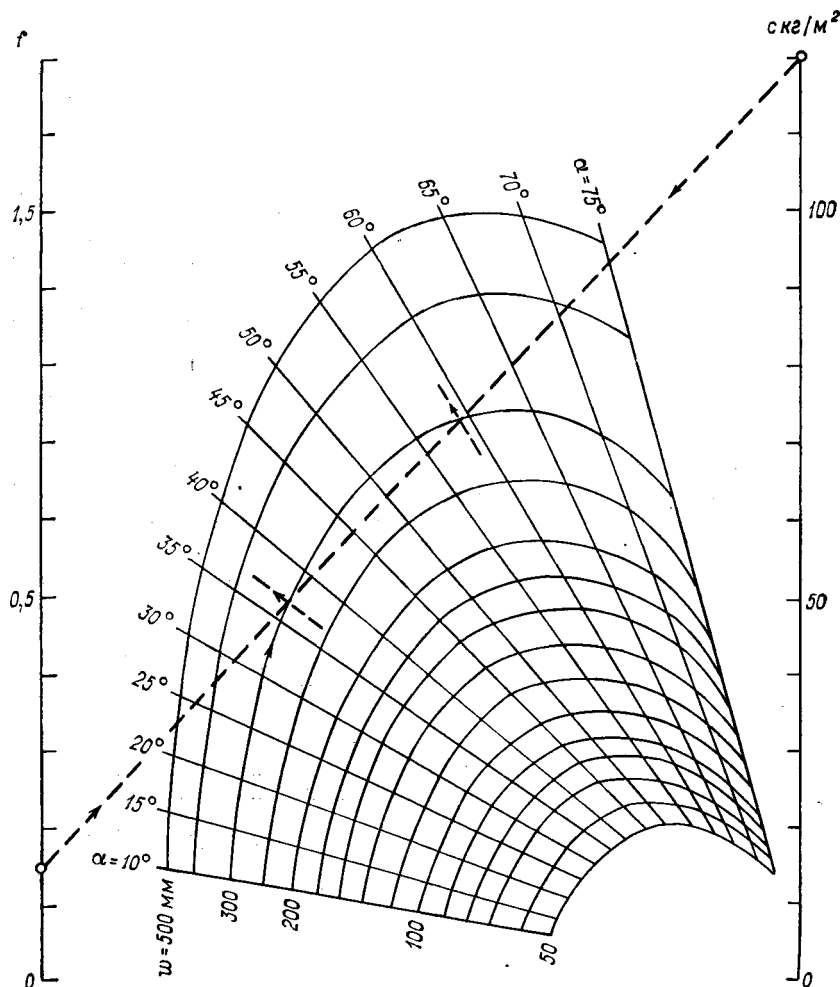


Рис. 13. Номограмма для расчета устойчивости снежного покрова на склонах по методике Ю. Д. Москалева.

$K_p = \frac{1}{10}$ нижний предел лавинной опасности распространяется на склоны крутизной до 23° ; при $K_p \approx \frac{1}{5,5}$ лавинная опасность имеется только на склонах крутизной около 48° , при $K_p < \frac{1}{5,5}$ все склоны могут считаться нелавиноопасными.

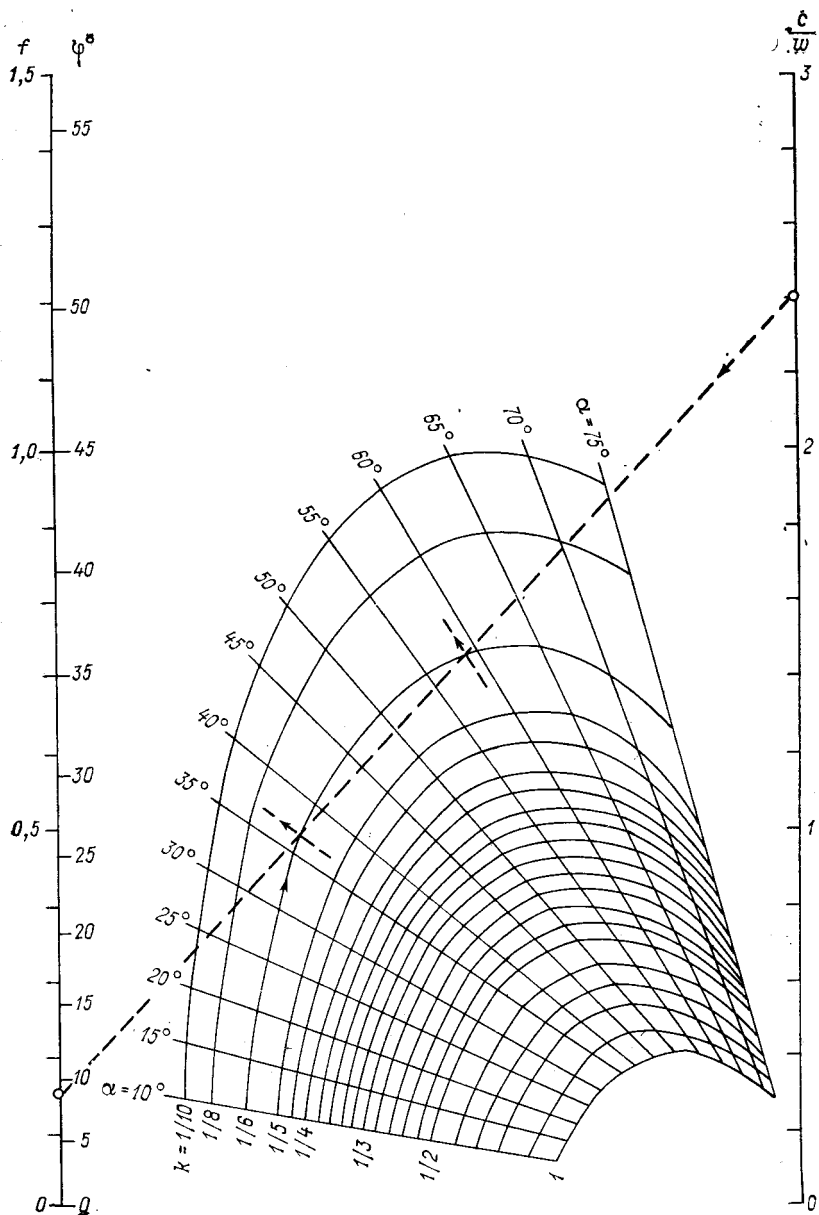


Рис. 14. Номограмма для расчета устойчивости снежного покрова на склонах по методике Ю. Д. Москалева (с учетом коэффициента расслабления снега k)

$$\sin \alpha \cdot \cos \alpha - f \cos^2 \alpha = K \frac{c}{w}.$$

Таким образом, с помощью двух последних номограмм оценка лавинной опасности дается сразу для группы склонов с углами в пределах между критическими значениями.

Если вместо единичного сцепления была измерена прочность снега на сдвиг τ_c при снеговой нагрузке, близкой к наблюдаемой в лавиносборе, то при расчетах по номограммам (рис. 12—14) коэффициент (и угол) внутреннего трения условно приравняется нулю, а вместо c или отношения c/ω берется величина τ_c или соответственно τ_c/ω .

Вместо сдвиговой прочности, для расчетов может приниматься прочность на разрыв, твердость, сопротивление проникновению забивного зонда, лезвию резистографа (прибора для определения и автоматической записи сопротивления снега резанию) или иная условная прочностная характеристика, связанная со сдвиговой прочностью определенным соотношением. При пользовании рис. 14 коэффициент K можно определять как произведение эмпирического переводного коэффициента (измеряемой прочностной характеристики в сдвиговую прочность) на коэффициент расслабления и масштабный фактор.

При снеготаянии или дождях расчетный коэффициент трения принимается в соответствии с формулой [117 и др.]

$$f_p = \frac{\rho_0 d - (1-n) d_b}{\rho_0 d + d_b} f, \quad (1.3.14)$$

а расчетная плотность

$$\rho_p = \rho_0 + \frac{d_b}{d}, \quad (1.3.15)$$

где d и d_b — мощность соответственно рассматриваемого снежного пласта и его водонасыщенной части; ρ_0 — средняя относительная плотность снега при естественной влажности; n — его пористость; f — коэффициент внутреннего трения.

По вычисленным углам лавиноопасных склонов можно нанести на топографическом плане местности контуры лавиноопасных участков. Для этого удобны топографические планы (карты), на которых заранее выделены зоны с различной крутизной склонов (см. «Руководство по снеголавинным работам» [14] п. 100 и рис. 51) или проведены линии равных углов наклона; тогда достаточно заштриховать зоны неустойчивости внутри соответствующих контуров. Эти зоны являются местами возможного зарождения лавин. Производя расчеты устойчивости для склонов разных экспозиций и для разных высотных зон, в качестве исходных величин следует брать водность и физико-механические показатели свойств снежной толщи, измеренные в соответствующих условиях (на репрезентативных пунктах), или вносить необходимые коррективы.

При наличии в снежном покрове ослабленной прослойки снега лавина может возникнуть, если на каком-то участке склона

произойдет разрушение структуры снега в этой прослойке за счет нормальных и касательных напряжений, вызванных весом вышележащей толщи, после чего процесс уничтожения сцепления, удерживающего снег в равновесии, будет продолжаться и лавинообразно прогрессировать.

Для оценки прочности и предрасположенности к разрушению снега в такой прослойке служит (по предложению акад. С. А. Христиановича) известное в механике связно-сыпучих сред соотношение

$$\sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{2} + \tau_{xy}^2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin \varphi = k_c \cos \varphi, \quad (1.3.16)$$

где σ_x, σ_y — нормальные и τ_{xy} — касательное напряжения по площадкам, перпендикулярным осям X и Y в каждой точке среды (ось X направлена горизонтально вдоль ската склона, ось Y вниз); φ — угол внутреннего трения; k_c — коэффициент сцепления (то же, что c — единичное сцепление, т. е. сцепление в снеге на единицу площади сдвига). Напряжение и коэффициент сцепления должны подставляться в формулу (1.3.16) в одной системе единиц (например, кг/м²).

Нормальные напряжения¹ вычисляются по формулам:

$$\sigma_y = \rho h, \quad (1.3.17)$$

$$\sigma_x = \xi \rho h, \quad (1.3.18)$$

касательное напряжение

$$\tau_{xy} = 0, \quad (1.3.19)$$

где ρ — средняя плотность слоя снега над опасной прослойкой, кг/м³; h — глубина этого слоя (измеряемая от поверхности по вертикали), м; ξ — коэффициент распора, равный 0,3—1 (для снега в предельно напряженном пластифицированном состоянии $\xi = 1$, т. е. $\sigma_x = \sigma_y$).

Разрушение структуры снега в опасном горизонте может произойти вследствие внутренних сдвигов в плоскостях наибольших касательных напряжений, независимо от угла склона или поверхностей наложения снега. Если угол склона превышает угол внутреннего трения ($\alpha > \varphi$), то вышележащий слой снега не может удержаться на склоне и образует лавину.

Наиболее опасен такой случай, когда плоскости наибольших касательных напряжений (точнее, одно из двух семейств таких плоскостей) направлены параллельно склону. Тогда критическая мощность снега над слабой прослойкой на ровном склоне в так называемой нейтральной зоне

$$d_{кр} = \frac{2c}{\rho} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right). \quad (1.3.20)$$

¹ Здесь не учитываются напряжения от вязкого уплотнения и ползучести снега.

У верхнего перегиба склона в снежном покрове возникают растягивающие напряжения, а у нижнего перегиба — сжимающие напряжения. Кроме того, по боковым границам пласта действуют срезающие напряжения. Если сцепление в основании снежного пласта уничтожено, а трение мало или отсутствует (что имеет место, если под снежной доской вследствие оседания подстилающего снега или выноса массы образовалась пустота), то снежный пласт удерживается на склоне сопротивлениями по периферии. Тогда этот пласт (снежная доска) находится в опасном напряженном состоянии, готовый в любой момент обрушиться при незначительном воздействии. Ширина B (по горизонтали) и длина L (по скату склона) отрывающейся при этом лавины находятся в отношении $\frac{B}{L} > 1$. В большинстве

случаев $2,5 \leq \frac{B}{L} \leq 10,7$ (в среднем 4,7).

На сопоставлении сдвигающих и удерживающих сил основан также ряд формул для расчета устойчивости снежного покрова на склонах, сводка которых дана в табл. 32 «Руководства по снеголавинным работам» [147].

2. МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ЛАВИН ДЛЯ ОТДЕЛЬНЫХ РАЙОНОВ СССР

Методы прогноза лавин разрабатывались в СССР начиная с 30-х годов сначала в Хибинах, затем на Кавказе. В 50-х годах возникла потребность в прогнозах лавин для Средней Азии, где с этой целью были созданы снеголавинные станции (СЛС), на которых разработан и испытан ряд эмпирических методов прогноза лавинной опасности. В настоящее время созданы и создаются снеголавинные станции в других горных районах СССР. В результате снеголавинных исследований накоплен существенный опыт прогнозирования лавинной опасности для отдельных горных районов.

Ниже излагаются методы прогноза лавинной опасности, разработанные, примененные или испытанные для гор Кольского полуострова, Украинских Карпат, Большого Кавказа, Средней Азии и Южного Сахалина. В отличие от методов, изложенных в предыдущей главе, они являются большей частью региональными или локальными и без существенных изменений могут применяться лишь в том районе, для которого были разработаны или уточнены. Для применения их в других районах требуются предварительные испытания, уточнения и, возможно, некоторые изменения.

2.1. ЛАВИНЫ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Широко известна лавинная опасность Хибинских и Ловозерских тундр, Мончетундры и Чунатундры на Кольском полуострове. Эти районы отличаются большой продолжительностью холодного периода, умеренно суровой зимой, сильными ветрами и значительным метелевым переносом снега. Осадков в горах выпадает до 900 мм в год, из них более половины в твердом виде. Очень часто метели усугубляют лавинную опасность; лавины сходят ежегодно, а в некоторых лавиносборах — по нескольку раз в течение зимы. Время схода лавин — с октября по май.

Методы прогноза лавин разрабатывались в основном для Хибинского массива цехом противолавинной защиты комбината «Апатит». Главное внимание при этом уделялось лавинам из метелевого снега, наиболее обычным для Кольского полуострова. Применялись также методы прогноза лавин сублимационной перекристаллизации и резких температурных изменений (стр. 44—48). В последние годы испытываются методы прогноза лавин, основанные на аэросиноптическом анализе, опознавании образов и многомерном дискриминантном анализе.

2.1.1. Лавины, вызванные метелевым переносом

Использование эмпирического графика для локального прогноза. Прогнозирование лавин из метелевого снега (В. Н. Аккуратов [5] и др.) основывается на данных метелемерных наблюдений, одновременно с которыми ведутся наблюдения за распределением температуры в снежной толще и за температурой воздуха.

Во время метели данные о скорости ветра и интенсивности метелевого переноса, температуре воздуха и снега в хронологическом порядке заносятся в журнал по форме табл. 4.

Таблица 4

Дата	Время	Температура, °С		Ветер		Интенсивность метелевого переноса, г/(см²·мин)	Средняя интенсивность метелевого переноса на данное время, г/(см²·мин.)	Примечание
		снега	воздуха	направление	скорость, м/с			
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Средняя интенсивность метелевого переноса $\bar{q}$ в г/(см²·мин) на данное время вычисляется по формуле

$$\bar{q} = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^n (q_i + q_{i+1}) (t_{i+1} - t_i), \quad (2.1.1)$$

где t_n — время в минутах от начала метели до последнего (n -го) измерения; i — порядковый номер измерения; q_i, q_{i+1} — значение интенсивности метелевого переноса в i и $i+1$ -е измерения, г/(см²·мин); t_i, t_{i+1} — время в минутах от начала метели до i и $i+1$ -го измерения. Для измерения в начальный момент ($i=0$) $t_0=0$ и $q_0=0$.

Для прогноза используется эмпирический график (рис. 15) наступления и окончания лавинной опасности. На этом графике кривая *а* соответствует началу лавинной опасности, кривая *б* — ее окончанию. Горизонтальная прямая *в*, для интенсивности метелевого переноса $1,50 \text{ г/}(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$, проведена из следующих соображений.

Подавляющее большинство лавин с относительно большими объемами имели место при значениях интенсивности метелевого переноса более $1,50 \text{ г/}(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ и только единичные лавины с объемами меньше 100 м^3 наблюдались при меньшей интенсивности метелевого переноса.

Таким образом, если средняя интенсивность не достигала значения $1,5 \text{ г/}(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$, то, как правило, лавинная опасность не объявляется. При значениях интенсивности метелевого переноса более $1,5 \text{ г/}(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ объявляется лавинная опасность, время наступления которой определяется по графику. Например, при $q = 13 \text{ г/}(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ сход лавин возможен через $2,5 \text{ ч}$, при $q = 5 \text{ г/}(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ — через $5,5 \text{ ч}$, а при $q = 1,5 \text{ г/}(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ — через 11 ч после начала метели.

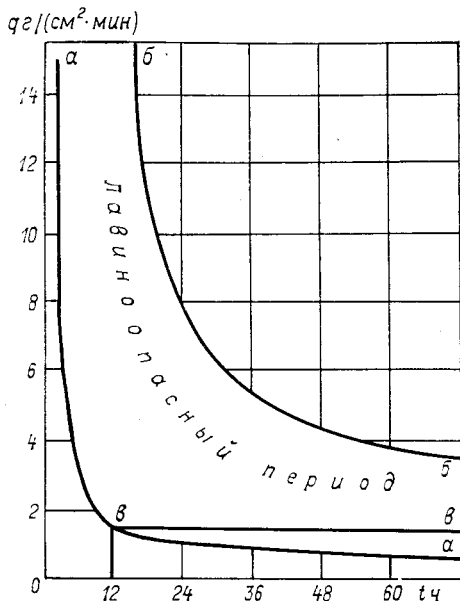


Рис. 15. Продолжительность периода лавинной опасности при метелях.

Пользуясь этим графиком, нужно иметь в виду, что при выдаче предупреждения о лавинной опасности должно учитываться время, необходимое предприятиям для принятия срочных мер согласно аварийным планам. Предупреждение дается за $1,5$ — $2,0 \text{ ч}$ до предполагаемого момента начала лавинообразования. Например, если на данное время $q = 3 \text{ г/}(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ и согласно графику лавинная опасность ожидается через 7 ч от начала метели, то предупреждение дается спустя 5 — $5,5 \text{ ч}$ от начала метели.

Могут быть случаи, когда на данный момент средняя интенсивность метелевого переноса превышает $1,5 \text{ г/}(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$, минуя верхний отрезок кривой *а* (т. е. до этого момента была менее и переходит через значение $1,5 \text{ г/}(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ через 11 ч после

начала метели). В этих случаях предупреждение дается немедленно. Например, в течение 30 ч q не превышало $1,5 \text{ г}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$, а на момент 32 ч от начала метели получены данные, что она превысила это значение. Тогда тотчас же дается предупреждение о лавинной опасности, если в самое ближайшее время не ожидается уменьшение интенсивности метелевого переноса.

В некоторых случаях, несмотря на интенсивный метелевый перенос, лавины не образуются. И наоборот, лавины могут возникнуть при малой интенсивности метелевого переноса или раньше, чем это следует из прогностического графика. Например, если во время слабой метели при нормальных зимних температурах в начале метели с последующим резким понижением температуры отложение метелевого снега происходит на ледяную корку, то возможны лавины и при $q < 1,5 \text{ г}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$. Если, напротив, даже при значительном метелевом переносе снег отлагается на подтаявшую поверхность снежного покрова и одновременно с этим понижается температура воздуха, вследствие чего мокрый снег промерзает, то в этом случае происходит смерзание снега и увеличение сил сцепления, так что накапливающаяся снежной массы недостаточно, чтобы произошло обрушение лавины.

Принятию правильного решения в этих случаях помогает наблюдение за распределением и ходом температуры в снежной толще.

Объявленная лавинная опасность отменяется по окончании метели, хотя по графику может получаться более ранний момент окончания лавинной опасности (например, при $q = 4 \text{ г}/(\text{см}^2 \times \text{мин})$ лавинная опасность прекращается через 54 ч, при $q = 5 \text{ г}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ — через 41 ч, а при $q = 13 \text{ г}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ — через 17 ч после начала метели). Это связано с возможностью повторного схода лавин.

Если же прекращение метели сопровождается дальнейшим значительным понижением температуры воздуха, то лавинная опасность не отменяется, так как создаются условия схода лавин температурного сокращения снега¹. Также не отменяется лавинная опасность и тогда, когда ожидается сход лавин в результате сублимационной перекристаллизации снега.

В двух последних случаях лавинная опасность отменяется только после осмотров, обследований или после принятия профилактических мер (искусственного обрушения или закрепления снега в лавиносборах).

Если по каким-либо причинам не проводятся наблюдения за метелевым переносом, для его косвенного определения следует пользоваться рис. 16. Интенсивность метелевого переноса определяют с помощью этого графика по плотности ρ снега, разрушаемого ветром, и скорости ветра v по анемометру.

¹ См. примечание к стр. 47.

Интенсивность метелевого переноса может ориентировочно определяться по скорости ветра из эмпирических уравнений.

Средняя интенсивность метелевого переноса

$$\bar{q} = 0,051v^2 - 0,233v + 0,140, \quad (2.1.2)$$

максимальная интенсивность метелевого переноса

$$q_{\max} = 0,13v^2; \quad (2.1.3)$$

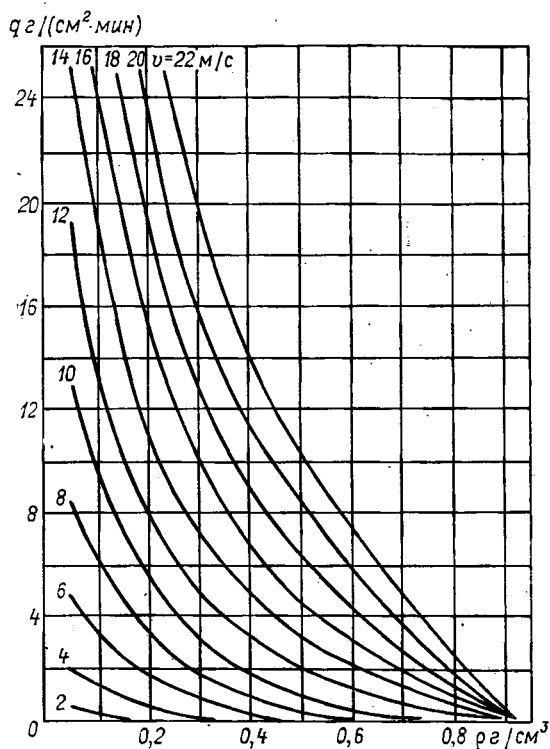


Рис. 16. Зависимость интенсивности метелевого переноса q от его плотности ρ и скорости ветра v .

при метели и поземке в слое высотой 2 м

$$\bar{q} = 0,0129v^2, \quad (2.1.4)$$

где v — скорость ветра, м/с.

2.1.2. Использование аэросиноптического анализа для фонового прогноза

Существующая связь между сходом метелевых лавин и циклонической деятельностью над Фенноскандией и Кольским полуостровом дает возможность разработать фоновый

прогноз схода лавин с достаточно большой заблаговременностью [63].

Для метода фонового прогноза лавин с заблаговременностью 24 ч в качестве исходных материалов использованы наблюдения Мурманского УГМС и цеха противолавинной защиты комбината «Апатит» за период 1935—1971 гг. Лавины, сходящие во время метели, связаны с прохождением над Фенноскандией (и, в частности, Кольским полуостровом) глубоких циклонов с присущей им системой ветрового поля. С ноября по март в среднем проходит 29 циклонов, местоположение центров которых относительно Хибинского горного массива за 24 ч до момента схода лавин принято за основу классификации. Выделено шесть типов опасных синоптических ситуаций: I — центр циклона; II — малоградиентное поле; III — северо-западный, западный циклон; IV — северо-восточный, восточный; V — южный, юго-восточный, юго-западный; VI — северный циклон (табл. 5), которые характеризуются следующим образом.

I — центр циклона находится на севере Скандинавии с последующим смещением в восточном направлении через Кольский полуостров со средней скоростью 25 км/ч. В свободной атмосфере циклон имеет пространственную ось, наклоненную к северо-востоку. Центр циклона по карте АТ₅₀₀ находится в районе островов Земли Франца-Иосифа.

II — малоградиентное поле вызывает сход лавин инсоляционного характера и здесь не рассматривается.

III — северо-западный, западный циклоны находятся над г. Нарьян-Мар и смещаются в восточном направлении. В свободной атмосфере их пространственная ось наклонена в северо-восточном направлении. По карте АТ₅₀₀ центр циклона расположен на о. Новая Земля. Циклону соответствует многочисленная система вторичных холодных фронтов и ветрового поля тылового характера.

IV — северо-восточный, восточный циклоны имеют центр в Северном море, который смещается в северо-восточном направлении. Пространственная ось циклона наклонена в северо-восточном направлении. По карте АТ₅₀₀ центр рассматриваемого циклона расположен в районе Гренландского моря.

V — южный, юго-восточный, юго-западный циклоны. К этому типу отнесены малоподвижные циклоны, находящиеся в южной части Баренцева моря, с вертикальной пространственной осью. Циклонам соответствует сложная система фронтов и слабого ветрового поля в приземном слое на центральной части Кольского полуострова. Характерной особенностью этого типа является различие траекторий движения на Баренцевом море. Циклоны, вызывающие сход лавин, проходят вдоль Мурманского побережья; находящиеся в Баренцевом море циклоны вызывают сход лавин только в том случае, если они мощные, малоподвижные, заполняющиеся.

Таблица 5

Характерные элементы типов циклонов

Тип циклонов	Вероятность циклонов, %	Вероятность схода лавин, %	Продолжительность действия циклона (сутки)		Скорость движения циклонов, м/с			Скорость ветра, м/с			Температура воздуха, °C			Давление в центре циклона (среднее), мбар	Изобарическая пара, мбар/3 ч	Количество осадков за лавиноопасный период, мм		
			Максимальная	Средняя	Максимальная	Средняя	Минимальная	Максимальная	Средняя	Минимальная	Максимальная	Средняя	Минимальная			Максимальное	Среднее	Минимальное
I	14	100	3	1,5	50	25	5	3	1	0	-6	-14	-23	990	3,8/3,1	21	10	0
II	—	—	—	—	—	—	—	12	1,0	0,8	0	-8	-19	1025	2,0/2,4	22	6	0
III	23	65	5	2	51	26	1	23	1	1	-3	-11	-22	1005	3,2/3,4	45	13	1,0
IV	24	94	4	2	53	24	5	15	2	1	0	-10	-19	995	3,5/2,8	32	9	0
V	30	55	6	2	68	22	12	20	5	1	-1	-10	-22	995	3,8/3,8	44	7	0
VI	9	67	3,5	2	37	25	4	13	6	3	0	-11	-19	995	2,9/3,8	31	12	0

VI — северный циклон расположен в районе Псковской области и смещается в восточном направлении. Пространственная ось в свободной атмосфере наклонена в северо-восточном направлении. По карте АТ₅₀₀ центр циклона находится на севере о. Новая Земля.

Оценка скоростей глубоких циклонов и давления в их центре показала, что в лавиноопасные периоды глубокие циклоны малоподвижны, более заполнены, им свойственна температурная асимметричность (контрасты температуры достигают 9—12 °С), что создает условия, благоприятные для перекристаллизации снежного покрова. Кроме того, рост давления в тылу таких циклонов достигает по абсолютному значению 4—5 мбар за 3 ч и превышает падение в первой части. Прохождение циклонов сопровождается обильными осадками над Хибинским горным массивом (20—30 мм, максимум — до 45 мм в сутки). При этом скорость ветра достигает 3—8 м/с; в единичных случаях — 20—25 м/с.

В качестве прогностической информации для анализа используются сведения о местоположении циклонов за 24 ч до схода и в момент схода лавин. В первом случае положение циклонических центров менее определено. В моменты схода лавин они находятся за пределами Кольского полуострова. Каждый тип циклона вызывает лавинную опасность на конкретном горном склоне.

При северной и северо-восточной ориентации склонов сход лавин вызывается I и IV типами циклонов, когда в приземном слое наблюдается ветер юго-западных румбов. Циклоны III и IV типов, вызывающие северо-западные ветры, благоприятствуют сходу лавин на склонах восточной ориентации. В лавинных очагах с юго-восточной экспозицией сход лавин вызывают I, III, IV и V типы циклонов при ветре западных румбов. На южных склонах сход лавин наблюдается при III и V типах циклонов с приземным ветром от восточного, северо-восточного до северо-западного, западного направлений. При юго-западной экспозиции склонов сход лавин вызывают циклоны III, V и VI типов при ветрах северного направления. Сход лавин на западных склонах связан с прохождением циклонов I, III, IV и VI типов, когда наблюдаются ветры северо-восточных и северо-западных направлений в приземном слое. При северо-западной экспозиции склонов к сходу лавин приводят IV и VI типы циклонов, сопровождающихся в приземном слое ветрами восточных румбов.

Фоновый прогноз лавин составляется в результате ежедневного анализа синоптической обстановки с целью своевременного обнаружения выходящих на территорию Кольского полуострова глубоких циклонов и качественной оценки параметров циклонических систем.

Проведенный анализ позволяет также составлять фоновый

крупномасштабный прогноз по территории, не превышающей 15—50 км².

Как показывает анализ табл. 5, метод В. А. Ижболдиной имеет в основном диагностический характер, поскольку только при I и IV типах погоды дает высокую вероятность схода лавин. При этом ситуация I типа прогнозируется неоднозначно, а наиболее вероятная ситуация V типа дает самые худшие результаты при ожидании лавин (всего 55 %). Тем не менее такого рода анализы представляются исключительно полезными.

Применение метода опознавания образов. Ниже приводится пример опознавания лавиноопасных ситуаций в одном лавинном очаге в Хибинах [175 и др.]. При этом все рассматривавшиеся ситуации описывались с помощью обычного для этого района комплекса оперативных метеорологических данных о метелях, а сама работа проводилась с целью проверки принципиальной возможности использования этого комплекса для оперативного прогноза опасности лавин метелевого типа в Хибинах.

По данным многолетних наблюдений, решающее влияние на сход лавин метелевого типа в районе комбината «Апатит» оказывают: Q — суммарный перенос снега за время метели, г/см²; $q_{\text{ср}}$ — средняя интенсивность метелевого переноса за время метели, г/(см²·мин); T — продолжительность метели, мин; φ — азимут главного направления метелевого переноса, град.

Значения первых трех из этих параметров брались непосредственно из ведомостей обработки метелей, а φ вычислялся по формуле

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^{16} \varphi_i Q_i}{Q}, \quad (2.1.5)$$

где φ_i — среднее направление i -го румба в градусах; Q_i — суммарный перенос снега за время метели в направлении i -го румба ($Q = \sum_{i=1}^{16} Q_i$).

Направления φ_i для различных i равны соответственно: φ_1 — 0° (С), φ_2 — 22,5° (ССВ), φ_3 — 45° (СВ), φ_4 — 67,5° (ВСВ) и т. д. В тех случаях, когда сектор активного переноса включает в себя направление на север, вместо углов φ_i , отвечающих направлениям ССЗ, СЗ, ЗСЗ, З и т. д., подставляются дополнения $\varphi'_i = 360^\circ - \varphi_i$ этих углов до угла 360°, которые берутся с обратным знаком: —22,5°, —45°, —67,5°, —90° и т. д.

Помимо этих стандартных для лавин метелевого типа параметров, был введен еще один — разброс метели $\Delta\varphi$, который выражается в градусах и вычисляется как среднее квадратическое

по интенсивности отклонение фактического направления метелевого переноса от его главного направления по формуле

$$\Delta\varphi = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{16} (\varphi_i - \varphi)^2 Q_i}{Q}}. \quad (2.1.6)$$

Этими параметрами характеризовались только те метели, которые не заканчивались падением лавин, а также те, которые предстояло опознать.

Для метелей же, при которых наблюдались лавины, расчет параметров производился за период с момента начала метели до момента схода лавины. Таким образом было описано 10 метелей, при которых сошли лавины. Кроме того, с помощью определенных выше T , φ и $\Delta\varphi$ было описано 12 метелей, при которых лавин не было.

Опробование проводилось на 30 метелях, из которых семь вызвали сход лавин. Для этого применялась программа опознавания образцов «Поиск», которая позволяет также проводить корреляционный дисперсионный и информационный анализ используемых параметров.

Так, в результате вычисления оценок коэффициентов взаимной корреляции между различными параметрами «метелей с лавинами» и «метелей без лавин» были получены таблицы этих оценок (табл. 6 и 7 соответственно), а в результате вычисления оценок значимости (информативности) использовавшихся параметров — табл. 8¹.

Таблица 6

Корреляционная матрица определяющих параметров метелей с лавинами

	Q	$q_{\text{ср}}$	$\Delta\varphi$	T
Q	1,000			
$q_{\text{ср}}$	0,718	1,000		
$\Delta\varphi$	-0,228	-0,275	1,000	
T	0,895	-0,345	-0,465	1,000

Анализ этих данных позволяет сделать ряд выводов.

Во-первых, устойчиво высокий коэффициент корреляции между Q и $q_{\text{ср}}$, с одной стороны, и Q и T — с другой, в обоих классах указывает на то, что информация, содержащаяся в параметре Q , в значительной степени дублируется информацией, которая содержится в параметрах $q_{\text{ср}}$ и T . (Вообще говоря, эти

¹ Выводы этих таблиц следует рассматривать как предварительные, поскольку они получены на ограниченном статистическом материале. (Прим. ред.)

Таблица 7

**Корреляционная матрица определяющих параметров
метелей без лавин**

	Q	$q_{\text{ср}}$	$\Delta\varphi$	T
Q	1,000			
$q_{\text{ср}}$	0,816	1,000		
$\Delta\varphi$	0,592	0,754	1,000	
T	0,981	0,788	0,589	1,000

Таблица 8

Оценка значимости определяющих параметров

Параметр	Оценка значимости	Место
Q	0,037	IV
$q_{\text{ср}}$	0,553	I
T	0,152	III
φ	—	—
$\Delta\varphi$	0,278	II

параметры тесно связаны между собой простейшим соотношением $Q = q_{\text{ср}}T$ и данный вывод мог бы быть получен и без анализа корреляционных связей между ними. Однако столь же легко представить себе и ситуации, в которых такого рода связи были бы менее очевидными). Поскольку к тому же значимость Q очень мала (0,067), то его вообще можно исключить из комплекса используемых параметров без существенного ухудшения качества опознавания.

Напротив, параметр $\Delta\varphi$ вполне оправдал себя, поэтому в дальнейшем его целесообразно вычислять и использовать в качестве определяющего для опознавания лавиноопасных ситуаций.

Но эту рекомендацию следует рассматривать не в качестве категорической — для этого слишком мал объем материала, который здесь проанализирован, а просто в качестве одного из примеров рекомендаций, которые могут быть сделаны при такого рода анализе.

Очевидно, что коэффициенты, изменяющие знак при переходе от класса «метелей с лавинами» к классу «метелей без лавин», сами могут рассматриваться в качестве новых высокоинформативных параметров и могут включаться в общий комплекс определяющих параметров на равных правах с «обычными».

То же самое справедливо и по отношению к коэффициенту корреляции между T и $q_{\text{ср}}$.

Такого же рода анализы следует по возможности проводить для каждого очага или группы очагов лавинной опасности, для которых организуется служба прогнозирования, а также для комплекса параметров, которые предполагается использовать для этих целей.

Применение многомерного дискриминантного анализа. Метод линейного дискриминантного анализа испытывался для оценки опасности, связанной с возникновением лавин метелевого типа в Хибинах, по данным горно-лавиного бюро «Юкспор» с использованием программы «Альтернатива» (П. А. Черноус [182]). Все метели подразделялись на два класса: лавинные и нелавинные — и характеризовались восемнадцатью числовыми параметрами:

- x_1 — осадки за метель, мм;
- x_2 — осадки с начала снегопада, мм;
- x_3 — продолжительность метели, мин;
- x_4 — средняя интенсивность, метели, г/(см²·мин);
- x_5 — максимальная интенсивность метели, г/(см²·мин);
- x_6 — средняя скорость ветра за метель, м/с;
- x_7 — максимальная скорость ветра за метель, м/с;

суммарные переносы по румбам за метель, г/см²:

- x_8 — северный,
- x_9 — северо-восточный,
- x_{10} — восточный,
- x_{11} — юго-восточный,
- x_{12} — южный,
- x_{13} — юго-западный,
- x_{14} — юго-восточный,
- x_{15} — западный,
- x_{16} — средняя температура воздуха за метель, °С,
- x_{17} — минимальная температура воздуха за метель, °С,
- x_{18} — максимальная температура воздуха за метель, °С.

К лавинным относились метели, во время которых сошла хотя бы одна лавина в специально выбранной для эксперимента группе из четырех лавинных очагов. Выбранные лавинные очаги имеют общую область питания, одинаковую экспозицию и сходную форму. Значения признаков в лавинных метелях брались до момента схода лавины, а в нелавинных метелях — до конца метели.

Оценка параметров генеральных совокупностей проводилась на основании обучающей выборки из 50 лавинных и 100 нелавинных метелей, независимая выборка состояла из 10 лавинных и 91 нелавинной метели.

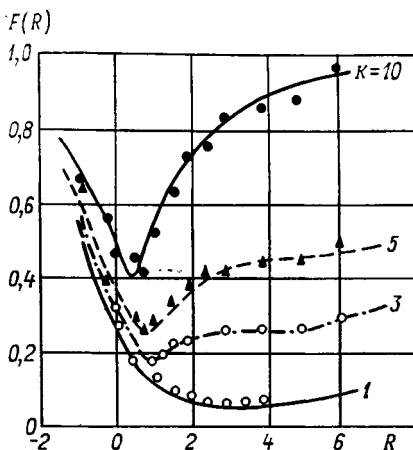
Так как используемые признаки распределены не строго нормально, значение порога R_0 выбиралось эмпирически после построения дискриминантных функций с таким расчетом, чтобы оно обеспечивало минимум средних потерь, т. е. минимизировалась форма (рис. 17)

$$F(R) = p\alpha(R) + \beta(R), \quad (2.1.7)$$

где $p = \frac{q_1}{q_2}$, q_1 и q_2 — априорные вероятности появления объектов первого и второго классов; $k = \frac{C(2/1)}{C(1/2)}$; $C(1/2)$, $C(2/1)$ — цены потерь от неправильного распознавания объектов, принадлежащих генеральным совокупностям соответственно второго и первого классов; α и β — характеристики ошибок первого и второго рода; R — сводный коэффициент корреляции.

Величина k задается непосредственно потребителем. Результаты разделения ситуаций при метелях на лавиноопасные и нелавиноопасные при $k = 10$ представлены в табл. 9, где $\Phi_{1,2}$ — фактически наблюдавшиеся метели (лавинные, нелавинные); $\Pi_{1,2}$ — метели, клас-

Рис. 17. Зависимость $F(R)$ при различных значениях k . Минимумам $F(R)$ соответствуют оптимальные значения порога R_0 , $p \approx 0,1$, т. е. на десять нелавинных метелей приходится одна лавинная.



сифицированные с помощью дискриминантной функции; Q — мера успешности альтернативного прогноза ($Q = 1 - \alpha - \beta$).

Таблица 9

Таблица оправдываемости

	Обучение		Экзамен	
	Π_1	Π_2	Π_1	Π_2
	Φ_1 Φ_2			
	30	20	6	4
	3	97	3	88
	$\alpha = 0,40; \beta = 0,03;$ $Q = 0,57$		$\alpha = 0,40; \beta = 0,03;$ $Q = 0,57$	

В качестве оценки информативности признаков использовалась величина

$$V_i = \frac{\lambda_i (\bar{x}_i^{(1)} - \bar{x}_i^{(2)})}{\sum_{i=1}^p \lambda_i (\bar{x}_i^{(1)} - \bar{x}_i^{(2)})} \cdot 100 \%, \quad (2.1.8)$$

называемая вкладом i -го признака в расстояние между

классами. Здесь λ_i — коэффициенты дискриминантной функции; $\bar{x}_i^{(1)} - \bar{x}_i^{(2)}$ — осредненные значения параметров для метелей 1 и 2-го классов. Вклад каждого признака в расстояние между классами приводится в табл. 10, где фигурируют 13 признаков из 18, выделенные последовательным исключением зависимых признаков.

Таблица 10

Оценка информативности признаков

Признаки x_i	x_1	x_2	x_3	x_5	x_6	x_8	x_9
Вклады V_i %	15,2	13,6	7,4	7,6	6,4	9,2	4,5
Признаки x_i	x_{10}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	
Вклады V_i %	7,4	4,3	10,0	0,2	4,9	6,3	

Оказалось, что наиболее существенно для прогноза лавин метелевого типа учитывать количество осадков; средняя температура воздуха практически не имеет значения для задачи разделения, в то время как минимальная и максимальная температуры вносят довольно значительные вклады.

Изложенный метод разделения ситуаций при снегопадах и метелях на лавиноопасные и нелавиноопасные легко трансформировать в прогноз, если в качестве признаков использовать прогнозируемые элементы или учитывать заблаговременность прогноза при расчете периода существования данной ситуации.

2.1.3. Весенние лавины из мокрого снега

Процесс формирования мокрых лавин подразделяется на два периода: предлавинный и лавиноопасный [131].

Сходу мокрых лавин в Хибинах предшествует погода с общей тенденцией повышения суточной температуры воздуха до небольших положительных значений со слабыми, реже средней силы ветрами. Упругость водяного пара в воздухе обычно остается менее 6,1 мбар. Преобладают дни с малой или переменной облачностью. Иногда возможно выпадение жидких осадков. Суточные нормы радиационного баланса нарастают от отрицательных до положительных значений, причем в те дни, когда они бывают отрицательными, часовые суммы могут быть положительными.

Тепло, поступающее к поверхности снежного покрова (в основном за счет лучистого теплообмена), затрачивается на повышение его температуры (прежде всего в верхних слоях), испарение и в незначительной мере таяние. Таким образом, в снежном покрове уменьшается запас холода, увеличивается влажность (в отдельных слоях до водоудерживающей способности снега) и усиливается перекристаллизация. С укрупнением снежных зерен и увеличением размеров пор создаются предпосылки для

быстрой фильтрации талой воды в нижние горизонты снежной толщи.

Если подобные условия погоды сохраняются длительное время, то перекристаллизация снега распространяется на всю его толщу, которая приобретает однородное строение, в результате чего исчезают прослойки с низкой водопропускной способностью. В однородной перекристаллизовавшейся снежной массе, даже при значительной интенсивности таяния, вода свободно фильтруется сквозь пласт снега; и если она впитывается подстилающей поверхностью, то возникновение мокрых лавин становится маловероятным.

Интенсивность процесса перекристаллизации зависит не только от условий погоды, но и от экспозиции, крутизны и других особенностей склонов, на которых залегают снежный покров. Перекристаллизация протекает наиболее активно на склонах южной ориентации, видимо, вследствие повышенной солнечной радиации и вызываемого ею таяния. Поэтому к моменту, когда, например, на северном склоне перекристаллизация снега еще продолжается, на южных склонах она может распространиться на всю его толщу.

Большие лавины из мокрого снега в Хибинах вероятны прежде всего в том случае, когда до завершения процесса перекристаллизации снега период постепенного потепления и малоинтенсивного таяния сменяется периодом резкого увеличения интенсивности поступления воды в снежный покров. Подобные условия следует ожидать при адвекции теплого влажного воздуха, сопровождаемой сильными ветрами, пасмурной с осадками или сравнительно малооблачной погодой, когда значение радиационного баланса показывает существенный дополнительный приток лучистой энергии. Этот период, с которым связано возникновение непосредственной лавинной опасности, характеризуется следующими условиями:

- 1) температура воздуха остается положительной или возрастает до еще больших значений, чем в предлавинный период;

- 2) упругость водяного пара в воздухе превышает 6,1 мбар; на поверхности снега происходит конденсация; тепло, поступающее к снегу, затрачивается только на таяние;

- 3) скорость ветра усиливается и на высоте флюгера достигает 16—20 м/с (в порывах она превышает 30 м/с); при таких условиях турбулентный обмен между воздухом и снежным покровом становится значительным;

- 4) выпадает большое количество осадков, что особенно вероятно в период интенсивной адвекции.

При отсутствии осадков и переменной облачности или в малооблачную погоду лучистый теплообмен является существенным дополнительным источником тепла для снеготаяния.

Прогноз мокрых лавин, основанный на этих метеорологических признаках, дополняется изучением строения снежной толщи

и может быть уточнен расчетами мощности водонасыщенного слоя и устойчивости снежного покрова методами, изложенными в главе 1 (стр. 61—63).

2.2. ЛАВИНЫ УКРАИНСКИХ КАРПАТ

Условия схода снежных лавин здесь изучены недостаточно.

В результате анализа метеорологической обстановки в периоды схода лавин, а также условий формирования снежного покрова выяснено, что в горных условиях основное влияние на распределение снежного покрова оказывает ветер. В течение

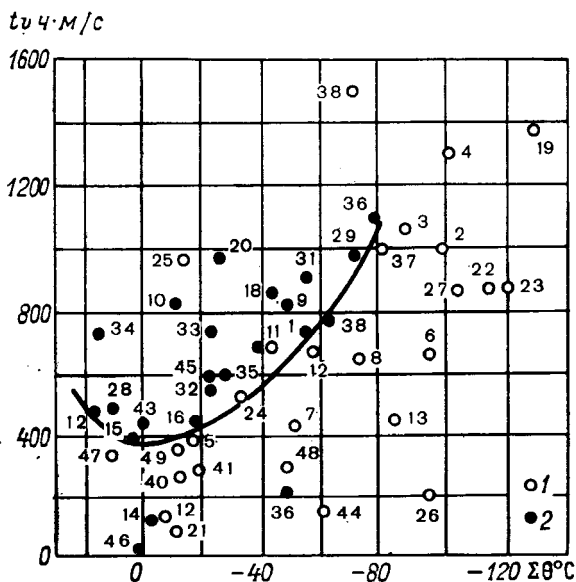


Рис. 18. Связь лавинообразования со значениями t_v и $\Sigma \theta$ при юго-западных, южных и западных ветрах в центральной части Черногорского хребта (Украинские Карпаты).

Сход лавин: 1 — не наблюдался, 2 — наблюдался.

трехлетнего периода исследований в центральной части Черногорского хребта на участке с высотами 1400—2000 м абс. перераспределение снега происходило под действием южных, юго-западных и западных ветров при наибольшей повторяемости ветра юго-западного направления. Действием ветров указанных направлений было обусловлено формирование 70 % всех лавин. Остальные лавины сходили под влиянием оттепелей.

Для расчета времени наступления периода лавинной опасности (по Б. И. Новикову¹) учитываются значения двух основных

¹ См. [95].

лавинообразующих факторов: ветра юго-западной четверти, способствующего накоплению снега в лавиносборах, и температуры воздуха, определяющей устойчивость отложенного на склоне снега. Действие ветра определяется произведением средней скорости v на его продолжительность t . Устойчивость снежного покрова на склонах косвенно определяется по сумме срочных значений температуры воздуха $\sum \theta$. Предварительным условием лавинообразования является наличие определенного количества осадков, которое необходимо для сглаживания неровностей поверхности лавиносборов. Указанные параметры были рассчитаны за весь период от начала метели до момента схода лавины. По данным лавинообразующих параметров tv и $\sum \theta$ построены зависимости для всех наблюдаемых случаев схода лавин (рис. 18). Группировка точек на графике позволила провести огибающую кривую области, где значения параметров соответствуют лавиноопасной ситуации. Попадание нанесенных точек, взятых для произвольного случая, на огибающую кривую позволяет определить начало лавиноопасного периода.

2.3. ЛАВИНЫ В ГОРАХ БОЛЬШОГО КАВКАЗА

С давних пор известно о лавинной опасности в горах Кавказа, особенно Большого Кавказа. Методы прогноза лавин создавались прежде всего для районов Крестового перевала и Дарьяльского ущелья. В последние годы разрабатывается методика прогнозирования лавин в Приэльбрусье. Большое внимание уделяется современным методам прогноза с применением ЭВМ.

Первым был предложен расчетный (аналитический) метод прогноза лавин по оценке устойчивости снега на склонах [13, 157], который развивался далее в работах Высокогорного геофизического института [185, 192].

Для районов Дарьяльского ущелья и Кабардино-Балкарии предложен климато-метеорологический метод прогноза лавин [54, 184], который может быть использован и в других районах Большого Кавказа. На территории Кабардино-Балкарии используются три метода прогноза времени схода снежных лавин: 1) качественный (который сводится к оценке лавинной опасности по признакам, перечисленным на стр. 10—14); 2) количественный, или аналитический (см. стр. 69, 76), и 3) климато-метеорологический, в основных чертах совпадающий с методом, основанным на учете десяти лавинообразующих факторов (см. стр. 18—29). Для прогнозирования лавин в Приэльбрусье оценка этих десяти факторов дополнялась анализом комплексных графиков снего-метеорологических элементов (см. стр. 39).

Для района Крестового перевала разработан эмпирический метод прогноза лавин при снегопадах [180 и др.] и при оседании

снега [1], с некоторыми изменениями пригодный и для других горных районов.

2.3.1. Лавины при снегопадах и оседании снега

Наблюдения на Крестовом перевале показали, что из всех снего-метеорологических элементов в лавинообразовании наиболее важной является мощность снежного покрова, причем лавины наблюдаются как при росте мощности снежного покрова (вследствие снегопада), так и при оседании снега. Например, лавины в период оттепелей, снеготаяния и выпадения дождя на поверхность снега наблюдаются при оседании снежного покрова. В соответствии с этим разработаны методы прогноза лавин: а) в период роста высоты снежного покрова, б) в период оседания снежного покрова.

Исследование повторяемости схода лавин в зависимости от метеорологических условий показало, что на территории Закавказья преобладают лавины во время снегопадов. Они составляют до 50 % общего числа наблюдаемых лавин. Но при этом не каждый снегопад вызывает сход лавин из-за различного количества осадков.

Так, например, за зимние периоды 1961—1966 гг. на снеголавинной станции Крестовый Перевал снегопады повторялись 173 раза, на метеостанции Цкаре за тот же период — 99 раз, а сход лавин соответственно наблюдался 31 и 18 раз, что составляет 18 % числа снегопадов. Анализ материалов наблюдений показал связь между повторяемостью схода лавин и повторяемостью снегопадов с суммами осадков более 30 мм: за период 1961—1966 гг. в районе Крестового Перевала снегопады с суммами осадков более 30 мм имели место 39 раз, а сход лавин наблюдался 31 раз. Тесная связь этих явлений наблюдалась также в районе метеостанции Цкаре. Здесь обильные снегопады (свыше указанной суммы осадков) наблюдались 25 раз, а лавины сходили в 18 случаях. Несоответствие между повторяемостями сильных снегопадов и схода лавин объясняется влиянием ряда факторов, среди которых отчетливо выделяется мощность старого снежного покрова, в зависимости от которой в довольно значительных пределах изменяются критические значения суммы осадков и мощности свежевыпавшего снега.

Сопоставление основных метеорологических условий до и в период схода лавин свежевыпавшего снега показало, что их сход наблюдается на второй—шестой день после начала снегопадов. За начало снегопадов принималось время устойчивого перехода относительной влажности воздуха через 75 % в сторону повышения, что является одним из прогностических признаков выпадения осадков, определяющим заблаговременность лавинного прогноза.

Продолжительность периода от устойчивого перехода средней суточной относительной влажности воздуха через 75 % до схода лавин, как отмечалось выше, изменяется от 2 до 6 дней и зависит главным образом от начальной высоты снежного покрова и количества выпадающих осадков.

Таким образом, задача прогноза даты схода лавин свежевыпавшего снега заключается в определении той минимальной

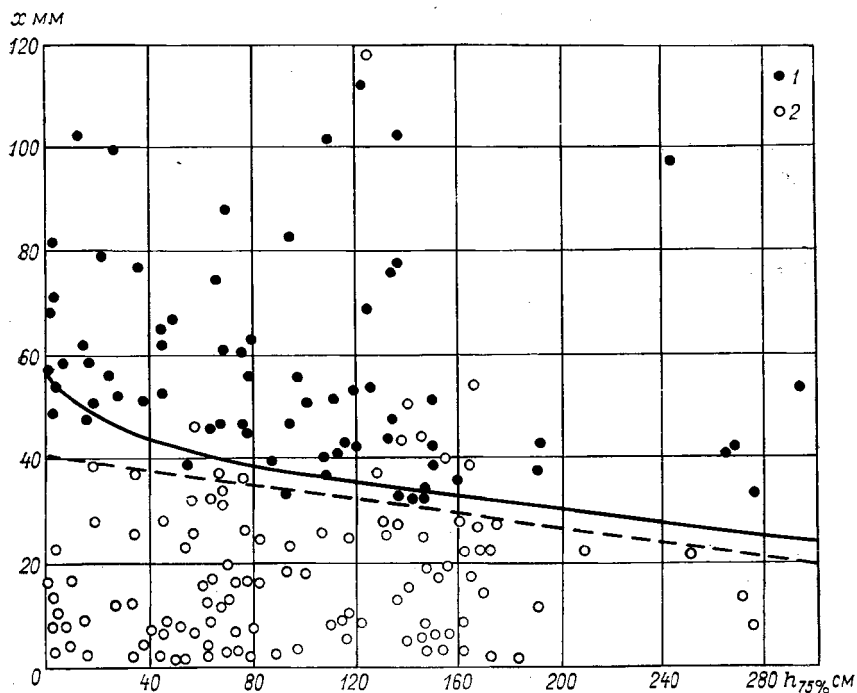


Рис. 19. Связь лавинообразования с суммой осадков x и начальной высотой снежного покрова $h_{75\%}$ при снегопадах.

Сход лавин: 1 — наблюдался, 2 — не наблюдался.

суммы осадков x , которая необходима для схода лавин при различной начальной высоты снежного покрова $h_{75\%}$ (рис. 19).

На рис. 19 приводятся также данные, когда относительная влажность воздуха переходила через 75 %, но лавин вследствие накопления осадков не было. Все эти точки расположены ниже кривой, ограничивающей область с наличием точек для ситуаций, когда наблюдался сход лавин. Таким образом, если значение количества осадков находится выше кривой, то возможен сход лавин свежевыпавшего снега, а если ниже — то сход лавин не ожидается. Эта граничная кривая является расчетной для

минимальной суммы осадков, необходимой для схода лавин. Она эмпирически выражается уравнением

$$x_n = 55 - 1,8 \sqrt{h_{75\%}}, \quad (2.3.1)$$

где x_n — сумма осадков, необходимая для схода лавин свежеснежавшего снега, мм; $h_{75\%}$ — высота снежного покрова в этом же районе накануне устойчивого перехода средней суточной относительной влажности воздуха через 75 %¹, см.

Чтобы составить лавинный прогноз, вначале определяют дату устойчивого перехода средней суточной относительной влажности воздуха через 75 % и высоту снежного покрова ($h_{75\%}$) накануне перехода относительной влажности через 75 %. По значению $h_{75\%}$ находят сумму осадков (x_n), необходимую для образования лавин свежеснежавшего снега.

По данным метеостанции и прогноза погоды устанавливают дату накопления x_n и, прибавив один день, получают прогнозируемую дату схода лавин.

Оценка предлагаемой методики производится путем сопоставления вычисленных по формуле (2.3.1) и фактических дат схода лавин свежеснежавшего снега. В результате проверки оказалось, что в 75 % всех случаев ошибки не превышают 1 день. Обеспеченность метода составляет 92 %.

Аналогично используется для прогнозов лавин связь схода лавин свежеснежавшего снега с высотой снежного покрова накануне перехода относительной влажности воздуха через 75 % и высотой снежного покрова в момент схода лавин (рис. 20). Прямая, разделяющая два класса точек, служит для определения минимальной высоты снежного покрова, необходимой для схода лавин (h_n). Уравнение этой прямой дает расчетную формулу²

$$h_n = 55 + 0,9h_{75\%}, \quad (2.3.2)$$

откуда

$$\Delta h_n = 55 - 0,1h_{75\%}, \quad (2.3.3)$$

где h_n — минимальная высота снежного покрова, необходимая для схода лавин, см; Δh — высота свежеснежавшего снега, при которой сходят лавины, см.

Проверочные расчеты показали, что даты схода лавин свежеснежавшего снега, рассчитанные по формулам (2.3.2) и (2.3.3),

¹ Лучшее разделение областей графика обеспечивает прямая (на рис. 19, штриховая линия), имеющая уравнение $x = 40 - 0,07h_{75\%}$, где x — в мм, $h_{75\%}$ — в см.

² Лучшее разделение областей графика обеспечивает прямая (рис. 19, штриховая линия) с уравнением $h = 40 + 0,9h_{75\%}$, где h и $h_{75\%}$ — в см, откуда $\Delta h = 40 - 0,1h_{75\%}$.

имеют более высокую оправдываемость, чем по формуле (2.3.1); ошибки ± 1 день и менее по формуле (2.3.1) имеют обеспеченность 94 %, а по формулам (2.3.2) и (2.3.3) — 96 %.

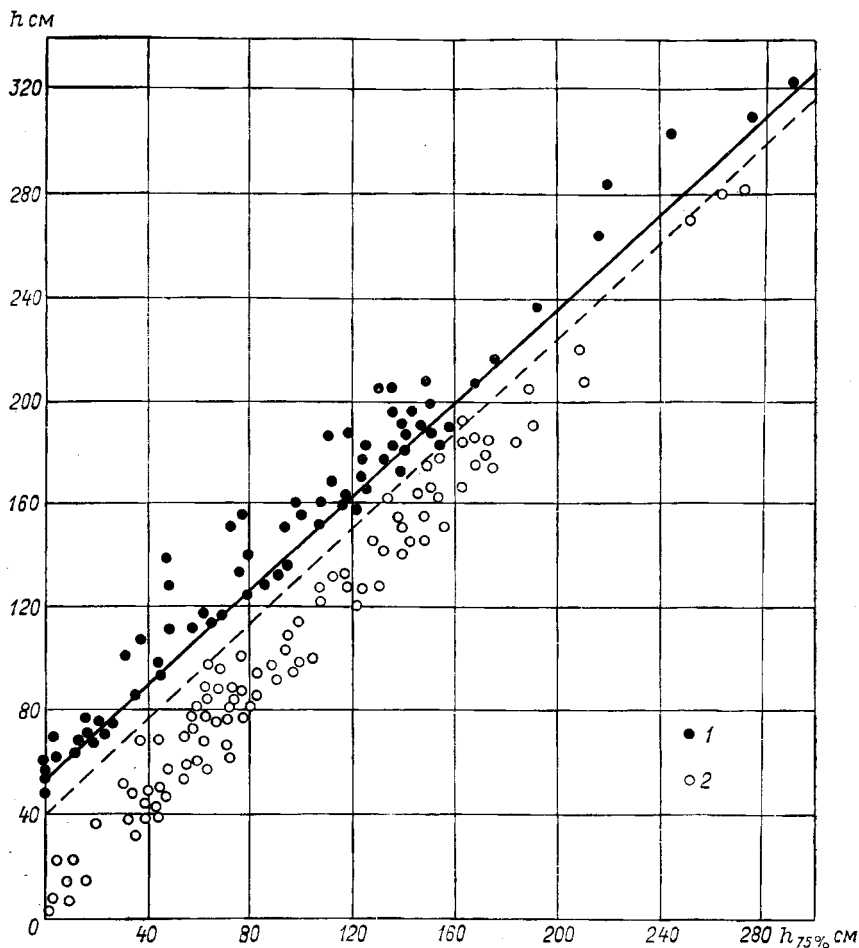


Рис. 20. Связь лавинообразования с начальной $h_{75\%}$ и текущей h высотой снежного покрова.

Сход лавин: 1 — наблюдался, 2 — не наблюдался.

Оседание снега, необходимое для схода лавин на Кавказе, изменяется в широких пределах (от 10 до 70 см) и в значительной степени зависит от количества предшествующих снегопадов. Чем больше осадков выпало за снегопад, а следовательно, больше и прирост снега за предшествующий период, тем больше оседание снежного покрова. Так, например, при снегопаде более

10 мм слоя воды оседание снега не превышает 17 см, при снегопаде 11—20 мм — 24 см, при снегопаде 21—50 мм — 47 см, а при снегопаде более 50 мм оседание достигает 70 см.

Для определения того критического оседания снега, при котором может возникнуть лавина, используются данные о максимальной высоте снежного покрова в день начала оседания H , высоте снежного покрова в день схода лавин H_n и интенсивности оседания снега $i = \frac{H - H_n}{t}$. Продолжительность (t) раз-

вития процессов оседания снега, вызывающих сход лавин, тем меньше, чем интенсивнее идет процесс оседания. Если известна интенсивность оседания снежного покрова, то можно определить продолжительность процесса оседания снежного покрова, вызывающего сход лавин:

$$t = \frac{H - H_n}{i}, \quad (2.3.4)$$

Величину i приближенно можно определить по формуле

$$i = \frac{H - H_n}{n}, \quad (2.3.5)$$

где n — число дней после наблюдения H , для расчета принятое равным двум дням, так как интенсивности оседания снежного покрова, рассчитанные на первые два дня, очень близки к интенсивности для всего периода оседания до даты схода лавин. Тогда

$$t = n \frac{H - H_n}{H - H_n}. \quad (2.3.6)$$

Здесь неизвестно H_n . Наблюдения показывают, что H_n близко к высоте снега до начала снегопада H_0 . Связь между H_n и H_0 установлена через H , так как при этом она получается более тесной, чем в других случаях.

Связь между H_n/H и H_0/H показана на рис. 21 и выражается эмпирическим уравнением¹

$$\frac{H_n}{H} = 0,17 + 0,8 \frac{H_0}{H}, \quad (2.3.7)$$

откуда

$$H_n = 0,17H + 0,8H_0 \quad (2.3.8)$$

и

$$t = n \frac{0,83H - 0,8H_0}{H - H_n}. \quad (2.3.9)$$

¹ Точкам на графике лучше всего отвечает прямая (рис. 21, штриховая линия), $H_n/H = 0,465 \cdot (H_0/H + 1)$, откуда $H_n = 0,465 \cdot (H_0 + H)$ и с учетом формулы (2.3.6) $t = n \cdot \frac{0,535H + 0,465H_0}{H - H_n}$.

В формулы входят характеристики снежного покрова H_0 , H_n , H , получаемые по данным наблюдений на метеоплощадке, и известные к моменту выпуска прогноза. Согласно этим характеристикам, по формуле (2.3.9) определяют t — время в сутках, необходимое для развития процессов оседания снежного покрова, вызывающих сход лавин. Прибавляя его к дате наступления максимальной высоты снежного покрова H , находят прогнозируемую дату схода лавин.

Прогнозы не составляются в тех случаях, когда:

1) оседание происходило при H менее 55 см — критической высоты снежного покрова¹;

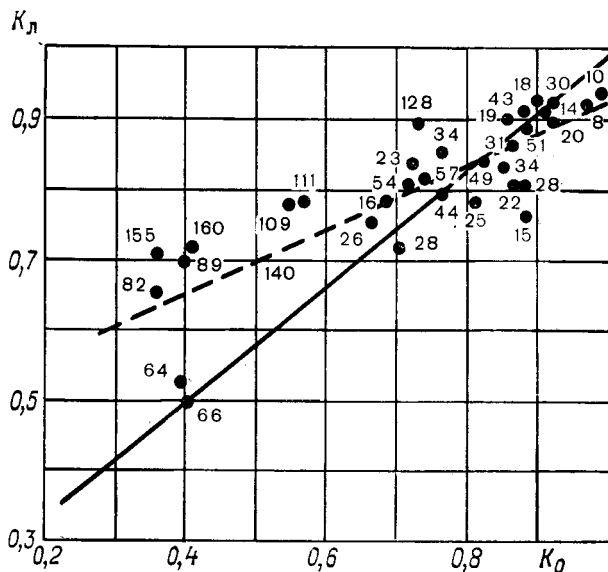


Рис. 21. Связь коэффициента оседания $K_{л} = H_{л}/H$ с коэффициентом роста $K_0 = H_0/H$ снежного покрова.

У точек показаны суммы осадков в мм за время возрастания высоты снежного покрова от H_0 до H .

2) осадки до наступления высоты H имели значение менее 10 мм (осадки менее 10 мм являются недостаточной нагрузкой для достижения критического значения интенсивности оседания снежного покрова);

3) лавины сходили повсеместно в период снегопадов и лавиноопасные склоны разгрузились от снега.

Проверка методики показала, что число случаев, имеющих отклонения от фактических дат ± 1 день, составляет 73 %.

¹ При разделении лавиноопасных и нелавиноопасных снегопадов на рис. 20 и 19 штриховой линией эта высота снижается до 40 см.

а ± 2 дня — 80 %. Обеспеченность метода 98 %. В результате применения интервала в 3 дня ($n = 3$) точность расчета улучшается.

Ход высоты снежного покрова, как известно, характеризуется чередованием роста и оседания. Поскольку в обоих случаях наблюдается сход лавин (при критических значениях соответствующих параметров), то в оперативной работе по прогнозу лавин необходимо использовать оба метода совместно.

Расчет даты схода лавин должен проводиться в следующей последовательности: определяются дата устойчивого перехода относительной влажности воздуха через 75 % или дата начала снегопадов и высота снежного покрова $h_{75\%}$ накануне перехода относительной влажности воздуха через 75 % или выпадения осадков. По $h_{75\%}$ вычисляется сумма осадков x_n и минимальная высота снежного покрова h_n , необходимые для схода лавин свежевыпавшего снега, соответственно из уравнений (2.3.1) и (2.3.2) или (2.3.3).

Если в результате снегопада на отдельных склонах или лавиносборах лавины не сошли, то через два дня после наступления максимальной высоты снежного покрова H по формуле (2.3.9) выполняется расчет t . И в этом случае все необходимые параметры определяются по наблюдениям на метеоплощадке. Путем прибавления t суток к дате наступления максимальной высоты снега находится прогнозируемая дата схода лавин.

Для фонового прогноза схода снежных лавин в периоды роста высоты снежного покрова (лавины свежевыпавшего снега) и оседания снега разработана оперативная схема с использованием ЭВМ [2].

2.3.2. Использование методов распознавания образов для оценки лавинной опасности по комплексу метеорологической информации

Проблема прогноза схода снежных лавин подразделяется на две части: 1) распознавание лавинной ситуации в отличие от нелавинной и 2) непосредственно прогноз с заданной заблаговременностью.

Для прогноза схода снежных лавин [34] использовались комплексы метеорологических наблюдений в Терсколе (Приэльбрусье).

Для упрощения анализа синоптические данные (скорость ветра, количество осадков, температура воздуха), образующие многомерный случайный вектор E , подвергались предварительному сглаживанию. Для выявления совместных зависимостей (осадки, скорость ветра, температура воздуха) с помощью ЭВМ

строятся сглаженные графики, определяющие синоптическую ситуацию на каждый день. Графики метеорологических данных анализируются и по ним строятся функции распределения относительно времени схода лавин.

Влияние температуры на возникновение лавины наиболее многосторонне по сравнению с любым другим фактором. При теплой погоде, когда температура близка к нулю, неустойчивость снега сильно увеличивается. Низкие температуры с сильным ветром приводят к образованию снежных досок. Анализ позволяет установить зависимость между количеством выпавшего снега, интенсивностью его выпадения и образованием снежных пластов, имеющих потенциальную возможность образовать лавину. Существует некоторая критическая интенсивность выпадения снега, вызывающая сход лавин.

Задача распознавания лавинной ситуации формулируется следующим образом.

Имеется некоторое начальное множество объектов, каждый из которых описывается конечным набором известных параметров. Предполагается, что существует решающее правило, которое всегда разбивает множество объектов на непересекающиеся подмножества (классы). В случае разбиения на два класса математическая часть решения задачи значительно упрощается. Разбиение множества объектов порождает и множество их описаний. Следовательно, нужно построить систему, которая по описанию произвольного объекта установила бы его принадлежность к соответствующему классу. При этом считается, что сама узнающая система вырабатывает необходимое правило подразделения объекта на классы A_1 , A_2 в процессе обучения и с помощью математических операций, применяемых к объекту, и заложенной в программе логики отнесет объект к конкретному классу.

Для распознавания лавинной ситуации была составлена программа «Лавина-1» для ЭВМ «Минск-22». Объектами класса A_1 были сошедшие лавины, зарегистрированные по времени на данном склоне, класса A_2 — нелавинная ситуация в момент назревания лавинной опасности. Каждый период характеризовался набором значений метеорологических элементов: сумма осадков, скорость ветра, температура воздуха, продолжительность периода. На основании введенных в ЭВМ описаний нескольких лавинных и нелавинных ситуаций программа должна построить таксоны, с помощью которых она будет различать описание новых событий.

Поскольку знания метеорологических условий недостаточно для предсказания схода лавины, необходимо учесть всю предысторию снежной толщи, накапливаемой в лавиносборе. Для этого описание любого объекта (множества A) формировалось как совокупность описаний всех слоев снежной толщи. Ценность такого метода заключается в том, что характеристика снеговой

обстановки на каждый, указанный заранее день задается описанием всех слоев снега, которые существовали до этого дня после схода последней лавины, а не только последнего снегопада. Условно были выделены следующие подсобытия, или слои: непогода, хорошая погода, длинный период, последние два дня перед сходом лавины.

Схема описания события для ввода в ЭВМ показана в табл. 11.

Таблица 11

Подсобытие	Непогода	Хорошая погода	Долгий период	Последние 2 дня
Количество двоичных разрядов	4 2 3 2	1 3 2	4 2 3 3	2 3 1 1
Параметры	$x_i \ v_i \ \theta_i \ t_i$	$v_i \ \theta_i \ t_i$	$z \ v_i \ \theta_i \ t_i$	$x_i \ v_i \ \theta_i \ i_c$

Обозначения: x_i — количество осадков (сумма); v_i — скорость ветра (средняя); θ_i — средняя температура воздуха за период; t_i — продолжительность периода; i_c — интенсивность снегопада в последние 2 дня; z — признак лавины (сходила или не сходила).

ЭВМ обрабатывает булевские векторы, которые получаются из исходных метеорологических данных путем их квантования и кодирования.

С помощью программы «Лавина-1» реализован алгоритм обучения и доучивания. В результате работы программы формируются и печатаются таксонометрические решетки признаков матриц A_1 и A_2 .

Программа «Лавина-1» не накладывает ограничений на число параметров, используемых для описания подсобытий, интервал квантования параметров, кодирование и число событий, на которых происходит обучение.

2.3.3. Опыт вероятностно-статистической оценки лавинной ситуации

При прогнозе схода снежных лавин самым существенным является выделение ограниченного количества наиболее сильно влияющих факторов из очень большого числа наблюдаемых в природе.

Таковыми являются осадки, сила ветра и температура воздуха. Вероятности распределения лавин можно рассмотреть в зависимости от положения трехмерного случайного вектора E .

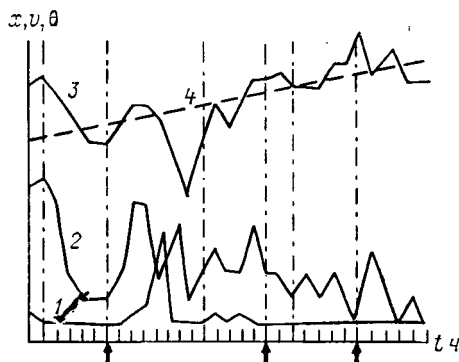
составляющими которого будут значения указанных основных лавинообразующих метеорологических элементов.

Таким методом проанализированы конкретные случаи массового схода лавин в Приэльбрусье за зимы 1967—1971 гг. [36]. При этом использовались осредненные за сутки метеорологические данные станции Терскол (2100 м абс.) без введения поправок на условия погоды в лавиносборах, лавины не разделялись по типам и генезису, процессы метаморфизма в снежной толще не учитывались.

Выделение тенденции развития при резких изменениях погоды проводилось методом скользящей средней для всех гра-

Рис. 22. Ход во времени t сглаженных метеорологических данных к моменту схода лавин.

1 — осадки x , 2 — ветер v , 3 — температура θ , 4 — линия тренда (тенденции); стрелки указывают моменты схода лавин.



фиков метеорологических данных, рассчитанных на ЭВМ (рис. 22).

Расчет показал, что характеристика синоптической ситуации за пять дней достаточно хорошо отражает характер изменения случайного вектора E перед сходом снежной лавины. Наибольшей инерционностью при этом обладает температурный ряд.

На основе материала наблюдений, включающего 326 лавин из 20 лавиносборов в Приэльбрусье, вычислены условные плотности N/n_0 распределения количества лавин, характеризующих лавиноопасную ситуацию (N — общее число испытаний).

Интервальная вероятность схода лавин в зависимости от количества (или интенсивности i_n) осадков x_n при временных интервалах $n = 1, 2, 5$ дней перед сходом лавины показана на рис. 23 величиной N/n_0 .

При достижении критического количества осадков $x_{кр}$ наибольшее возможное количество лавин находится по графику, а степень наклона кривой $p(x)$ отражает лавиноопасность района. Зависимость от кратковременных осадков наиболее пригодна для лавин, которые сходят во время метели или сразу после снегопада. Для лавин такого типа последние два дня являются существенными, так как определяют неустойчивость свежеснеговывающего снега.

На рис. 23 показана также функция вероятности $p=f(\Delta\theta)$ (и плотности распределения p) от разности значений температуры $\Delta\theta$ за период 5 дней перед сходом лавины. Наибольшая чувствительность проявляется в диапазоне $\Delta\theta=3\div 6,5^\circ\text{C}$, когда вероятность лавинообразования резко возрастает. При $\Delta\theta=6,5\div 7,5^\circ\text{C}$ увеличивается количество лавин, причиной которых является быстрое изменение температуры, а наибольшее количество их наблюдается при $\Delta\theta=6^\circ\text{C}$.

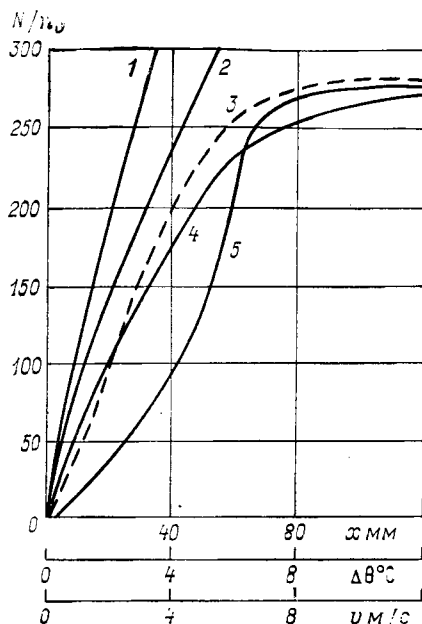


Рис. 23. Зависимости $p=N/n_0$ для указанных параметров:

- 1) $p=f(x_0)$; 2) $p=f(x_2)$; 3) $p=f(v_2)$; 4) $p=-f(x)$; 5) $p=f(\Delta\theta)$.

Для случая зависимых параметров (рис. 24, 25) рассматривалась совместная зависимость $p=f(x_2, \Delta\theta)$. При малых разностях температур вероятность появления лавины определяется в основном интенсивностью осадков i_0 . Наибольший рост разности температур имеет место при $i_0=1,2 \text{ мм/ч}$, а наибольшее количество лавин — при $\Delta\theta=3\div 6^\circ\text{C}$. В этом случае действие разности значений температуры воздуха и рост количества осадков влияют на вероятность схода лавин совершенно одинаково. При дальнейшем увеличении $\Delta\theta$ фактор интенсивности осадков i_0 имеет малый вес и вероятность схода лавин определяется этой разностью.

Ветер является главной действующей силой при формировании лавин из снежных досок. Если длительное время наблюдается сильный ветер, то он создает определенно лавиноопасную обстановку. Поскольку сход лавин зависит от множества ситуаций, то вероятность схода лавин в зависимости от ветрового переноса должна носить нормальный случайный характер, что действительно имеет место (рис. 24). В интервале скоростей ветра от 3 до 6 м/с количество лавин возрастает, а наибольшее их количество наблюдается при $v=2,5 \text{ м/с}$.

Для определения совместной зависимости $p=f(v, \Delta\theta)$ рассматривались три интервала значений разности температуры. При $\Delta\theta=0\div 3^\circ\text{C}$ малое изменение температуры соответствует небольшому ветру (в пределах $v=2 \text{ м/с}$). В интервале средних флуктуаций ($\Delta\theta=3\div 6^\circ\text{C}$) сходит большинство лавин при

$v_{\text{ср}} = 2,5$ м/с. Значительная разность ($\Delta\theta = 6 \div 9^\circ\text{C}$) характерна для небольшого количества лавин, но основным лавинообразующим фактором является ветер. Наибольшее количество лавин сходит при $v_{\text{ср}} = 5 \div 6$ м/с.

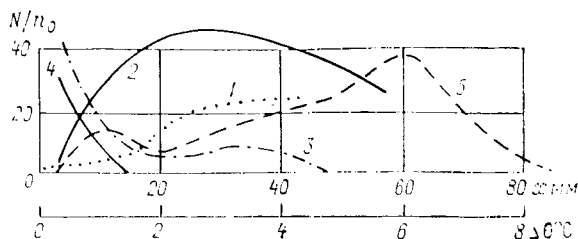


Рис. 24. Распределение условной плотности распределения p :

1) $\Delta\theta = 0 \div 3^\circ\text{C}$; 2) $\Delta\theta = 3 \div 6^\circ\text{C}$; 3) $\Delta\theta = 6 \div 9^\circ\text{C}$; 4) $\Delta\theta = 6 \div 12^\circ\text{C}$; 5) $p(\Delta\theta)$.

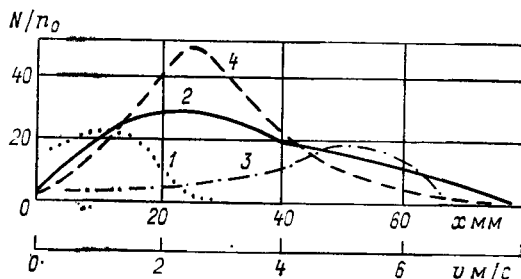


Рис. 25. Совместное распределение скорости ветра v и изменения температуры $\Delta\theta$.

1) $\Delta\theta = 0 \div 3^\circ\text{C}$; 2) $\Delta\theta = 3 \div 6^\circ\text{C}$; 3) $\Delta\theta = 6 \div 9^\circ\text{C}$; 4) $p(v)$.

2.4. ЛАВИНЫ В ГОРАХ СРЕДНЕЙ АЗИИ И КАЗАХСТАНА

Хотя в целом для гор Средней Азии еще нет апробированной методики прогноза лавинной опасности, отдельные районы Тянь-Шаня в отношении лавин изучены достаточно хорошо и для них существует ряд эмпирических методов. С некоторыми изменениями и уточнениями эти методы могут быть распространены и на другие горные территории СССР.

Наиболее изучены условия лавинообразования в бассейне р. Ахангаран (в Чаткальском и Кураминском хребтах Западного Тянь-Шаня), в бассейне р. Кёкёмерен (Внутренний Тянь-Шань) и на трассе автодороги Фрунзе—Ош (в пределах Северного Тянь-Шаня).

Для Западного Тянь-Шаня, находящегося на пути влагоносных воздушных масс, прогнозы лавинной опасности стали разрабатываться с начала 50-х годов нашего века. В конце

50-х годов возникла настоятельная потребность в прогнозе времени схода снежных лавин в горах Киргизии, что вызвало к жизни службу наблюдений за лавинами и стимулировало создание методов прогноза. В последнее десятилетие создана снеголавинная служба и в Казахской ССР.

2.4.1. Типы синоптических процессов и климато-метеорологические факторы лавинообразования

Лавины в горах Средней Азии могут сходить практически при любом типе синоптических процессов, которые в разной степени благоприятствуют лавинообразованию [126, 68]. По наблюдениям в Западном Тянь-Шане (бассейн р. Ахангаран на СЛС Дукант, Чаткальский хребет) в зимне-весенний период (декабрь—апрель) наиболее часто сопровождаются сходом лавин следующие синоптические процессы (табл. 12):

Таблица 12

Типы синоптических процессов за период 1958-59—1968-69 гг. по СЛС Дукант, наиболее часто сопровождающихся лавинообразованием [68]

Тип синоптического процесса	Перед сходом лавины		В дни схода лавины	
	число случаев	проценты от общего числа	число случаев	проценты от общего числа
Южные циклоны	20	24	14	16
Холодные вторжения	28	32	32	38
Волновая деятельность	26	31	24	28
Периферия антициклона	11	13	15	18
Всего	85	100	85	100

1) верхнеамударьинский циклон (наблюдалось 15 % дней с лавинами от общего числа дней);

2) северо-западное, северное, северо-восточное вторжение и волновая деятельность (по 10—12 % дней с каждым из этих типов синоптических процессов);

3) южнокаспийский циклон и широкий теплый вынос (по 9—10 % дней с лавинами).

Наибольшее количество лавин в лавиноопасный день связано с верхнеамударьинским циклоном, несколько меньше — с широким теплым выносом. Последний характеризуется значительными и длительными (обычно несколько дней) оттепелями и не сопровождается осадками. Остальные перечисленные типы синоптических процессов характеризуются потеплением с после-

дующим выпадением осадков и похолоданием; при волновой деятельности часто наблюдаются колебания температуры и неоднократное выпадение осадков, иногда значительных.

Следующие типы синоптических процессов характеризуются небольшим числом дней с лавинами (менее 6—7 % числа дней с каждым из них): западное вторжение, мургабский и стационарный циклон над Средней Азией, юго-западная и южная периферия антициклона, малоградиентное поле повышенного давления, термическая депрессия.

Не наблюдался сход лавин при восточной (юго-восточной) периферии антициклона, малоградиентном поле пониженного давления и западном циклоне (который образуется на Северном Кавказе и идет южнее Аральского моря на Среднюю Азию), но эти синоптические процессы бывают над исследованным районом очень редко — не более 1,5 % числа дней.

В бассейне р. Кёксу (Пскемский хребет), по наблюдениям в 1975 г. (В. М. Сезин, САРНИГМИ), по количеству лавин на первом месте стоят холодные вторжения, а по суммарному объему лавин — циклонические прорывы с регенерацией на холодных фронтах и волновая деятельность. Затем по количеству лавин (в убывающей последовательности) идут юго-западная периферия антициклона, циклонические прорывы (с регенерацией на холодных фронтах и без нее), волновая деятельность и западные вторжения (при последних — только единичные лавины с незначительным суммарным объемом). По суммарному объему лавин холодные вторжения, циклонические прорывы и юго-западная периферия антициклона занимают примерно равнозначное промежуточное место.

Настораживающими ситуациями для данного района следует считать холодные вторжения и циклонические прорывы с регенерацией на фронтах холодных вторжений.

Фоновые прогнозы лавинной опасности в Узбекистане составляются по прогнозу погоды и состоянию снежного покрова в районах снеголавинных и приравненных к ним гидрометеорологических станций на территорию Западного Тянь-Шаня. Для отдельных районов составляются локальные лавинные прогнозы методами, изложенными на стр. 114—157.

В УГМС Таджикской ССР фоновые прогнозы лавинной опасности составляются для всей территории Таджикистана; они основываются прежде всего на синоптическом прогнозе по ожидаемому количеству осадков и температуре воздуха.

По наблюдениям в бассейне р. Варзоб (Гиссарский хребет), наибольшее количество лавин обрушивается при волновой деятельности, вызывающей продолжительные и интенсивные снегопады (А. А. Яблоков, УГМС Таджикской ССР). Меньше всего лавин образуется при выходах верхнеамударьинских циклонов и широком выносе теплого воздуха с юго-запада, так

как эти синоптические процессы обычно развиваются тогда, когда основные массы снега уже стояли или лежат на дне долин.

При количестве осадков менее 10 мм за снегопад лавины не возникают, осадки 10—20 мм создают опасность схода лавин, а при сумме осадков более 20 мм возможен массовый сход лавин. Но при обнаженной почве осадки даже до 20 мм лавин не вызывают, так как снег задерживается неровностями рельефа.

Основным признаком наступления или продолжения лавинной опасности в бассейне р. Варзоб для сухих лавин свежевыпавшего снега является выпадение более 10 мм осадков при высоте старого снега не менее 20 см; лавинная опасность продолжается после выпадения 10—15 мм осадков до суток, а после выпадения более чем 15 мм осадков — до трех суток.

Лавины, вызванные выпадением осадков, обрушиваются со склонов, где высота старого снега более 30 см. Сход лавин возможен в любое время суток, в отличие от лавин при оттепелях.

Мокрые лавины из свежевыпавшего (влажного) снега образуются сравнительно редко, так как он быстро оседает и уплотняется, а при понижении температуры, что обычно бывает после прохождения фронта, он смерзается в плотную и прочную фирновую корку. Сход мокрых лавин из свежевыпавшего снега происходит обычно при достижении им высоты 10 см и более.

В Таджикистане зимой возможен переход сильного мокрого снегопада в ливень (как, например, 23/II 1973 г. и 25/I 1974 г.). Это почти неизбежно вызывает массовый сход мокрых лавин, захватывающих снежный покров до почвы.

Вследствие широкого выноса тропического воздуха с юго-запада образуются лавины мокрого снега при ясном небе и высокой (до 20°C) температуре воздуха. Лавины при оттепелях сходят прежде всего со склонов южной экспозиции, где высота снега не превышает 40—50 см и он прогревается до почвы. Для массового схода мокрых лавин потепление должно быть резким (так как при медленном подъеме температуры снег успевает осесть и уплотниться) и продолжительным, чтобы снег успел прогреться; при этом снежный покров не должен иметь слишком низкую температуру, так как в противном случае большая часть поступающего тепла идет на его прогрев до нулевой температуры.

██████████ (влажных) лавин свежевыпавшего снега необходимо выпадение мокрого или влажного снега в количестве более 15 мм слоя воды.

Опасность от мокрых лавин старого снега возникает и продолжается при следующих условиях:

1) снегопад переходит в интенсивный ливень или же ливень выпадает на поверхность рыхлого тающего снега;

2) наступает глубокая оттепель, когда в течение 3—4 дней температура воздуха круглосуточно сохраняется положительной или же поднимается днем выше 10°C ;

3) происходит таяние снега весной при длительной положительной температуре воздуха и пасмурной погоде;

4) весной во время широкого выноса теплого воздуха с юго-запада температура воздуха резко повышается до $16\text{--}18^{\circ}\text{C}$ при условии, что высота снежного покрова на склонах не менее полуметра;

5) силы сцепления в снеге вследствие его прогрева и таяния снижаются до 300 кг/м^2 и менее.

Основными признаками окончания или отсутствия лавинной опасности являются:

1) разгрузка склонов от снега в результате массового схода лавин во всех высотных зонах;

2) установление зимой продолжительной морозной погоды без резких (от 5 до 10°C) колебаний температуры воздуха и сколько-нибудь сильного (более 1—2 баллов) ветра;

3) наступление после оттепели продолжительных морозов (ниже -5°C);

4) истечение суток после выпадения 10—15 мм осадков (снега) и трех суток после особенно сильных снегопадов (более 15 мм слоя воды);

5) выпадение осадков в количестве менее 10 мм за снегопад;

6) уплотнение снега до $0,5\text{ г/см}^3$ при малой его влажности;

7) наличие внутри снежного покрова прочных фирновых и ледяных корок;

8) прочность снега не менее 250 кг/м^2 ;

9) незначительная высота снежного покрова (20—40 см осенью и зимой, 50 см — весной);

10) понижение температуры воздуха во время мокрого снегопада до отрицательных значений;

11) медленное равномерное таяние снега весной при отсутствии интенсивной солнечной радиации и осадков.

Весной при отсутствии осадков и ночных заморозках лавинная опасность отсутствует примерно с 18 ч до 11 ч следующего дня.

С учетом всего этого на основании анализа синоптической и снего-метеорологической обстановки прогнозируются лавины свежевывавшего снега и мокрые лавины. Лавины метелевого переноса, сублимационной перекристаллизации и температурного сокращения снега¹ для обслуживаемых районов Таджикистана не характерны и поэтому не прогнозируются.

Лавины во время снегопадов прогнозируются либо по интенсивности выпадения (и количеству) осадков и средней

¹ См. примечание на стр. 47.

температуре воздуха (см. рис. 28), либо по количеству выпавшего снега. В районах, где ожидается выпадение более 15 мм твердых осадков, предсказывается сход лавин свежевыпавшего снега. За начало лавинной опасности принимается момент, когда высота свежевыпавшего снега достигает критического значения 20—25 см за время не более двух суток от начала снегопада. В синоптических прогнозах также сообщается о возможности выпадения зимой и весной дождя на снежный покров, с чем связаны сходы лавин. При смене снегопада интенсивным дождем лавинная опасность объявляется немедленно.

Мокрые лавины, не связанные с осадками, прогнозируются по моменту перехода средней суточной температуры воздуха через нуль в сторону положительных значений. Периодом опасности от схода мокрых весенних лавин считается интервал между 10 и 17 ч местного времени после перехода средней суточной температуры воздуха через нуль в область положительных значений. Если в это время идет мокрый снег или дождь, то лавинная опасность объявляется немедленно (при этом старый снег уже имеет нулевую температуру).

Инсоляционные лавины прогнозируются качественно по солнечной радиации. Периодом опасности от этих лавин считается интервал между 14 и 17 ч местного времени при положительной температуре воздуха и интенсивной прямой солнечной радиации. Эти лавины обрушиваются только со склонов южной экспозиции, объемы их невелики, и большой опасности они не представляют.

Сход мокрых весенних лавин прогнозируется по переходу средней суточной температуры воздуха через 0°C в сторону положительных значений на высотах свыше 2000—3000 м абс., резкому и интенсивному потеплению, вызываемому обычно широким выносом на территорию Таджикистана теплого тропического воздуха из Ирана и Аравии, а также вторжением южнокаспийских или верхнеамударьинских циклонов. Если резкое потепление сопровождается выпадением жидких осадков, то объявляется лавинная опасность. При этом учитывается состояние снега, характеристика которого регулярно поступает со снеголавинных станций в УГМС Таджикской ССР.

В горах Киргизии лавиноопасные снегопады наиболее часто бывают связаны с волновой деятельностью (40,7 % общего числа случаев), северо-западными (19,4 %) и западными (13,2 %) вторжениями. Волновая деятельность сопровождается обильными осадками (до 50 мм), и в такой ситуации сходят катастрофические лавины.

Так как в конечном счете лавинная опасность обусловлена собственно не типом синоптического процесса, а характером местной погоды, фоновые прогнозы лавин основываются на анализе климато-метеорологических факторов.

В первую очередь производится анализ прогноза погоды,

при котором вносятся, если это необходимо, соответствующие изменения в прогнозе и особенно обращается внимание на критические значения снего-метеорологических элементов, характеризующих лавинную опасность; при этом руководствуются следующим:

1) при повышении температуры воздуха до 5°C и повышении относительной влажности предполагается уменьшение сил сцепления в снеге;

2) при уменьшении сил сцепления в снеге до 50 кг/м^2 предполагается возникновение лавиноопасной ситуации;

3) при высоте снега до 20—25 см (по расчетным критическим значениям) сход лавин не предполагается;

4) при высоте снега свыше 30 см возникает лавинная опасность.

Если уменьшение сцепления происходит только в верхних слоях при достаточно больших силах сцепления (100 кг/м^2 и более) в нижних слоях, то при расчете критической мощности учитывается высота слоя со слабыми структурными связями.

При выпадении твердых осадков 10 мм предполагается лавиноопасная ситуация, которая может перейти в угрожающую при дальнейшем выпадении осадков на плотную поверхность подстилающего снега. Особую опасность представляет наличие корки на контакте нового и старого снега, обуславливающей слабую связь старого снега со свежим.

На северном склоне Киргизского хребта за основу, определяющую степень лавинной опасности, берутся следующие факторы:

1) сильные ветры ($10\text{—}20\text{ м/с}$) при метелевом переносе $6\text{—}12\text{ г/ (см}^2 \cdot \text{мин)}$ (после снегопадов);

2) высота свежевывавшего снега до 25 см на скользкой поверхности ветрового наста или ветровых досок;

3) образование мощных снежных карнизов у гребневой части лавиносборов;

4) образование трещин в снежной толще;

5) резкое понижение температуры воздуха и относительной влажности. В этом случае происходит уменьшение (нередко до нуля) сил сцепления и временного сопротивления разрыву и образованию слоя разрыхления.

В Киргизии на основании 10-летнего ряда наблюдений погодных условий при сходе лавин были выявлены критические значения метеорологических элементов для фонового прогноза лавин во время снегопадов (Ю. П. Барбат, Киргизское УГКС). При этом учитывались все снегопады, дававшие более 5 мм осадков. Исследовались следующие факторы: количество осадков, приrost высоты нового снега, интенсивность снегопадов, высота снега перед снегопадами, температура воздуха и скорость ветра в начале и конце снегопада. Из 280 снегопадов, зарегистрированных в районах четырех снеголавинных станций, лавины

сошли в 110 случаях.

Для всех снегопадов, сопровождающихся сходом лавин, были подсчитаны средние и экстремальные значения метеорологических элементов отдельно по каждой станции. В итоге выявлены следующие критические значения метеорологических элементов, при которых происходит сход лавин:

- а) сумма твердых осадков более 8 мм;
- б) приrost высоты свежеснегавпавшего снега более 9 см при наличии старого снега мощностью 25—30 см;
- в) интенсивность снегопада более 0,15 см/ч;
- г) скорость ветра не менее 10 м/с;
- д) температуры воздуха на высотах более 3000 м абс. ниже $-2,4^{\circ}\text{C}$, а на высотах 2000—2500 м абс.— ниже $-1,9^{\circ}\text{C}$.

На СЛС Итагар критическое значение высоты старого снега составляет лишь 8—12 см. Это объясняется тем, что сход первых лавин здесь происходит значительно выше (2600—3050 м абс.) метеоплощадки снеголавинной станции (2010 м абс.).

Сход лавин свежеснегавпавшего снега приурочивается к концу снегопада, когда происходит падение средней суточной температуры воздуха на $3-5^{\circ}\text{C}$. Поскольку связность нового снега обычно невелика, возникающее дополнительное напряжение в верхнем слое за счет сокращения объема нарушает устойчивость снежной толщи и вызывает сход лавин. В тех случаях, когда после прекращения снегопада через 1—2 суток средняя суточная температура воздуха понижается на $8-12^{\circ}\text{C}$, сходят дополнительные серии лавин температурного сокращения¹. Такие лавины часто наблюдаются в районе станций Тюя-Ашу Южная и Алабель.

Для составления информации о лавинной опасности на территории всей Киргизии используются сведения о снего-метеорологической обстановке по 26 высокогорным станциям, расположенным на высотах более 2000 м абс. Предполагается, что данные метеорологических станций могут быть распространены на территорию, находящуюся в интервале $\pm 500-700$ м от абсолютной высоты их метеоплощадок. Прогноз лавинной опасности составляется таким образом:

1) ежедневно лавинной группой УГКС выбираются сведения о высоте снега, интенсивности снегопада, температуре воздуха и скорости ветра по 26 станциям из радиogramм, поступающих в бюро погоды;

2) оценивается развитие синоптических процессов над территорией Киргизии;

3) по критическим значениям метеорологических элементов определяется возможность схода лавин; при этом учитываются развитие синоптической обстановки и штормовая лавинная ин-

¹ См. примечание на стр. 47.

формация, ежедневно поступающая с сети снеголавинных станций в УГКС;

4) по тем районам, где метеорологические условия во время снегопадов приближаются к критическим, объявляется лавинная опасность;

5) в районах, где средняя суточная температура воздуха после снегопада понижается на $8-10^{\circ}\text{C}$, угроза схода снежных лавин сохраняется 2—3 суток.

Предупреждение о сходе снежных лавин доводится до сведения народнохозяйственных организаций и передается по республиканскому радио.

Но не все снегопады вызывают лавины. Наименьшая вероятность схода ($80-83\%$) приходится на снегопады, дающие минимальный прирост высоты снега $10-15$ см. Если после таких снегопадов лавины сходят, то они отличаются малыми объемами. По мере увеличения прироста нового снега увеличивается и вероятность лавинообразования, а одновременно с этим — объемы лавин.

Кроме того, во Внутреннем Тянь-Шане лавины прогнозируются по критической высоте свежевыпавшего снега (стр. 38—39). Лавины перекристаллизационные и смешанного типа, а также мокрые прогнозируются по методикам, изложенным на стр. 49—58 и 62—63.

В горах Южного Казахстана (северный склон Заилийского Алатау) наиболее характерными признаками приближения опасности от сухих лавин являются снегопады, а от мокрых лавин (около трети всех лавин данного района):

- 1) начало интенсивного снеготаяния;
- 2) продолжительные радиационные оттепели, особенно в первые 2—3 дня после снегопадов;
- 3) выпадение дождя на снежный покров.

Основой фонового прогноза активности процессов лавинообразования в условиях среднегорного пояса Заилийского Алатау может служить зависимость лавинной активности от снежности года [152]. Снегопады в зоне формирования лавин, дающие $250-260$ мм слоя воды, являются критическими. До тех пор, пока запас воды в снежном покрове на лавиноопасных склонах не достигнет указанного предела, лавины носят избирательный и в известной мере случайный характер. При дальнейшем увеличении снеготаяния вероятность массового схода лавин большого объема, а следовательно, и лавиноопасность резко возрастают. Соответствующая критической сумма осадков (по метеостанции Верхний Горельник) с ноября по март составляет около 300 мм.

Критическому модулю лавинного сноса (суммарный объем снега в водном эквиваленте, снесенного лавинами за определенный период с 1 км^2 лавиноопасных склонов), равному 30 тыс. м^3 в год с 1 км^2 , соответствует сумма осадков 180 мм

за ноябрь—февраль. Очевидно, что с превышением этого предела следует ожидать массового схода значительных по объему лавин.

Фоновый прогноз лавинной опасности при изменениях погоды в горах Казахстана производится по методике, данной в «Руководстве по снеголавинным работам» [147] и на стр. 18—29 данного пособия с поправками на особенности данного физико-географического района (В. И. Попов и др., Казахское УГКС).

2.4.2. Анализ снего-метеорологических факторов лавинообразования

Метод прогноза лавин по комплексу снего-метеорологических факторов (стр. 18—29) был уточнен для двух районов Тянь-Шаня.

Для Западного Тянь-Шаня (перевал Наугарзан Кураминский хребет) в качестве главных факторов лавинообразования при снегопадах приняты высота старого снега, количество и интенсивность выпадающих осадков и температура воздуха в течение снегопада [58]. Здесь сход лавин объемом более 20—30 м³ возможен только при выпадении свыше 20 мм твердых осадков и при благоприятствующем лавинообразованию развитии остальных главных лавинообразующих факторов. Сход единичных лавин возможен и при меньшем количестве осадков, но эти лавины сами по себе не представляют особой опасности, хотя и служат предвестниками более крупных лавин.

Критическими условиями, указывающими (в комплексе) на наличие лавинной опасности в данном районе, являются: высота старого снега 25 см и более; сумма осадков 20 мм и более и интенсивность их выпадения не менее 0,4 мм/ч при температурах ниже —12 °С, для температуры выше —12 °С критические значения интенсивности осадков увеличиваются с ее ростом.

Рассматривая значения метеорологических элементов во время снегопада, сравнительно легко установить отсутствие или наличие лавинной опасности, но при этом затруднительно определить степень лавинной опасности и изменение ее во времени.

Для расчета момента наступления периода лавинной опасности в данном районе метеорологическим элементам, превышающим критические значения, приписывается вес в баллах и по сумме весов определяется момент наступления периода лавинной опасности, учитывая, что степень лавинной опасности в каких-то пределах пропорциональна количественным характеристикам главных лавинообразующих факторов. Например, с увеличением количества выпавших осадков в течение снегопада при прочих равных условиях лавинная опасность возрастает как за счет увеличения объемов образующихся лавин и, следовательно, дальности их выброса, так и за счет увеличения числа действующих лавиносборов.

Снегопадам, давшим менее 20 мм осадков, приписывается нуль баллов; по мере увеличения количества осадков (с равномерным шагом 3 мм) их вес в процессе лавинообразования возрастает от 1 до 12 баллов (наивысший балл приписан многолетнему максимуму осадков за снегопад, составляющему около 53 мм; снегопады, дающие более 53 мм, сравнительно редки, хотя и представляют максимальную угрозу в смысле лавинообразования).

При интенсивности осадков менее 0,4 мм/ч сход лавин не наблюдается и в таких случаях этому фактору приписывается нуль баллов. Максимальной наблюдаемой интенсивности 2,6 мм/ч, соответствующей чрезвычайно большой лавинной опасности, приписывается 12 баллов. Линейной интерполяцией с шагом 0,2 мм/ч между 0 и 12 баллами принимаются промежуточные оценки в баллах интенсивности осадков.

При оценке температуры учитывалось, что понижение ее уменьшает прочность (сцепление) свежевыпавшего снега, т. е. при прочих равных условиях устойчивость такого снега будет мала, при этом для схода лавин требуется меньшее количество осадков.

В табл. 13 представлены значения главных лавинообразующих факторов, которым приписаны соответствующие веса (баллы), определяющие количественно их вклад в формирование лавинной опасности.

Степень лавинной опасности определяется суммой весов (баллов) из наблюдаемых или ожидаемых сочетаний данных метеорологических элементов.

При фактически наблюдавшихся снегопадах суммы баллов к моменту схода лавин составляли от 10 до 26, в снегопады с суммой баллов менее 10 сход лавин не наблюдался; последнее принято за критическую сумму баллов, при которой лишь только начинают образовываться лавины, но объемы их малы и непосредственной угрозы они для обслуживаемых объектов не представляют. За критерий наступления лавинной опасности в данном районе практически можно принять сумму 12 баллов, так как именно при этом начинают образовываться лавины из свежевыпавшего снега с объемами более 20 м³, уже представляющие определенную опасность. По мере увеличения суммы баллов наблюдается достаточно четкая тенденция возрастания объемов сошедших лавин и числа лавиносборов, откуда сошли лавины. (В многоснежную и чрезвычайно лавиноопасную зиму 1968-69 г. в период массового схода крупных лавин в Западном Тянь-Шане сумма баллов в районе перевала Наугарзан достигала 25—26.)

Составление прогноза лавин из свежевыпавшего снега по этой методике заключается в следующем.

В начале зимы первые снегопады с суммой осадков менее 100 мм считаются нелавиноопасными, но выпавший снег создает

Оценка основных лавинообразующих факторов

Основные лавинообразующие факторы	Баллы				
	0	1	2	3	4
Количество осадков, мм	Менее 20,0	20,0—22,9	23,0—25,9	26,0—28,9	29,0—31,9
Интенсивность выпадения осадков, мм/ч	Менее 0,4	0,40—0,59	0,60—0,79	0,80—0,99	1,00—1,19
Средняя температура воздуха, °C	Выше +1,0	от 1,0 до —0,5	от —0,6 до —2,0	от —2,1 до —3,5	от —3,6 до —5,0

Основные лавинообразующие факторы	Баллы			
	5	6	7	8
Количество осадков, мм	32,0—34,9	35,0—37,9	38,0—40,9	41,0—43,9
Интенсивность выпадения осадков, мм/ч	1,20—1,39	1,40—1,59	1,60—1,79	1,80—1,99
Средняя температура воздуха, °C	от —5,1 до —6,5	от — 6,6 до — 8,0	от —8,1 до —9,5	от —9,6 до —11,0

Основные лавинообразующие факторы	Баллы			
	9	10	11	12
Количество осадков, мм	44,0—46,9	47,0—49,9	50,0—52,9	Более 53,0
Интенсивность выпадения осадков, мм/ч	2,00—2,19	2,20—2,39	2,40—2,59	Более 2,60
Средняя температура воздуха, °C	от —11,1 до —12,5	от —12,6 до —14,0	от —14,1 до —15,5	Ниже —15,6

предпосылки лавинообразования после следующих снегопадов. Прогноз «нелавиноопасно» выдается во всех случаях, когда значения количества и интенсивности осадков в течение снегопада меньше критических, т. е. менее соответственно 20 мм и 0,4 мм/ч. Для всех остальных снегопадов прогноз «Лавиноопасно» выдается с момента, когда подсчитанная сумма баллов достигнет

12. Пример расчета времени наступления лавинной опасности представлен ниже.

Сумма баллов с начала снегопада к 6 ч 19/II, когда выпало около 20 мм осадков, составила 6, что свидетельствует об отсутствии лавинной опасности (табл. 14). В дальнейшем в каждый срок метеорологических наблюдений производится уточнение суммы баллов. В соответствии с суммой баллов, начало периода лавинной опасности объявлено с 18 ч 19/II 1972 г. В 5 ч 2/II в одном из лавиносборов сошла лавина объемом около 1,36 тыс. м³. Заблаговременность лавинного предупреждения составила 11 ч.

Таблица 14

Пример расчета времени наступления периода лавинной опасности в течение снегопада

Дата	Срок, ч (моск. время)	Температура воздуха, °C	Осадки, мм	Нарастающие суммы осадков, мм	Интенсивность выпадения осадков, мм/ч	Средняя температура воздуха, °C	Сумма баллов
1972 г.	09	—3,3					
	12	—3,7					
18/II	15	—4,3	2,9	2,9			
	18	—3,4	5,6	8,5			
	21	—3,9					
	00	—3,7					
	03	—4,0	8,3	16,8			
19/II	06	—4,4	3,1	19,9	0,87	—3,8	6
	09	—4,9					
	12	—4,9					
	15	—5,1	9,1	29,0	0,90	—4,2	10
	18	—5,7	3,9	32,9	0,94	—4,3	12
	21	—6,0					
	00	—5,7					
20/II	03	—5,5	5,5	38,4	0,86	—4,4	14
	06	—5,2	0,0				

Примечания: 1. Снегопад начался 18/II в 6 ч 45 мин моск. времени.
2. Начало лавинной опасности 19/II в 18 ч моск. времени.
3. Сход лавин объемом 1,36 тыс. м³ наблюдался 20/II в 5 ч моск. времени в снегосборе № 11.

При разработке метода прогноза лавин во время снегопадов для района Северного Тянь-Шаня (перевала Тюя—Ашу, Киргизский хребет) учитывались следующие лавнообразующие факторы [20].

1. Высота старолежалого снега. При выпадении снега на поверхность почвы сход лавин не происходит, лавинообразование не отмечалось также при высоте старого снега менее 25 см.

Высота старолежалого снега, см . . .	до 25	25—50	более 50
Баллы ¹	0	8	10

¹ Здесь и ниже для единообразия приняты баллы по Ю. П. Барбату [20], умноженные на 10 и округленные до целых чисел.

Эта оценка справедлива как для ранних лавин, так для всех следующих, вплоть до последних лавин, связанных со снегопадами, сход которых в большинстве случаев совпадает с максимальным снегонакоплением. Прекращения лавиноопасного сезона следует ожидать, когда высота старолежалого снега станет меньше максимальной на 20 см.

2. Состояние подстилающей поверхности. Снежные лавины во время снегопадов сходят исключительно по снежной поверхности. Вероятность схода лавины при отложении снега на сухую поверхность снежного покрова значительно выше, чем при отложении на влажную поверхность.

Подстилающая поверхность	Вероятность схода лавин, баллы
Почва	0
Среднезернистый влажный снег, влажный температурный наст	0—1
Среднезернистый снег, крупнозернистый влажный снег	1—2
Радиационный фирн, метелевый наст	5
Температурный наст	7
Осевший сухой снег, снежная корка	8—9
Мелкозернистый снег	9—10
Крупнозернистый снег, глубинная изморозь, ледяная корка	10
Снег поздней стадии диагенеза (крупнозернистый снег и глубинная изморозь)	10

3. Высота и слой воды свежевывавшего снега. Это один из главных факторов лавинообразования. Критическая (минимальная для схода лавин) высота нового снега составляет 10 см. При меньшей высоте лавин не отмечалось; при высоте от 10 до 30 см наблюдались случаи схода лавин тем чаще, чем больше высота; при высоте свыше 30 см всегда образовывались лавины (табл. 15).

Таблица 15

Вероятность схода лавин (%) в потенциально лавиноопасные снегопады

Снеголавинная станция	Прирост высоты свежего снега, см				
	10—15	16—20	21—25	26—30	>31
Тюя-Ашу Южная	83	85	92	100	100
Алабель	81	84	100		
Ат-Ойнок	80		100		
Итагар	82	100	100	100	

В первом приближении можно оценивать лавинную опасность так:

Высота нового снега, см	до 10	10—15	16—20	21—30	более 30
Лавинная опасность, баллы	0	4	6	8	10

При выражении твердых осадков в слое воды тенденция возрастания лавинной опасности) выражена не столь отчетливо. Минимальная сумма осадков перед сходом лавин — около 7,5 мм, при возрастании от 7,5 до 50 мм 30—100 % случаев снегопадов с различными суммами осадков приводят к лавинам; преобладают все же частоты 60—100 %.

Сумма осадков при снегопаде, мм	менее 7,5	более 7,5
Баллы	0	5—10

4. Вид нового снега. Тип кристаллов выпадающего снега прежде всего влияет на тип лавин, а также на возможность их образования.

В маловетреную погоду при устойчивых отрицательных температурах воздуха откладывается преимущественно пушистый снег (45,2 % общего числа случаев). Под действием даже незначительных ветров происходит излом кристаллов свежеснегавшего снега, они теряют свою первоначальную форму (22,7 %). В весеннее время происходит быстрое превращение свежеснегавшего влажного снега в мелкозернистый и его оседание.

Снег влажный мелкозернистый	0 баллов
Влажный и мокрый	около 2 "
Сухой уплотненный	7—8 "
Свежеснегавший пушистый и метелевый	8—9 "
Свежеснегавший мучнистый и мелкозернистый (сухой)	10 "

5. Плотность нового снега. Плотность свежеснегавшего снега колеблется от 0,038 до 0,4 г/см³.

При плотности до 0,05 г/см³ лавины наблюдаются во все снегопады; при 0,05—0,115 г/см³ почти всегда (в 80—96 % случаев) наблюдаются лавины; при 0,115—0,19 г/см³ лавины сходят сравнительно редко (20—30 % случаев) и при плотности более 0,19 г/см³ лавины не наблюдаются.

Плотность снега при снегопаде, г/см ³	более 0,2	0,2—0,1	0,1—0,05	менее 0,05
Баллы	0	до 5 (2—3)	5 до 8—10	10

6. Интенсивность снегопада. При интенсивности снегопада до 0,15 см/ч лавины не наблюдаются, с возрастанием интенсивности от 0,15 до 0,8 см/ч лавины наблюдаются в 45—75 % случаев при общей тенденции к увеличению лавинной опасности с ростом интенсивности снегопадов. Для интервала 0,65—0,95 см/ч наблюдается лавинообразование в 65—75 % числа случаев без тенденции к увеличению частоты.

Интенсивность снегопада, см/ч	до 0,15	0,15—0,65	более 0,65
Баллы	0	4—6	6—8

7. Интенсивность выпадения осадков (слоя воды). Осадки интенсивностью до 0,15 мм/ч не отмечались. При осадках интенсивностью 0,15—1,1 мм/ч наблюдается определенная тенденция к некоторому уменьшению относительного числа снегопадов с лавинообразованием.

Интенсивность осадков, мм/ч	до 0,15	0,15—0,65	0,65 и более
Баллы	0	4—8	2—5

8. Оседание снега. Даже большое количество осадков (в слое воды) или большая интенсивность их выпадения не приводит к значительному увеличению лавинной опасности, если происходит быстрое оседание и упрочнение свежевыпавшего снега. С большей плотностью и ускоренным оседанием снега при увеличении суммы осадков и интенсивности снегопадов связана менее чем 100 %-ная лавинопасность снегопадов с большой суммой и интенсивностью осадков.

9. Ветер. На перевальных участках хребтов лавинообразованию способствуют ветры скоростью не более 10 м/с (им приписывается 5 баллов); при скорости ветра более 10—15 м/с этому фактору приписывается 0 баллов.

10. Температура. Между температурой воздуха (измеряемой в стандартных условиях) и температурой поверхности снежного покрова (куда отлагается свежевыпавший снег), которая более тесно связана с лавинообразованием, существует различие в пределах нескольких градусов. На перевале Тюя-Ашу поверхность снежного покрова теплее воздуха в среднем примерно на 2°C (поверхность снежного покрова в отдельных случаях бывает как теплее, так и холоднее воздуха на 6—7°C либо равна ей).

В диапазоне температуры снежной поверхности (контактного слоя) от 0 до 1,4°C в преобладающем числе случаев лавины не сходили и вероятности лавинообразования при этом приписывается 1 балл. Случаям с температурой контактного слоя ниже —1,4°C приписывается 9 баллов.

Основное количество лавин отмечено при температуре контакта от —2 до —4°C (наибольшее число лавин) и от —4 до —8°C (значительное число случаев). При температурах от —8 до —22°C отмечались единичные случаи лавинообразования.

Что касается связи лавинообразования с температурой воздуха, то лавины отмечались при положительных температурах воздуха, до 4°C. При отрицательных температурах (до —24°C) наибольшее количество лавин сошло при температуре от —4 до —12°C, при более низкой температуре отмечались единичные случаи лавин.

11. Синоптические процессы. Из наиболее часто повторяющихся синоптических процессов над территорией Киргизии при снегопадах волновая деятельность представляет максимальную

опасность. Ей приписывается 4—5 (апрель—май), 6—7 (октябрь—ноябрь) и 8—9 (декабрь—март) баллов.

12. Устойчивость снежной толщи. При определениях прочности снега на сдвиг на площадке наблюдений снеголавинной станции (угол наклона 10°) и наиболее обычном угле склона в зоне отрыва лавин 35° коэффициент устойчивости K снежной толщи оценивается по формуле (1.3.6).

При $K < 1,5$ обеспеченность схода лавин составляет 91 %, а при $K > 1,5 \div 7$ %. Первый случай оценивается в 18—19 баллов, второй — в 1—2 балла.

Оценки p (в баллах) всех лавинообразующих факторов суммируются. Минимально возможный результат равен 15 баллам, максимальный 100. Общая сумма показывает степень опасности, которая может возникнуть при данных условиях. С увеличением суммы растет вероятность схода снежных лавин.

Прогноз составляется следующим образом.

Подсчет баллов лавинообразующих факторов начинают производить при накоплении 7—8 см нового снега на площадке наблюдений снеголавинной станции. Высота старолежалого снега определяется с помощью бинокля отсчетом по снегомерным рейкам, установленным в лавиносборах. Затем подсчитывается среднее значение. Если толщина старого снега в каком-либо лавиносборе оказывается меньше критической ($p=0$), то учет остальных факторов производить нецелесообразно, так как опасность схода лавины при этом нулевая.

Определение факторов 2, 4, 5, 10, 12 производится по данным, полученным на площадке наблюдений, где ежедневно измеряются плотность, механические характеристики и температура снежной толщи.

Факторы 3, 6, 7, 8 определяются по специально установленным трем-пяти рейкам и осадкомеру Третьякова на площадке, где ведутся наблюдения за интенсивностью снегопада и осадков. Их средние значения подсчитываются интегральным способом по нарастающей сумме в процессе накопления снега и осадков.

Фактор 11 оценивается по данным бюро погоды о преобладающем типе синоптического процесса.

Фактор 9 (ветер) оценивается по данным метеоплощадки.

Если сумма баллов всех перечисленных лавинообразующих факторов достигнет 70 и более, объявляется лавинная опасность. Время наступления лавинной опасности подсчитывается по формуле

$$t = \frac{h_k - h}{i} = \frac{\Delta h}{i}, \quad (2.4.1)$$

где h_k — критическая высота снега (10 см); h — высота снега, при которой производился подсчет баллов (7—8 см); i — средняя интенсивность снегопада, см/ч; $\Delta h = h_k - h$.

Например, при $\Delta h = 3$ см и интенсивности снегопада 0,3 см/ч заблаговременность прогноза составляет 10 ч.

Лавинная опасность сохраняется в течение всего снегопада. Если снегопад продолжается длительное время (3—5 суток), то производится повторный подсчет баллов, так как снего-метеорологическая обстановка может значительно измениться.

2.4.3. Эмпирический метод прогноза лавин при снегопадах и метелях

По данным наблюдений в течение ряда лет на снеголавинных станциях Средней Азии предложены различные прогностические графики связи лавин с одним или двумя метеорологическими факторами:

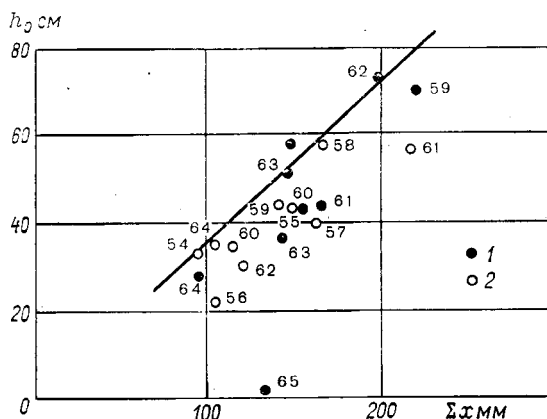


Рис. 26. Связь схода первых лавин в данном году (числа у точек) в районах СЛС Кызылча (1) и Дукант (2) в Чаткальском хребте с суммой твердых осадков Σx за снегопад и высотой старого снега h_0 .

ческими факторами: суммой осадков и высотой старого снега, интенсивностью снегопада и температурой воздуха и т. д. (рис. 26 и др.).

Дальнейшее усовершенствование приемов расчета и прогноза лавин [173] включало случаи выпадения разных видов осадков и более четкое разграничение района обслуживания по степени лавинной угрозы. Наряду с определением времени наступления периода лавинной опасности с заблаговременностью 6 ч предлагаемая новая методика предусматривает прогнозирование максимального объема лавин из свежевыпавшего снега, образующихся в данный период на различных участках района. Кроме того, она позволяет оценивать изменение лавиноопасной ситуации в течение снегопада.

Во избежание разночтения была предложена следующая трактовка некоторых терминов.

Лавинный прогноз — заблаговременное предсказание времени наступления периода лавинной опасности и объема ожидаемых лавин на различных участках исследуемой территории.

Период лавинной опасности — определенный интервал времени с фактическим сходом лавин в данном районе, лавиносборе, склоне, участке и т. д. Предсказать время схода конкретной лавины пока невозможно. Период лавинной опасности фиксируется во время снегопада с некоторого момента, определяемого расчетным путем, и может продолжаться несколько суток.

При составлении лавинного прогноза снегопад считается непрерывным, если перерывы в выпадении осадков не превышают 12 ч. При более длительных перерывах выделяется ряд снегопадов, каждый из них оценивается на степень лавинной опасности самостоятельно. При этом оценке подлежат все снегопады, давшие более 1 мм осадков.

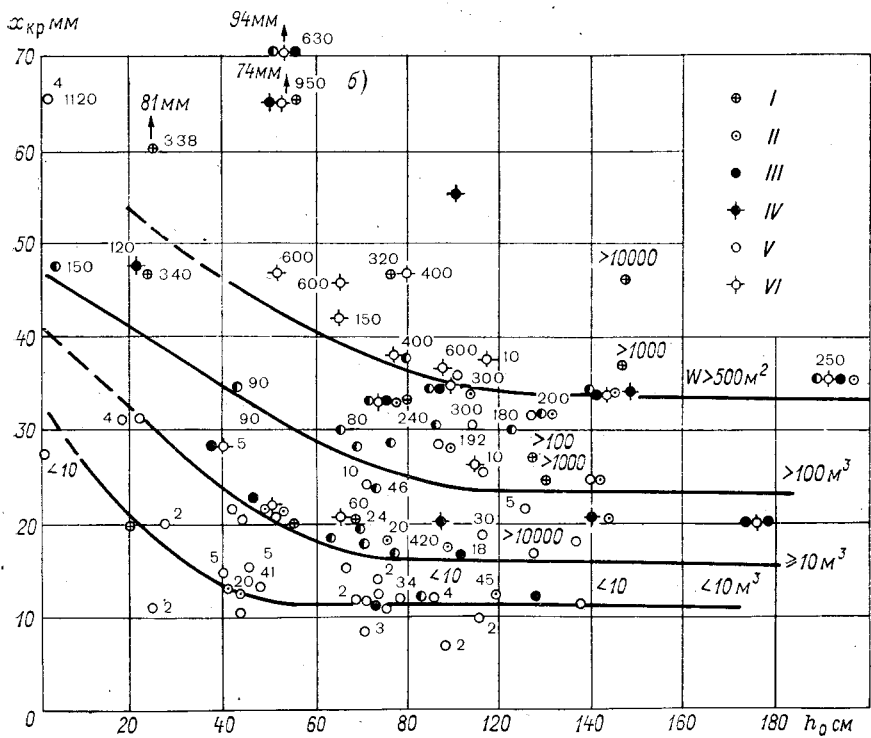
Деление на самостоятельные снегопады при перерыве в выпадении осадков менее 12 ч производится в следующих случаях: 1) если предшествующее перерыву количество осадков за предыдущие сутки меньше 1 мм (ими в расчетах пренебрегают), 2) если срочная температура воздуха была выше $1,5^{\circ}\text{C}$, 3) если наблюдалось уменьшение высоты снежного покрова на метеорологической площадке.

Температура воздуха выше $1,5^{\circ}\text{C}$ во время перерыва осадков или сразу после снегопада может привести к образованию лавин иного генезиса, условия образования и прогноз которых приведены в п. 2.4.4.

За конец снегопада принимается момент времени, начиная с которого в последующие сутки плюс 12 ч количество осадков не превышало 1 мм.

Для отдельных участков района СЛС Дукант построены [173] графики связи объемов лавин с суммой осадков x при снегопадах и высотой старого снега h_0 (рис. 27). Кривые на графике ограничивают снизу область точек для лавин с объемами, не менее указанных. Разными знаками показаны случаи схода лавин из свежевыпавшего снега и комбинированных (из свежевыпавшего и старого снега), а также лавин вследствие выпадения на поверхность снежного покрова жидких и смешанных осадков. Жидкими осадками считались дождь и мокрый снег в различных сочетаниях с преобладанием дождя к моменту схода лавины (при этом дождя выпадало 9,2—34,0 мм), смешанными осадками считались дождь, мокрый снег и сухой снег с преобладанием снега перед сходом лавины (при этом дождя выпадало не более 6,3 мм).

В зависимости от высоты старого снега для схода лавин необходимо различное количество осадков: в начале зимы при $h_0=0$ для образования осовов объемом около 10 м^3 при первом снегопаде должно выпасть не менее 48 мм (в пересчете на слой воды), при $h_0=40$ см и более для схода таких же осовов



достаточно 14 мм. Чтобы сошли более крупные лавины, требуется тем больше осадков, чем больше объем лавины. С увеличением высоты старого снега, при прочих равных условиях, для образования лавины данного объема требуется все меньшая сумма осадков. Это позволяет прогнозировать лавины свежевыпавшего снега различных объемов и с достаточной заблаговременностью проследить за изменением размеров лавинной опасности.

Так как объем лавин зависит не только от снего-метеорологических факторов, но и от размеров, формы и других особенностей некоторых лавиносборов, для разных участков получаются различные графики. На рис. 27 б лавиносборы в бассейне р. Дукант сгруппированы по геоморфологическим признакам. В отдельные группы объединялись лавиносборы одного и того же борта долины. В табл. 16 даны в качестве примера оценки критических сумм осадков для образования лавин разного объема в двух лавиносборах.

Таблица 16

Критические суммы осадков (мм), необходимые для образования лавин в районе СЛС Дукант

Тип лавины	Объем лавин, м ³	Высота старого снега, см											
		0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Лавины из свежевыпавшего снега в сае Аширдороз	>100	47	40	33	28	23	18	15	12	11	10	10	10
	>1000	68	62	56	50	46	43	39	37	34	32	30	28
Комбинированные лавины в сае Аширдороз	>1000	—	—	27	23	19	17	15	14	13	12	12	12
Комбинированные лавины на участке Джекиндек	>1000	—	—	25	22	20	18	16	15	14	13	12	12

Аналогично описанному построен график связи объемов лавин свежевыпавшего снега с интенсивностью выпадения осадков и температурой воздуха (рис. 28). По осям координат отложены температура воздуха в данный срок и средняя интенсивность выпадения осадков с начала снегопада до метеорологического

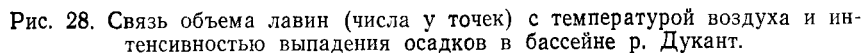
Рис. 27. Связь объемов лавин (числа у точек) с суммой осадков $x_{кр}$ при снегопадах и высотой старого снега h_0 .

а — на участке Джекиндек в бассейне р. Дукант;

Лавины: 1 — из свежевыпавшего снега, 2 — комбинированные (из свежевыпавшего и старого снега), 3 — при выпадении дождя, 4 — объемом менее 10 м³;

б — по шести группам (I—VI) лавиносборов в бассейне р. Дукант.

2 MM / 4



фики также должны строиться для конкретных участков или лавиносборов.

Для расчета времени наступления периода лавинной опасности используют наблюдения по срокам за температурой воздуха и интенсивностью выпадения осадков в период снегопада. Период опасности схода лавин заданного объема наступает через 64 ч после срока наблюдений, когда значения температуры и интенсивности осадков становятся равными или несколько превысят условия, фиксируемые разделяющими кривыми на данном прогностическом графике. Расчет средней ин-

тенсивности осадков производится в стандартные сроки с начала снегопада до момента накопления слоя нового снега (в водном эквиваленте), соответствующего критическим значениям осадков для различных участков района. При расчете интенсивности осадков из общей продолжительности снегопада вычитаются перерывы в выпадении осадков.

Ниже кривой $W > 10 \text{ м}^3$ при любых соотношениях интенсивности и температуры воздуха лавинная опасность отсутствует или возможны осыпи из свежавыпавшего снега объемом менее 10 м^3 . Для значений лавинообразующих параметров, имеющих координаты выше всех трех кривых, лавинная опасность дифференцируется по грациям объемов ожидаемых лавин в соответствии с критическими значениями осадков. Например, если интенсивность снегопада свидетельствует при данной температуре воздуха о возможности схода лавин объемами более 100 м^3 , то для реализации этой возможности на различных участках необходимо накопление снега, соответствующее данному объему лавин. Время наступления периода и определенной степени лавинной опасности (по грациям объемов лавин) на различных участках района определяется во время снегопада по описанной выше схеме в метеорологические сроки.

Наличие или прекращение лавинной опасности по окончании снегопадов определяется на основании зависимости между плотностью свежавыпавшего снега, количеством осадков и температурой воздуха во время схода лавин (рис. 29). Для всех снегопадов, давших лавины, ежедневная плотность нового снега рассчитывалась за период от начала снегопада до утреннего срока, когда производятся наблюдения за высотой снежного покрова. Подсчет плотности снега следует начинать с момента увеличения прироста высоты более 10 см. Наблюдавшийся при некоторых снегопадах поземок искажает результаты расчета плотности, поэтому снегопады с метелевым переносом не были использованы. Расчетные данные определения плотности хорошо согласуются с фактическими.

На рис. 29 проведены кривые, отвечающие верхним значениям плотности снега при различной температуре воздуха и постоянном количестве осадков. Эти кривые отвечают критическим значениям плотности. Слой свежавыпавшего снега с плотностью, меньшей критической, и при состоянии, близком к неустойчивому, способен образовать лавину. С ростом плотности устойчивость его возрастает. Это проявилось при построении зависимости критической плотности от количества осадков и температуры воздуха: плотность свежавыпавшего снега, обеспечивающая ему устойчивость при отрицательной температуре воздуха, увеличивается по мере накопления снега в течение снегопада и уменьшается с понижением температуры воздуха. Кривая для $x \leq 20$ отвечает максимальной плотности снега при различной температуре воздуха во время снегопада при

количестве осадков, меньшем или равном 20 мм. Выше кривой случаи снегопадов с лавинами при данном количестве осадков не наблюдались, что свидетельствует о высокой гарантии отсутствия лавинной опасности.

Ниже кривой могут наблюдаться случаи снегопадов с большим количеством осадков и малой плотностью снега, однако

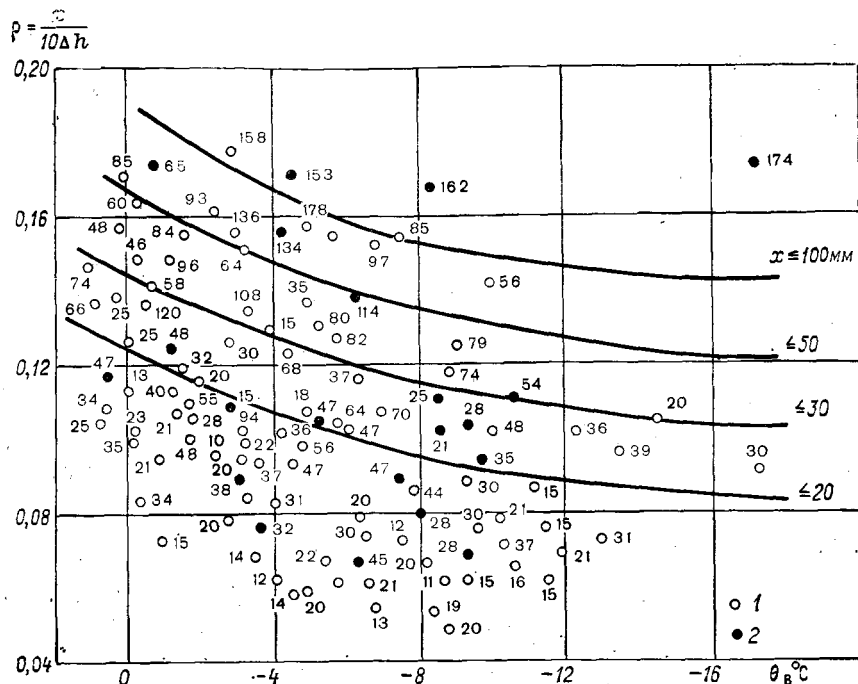


Рис. 29. Связь критической плотности свежевыпавшего снега, температуры воздуха и суммы осадков за снегопад (числа у точек) в периоды схода лавин.

1 — из свежевыпавшего снега, 2 — комбинированные.

в этих случаях степень лавинной опасности возрастает. Кривая для $\Sigma \leq 30$ мм соответственно является верхним пределом плотности свежевыпавшего снега для снегопадов с количеством осадков не более 30 мм, кривая для $\Sigma \leq 50$ мм — до 50 мм и т. д. Окончание периода лавинной опасности (прекращение схода лавин из сухого свежевыпавшего снега после снегопада) определяется в момент превышения критической плотности снега, соответствующей данному количеству осадков и температуре воздуха.

По многолетним наблюдениям на снеголавинных станциях Западного Тянь-Шаня в САРНИГМИ составлены «Методические рекомендации по прогнозированию лавин из свежевыпавшего снега» (Г. Г. Харитонов [171]), одобренные и ут-

вержденные Ученым Советом САРНИГМИ 28 ноября 1973 г. В основу предложенной методики прогноза лавинной опасности положены эмпирические графики связи схода лавин с интенсивностью снегопада и средней температурой воздуха при снегопаде. Полученные выводы проверялись для других горных районов; по фактическим материалам построены аналогичные графики, различающиеся в деталях, но подтверждающие общий характер установленной зависимости (рис. 30).

Прогноз лавин из свежавыпавшего снега производится на основании данных метеорологической станции, освещающей условия формирования лавин в данном районе. Необходимым условием здесь является расположение метеорологической площадки в высотной зоне с наибольшей повторяемостью схода лавин. К результатам наблюдений станций, размещенных существенно ниже этой зоны, следует вводить поправки на высотный градиент осадков и температуры воздуха.

В начальный период зимы для образования лавин из свежавыпавшего снега необходимо накопление на склонах снего-сборов снега достаточной высоты, для того чтобы перекрыть неровности подстилающей поверхности. Для Западного Тянь-Шаня это количество снега, определяемое как нарастающая сумма твердых осадков от первого снегопада в начале зимы до снегопада, давшего первые лавины, составляет в разные годы от 96 до 220 мм. Сумма осадков 100 мм (при коэффициенте вариации 0,26) может быть принята за критерий наступления лавинной опасности в начале зимы с обеспеченностью 90 %. Этот критерий можно использовать в районах Западного Тянь-Шаня, неизученных в лавинном отношении, и в районах с интенсивным метелевым перераспределением снега.

В Западном Тянь-Шане в начале зимы критические лавино-образующие значения суммы осадков первых снегопадов, определенных с даты установления устойчивого снежного покрова до момента схода первых лавин, связаны с высотой старого снега. Критические суммы осадков рассчитывались от начала снегопада до метеорологического срока, предшествующего последнему перед сходом лавин сроку наблюдений, что дало возможность использовать расчетные графики в прогностических целях. С увеличением высоты снежного покрова от 0 до 35—55 см перед снегопадом, давшим первую лавину в районе СЛС Дукант, сумма осадков пропорционально уменьшается от 42—48 до 14—16 мм.

Здесь дан пример распределения критических сумм осадков, необходимых для образования лавин в одном из лавиносборов (участок Джекиндек в районе СЛС Дукант):

Высота старого снега, см . . .	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Осадки, мм . . .	47	40	33	28	23	18	15	12	11	10

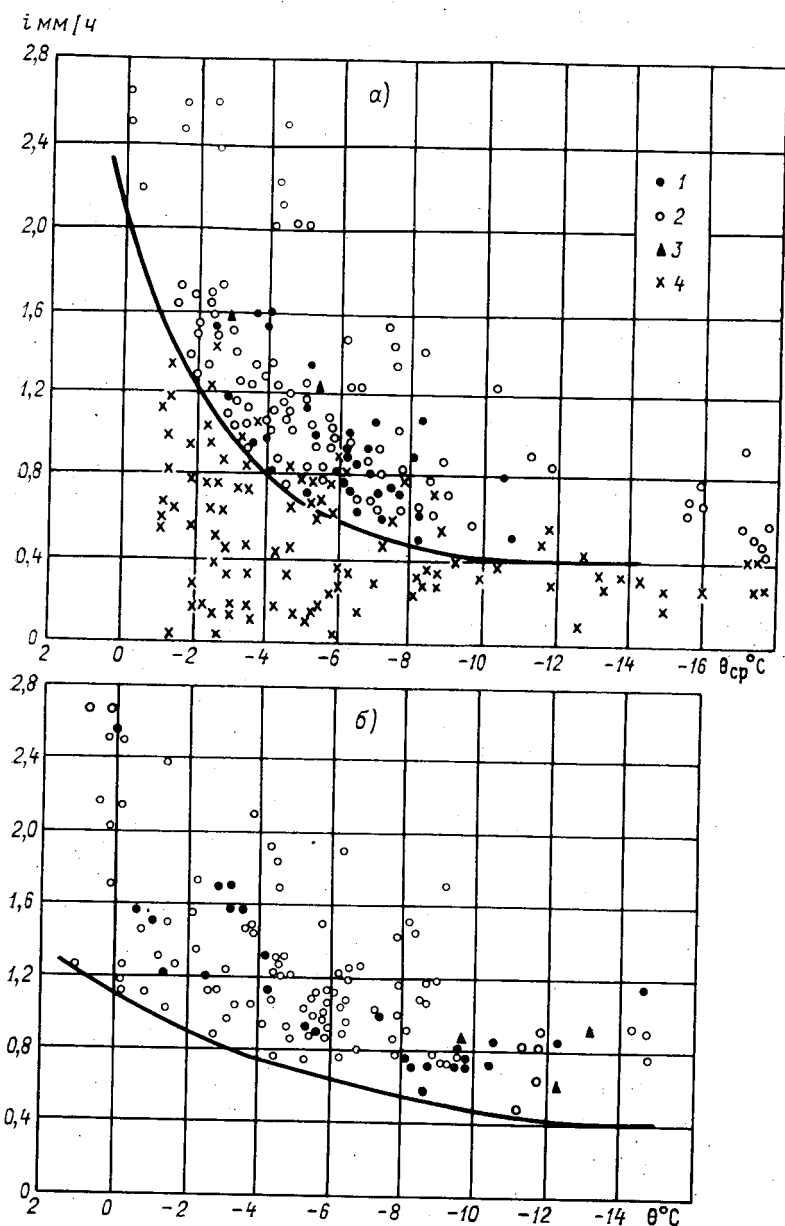


Рис. 30. Связь лавинообразования со средней интенсивностью осадков при снегопаде (i) и температурой воздуха:

a — средней от начала снегопада до момента схода лавин ($\theta_{\text{ср}}$), b — в ближайший перед сходом лавин срок наблюдений (θ).

1 — СЛС Кызылча, 2 — СЛС Дукант, 3 — СЛС Наугарзан, 4 — сход лавин не наблюдался.

В районе СЛС Кызылча (Чаткальский хребет, Западный Тянь-Шань) в начале зимы при увеличении высоты снежного покрова от 0 до 30 см критические суммы осадков (по накоплении которых сходят лавины) пропорционально уменьшаются от 43 до 8 мм, в бассейне р. Реваште (Чаткальский хребет) в интервале высот снега от 0 до 20 см они уменьшаются от 28 до 8 мм.

Пороговое значение суммы осадков (при достаточном количестве снега для перекрытия неровностей подстилающей поверхности) в районе СЛС Дукант составляет 10—16 мм; в районе СЛС Наугарзан оно равно 20 мм, а в бассейнах р. Кызылча и Реваште — 8 мм. В неизученных районах за критическую высоту снежного покрова следует принимать 20 см, а сумму осадков за снегопад 8 мм. Дальнейшее накопление снега приводит при определенных метеорологических условиях к сходу лавин.

Наступление лавинной опасности зависит от того, как скоро в течение снегопада накопится на опасных участках склонов снег критической высоты. Сумма осадков от начала снегопадов до момента схода лавин из свежевыпавшего снега составляет 8—132 мм. Средняя интенсивность выпадения этих осадков изменяется от 0,35 до 3,40 мм/ч при температуре воздуха от +2,2 до —18,2 °С. Объем лавин при этом может достигать сотен тысяч кубических метров. Время наступления лавинной опасности, отсчитываемое от начала снегопада, составляет в одних случаях около 5 ч, в других — до 82 ч.

Каждый отдельно взятый метеорологический элемент (температура воздуха, количество осадков, высота снега на метеорологической площадке и др.) не может являться достаточно надежным показателем момента наступления лавинной опасности.

Лавинная опасность возникает и увеличивается по мере возрастания интенсивности выпадения твердых осадков (снег и мокрый снег в различных сочетаниях) или скорости накопления слоя свежевыпавшего снега и понижения температуры воздуха.

На прогностическом графике (рис. 30 а) по оси ординат представлена средняя интенсивность твердых осадков (снег и мокрый снег в различных сочетаниях) с начала снегопада до метеорологического срока, предшествующего сходу лавин, по оси абсцисс — средняя температура воздуха за это же время.

Расчет метеорологических элементов в периоды выпадения твердых осадков, не давших лавин, производится на конец снегопада. Эти данные другим условным знаком наносятся также на прогностический график, где проведена кривая, огибающая снизу крайние точки, соответствующие случаям схода лавин в период снегопада. Верхняя часть графика, ограниченная снизу разделяющей кривой, охватывает область значений метеорологических элементов, характеризующих условия

формирования лавин; в области ниже кривой сход лавин не наблюдался. Координаты кривой на графике представляют собой критические значения интенсивности выпадения осадков при различной температуре воздуха.

Для расчета времени наступления лавинной опасности используют результаты наблюдений по срокам за температурой воздуха и интенсивностью выпадения осадков в период снегопада. Она наступает в момент, когда значения температуры и интенсивности осадков превысят граничные условия, фиксируемые разделяющей кривой на рис. 30. Расчет средней интенсивности выпадения осадков и средней температуры воздуха производится в сроки измерения с начала снегопада до момента накопления критических сумм осадков, соответствующих 8 мм осадков на СЛС Кызылча, 14 мм на СЛС Дукант и 20 мм на СЛС Наугарзан.

При малой интенсивности осадков лавинная опасность отсутствует и точки на графике (крестики) располагаются ниже кривой; по мере увеличения интенсивности выпадения осадков при данной температуре воздуха наносимые точки попадают в область графика выше кривой, свидетельствующей о появлении лавинной опасности. Срок, в котором расчетные параметры превысили критические значения, принимается за начало наступления периода лавинной опасности. Для удобства точки на графике последовательно от срока к сроку соединяют прямыми от начала до конца снегопада. С каждым последующим сроком ведется перерасчет средней интенсивности осадков и температуры воздуха, прогноз лавинной опасности в связи с этим уточняется. С момента наступления периода лавинной опасности сход лавин в данном районе возможен в любое время до конца снегопада.

Пример расчета времени наступления периода лавинной опасности в течение снегопада представлен в табл. 17, из которой видно, что лавинная опасность в районе СЛС Дукант в период снегопада 15—20/І 1966 г. возникла в 19 ч 17/І, когда количество осадков и интенсивность их выпадения при данной температуре воздуха превысили критические значения. 15 и 16/І было нелавиноопасно и лавин не наблюдалось. Сход первых лавин из сухого свежеевыпавшего снега был зарегистрирован в 0—2 ч 18/І в ряде лавиносборов на участке Джекиндек, для которого и составлялся прогноз лавин. Далее снегопад с переменной интенсивностью продолжался до 5 ч 20/І. Повторный сход лавин также был зафиксирован между 22 ч 18/І и 1 ч 19/І и 20/І — между 1—3 ч.

Заблаговременность предупреждения о сходе лавин определяется временем от начала периода лавинной опасности до момента схода лавины в течение данного снегопада. Повторяемость схода лавин при заблаговременности до 3 ч составляет 20 %, при заблаговременности до 12 ч она равна 71 % общего числа случаев, а до 24 ч — 94 % случаев.

Лавинная опасность в Западном Тянь-Шане большей частью заканчивается практически в конце снегопада, либо ограничивается максимальной длительностью перерыва в выпадении осадков 12 ч. Исключением являются случаи снегопадов со значительным количеством осадков, когда сход повторных лавин наблюдался спустя 1—3 дня, иногда вследствие выпадения дополнительных (7—14 мм) осадков, явно не достаточных для формирования лавин тех размеров, которые наблюдались, либо без дополнительных осадков из слоя снега предшествующего крупного снегопада. Поэтому в данном случае лавинная опасность в конце крупных снегопадов не прекращалась, так как профилактические мероприятия по обрушению снега на склонах своевременно не проводились.

Максимальная естественная длительность лавинной опасности после снегопада в зависимости от количества выпавших осадков может достигать следующих значений (ориентировочно):

Количество осадков за снегопад, мм	20	30	40	50	60
Длительность лавинной опасности после прекращения осадков, ч	16	32	48	64	80

Сход лавин в период снегопада наблюдается после или в момент наибольшей интенсивности выпадения снега.

На рис. 31 *а* представлена зависимость схода лавин от интенсивности выпадения осадков за промежутки времени 12, 24, 36 и 48 ч и более перед сходом лавин и температуры воздуха в момент их схода в районе СЛС Дукант. Такая градация периодов обусловлена сроками метеорологических наблюдений за осадками, а интенсивность осадков определена по фактической длительности снегопада к моменту схода лавин. Для каждой группы периодов выпадения осадков перед сходом лавин на графике проведены нижние граничные прямые, соответствующие начальным условиям лавинообразования. Верхняя прямая соответствует критическим значениям средней интенсивности выпадения осадков внутри снегопада за время 12 ч при различных температурах воздуха, способных образовать лавины из свежевывавшего снега объемом в несколько тысяч кубических метров. Все последующие нижерасположенные прямые на графике представляют начальные условия лавинообразующих характеристик соответственно за промежутки времени 24, 36, 48 ч и более. Критические значения метеорологических элементов (количество осадков, высота снежного покрова) принимаются в соответствии с фактическими данными для конкретного района.

С увеличением интенсивности осадков во время снегопада начало периода лавинной опасности определяется по очередному

**Пример расчета времени наступления периода лавинной опасности в течение снегопада 1
Дукант (участок Джекиндек)**

Дата снегопада	Срок, ч (по моск. времени)	Темпера- тура воздуха, °C	Осадки х мм	Продолжи- тельность выпадения осадков, Т ч	Нарастающие суммы		Интенсив- ность осад- ков, мм/ч	Средн. темпера- тура воздуха
					Σх мм	Σt ч		
15/I	00	0,7	Снегопад начался в 1,5 ч 15/I					
	03	—3,5	1,5	1,8	1,5	1,8		
	06	—4,7	2,2	3,0	3,7	4,8		
	09	—4,5						
	12	—3,9						
	15	—3,7	4,8	9,0	8,0	13,8		
	18	—4,5	4,0	3,0	12,0	16,8		
	21	—4,7						
16/I	00	—4,7						
	03	—4,5	7,9	8,5	19,9	25,2		
	06	—4,5	0,5	1,2	20,4	26,4		
	09	—3,6						
17/I	12	—0,3						
	15	—1,9	1,0	3,3	21,4	29,7		
	18	—3,0	1,6	2,6	23,0	32,3		
	21	—3,1						
	00	—3,3						
	03	—3,2	11,7	9,0	34,7	41,3	0,84	
	06	—3,3	2,3	1,8	37,0	43,1	0,86	
	09	—3,2						
	12	—3,1						
	15	—3,3	6,9	8,2	43,9	51,3	0,86	
	18	—3,1	3,1	3,0	47,0	54,3	0,86	
	21	—2,9						
18/I	00	—3,1						
	03	—4,7	14,0	9,0	61,0	63,3	0,96	

сроку наблюдений за осадками в промежутке выпадения осадков до 12 ч, с момента которого возможен сход лавин. Данные о средней интенсивности выпадения осадков за время 12 ч при температуре воздуха в данный срок наносятся на график (рис. 31). Попадание точки выше разделяющей прямой на графике свидетельствует о том, что выпавшие за последние 12 ч твердые осадки способны при данных условиях образовать

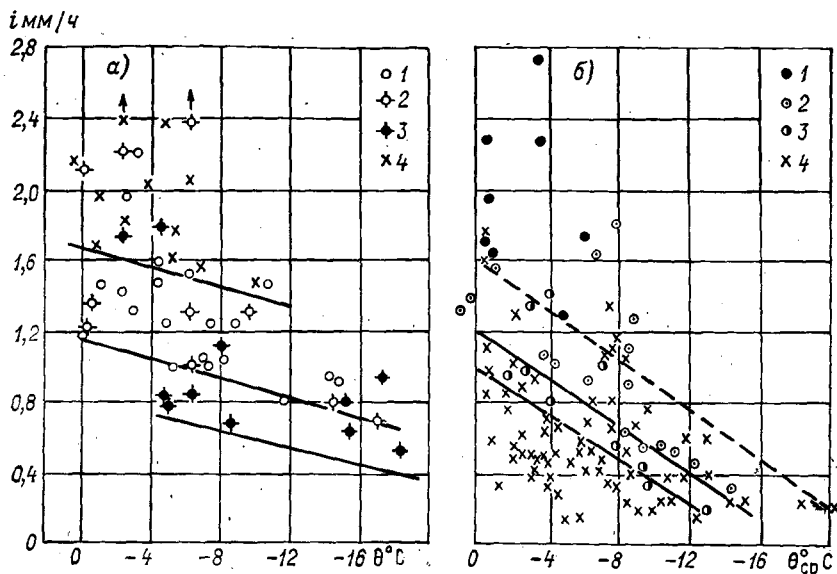


Рис. 31. Связь схода лавин с интенсивностью выпадения осадков за различные периоды перед сходом лавин и средней за снегопад температурой воздуха. а — СЛС Дукант: 1) 12 ч, 2) 24 ч, 3) 36 ч, 4) 48 ч и более; б — СЛС Большое Алматинское озеро: 1) 8 ч, 2) 9–16 ч, 3) 17–24 ч, 4) сход лавин не наблюдался.

лавины из свежавыпавшего снега. Момент превышения лавинообразующими параметрами данных критических значений нужно считать началом периода лавинной опасности.

В период продолжительного снегопада рис. 31 позволяет проверить аналогичным образом наличие или отсутствие лавинной опасности по температуре воздуха в данный срок и средней интенсивности выпадения осадков за 24 и 36 ч. Проверка за более длительные промежутки времени не целесообразна; в таких случаях рациональнее использовать методику прогнозирования по графику на рис. 30.

В горах Тянь-Шаня лавины из метелевого снега характерны лишь для отдельных районов, где происходит интенсивный метелевый перенос. Одним из них является район перевала Наугарзан. Здесь первые лавины образуются в результате метелей, после того как запас воды в снежном покрове достигнет 110 мм

[167]. Лавины из метелевого снега образуются во время восточного ветра, имеющего фоновый характер, на фоне повышающейся температуры воздуха; при этом происходит ветровое перераспределение снега от предыдущих снегопадов. Большое значение при этом имеет промежуток времени от момента выпадения последних осадков до начала восточного ветра, который может наступить в одних случаях уже через несколько часов

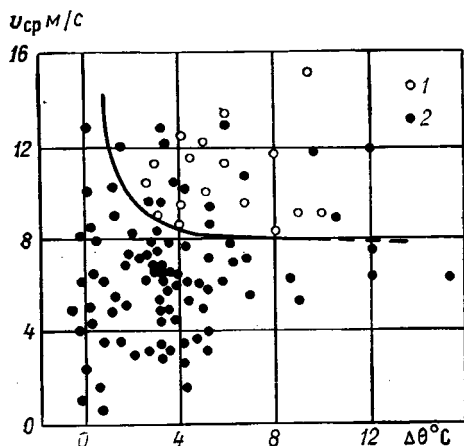


Рис. 32. Связь лавинообразования со средней скоростью ветра v_{cp} и приростом температуры воздуха $\Delta\theta$ при восточном ветре на перевале Наугарзан.

1 — наблюдался сход лавин, 2 — не наблюдался.

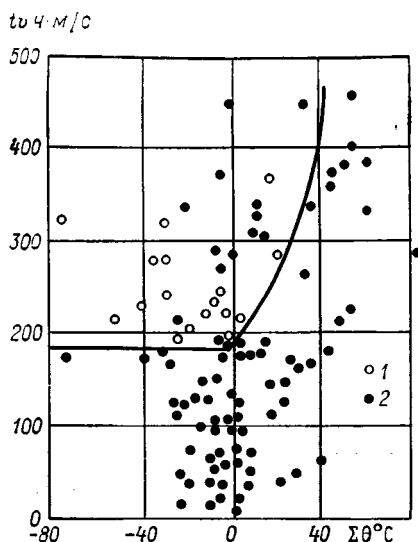


Рис. 33. Связь лавинообразования со значениями tv и $\Sigma\theta$ при восточном ветре на перевале Наугарзан.

1 — наблюдался сход лавин, 2 — не наблюдался.

после прекращения снегопада, а в других — по истечении нескольких суток. Лавины образуются в основном в случаях, когда ветер начинается не позже чем через сутки после снегопада. При этом решающее значение имеет как скорость и продолжительность ветра, так и температура воздуха и ее изменение в период ветрового перераспределения снега. Прогноз лавин из переложенного метелями нового снега производится по эмпирическим графикам [167].

Связь лавинообразования со скоростью ветра и приростом температуры показана на рис. 32, который может служить прогностическим графиком. Область графика, содержащая точки «с лавинами», отделена от точек «без лавин» разграничивающей кривой.

Количество перераспределенного ветром снега тем больше, чем продолжительнее и сильнее ветер; влияние температуры

также зависит от времени ее воздействия. С учетом этого в качестве основного прогностического графика для района перевала Наугарзан предложен рис. 33 (время t отсчитывается от начала фёнового восточного ветра). Область графика, где имеются точки «с лавинами», граничной кривой отделена от области с точками только «без лавин». Вариантом этого графика является рис. 34. Здесь на оси ординат отложен логарифм произведения tv и разграничивающие кривые на графике спрямлены.

Способ пользования прогностическими графиками понятен из примера составления прогноза лавинной опасности в долине р. Наугарзан, когда через 6 ч после окончания снегопада (3/1 в 21 ч) начался восточный ветер (4/1 в 3 ч) (табл. 18).

Таблица 18

Пример прогноза лавиноопасности в долине р. Наугарзан

Дата	Срок наблюдения, ч	Ветер			tv ч·м/с	Температура воздуха, °С		
		направление	средняя скорость, м/с	продолжительность, ч		в срок наблюдений	нарастающая сумма	приrost от начала ветра
4/1 1963 г.	1		0	—	—	—2,5	—	—
	7	BCB	8,0	4	32	—1,0	—1,0	1,5
	13	B	8,6	10	86	—0,1	—1,1	2,4
	19	B	10,0	16	160	0,5	—0,6	3,0
5/1	1	BCB	10,2	22	224	1,6	1,0	4,1
	7	BCB	8,6	28	240	1,4	2,4	3,9
	13	BCB	7,7	34	262	4,0	6,4	6,5
	19	C3	—	—	—	—2,6	2,3	—

При нанесении точек по этим параметрам на прогностические графики видно, что уже к 1 ч 5/1 возникла угроза схода лавин. Фактически лавинообразование наблюдалось в первой половине 5/1 на северных склонах долины.

Произведение скорости ветра на его продолжительность лишь косвенно характеризует накопление снега в лавиносборах. Если во время метели (поземка) измеряется метелевый перенос q , то рекомендуется график (рис. 35), связывающий сход лавин с произведением qt (суммарный метелевый перенос через единицу площади поперечного сечения снего-ветрового потока) и суммой температур $\sum \theta$. Область, содержащая точки «с лавинами», отделена граничной кривой от области точек исключительно «без лавин». Для больших отрицательных значений $\sum \theta$ (-40 , -80°) можно в качестве пороговой величины принять $qt \approx 1000$ г/см².

Прогноз лавин из метелевого снега по этому графику выполняется способом, аналогичным описанному выше. С начала поземки производится измерение интенсивности метелевого переноса снега и от срока к сроку наблюдений рассчитывается суммарный метелевый перенос и нарастающая сумма срочных значений температуры воздуха. По достижении величины $qt = 1000 \text{ г/см}^2$ следует объявить о лавинной опасности.

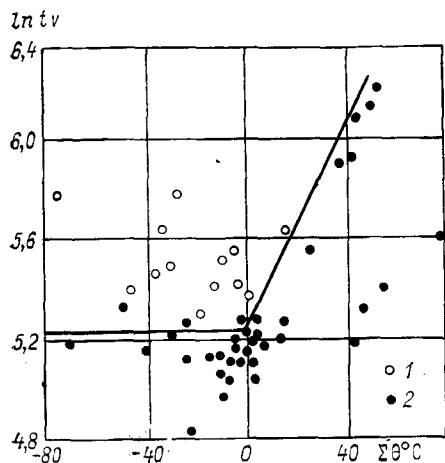


Рис. 34. Связь лавинообразования со значениями $\ln tv$ и $\Sigma \Theta$ при восточном ветре на перевале Наугарзан.

1 — наблюдался сход лавин, 2 — не наблюдался.

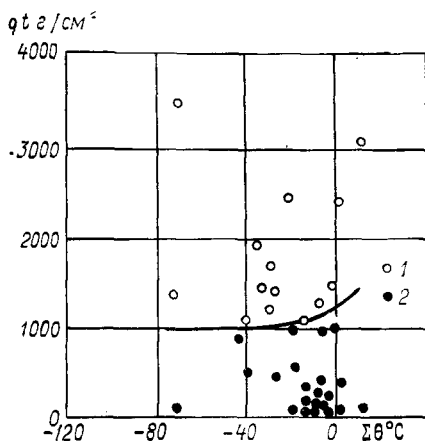


Рис. 35. Связь лавинообразования со значениями qt и $\Sigma \Theta$ при восточном ветре на перевале Наугарзан.

1 — наблюдался сход лавин, 2 — не наблюдался.

Эмпирические способы прогноза лавинной опасности от лавин из метелевого снега, разработанные для района перевала Наугарзан, после поправок на местные условия могут быть применены в других районах Средней Азии со сходными физико-географическими условиями.

Изложенная методика может применяться и в других горных районах при условии уточнения прогностических графиков на фактическом материале. Так, в Гиссарском хребте (бассейне р. Варзоб), по многолетним данным СЛС Харамкуль УГМС Таджикской ССР, минимальная сумма осадков с момента установления устойчивого снежного покрова до схода первых лавин равна 65 мм. График связи схода лавин с критической интенсивностью снегопада и средней температурой воздуха по данным СЛС Харамкуль за 1962—1972 гг. совпадает с кривой на рис. 30 а [172]. Однако последующие случаи схода лавин зимой 1973-74 г. дали точки ниже граничной кривой, а некоторые оказались даже за пределами графика, левее оси

ординат (А. А. Яблоков, Таджикское УГКС), что требует дополнительной корректировки графика.

Кроме этих графиков, прогноз лавин из свежевыпавшего снега в Таджикистане производится по количеству и интенсивности осадков с учетом температуры воздуха [26]. Для

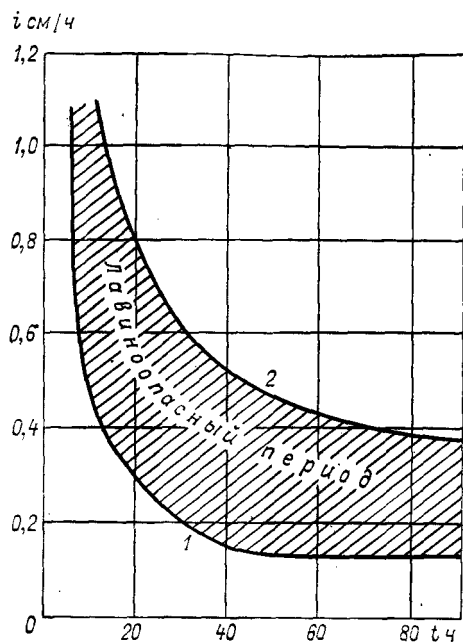


Рис. 36. Определение периода лавинной опасности от лавин из свежевыпавшего снега.

$$1) t_1 = \frac{4,73 - 0,40 i}{i - 0,05}, \quad 2) t_2 = \frac{15,04 - 4,95 i}{i - 0,224}.$$

15) для лавин метелевого типа; на одной из осей графика откладывается время от начала снегопада до схода лавин, на другой — средняя интенсивность снегопада за это время.

Для прогнозирования времени начала и окончания лавинной опасности от лавин свежевыпавшего снега в районе снеголавинной станции Тюя-Ашу Южная предложен график (рис. 36), связывающий время от начала снегопада до момента схода лавин с интенсивностью снегопада i [188 и др.]. Область графика, ограниченная кривыми, служит для определения времени наступления t_1 и окончания t_2 лавиноопасного периода (в часах от начала снегопада).

Аналогичные графики могут быть построены для отдельных лавиносборов, что позволяет прогнозировать не только время, но и место схода лавин.

прогноза используется произведение ожидаемого количества осадков (в миллиметрах) на их интенсивность (мм/ч). Критическое значение этого произведения для Варзобского бассейна равно 20. Около 96 % лавин из свежевыпавшего снега сходят при превышении этого значения, при значении произведения менее 20 наблюдаются лишь незначительные лавины. Свыше 91 % лавин из свежевыпавшего снега сходят при количестве выпавших осадков более 20 мм, 97,1 % — при интенсивности осадков не менее 0,4 мм/ч. Большая часть лавин сходит при температуре воздуха от 0 до -6°C .

В горах Киргизии используются графики связи лавинообразования только с интенсивностью снегопада, аналогичные графику В. Н. Аккуратова (см. рис.

Пользуясь этим способом прогноза лавинной опасности, следует учитывать, что, во-первых, снегопад может прекратиться раньше, чем наступит лавиноопасный период, и, во-вторых, может существенно измениться его интенсивность. Поэтому необходимо в течение всего снегопада следить за его интенсивностью, внося коррективы в найденное время, через которое должен начаться лавиноопасный период. Убедившись, что снегопад достаточно интенсивен и устойчив, можно давать прогноз лавин согласно графику или формуле.

Помимо времени и места схода лавин, по интенсивности снегопадов можно определить пределы ожидаемых объемов ла-

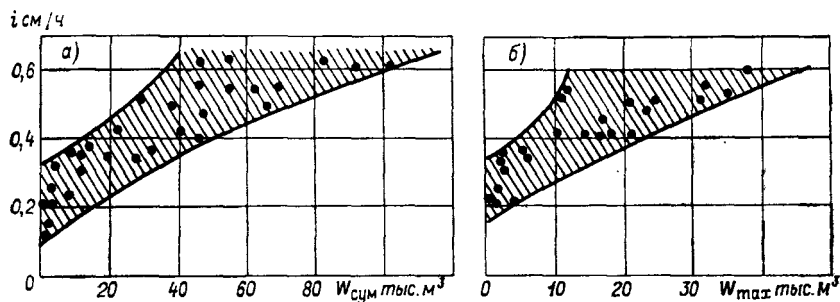


Рис. 37. Связь суммарных (а) и максимальных (б) объемов лавин из свежеснеговывпавшего снега с интенсивностью снегопадов в районе СЛС Тюя-Ашу Южная.

вин свежеснеговывпавшего снега: чем больше интенсивность выпадения осадков, тем больше максимальный и суммарный объем ожидаемых лавин свежеснеговывпавшего снега (рис. 37). Лавины смешанного типа этой закономерности не подчиняются, хотя сход их связан со снегопадами. Объемы таких лавин зависят от глубины залегания горизонта скольжения.

Ожидаемые объемы лавин свежеснеговывпавшего снега рассчитываются также по номограмме (рис. 38) в зависимости от площади лавиносбора F и произведения hh_0 (h — высота снега, выпавшего к моменту схода лавины, см; h_0 — высота снега перед снегопадом, см). При $hh_0 \leq 300 \div 500$ см² сходят лавины малых объемов, которые не представляют угрозы для народнохозяйственных объектов, так как останавливаются на верхних участках лавиноопасных склонов.

В горных районах Киргизии заметную долю (около 40 %) составляют лавины, сход которых связан с резкими изменениями температуры воздуха: понижением, повышением и переходом через нуль в сторону положительных значений [143].

Лавины при понижении температуры (около 20 % общего числа) обычно называют лавинами температурного сокращения (сжатия) снега; сход таких лавин определяется

комплексом физико-механических изменений в снежной толще под воздействием резкого понижения температуры.

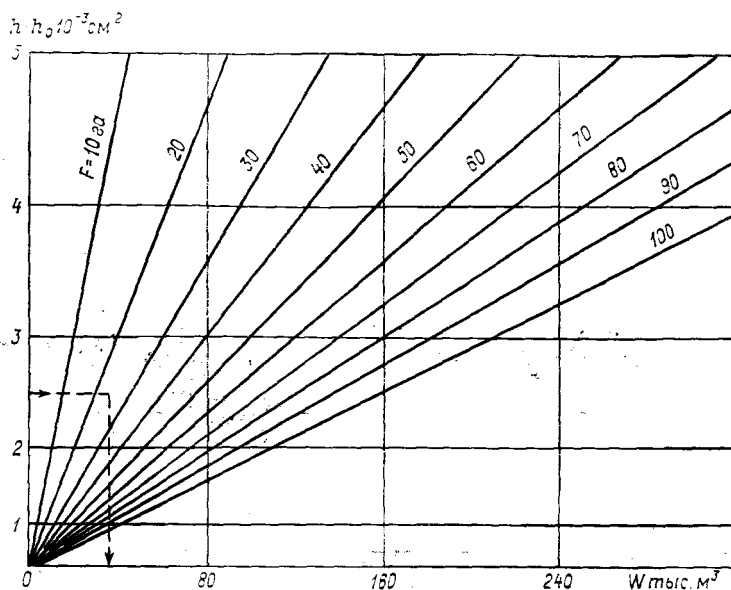


Рис. 38. Номограмма для подсчета объемов лавин из свежеснегавшего снега по формуле $W = 0,75F(hh_0)^{1,58} \cdot 10^{-5}$ [17].

Большая часть таких лавин связана с понижениями температуры воздуха после окончания снегопадов. При достаточно интенсивном снегопаде (более 0,17 см/ч) вновь выпавший сне

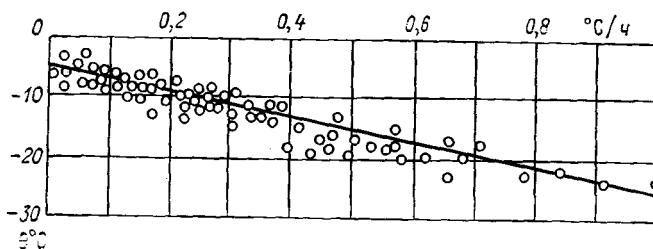


Рис. 39. Связь температурного градиента в снежном покрове (высотой менее 45 см) с изменением температуры воздуха Θ на СЛС Тюя-Ашу Южная.

обычно дает лавины свежеснегавшего снега. Незатронутые сходом лавин участки подвергаются воздействию быстрого понижения температуры воздуха. Как показывают наблюдения (рис. 39), падение температуры от -10 до -20°C приводит к увеличению температурного градиента в 45-сантиметровой

толще до $0,78^{\circ}\text{C}/\text{см}$. Быстрое проникновение низкой температуры в верхний слой снега вызывает изменение его механических показателей. Обычно сопротивление разрыву свежевыпавшего снега близко к нулю, но сила сцепления с подстилающим слоем может составлять $15\text{--}20\text{ кг}/\text{м}^2$ и увеличиваться в процессе оседания. В случае резкого понижения температуры воздуха после снегопада сопротивление снега сдвигу начинает уменьшаться и, согласно наблюдениям, может приблизиться к нулю (рис. 40). Время между началом понижения температуры воздуха и моментом схода лавины не превышает двух суток.

Первоначально оторвавшаяся масса свежевыпавшего

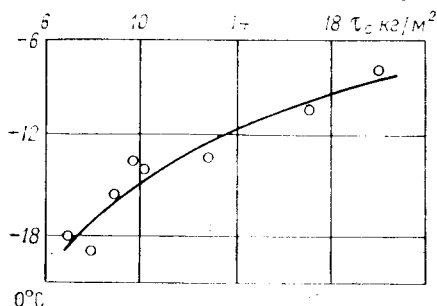


Рис. 40. Связь прочности на сдвиг свежевыпавшего снега τ_c с внезапным понижением температуры воздуха θ по СЛС Тюя-Ашу Южная.

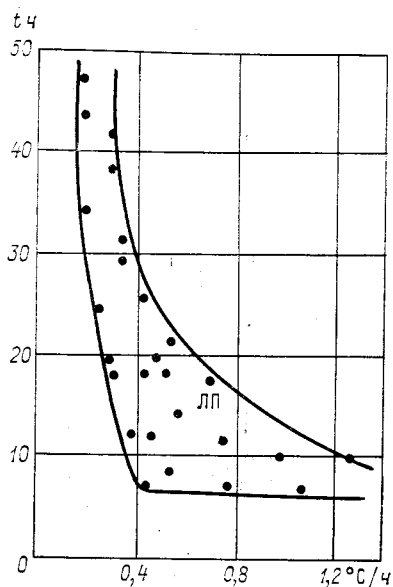


Рис. 41. График для прогнозирования времени t лавинной опасности при понижении температуры воздуха в районе СЛС Тюя-Ашу Южная.

ЛП — лавиноопасный период.

снега по мере движения вниз по склону захватывает нижележащие слои, поэтому объемы лавин достигают $50\text{--}100$ тыс. м^3 .

Наиболее благоприятным периодом для схода лавин такого типа следует считать промежуток между 1 и 9 ч среднесолнечного местного времени. Как правило, лавины сходят в момент суточного минимума температуры или через 2—3 ч после него, что связывается с запаздыванием проникновения температурного изменения в снежную толщу. Для прогноза лавин при понижении температуры служит эмпирический график (рис. 41), из которого видно, что в горах Киргизии:

1) с увеличением скорости понижения температуры воздуха время между началом понижения и сходом лавин сокращается;

2) с увеличением скорости понижения температуры воздуха период лавинной опасности сокращается;

3) сход лавин начинается не раньше чем через 6 ч после начала понижения температуры воздуха;

4) при скорости понижения температуры воздуха менее $0,17^{\circ}\text{C}/\text{ч}$ сход лавин маловероятен;

5) через 50 ч и более после начала понижения температуры сход лавин не наблюдается.

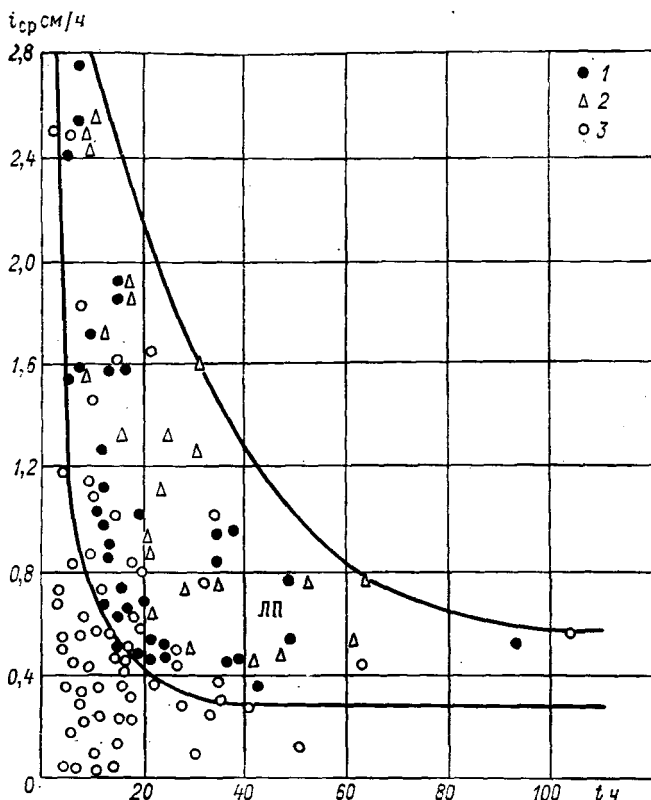


Рис. 42. Зависимость времени начала и окончания лавиноопасного периода в Заилийском Алатау от средней интенсивности снегопада $i_{\text{ср}}$.

1 — крупные лавины (более 1000 м^3), 2 — мелкие лавины (менее 1000 м^3), 3 — лавин не было, ЛП — лавиноопасный период.

Время начала и конца лавинной опасности (в часах) определяется по кривым на графике.

Для использования графика требуется постоянное наблюдение за температурой воздуха. Для каждого определенного случая вычисляется средняя скорость понижения, по тенденции которой дается прогноз схода лавин с заблаговременностью не менее 6 ч до момента лавинообразования.

Лавины при повышении температуры (до 3 % общего числа) сходят в результате резкого повышения температуры воздуха после окончания снегопада. Характерным для них является не-

большой промежуток времени между началом повышения температуры и сходом лавин (7—10 ч) и большая разница между начальной и конечной температурой (15—20°C). Скорость повышения температуры составляет при этом 1—2°C/ч. В отличие от лавин при понижении температуры, наиболее благоприятный период для схода лавин от повышения температуры — это 11—14 ч по среднесолнечному местному времени.

По многолетним данным для условий Заилийского Алатау получена зависимость схода лавин от средней интенсивности выпадения осадков за периоды до 8, 9—16 и 17—24 ч перед сходом лавин и средней температуры воздуха за это же время (рис. 31 б). Четкое разделение по периодам случаев схода лавин от случаев, когда их сход не наблюдался, позволяет с достаточной заблаговременностью использовать в прогностических целях рис. 31 б для условий района СЛС Большое Алматинское озеро.

Минимальная сумма осадков с момента установления устойчивого снежного покрова до схода первых лавин в Заилийском Алатау (по многолетним данным СЛС Большое Алматинское озеро Казахского УГКС) составляет 48 мм.

На северном склоне Заилийского Алатау в бассейне р. Большой Алматинки для прогноза лавин свежеснегавшего снега (около 70 % всех лавин) используется два дублирующих метода (Е. И. Колесников, 1972): 1) по метеорологическим факторам и 2) по физико-механическим свойствам свежеснегавшего снега.

В первом случае используется эмпирический график (рис. 42) и методика В. Ш. Цомая и К. Л. Абдушелишвили (стр. 94—96) с некоторыми отличиями в прогностических формулах:

$$x_n = 50 - 4,8 \sqrt{h_{75\%}}; \quad (2.4.2)$$

$$h_n = 50 + 0,0059 h_{75\%}^2, \quad (2.4.3)$$

где $h_{75\%}$ — начальная высота (в сантиметрах) снежного покрова (в момент перехода относительной влажности воздуха через 75 % в большую сторону); x_n и h_n — соответственно минимальная сумма осадков при снегопаде (в миллиметрах) и минимальная высота свежеснегавшего снега (в сантиметрах), необходимые для схода лавин.

Время схода лавин (в часах) вычисляется по формуле:

$$t = \frac{50 - 4,8 \sqrt{h_{75\%}}}{i_x} \quad (2.4.4)$$

или

$$t = \frac{50 + 0,0059 h_{75\%}^2}{i_c}, \quad (2.4.5)$$

где i_x и i_c — соответственно интенсивность осадков (мм/ч) и снегопада (см/ч).

Во втором случае прогнозирование лавин свежавывавшего снега основывается на сопоставлении прочностных параметров этого последнего и снеговой нагрузки в момент схода лавин. В результате учащенных (через каждые 3 ч) наблюдений за плотностью ρ , сцеплением i_c свежавывавшего снега и интенсивностью его выпадения i_c была выявлена критическая высота свежавывавшего снега $h_{кр}$, зависящая от его плотности, необходимая для схода лавин. Произведение плотности (г/см^3) и критической высоты свежавывавшего снега в сантиметрах приблизительно равно его сцеплению (г/см^2):

$$\rho h_{кр} \approx c. \quad (2.4.6)$$

Для расчета критической высоты без непосредственных измерений сцепления свежавывавшего снега найдена эмпирическая зависимость

$$c = 147\rho^2, \quad (2.4.7)$$

с учетом которой

$$h_{кр} = 147\rho. \quad (2.4.8)$$

Время наступления лавинной опасности в часах рассчитывается по формуле

$$t = \frac{h_{кр}}{i_{сн}}. \quad (2.4.9)$$

Основная масса лавин сходит при высоте свежавывавшего снега от 10 до 30—35 см. По достижении 40 см лавины сходят повсеместно и лавиноопасный период прекращается¹ (если снегопад не прекратился, через некоторое время снова возникает лавинная опасность).

Для составления прогноза необходимо:

1. Определить плотность свежавывавшего снега и интенсивность его выпадения с точностью соответственно до третьего и второго знака после запятой.

2. Найти критическую высоту свежавывавшего снега (начало лавинного периода при снегопадах обычно совпадает с моментом накопления около 10 см нового снега).

3. Рассчитать время наступления лавинной опасности. Для этого может использоваться рис. 43, формула (2.4.9) или эмпирическая зависимость (Е. И. Колесников и И. В. Северский)

$$t = \frac{10 + 11}{i_{сн}}, \quad (2.4.10)$$

где $i_{сн}$ — интенсивность снегопада (см/ч) без учета оседания свежавывавшего снега, т. е. фактически измеряемая через каждые 3 ч к моменту схода лавин.

¹ К данному утверждению следует относиться с большой осторожностью, поскольку в лавиноопасном районе всегда могут существовать участки, где достижение 40-сантиметровой мощности снега вызовет начальные условия лавинообразования с определенным сдвигом во времени. (Прим. ред.)

4. Рассчитать время окончания лавиноопасного периода по формуле (И. В. Северский)

$$t_k \approx \frac{40}{i_{сн}}. \quad (2.4.11)$$

При прогнозировании времени схода лавин нужно следить за интенсивностью снегопада. Убедившись, что снегопад устойчивый (с приблизительно постоянной интенсивностью), можно выполнять расчет по одной из указанных выше формул. Если интенсивность снегопада изменилась, то расчет ведется по следующей формуле:

$$t = \frac{h_{кр} - h_{св}}{i_n}, \quad (2.4.12)$$

где $h_{св}$ — высота свежавывавшего снега к моменту изменения интенсивности снегопада; i_n — новое (изменившееся) значение интенсивности снегопада. Интенсивность снегопада измеряется периодически через каждые 3 ч. Среднее отклонение расчетного времени от фактического времени схода лавин $\pm 0,4$ ч. Перерыв в снегопаде входит в расчетное время

Детализированный прогноз лавинной опасности выполняется следующим образом.

Критическое приращение высоты снежного покрова за снегопад Δh , необходимое для схода лавин при разной высоте старого снега, определяется по графику (рис. 44), где выделены зоны различной обеспеченности схода лавин с грациями их по объему.

При максимальной интенсивности снегопада (до 2,8—2,9 см/ч) лавиноопасный период начинается не раньше чем через 3,5—4,0 ч после начала снегопада. За 10 лет наблюдений (1959—1969 гг.) в среднегорном поясе бассейна р. Малой Алматинки (северный склон Заилийского Алатау) не наблюдалось ни одного случая лавин при снегопадах интенсивностью менее 0,3 см/ч. При определении средней интенсивности снегопадов периоды с интенсивностью менее 0,3 см/ч не принимаются в расчет — такие снегопады не лавиноопасны.

При отсутствии старого снега ($h_{ст} = 0$) первые лавины возникают при накоплении нового высотой более 30—35 см. Как правило, объем этих лавин невелик (от нескольких десятков до

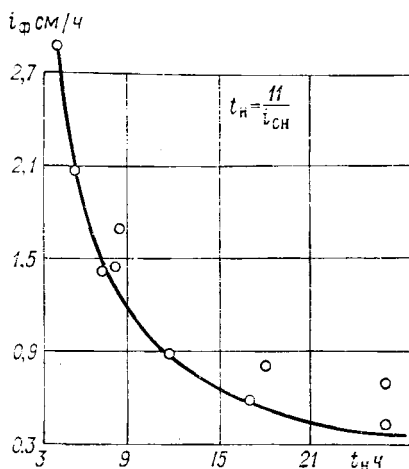


Рис. 43. Связь времени начала лавинообразования t_n с фактически измеренной интенсивностью снегопада $i_{ф}$ (к моменту схода лавин) в Заилийском Алатау.

нескольких сотен кубометров) и они не достигают дна долин. Минимальная высота свежевыпавшего снега (при $h_{ст} = 0$) для схода более мощных лавин, достигающих дна долин, превышает 60 см. С увеличением высоты старого снежного покрова до 50—60 см минимальное приращение его высоты, необходимое для схода лавин, быстро уменьшается и в дальнейшем остается близким к 10 см: при $h_{ст} > 40 \div 50$ см влияние микрорельефа и растительности практически не сказывается.

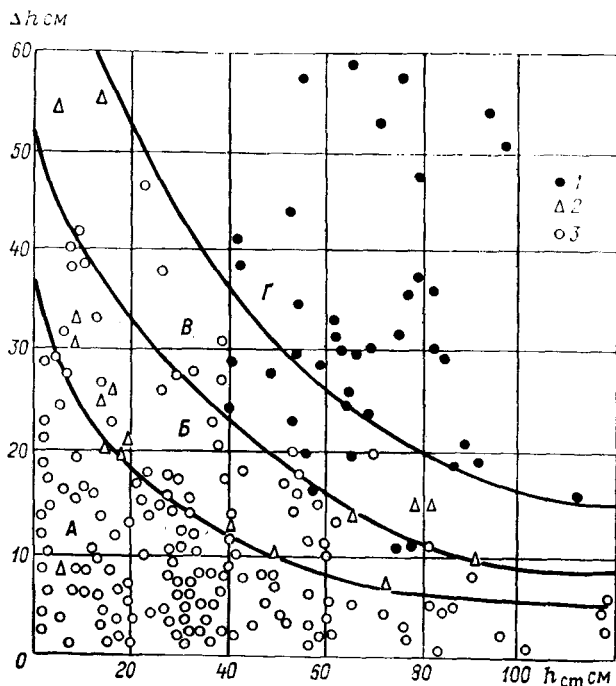


Рис. 44. Связь между приращением высоты снежного покрова за снегопад (Δh) и высотой старого снега ($h_{ст}$) в лавиноборах Заилийского Алатау, необходимых для схода лавин большого (1) и малого (2) объема; 3 — лавин не было.

А — лавинной опасности нет; Б — обеспеченность схода лавин менее 100 %, ожидаются малые лавины (менее 1000 м³); В — обеспеченность схода лавин 100 %, из них 40 % больших и 60 % малых; Г — обеспеченность схода лавин 100 %, все лавины — большие (более 1000 м³).

В бассейне Малой Алматинки лавиноопасным считается период, в течение которого наблюдается сход хотя бы одной лавины объемом более 100 м³ (при этом различались лавины объемами до 1000 м³ и более). Снегопады считались отдельными, если перерыв между ними достигал 12 ч и более.

Как правило, лавины объемами менее 1000 м³ в условиях Заилийского Алатау не достигают дна ущелья, а останавливаются на склонах и представляют опасность для альпинистов и туристов. Более крупные лавины угрожают и народнохозяйст-

венным объектам, вследствие чего возникает задача хотя бы ориентировочного прогнозирования возможных объемов лавин.

Для прогнозирования лавин из свежеснегавпавшего снега построен график (рис. 45), для которого используется высота снега не на площадке наблюдений, а в снегосборах [77]. Это позволило несколько повысить надежность прогноза и уточнить предполагаемые места схода лавин. На графике выделены поля, от-

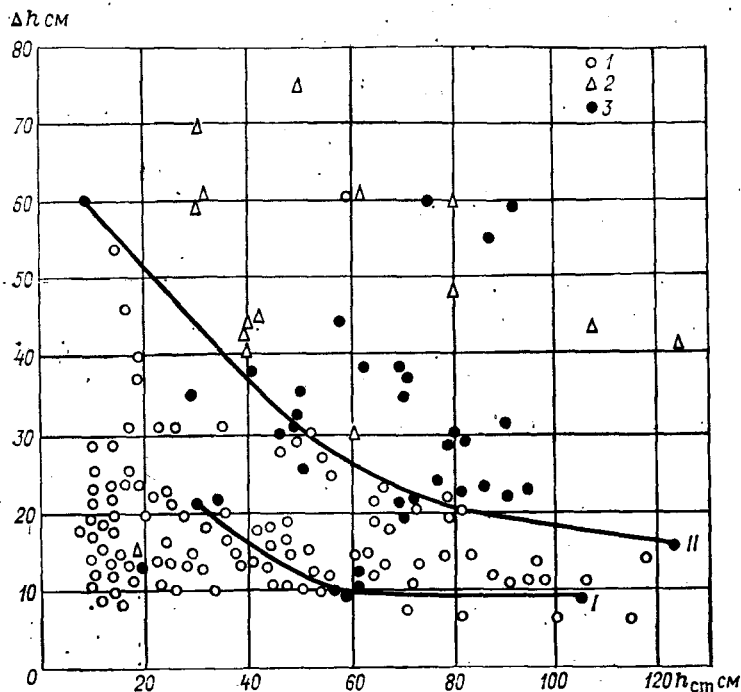


Рис. 45. График для прогнозирования лавин из свежеснегавпавшего снега в бассейне р. Малой Алматинки (Зайлийский Алатау) по приросту высоты снежного покрова Δh и высоте старого снега $h_{ст}$.

I — лавин не было, 2 — лавины с объемом более 1000 м³, 3 — лавины с объемом 100—1000 м³.

вечающие различной вероятности схода лавин. Условная кривая I проведена таким образом, что ниже нее нет точек для случаев со сходом лавин (считается, что эта зона отвечает нулевой вероятности схода лавин). Выше кривой II, напротив, нет точек для случаев без схода лавин. В этой зоне вероятность схода лавин считается равной 100 %; здесь имеется большая вероятность схода лавин с объемами больше 1000 м³.

Между кривыми I и II нет точек для случаев схода лавин с объемами больше 1000 м³; в этой зоне случаи с лавинами составляют 35 %.

Критическая высота старого снега в лавиносборах, необходимая для схода лавин из свежавывавшего снега, в бассейне р. Малой Алматинки равна 27—30 см, но наблюдался случай схода лавины при высоте старого снега всего 9 см (при этом прирост высоты свежавывавшего снега составил 60 см).

Штормовые предупреждения о сходе лавин из свежавывавшего снега составляются следующим образом. Через 3 ч после начала снегопада подсчитывается его интенсивность. Если высота снега в лавиносборе превышает 60 см, то интенсивность

Δh см

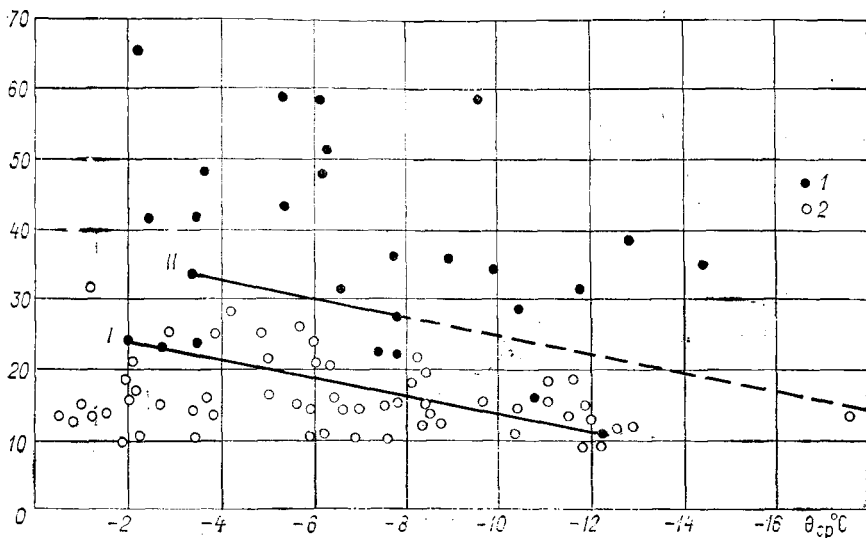


Рис. 46. Связь лавинообразования с приростом высоты свежавывавшего снега Δh и средней за снегопад температурой воздуха $\Theta_{ср}$.

1 — наблюдался сход лавин, 2 — сход лавин не наблюдался.

начинают определять через 1 ч после начала снегопада. По полученным значениям интенсивности вычисляется время, когда прирост высоты свежавывавшего снега достигнет критического значения, необходимого для схода лавин с объемом меньше 1000 м^3 , т. е. в этом случае точка на графике достигнет кривой I. После этого дается предупреждение о возможности схода лавин, которое в дальнейшем уточняется. Если снегопад продолжается и точка на графике достигла кривой I, то интенсивность снегопада определяется как время достижения критической высоты свежавывавшего снега, необходимой для схода лавин с объемами больше 1000 м^3 , т. е. в этом случае точка на графике достигнет кривой II. Тогда составляются штормовые предупреждения во все обслуживаемые организации, в дальнейшем также уточняемые в зависимости от фактического прироста высоты свежавывавшего снега.

Для определения лавиноопасного прироста высоты свежеевыпавшего снега в зависимости от средней температуры воздуха за снегопад построен график (рис. 46). При этом использовались случаи со снегопадами, когда высота старого снега в лавиносборах достигла критического значения 25 см (за период наблюдений 1960—1974 гг.). Прямая *I* проведена таким образом, что ниже нее нет случаев со сходом лавин. Выше прямой *II* нет случаев без схода лавин. Между прямыми *I* и *II* отношение случаев со сходом лавин к случаям без схода лавин составляет 30 %.

При более низких температурах во время снегопада для схода лавин необходимо значительно меньшее количество свежеевыпавшего снега, чем при более высоких температурах.

2.4.4. Прогноз лавин из мокрого снега по эмпирическим графикам и зависимостям

Для разработки методики прогнозирования лавин из мокрого снега в Западном Тянь-Шане были использованы многолетние (1959—1975 гг.) материалы наблюдений за снежными лавинами и условиями их образования в районе СЛС Дукант [174]. Рассмотрено 573 случая с метеорологической ситуацией, характеризующейся потеплением в период залегания в районе устойчивого снежного покрова.

Потеплением считается промежуток времени с положительной срочной температурой воздуха (по записи термографа) длительностью от нескольких часов до нескольких суток.

Предлагаемая методика может быть использована для точного прогноза лавин из мокрого снега трех типов:

- 1) лавины из свежеевыпавшего мокрого снега;
- 2) лавины из старого мокрого снега;
- 3) лавины из мокрого снега при выпадении дождя на поверхность нового снега.

При составлении прогноза необходимо руководствоваться следующим.

1. Лавины из свежеевыпавшего мокрого снега образуются в результате интенсивного потепления в периоды выпадения твердых осадков (мокрый и сухой снег в различных сочетаниях), в периоды кратковременного прекращения осадков, а также после очередного снегопада. Потепление начинается с момента перехода температуры воздуха через нуль в сторону положительных значений. Этот переход температуры воздуха может происходить в дни ($n=0$) снегопада или его окончания (момент прекращения осадков), на следующий день после снегопада ($n=1$), на второй день после снегопада ($n=2$) и т. д.

2. Сход лавин происходит, если за снегопад, предшествующий потеплению, сумма твердых осадков составила 10 мм и более. При меньших количествах осадков возможны осовы

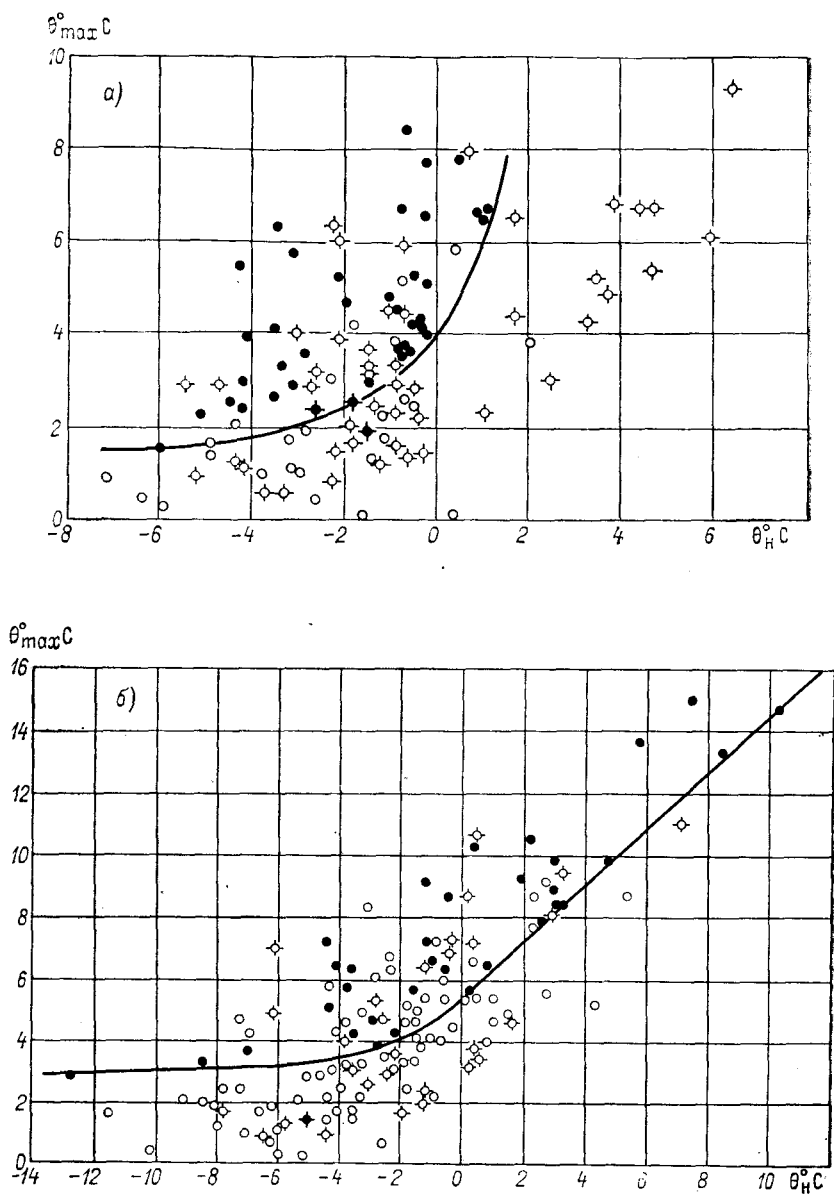


Рис. 47. Связь лавинообразования с температурой воздуха в 0 ч москвы

а — в день $n=0$, б — в день
 1 — естественный сход лавин, 2 — искусственное обрушение лавин, 3 — отсутствие
 отсутствие лавин при сумме осадков за этот снегопад менее 10 мм.

объемами меньше 10 м^3 . Для неизученных районов критическая сумма осадков снижается до 5 мм.

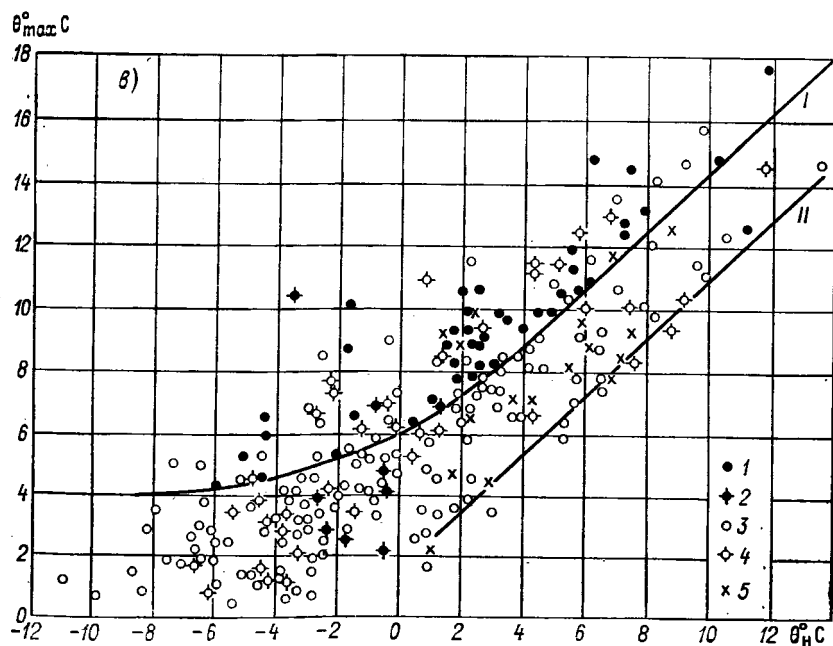
3. Суточный прогноз лавин из свежеснегавпавшего снега составляет двух видов: «Лавиноопасно» и «Нелавиноопасно».

В качестве рабочих графиков для прогнозирования лавин служат рис. 47 и 48.

Кривая на графиках определяет критические значения дневной температуры воздуха, которые обуславливают начало лавинной опасности (момент перехода значений температуры выше кривой). Выше кривой представлены случаи со сходом лавин, ниже нее естественный сход лавин не наблюдался. Ниже и выше кривой имеются единичные случаи схода лавин, образовавшихся в результате искусственного обрушения.

Лавины образуются в дни ($n=0$), когда первый раз в период снегопада или после него происходит переход температуры воздуха в сторону положительных значений и максимальная дневная температура воздуха превысит критические значения, определяемые кривой на рис. 47 а.

Лавинная опасность заканчивается вечером или ночью в связи с понижением температуры до отрицательных значений.



ского времени Θ_n и максимальной дневной температурой воздуха $\Theta_{\max}$.

$n=1$, θ — в день $n \geq 2$.

лавин при сумме осадков за предшествующий оттепели снегопад более 10 мм, 4 — повторный вход лавин в результате продолжающейся глубокой оттепели.

Длительность периода лавинной опасности исчисляется несколькими часами и практически распространяется на светлое время суток.

4. Если температура воздуха после первого дневного перехода сохраняется ночью положительной, то на следующий день ($n = 1$) наличие лавинной опасности определяется критическими значениями температуры на правой части графика (рис. 47 б) для лавин из свежавыпавшего и старого мокрого снега.

Левая часть графика позволяет определить наступление лавинной опасности (сход лавин из свежавыпавшего мокрого снега) в день $n = 1$, когда первый раз после снегопада происходит переход температуры воздуха через нуль в сторону положительных значений. Критические температуры, определяемые координатами кривой на рис. 47 б оказались несколько большими, чем на рис. 47 а, и обусловлены упрочнением свежавыпавшего снега за сутки.

5. Сход лавин, наблюдаемый в дни $n = 2, 3, 4, 5$ первого перехода температуры воздуха через нуль после снегопада, определяется по левой части графика на рис. 47 в. Надежность расчета при $n = 4-5$ дней слабая из-за недостатка фактического материала. В этой связи для них получена единая кривая критической температуры воздуха, аналогичная кривой при $n = 2$.

6. Порядок составления прогнозов по всем графикам единый. По измеренной температуре воздуха в 0 ч и по прогностической экстремальной дневной температуре воздуха составляется лавинный прогноз с заблаговременностью 12 ч. Уточнение прогноза производится по фактической температуре воздуха.

Прогноз «Лавиноопасно» дается на день ($n = 0, 1, 2, 3$ и т. д.) первого перехода температуры воздуха через нуль в сторону положительных их значений, если количество осадков за предшествующий снегопад было равно или больше 10 мм и температура воздуха превысила критические значения, определяемые кривой на рис. 47 (левая часть графиков). Данный прогноз считается оправдавшимся, если в районе наблюдается сход лавины или группы лавин объемом, равным и более 10 м³. Искусственное обрушение снега со склонов в этот день также подтверждает правильность выданного прогноза. Прогноз «Лавиноопасно» не оправдывается, если естественный сход лавин не наблюдался, а профилактические меры по обрушению снега не дали положительных результатов.

Если во время первого потепления после снегопада максимальная температура воздуха была выше 2°C, то в последующие дни вторичный переход температуры воздуха через нуль после ночного выхолаживания (отрицательные ночные температуры) лавин не вызывает. В эти дни дается прогноз «Нелавиноопасно».

Прогноз «Нелавиноопасно» выдается на день ($n = 1, 2, 3$ и т. д.) первого перехода температуры воздуха через нуль, если

количество осадков за снегопад оказалось меньше 10 мм. При достаточном для лавинообразования количестве осадков прогноз «Нелавинноопасно» составляется, если дневные максимальные значения температуры воздуха меньше, чем критические. Данный прогноз считается оправдавшимся, если фактический сход лавин не наблюдался или сходили лавины объемами менее 10 м³.

Оправдываемость прогнозов, подсчитанная на зависимом материале, составляет соответственно 91, 87 и 83 %.

Прогноз лавин из старого мокрого снега после длительного потепления (более одних суток) выполняется с учетом следующего.

1. Необходимым условием для схода лавин является устойчивый переход температуры воздуха к положительным значениям. Ночная температура воздуха должна быть положительной. Для прогноза используется правая часть графика на рис. 47 в. Начало периода лавинной опасности определяется по кривой I. Сохранение в последующем положительных значений ночной температуры свидетельствует о возможности схода повторных лавин на следующий день (точки вида 5), для которого критические значения температуры определяются кривой II. Ниже этой кривой II сход лавин не наблюдается. Порядок составления прогноза аналогичен сказанному выше.

2. Часто сход лавин из старого мокрого снега наблюдается при соблюдении следующего равенства: число дней с отрицательными значениями температуры воздуха после снегопада равно числу дней с положительными, рассчитанному с момента устойчивого перехода температуры через нуль в положительную сторону. При этом критические температуры впервые должны превысить кривую I (см. рис. 47 в). Это позволяет сделать прогноз на несколько дней вперед по числу «холодных» суток после очередного снегопада (под «холодными» сутками понимаются дни с отрицательной ночной температурой).

Прогноз лавин в период выпадения дождя выполняется по графику, представленному на рис. 48, где отражены случаи выпадения дождя и мокрого снега в различных сочетаниях. Критическое количество дождя составляет более 5 мм, а дождя с мокрым снегом — более 10 мм. Прогноз составляется по данным о температуре в 0 ч и максимальной дневной. Ночная температура должна быть положительной, а время максимальной дневной температуры — совпадать с периодом выпадения или прекращения осадков. Прогноз составляется в порядке, указанном выше.

Для кратковременного (несколько часов) снегопада, давшего более 10 мм осадков и наблюдавшегося в промежутке между 0 ч и моментом максимальной дневной температуры воздуха, прогноз лавин из свежевыпавшего снега данного снегопада составляется по графику (см. рис. 47 а) по минимальной температуре

в период снегопада (ось абсцисс) и максимальной дневной температуре в период снегопада (ось ординат).

В высокогорной зоне 1500—2500 м абс. Внутреннего Тянь-Шаня наиболее распространены мокрые лавины.

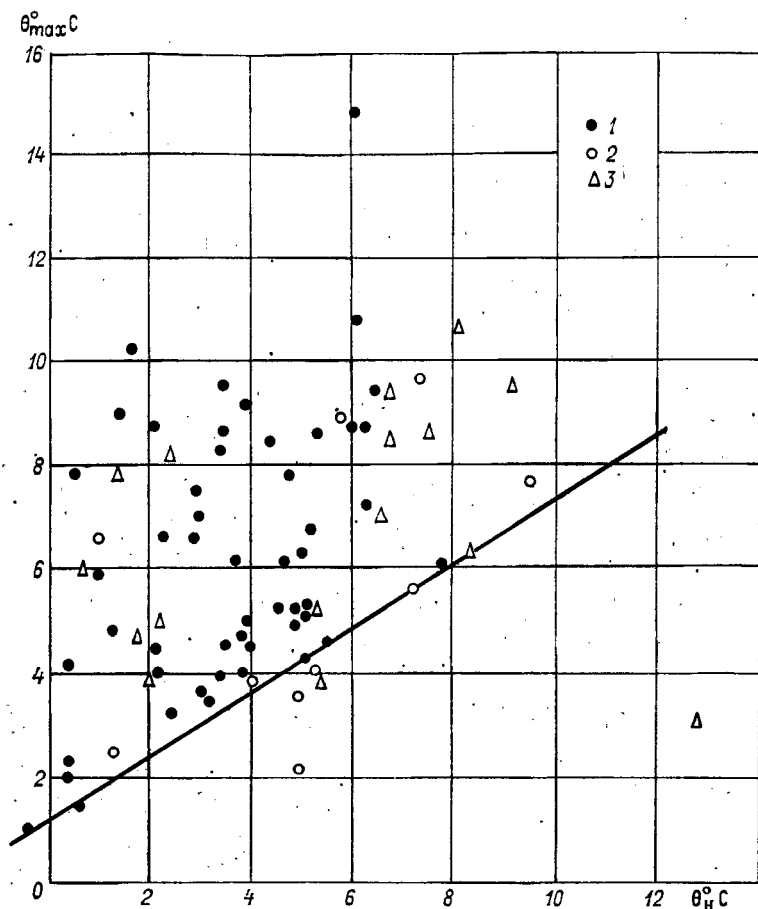


Рис. 48. Связь лавинообразования с температурой воздуха в 0 ч московского времени θ_0 и максимальной дневной температурой воздуха $\theta_{\max}$ при выпадении дождя на поверхность снежного покрова.

1 — сход лавин, 2 — отсутствие лавин при сумме осадков более 10 мм, 3 — отсутствие лавин при сумме осадков менее 10 мм.

Анализ материалов наблюдений за лавинами на СЛС Ат-Ойнок показывает, что чем больше высота снежного покрова на склоне (а следовательно, и его водозапас), тем больше сумма положительных дневных значений температуры, необходимая для схода лавин. Наиболее тесной оказалась зависимость между

водностью снежного покрова к моменту перехода температуры воздуха через 0°C к положительным значениям и суммой максимальных дневных значений температуры воздуха за период от перехода ее через 0°C до схода лавин. Эта зависимость выражается уравнением (Ю. П. Барбат)

$$\sum \Theta_{\max} = 0,14w + 2,2, \quad (2.4.13)$$

где $\sum \Theta_{\max}$ — сумма максимальных дневных значений температуры, $^{\circ}\text{C}$; w — запас воды в снеге (мм), численно равный снеговой нагрузке на единицу площади горизонтальной поверхности.

Прогноз схода мокрых лавин составляется следующим образом:

1) к моменту перехода максимальной температуры воздуха через 0°C на снегомерном пункте опытного лавиносбора измеряется запас воды в снеге и по уравнению (2.4.13) вычисляется критическое значение суммы температуры, необходимое для схода лавин;

2) ежедневно с этого момента в лавиносборе ведутся наблюдения в 13—14 ч местного времени за изменением стратиграфического разреза (для качественного суждения о наличии опасных горизонтов) и характеристик снежного покрова для оценки запаса его устойчивости (стр. 68);

3) с момента перехода температуры воздуха через 0°C в последующие сутки производится подсчет $\sum \Theta_{\max}$ (методом суммирования). В том случае, если она окажется близкой к критической на ближайшие 15—24 ч, объявляется лавинная опасность;

4) при этом к моменту прогноза лавины снежная толща должна быть насыщена водой и иметь малый запас прочности — менее 35 кг/м^2 .

Этот метод может также применяться и для составления фоновых прогнозов.

Пример расчета для составления прогноза лавинной опасности по сумме максимальных дневных температур дан в табл. 19.

Таблица 19

Дата	Водозапас снежного покрова, мм	$\sum \Theta_{\max}$ по формуле (2.4.13)	Значения макс. суточной температуры воздуха с мо- мента пере- хода через 0°C	Интегральная сумма макс. суточной тем- пературы воздуха с мо- мента пере- хода ее через 0°C
16/IV	100	16,2	0	0
17/IV			4	4
18/IV			5	9
19/IV			6	15
20/IV			8	23

Сумма значений температуры (15°C) 19/IV приблизилась к критическому значению ($16,2^{\circ}\text{C}$); по прогнозу погоды предполагалось повышение температуры, поэтому на 20/IV была объявлена лавинная опасность по району автодороги Фрунзе—Ош. Прогноз подтвердился: сошли лавины объемом 435 тыс. м³.

Как известно, солнечная радиация, проникая в снежную толщу (в условиях Тянь-Шаня до 50—70 см), вызывает оплавливание снежных зерен и появление горизонтов водной смазки, по которым впоследствии соскальзывают лавины инсоляционного типа.

Для прогноза необходимо подсчитать интенсивность прямой солнечной радиации S в кал/(см²·мин), и количество часов от

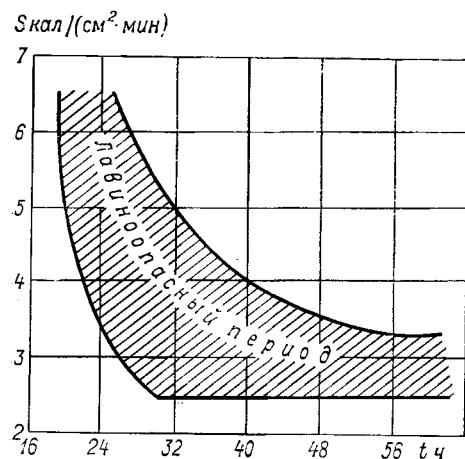


Рис. 49. Связь времени схода лавин t с интенсивностью солнечной радиации S .

начала повышения радиации до момента схода лавин. Оказалось, что время падения лавин находится в зависимости от количества тепла, получаемого от солнечной радиации: чем интенсивнее радиация, тем раньше наступает лавиноопасный период [60]. На рис. 49 дан прогностический график с двумя граничными кривыми, которые выражают начало и окончание лавиноопасного периода в зависимости от S — интенсивности прямой солнечной радиации.

Прогнозирование схода лавин инсоляционного типа по предложенному методу предусматривает постоянное наблюдение за солнечной радиацией. При этом следует учесть, что в практическом использовании графика лавинной опасности суммарную солнечную радиацию следует подсчитывать с момента установления солнечной погоды в весеннее время и при появлении талой воды в снежном покрове.

Прогноз по предлагаемой методике оправдывается на 85—90 %. Сход мокрых лавин связан с появлением талой воды в результате повышения температуры снега до 0°C . Источником тепла может быть солнечная радиация или адвективный перенос теплого воздуха. И в том и в другом случае обязательным условием лавинообразования является повышение температуры воздуха до положительных значений (за исключением инсоляционных лавин, которые могут сходить вследствие парникового эффекта и при отрицательной температуре воздуха).

Для прогноза мокрых лавин предложен [143] эмпирический график (рис. 50), из которого следует, что:

1) лавинная опасность начинается не раньше чем через 6 ч после начала повышения температуры воздуха;

2) сход мокрых лавин через 21 ч и более после начала повышения температуры маловероятен;

3) лавинообразование начинается при скорости повышения температуры не менее $0,29^\circ\text{C}/\text{ч}$;

4) 60 % всех лавин сходит через 9—15 ч после начала повышения температуры;

5) с увеличением скорости повышения температуры воздуха период лавинной опасности сокращается;

6) возможная заблаговременность прогноза составляет от 6 до 21 ч.

Методика работы с графиком для составления прогноза лавинной опасности аналогична вышеприведенной.

В Заилийском Алатау задача прогноза лавин из мокрого снега решается путем выделения основных лавинообразующих факторов и определения их критических значений двумя способами в зависимости от структурных особенностей снежной толщи [75].

Первый способ предназначен для прогнозирования мокрых лавин в основном при первых весенних оттепелях, когда на поверхности снежной толщи еще не образовались прочные слои снега (температурный наст, режелеационный фирн, радиационные корки и т. д.). В этом методе использовано отношение сцепления (c кг/м²) в наиболее лавиноопасном слое снега к снеговой нагрузке — водозапасу вышележащей толщи (w мм). Опасным горизонтом должен считаться тот слой, где наблюдается минимум отношения прочности снега к снеговой нагрузке.

Критическое значение отношения c/w зависит от снеговой нагрузки w и суммы положительных значений температуры $\sum \Theta$ при оттепели. Для условий Заилийского Алатау построен эмпирический график для прогноза мокрых лавин (рис. 51). Кроме того, отдельно дан график для $w = 100$ мм (в той же системе координат).

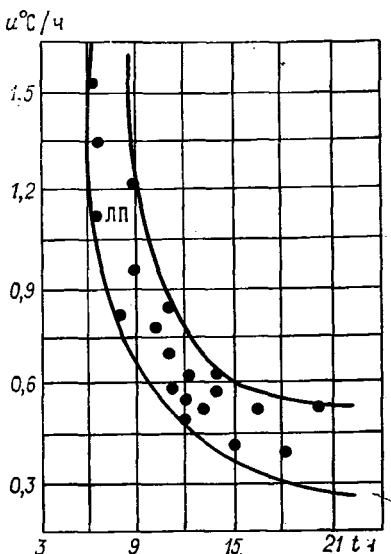


Рис. 50. Связь времени наступления опасности t от мокрых лавин с интенсивностью (скоростью) повышения температуры воздуха u .

ЛП — лавиноопасный период.

Для составления прогноза с достаточной заблаговременностью определяется критическое значение сцепления $c_{кр}$, которое изменяется в связи с адвективным теплоприходом:

$$c_{кр} = c - 0,222 \sum \Theta. \quad (2.4.14)$$

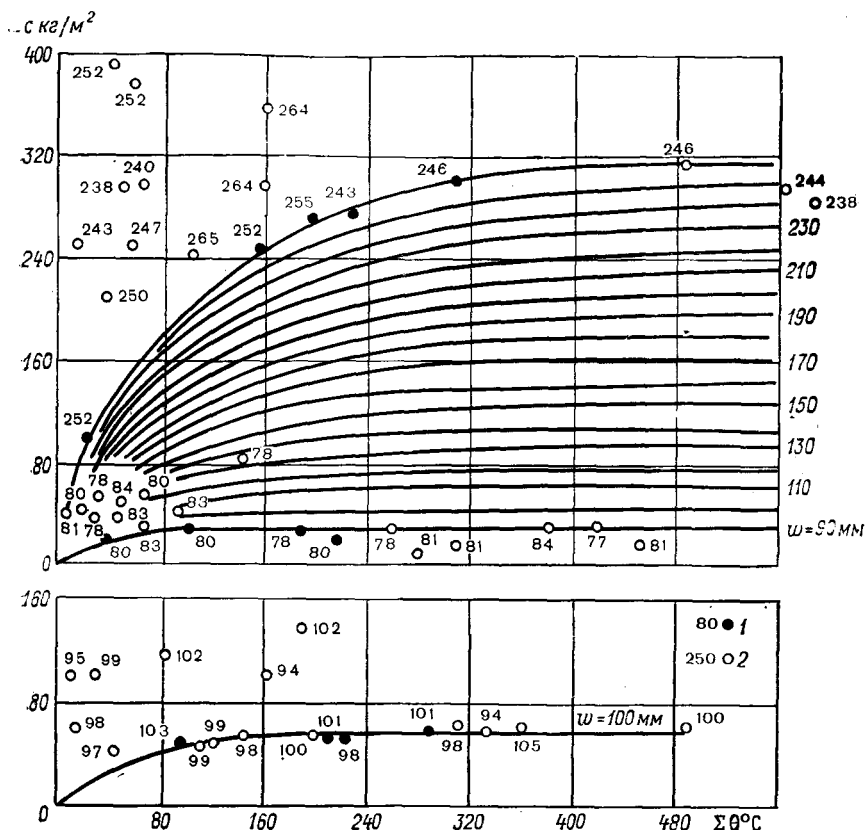


Рис. 51. Связь лавинообразования со сцеплением снега c , суммой положительных температур воздуха $\sum \Theta$ от начала оттепели и снеговой нагрузкой w (числа у точек).

1 — наблюдался сход лавин, 2 — сход лавин не наблюдался.

В момент перехода температуры воздуха через 0°C определяется наиболее лавиноопасный слой снега (обычно сыпучий слой с глубинной изморозью), его сцепление c и снеговая нагрузка на этот слой, равная водозапасу снежной толщи над опасным горизонтом (включая и водозапас самого сыпучего слоя, в котором может появляться поверхность скольжения). На оси ординат основного графика замечают точку для исходного значения c ; затем на графике под углом $77,5^{\circ}$ к оси орди-

нат проводится прямая, соответствующая уравнению (2.4.14), до пересечения с кривой, помеченной значением w , равным наблюденному водозапасу (если кривая с такой пометкой отсутствует, ее находят по интерполяции); из точки пересечения опускают перпендикуляр на ось абсцисс и прочитывают величину $\sum \Theta$, необходимую для схода лавин. Время t от начала оттепели до схода лавин определяется по эмпирической формуле

$$t = 0,18 (\sum \Theta + 88) - 16, \quad (2.4.15)$$

где $\sum \Theta$ — найденная по графику критическая сумма температуры.

Если оттепель продолжается, лавиноактивные склоны очищаются от снега и в дальнейшем не представляют опасности, даже если силы сцепления минимальны.

Второй способ предназначен для прогнозирования мокрых лавин в периоды оттепелей и весеннего снеготаяния в тех случаях, когда на поверхности снежной толщи имеется прочный наст (режеляционный фирн, ледяная корка и т. п.), препятствующий лавинообразованию. В таких случаях использование первого способа не дает желаемого результата: в эти периоды основными лавинообразующими факторами следует считать прочность наста и те элементы погоды, которые способствуют его разрушению.

В качестве механической характеристики наста принята его прочность на разрыв σ_p , так как движению снежного пласта по склону должен предшествовать его разрыв, затрудняемый сопротивлением наста, которое уменьшается по мере возрастания адвективного теплоприхода $\sum \Theta$.

Для определения критического значения $\sum \Theta$ (необходимого для схода лавин) в зависимости от величины σ_p служит график на рис. 52. При этом следует иметь в виду, что при общей тенденции к уменьшению прочности наста в продолжение оттепели четко выражен суточный ее ход: днем она резко уменьшается, а ночью столь же резко увеличивается вследствие смерзания.

Критическая прочность $\sigma_{кр}$, необходимая для схода лавин при определенной начальной прочности σ_0 , и суммы значений температуры $\sum \Theta$ находятся по формулам:

$$\sigma_{кр} = \sigma_0 - 4,2 \sum \Theta, \quad (2.4.16)$$

$$\sigma_{кр} = \sigma_0 - 0,6 \sum \Theta. \quad (2.4.17)$$

Первая из них служит для ежедневных предупреждений по данным наблюдений за σ_p в 9 ч (на восходе солнца), вторая — для прогнозов большей заблаговременности по данным наблюдений за σ_p в 15 ч в начале оттепели.

Расчет выполняют графически, проводя (рис. 52) из точки на оси ординат с пометкой, соответствующей значению σ_p , прямую

под углом к этой оси $13,5^\circ$ при ежедневном предупреждении и 59° при долгосрочном прогнозе; из точки пересечения проведенной прямой с разграничительной кривой на графике опускается перпендикуляр на ось абсцисс, где прочитывается критическое значение $\Sigma \Theta$.

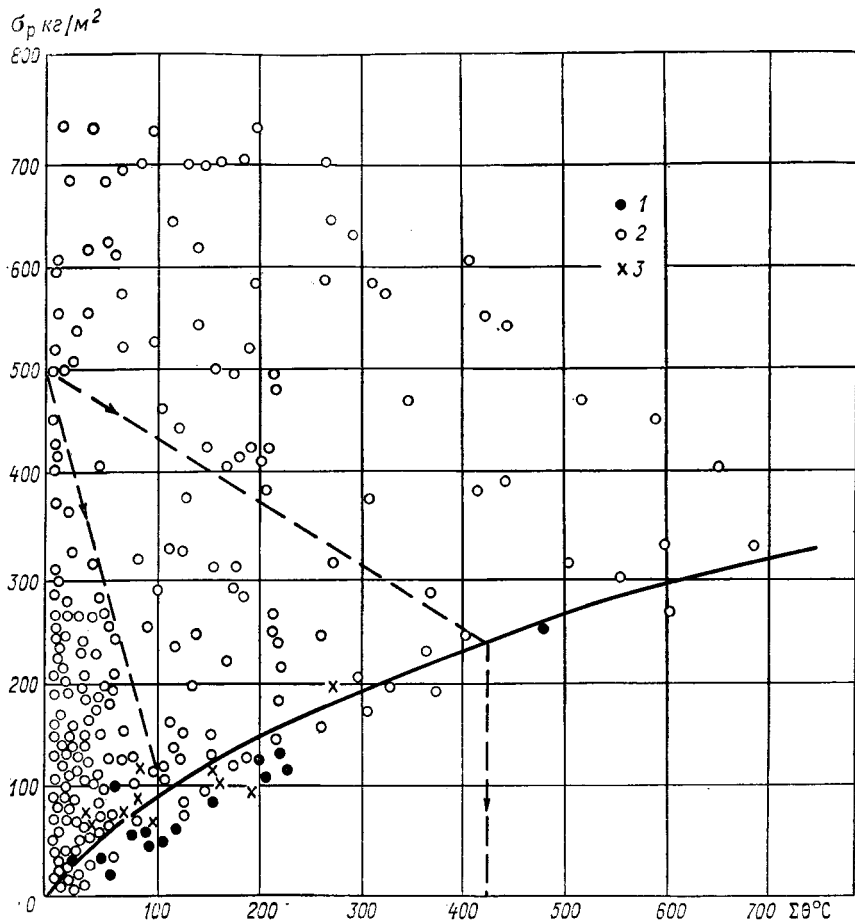


Рис. 52. Связь лавинообразования с суммой положительных значений температуры $\Sigma \Theta$ от начала потепления и прочности наста σ_p при оттепелях и весеннем снеготаянии.

1 — наблюдался сход лавин, 2 — сход лавин не наблюдался, 3 — измерения накануне схода лавин

При долгосрочном прогнозировании найденное значение подставляют в формулу (2.4.15).

При краткосрочном ежедневном прогнозе следует учитывать суточный ход изменения величины σ_p . Поэтому важно знать ин-

тенсивность теплоприхода в светлое время суток (с 9 до 17 ч), когда происходит резкое уменьшение прочности наста. Для этого используется связь срочной температуры воздуха в 9 ч Θ_9 с суммой ее ежечасных значений за период 9—17 ч $\sum \Theta_{9-17}$

$$\sum \Theta_{9-17} = 9(\Theta_9 + 2). \quad (2.4.18)$$

Крайние значения $\sum \Theta_{9-17}$ определяются по формулам:

$$\sum \Theta_{9-17} (\min) = 9\Theta_9, \quad (2.4.19)$$

$$\sum \Theta_{9-17} (\max) = 9(\Theta_9 + 4). \quad (2.4.20)$$

Краткосрочный прогноз лавинной опасности с заблаговременностью до 6—9 ч целесообразно давать, ориентируясь на максимальный и средний теплоприход, т. е. на $\sum \Theta_{9-17} \geq \sum \Theta_{кр}$, где $\sum \Theta_{кр}$ — критическая сумма значений температуры, найденная по графику (рис. 52).

Время (в часах), через которое ожидается сход лавин, определяется по формулам:

$$t = \frac{\sum \Theta_{кр}}{\Theta_9 + 4}, \quad (2.4.21)$$

$$t = \frac{\sum \Theta_{кр}}{\Theta_9 + 2}. \quad (2.4.22)$$

Схема составления краткосрочного лавинного прогноза такова.

В 9 ч местного времени на площадке наблюдений определяют прочность наста (σ_p) и по графику (рис. 52) находят $\sum \Theta_{кр}$. Затем по данным измерения температуры воздуха в 9 ч находят время до начала лавиноопасного периода.

Таблица 20

Дата (1973 г.)	20/III	22/III	23/III
Максимальная прочность наста, кг/м ²	372	472	472
Срочная температура воздуха, °С	1,3	2,0	6,9
Критическое значение $\sum \Theta$ °С	75	90	90
Фактическое значение $\sum \Theta$ °С	26	53	80
Скорость максимального изменения	5,3	6,0	10,9
$\sum \Theta$ °С/ч средняя	3,3	4,0	8,9
Расчетное время схода лавин	20/III, 23 ч— 21/III, 8 ч	22/III, 24 ч— 23/III, 7 ч 30 мин	23/III, между 17 и 19 ч

Сведения о лавинах . . Лавин не было ($\sum \Theta_{9-17}$ не достигла критического значения) Наблюдался массовый сход лавин

Окончание лавиноопасного периода в целом для среднегорного пояса хребта Заилийский Алатау (1600—3000 м абс.) следует определять по окончанию оттепели, так как сход лавин происходит одновременно в течение оттепели в зависимости от экспозиции и высоты склонов.

В табл. 20 приведен пример прогноза времени схода лавин при оттепелях.

2.4.5. Связи числа лавин с метеорологическими элементами

Обработка материалов снеголавинных наблюдений 1954—1970 гг. методом наименьших квадратов позволила выявить общий характер связей числа лавин с различными метеорологическими элементами в бассейне р. Дукуант [53], которые могут служить для прогноза лавинной опасности.

На возникновение снежных лавин наиболее существенно влияют следующие метеорологические элементы:

1) максимальная и минимальная температура воздуха накануне схода лавин или еще раньше, на одни сутки;

2) изменение высоты снежного покрова за одни-двое суток перед сходом лавин;

3) высота снежного покрова, измеряемая в утренний срок наблюдений, за 2—3 дня до схода лавин.

Выбор этих элементов обусловливается как довольно очевидными физическими связями со сходом лавин, так и тем, что они достаточно репрезентативны для значительной территории, окружающей станцию в условиях изрезанного рельефа (такие элементы, как, например, ветер, облачность, состояние почвы, физические свойства снега, также оказывают влияние на сход лавин, но эти элементы, кроме облачности, могут сильно меняться уже при небольшом удалении от станции и поэтому измеренные на метеоплощадке значения их не всегда являются репрезентативными).

Зависимость числа лавин от них наиболее отчетливо выражена в феврале и марте, для других месяцев связи оказались слабее.

Повторяемость схода лавин зависит от сочетания температурных условий первого и второго дней до обрушения лавин (табл. 21). Больше всего дней с лавинами было при сочетаниях температуры воздуха в 1 и 10-м случаях и совсем не наблюдался сход лавин в 13 и 14-м случаях. В 3, 4 и 8-м случаях зарегистрированы единичные лавины. Таким образом, указанные сочетания температурных условий (кроме 1 и 10-го случаев) могут служить прогностическими признаками редкого схода лавин или их отсутствия. Эти признаки можно сформулировать следующим образом:

1. В минус 2-й день $\Theta_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$, в минус 1-й день $\Theta_{\min} > 0^{\circ}\text{C}$.

**Прогностические уравнения связи числа лавин с метеорологическими
элементами накануне и за 2 дня до схода лавин в районе СЛС Дукант**

Порядковый номер	Температура воздуха, °С						Уравнения для прогноза лавин	Число случаев схода лавин
	в -1-й день			во -2-й день				
	θ_c	$\theta_{\max}$	$\theta_{\min}$	θ_c	$\theta_{\max}$	$\theta_{\min}$		
Лавины сухого снега								
1	-	-	-	-	-	-	$y = -0,135 \Delta h_{k-1} + \theta_{\max-2} +$ $+ 0,030 \sum h_{-2, -3} - 2,7$	19
2	-	-	-	-	+	-		12
3	-	-	-	+	+	-		2
4	-	-	-	+	+	+		1
Лавины влажного снега								
5	-	+	-	-	-	-	$y = \theta_{\max-1} + \theta_{\max-2} + 0,22x_{-2} + 3,5$	10
6	-	+	-	-	+	-	$y = 2,0\theta_{\max-1} + 0,37 \Delta h_{k-1} -$ $- 0,15x_{-2} - 2,0$	14
7	-	+	-	+	+	-	$y = 2,4\theta_{\max-1} + 1,1\theta_{\max-2} +$ $+ 1,1 \Delta h_{k-2} + 0,3 \sum h_{-2, -3} - 9,0$	8
8	-	+	-	+	+	+		1
Лавины влажного и мокрого снега								
9	+	+	-	-	-	-	$y = 1,92\theta_{\max-2} + 0,053 \sum h_{-2, -3} -$ $- 11,5$	4
10	+	+	-	-	+	-		20
11	+	+	-	+	+	-	$y = 0,94\theta_{\max-1} + 1,2 \Delta h_{k-2} +$ $+ 0,052 \sum h_{-2, -3} - 5,0$	10
12	+	+	-	+	+	+		6
Лавины мокрого снега								
13	+	+	+	-	-	-	$y = -1,36x_{-1} + 3,2\theta_{\max-2} +$ $+ 2,35 \Delta h_{k-2} + 0,086 \sum h_{-2, -3} -$ $- 14,8$	0
14	+	+	+	-	+	-		0
15	+	+	+	+	+	-		7
16	+	+	+	+	+	+	$y = 0,44\theta_{\max-1} + 0,014 \sum h_{-2, -3} -$ $- 4,5$	14

Обозначения: -1, -2, -3 — день накануне схода лавин и за 2 и за 3 дня до схода лавин; y — количество прогнозируемых лавин; θ_c , $\theta_{\max}$ и $\theta_{\min}$ — средняя суточная, максимальная и минимальная температура воздуха, отрицательная (-) и положительная (+); Δh_{k-1} — изменение высоты (см) снежного покрова от -2-го к -1-му дню, $\sum h$ — суммарная высота снежного покрова, см; x — сумма осадков, мм.

2. В минус 2-й день $\Theta_{\max} > 0^{\circ}\text{C}$, $\Theta_c < 0^{\circ}\text{C}$, в минус 1-й день $\Theta_{\min} > 0^{\circ}\text{C}$.

3. В минус 2-й день $\Theta_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$, $\Theta_c > 0^{\circ}\text{C}$, в минус 1-й день $\Theta_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$.

4. В минус 2-й день $\Theta_{\min} > 0^{\circ}\text{C}$, в минус 1-й день $\Theta_{\max} < 0^{\circ}\text{C}$.

5. В минус 2-й день $\Theta_{\min} > 0^{\circ}\text{C}$, в минус 1-й день $\Theta_c < 0^{\circ}\text{C}$, $\Theta_{\max} > 0^{\circ}\text{C}$.

При температурных условиях 1 и 2 в течение 17 лет ни разу не наблюдался сход лавин, а при сочетаниях температурных условий 3, 4 и 5 было зарегистрировано по одному-двум дням с лавинами.

Для прогноза лавин свежеснегавшего снега при снегопаде и отрицательной температуре воздуха были выявлены признаки лавинообразования, которые сводятся к некоторым правилам прогнозирования (табл. 22). Прогноз по этим правилам на наличие лавин оправдывается на 59 % (правило 1 — на 58 %; правило 2 — на 60 %), а на отсутствие лавин — на 94 %.

Вычисленное количество лавин следует считать условной величиной и использовать для альтернативного прогноза, т. е. при положительных значениях числа лавин надо давать прогноз «Лавиноопасно», а при нуле и отрицательных значениях — «Не-лавиноопасно». Для случаев схода лавин оправдываемость всех уравнений составляет от 75 до 100 %, а для случаев отсутствия лавин (лишь для отдельных уравнений из-за низкой оправдываемости прогнозов) — от 11 до 52 %.

Чтобы повысить оправдываемость прогнозов на отсутствие лавин, необходимо соблюдать следующие условия:

1. Уравнениями и прогностическими правилами (табл. 21 и 22) в начале зимы следует пользоваться после установления устойчивого снежного покрова и выпадения осадков (в сумме 60—65 мм), необходимых для покрытия мелких кустарников, камней и других шероховатостей на склонах гор, препятствующих лавинообразованию.

2. При составлении прогнозов необходимо ежедневно учитывать физико-механические свойства снега в контрольных шурфах лавиносборов. При коэффициенте устойчивости снега на склонах [по формуле (1.3.3)] не более 1,5—2,0 и положительных значениях числа лавин по формулам на следующие сутки дается прогноз «Лавиноопасно»; при коэффициентах устойчивости более 2,0 и отрицательных (или близких к нулю положительных) числах лавин по уравнениям — «Сход лавин в ближайшие сутки не ожидается». Так как заблаговременность прогноза лавин по данной методике составляет 12—24 ч, то этого времени вполне достаточно, чтобы принять необходимые меры предосторожности на случай схода лавин.

3. При выдаче прогноза «Лавиноопасно» на участках, где сход лавин угрожает дорогам и промышленным объектам,

Прогноз лавин из свежавывавшего снега в районе СЛС Дукант

Правило 1

В —1-й день (накануне схода лавин) наблюдалось:			Ожидается ли сход лавин в следующий (0-й) день
количество осадков, измеренное в 07 ч, мм	наибольшая скорость ветра в 01 или 07 ч, м/с	ход температуры в течение дня и минувшей ночи (от —2-го дня к —1-му дню)	
< 8 > 8 > 8	> 4 < 4	Нормальный: максимум днем, минимум утром (в —1-й день)	Нет Да
> 8	< 4	Происходит резкое похолодание: максимум был ночью или накануне в 19 ч (—2 день), максимум наступает вечером (—1-й день)	Прогноз нуждается в уточнении утром следующего (0-го) дня. В —1-й день вечером дается предварительный прогноз: «сход лавин возможен при сильном снегопаде ночью»

Уточнение прогноза по правилу 1 при резком похолодании и снегопаде

Температура воздуха, °С		Сумма осадков в 19 ч —1-го дня и в 07 ч 0-го дня, мм	Ожидается ли сход лавин в следующий (0-й) день
минимальная, в 19 ч —1-го дня	максимальная, в минувшую ночь (от —1-го к 0-му дню)		
> -5 < -5 < -5 < -5	< -3 > -3 > -3	< 20 > 20	Да Нет Да

Правило 2

В 0-й день (день схода лавин) наблюдалось		Ожидается ли сход лавин в 0-й день
количество осадков в 07 ч, мм	скорость ветра в 01 и 07 ч, м/с	
< 12 > 12 > 12	> 2 хотя бы в один из указанных сроков ≤ 2 в оба срока	Нет Да

необходимо проводить искусственное обрушение лавин с помощью взрывов или орудийно-минометных обстрелов.

2.4.6. Использование дискриминантного анализа для оценки лавинной опасности при снегопадах

Ниже излагается эксперимент [50] применения линейного параметрического дискриминантного анализа для разделения ситуаций при снегопадах на лавиноопасные и нелавиноопасные (прогноз с нулевой заблаговременностью или диагноз лавин из свежего снега, сошедших в период снегопада или в ближайшие двое суток после его окончания при отсутствии потепления). В качестве обучающей выборки при этом использовались материалы наблюдений снеголавинных станций на территории Узбекистана и Киргизии, которые были дифференцированы по двум высотным зонам (выше и ниже 3000 м) и трем секторам в каждой зоне (I сектор — случаи схода лавин со склонов экспозиции южной части круга, II — западной и восточной, III — северной).

Весь архив состоял из 470 случаев первого класса (Φ_1 — присутствие лавин) и 1160 случаев второго класса (Φ_2 — отсутствие лавин).

В качестве вектора предсказателей $x = (x_1, x_2, \dots, x_k)$, $k = 1, 8$ был взят вектор, компонентами которого являются непрерывные данные о метеорологических условиях, в которых происходит формирование слоя нового снега и которые оказывают определяющее влияние на образование лавин этого типа:

x_1 — температура воздуха, средняя за 3 ч до начала снегопада, °C;

x_2 — температура воздуха в час начала снегопада, °C;

x_3 — абсолютная влажность воздуха в час начала снегопада, мбар;

x_4 — продолжительность периода снегопада, ч;

x_5 — сумма осадков за период снегопада, мм;

x_6 — сумма средних суточных значений температуры воздуха за период снегопада, °C;

x_7 — сумма средних суточных значений абсолютной влажности за период снегопада, мбар;

x_8 — сумма суммарной суточной радиации за период снегопада, кал/(см²сут).

Для класса Φ_1 период снегопада ограничивается временем схода лавин.

В случае отсутствия лавин абсолютная влажность и температура воздуха приводились к средней высоте рассматриваемой зоны (для I высотной зоны она была условно принята равной 2500 м, для II высотной зоны 3500 м).

Проверка информативности признаков производилась мето-

дом сравнения средних арифметических $\bar{x}\Phi_1$ и $\bar{x}\Phi_2$, т. е. средних арифметических параметра x в выборках классов Φ_1 и Φ_2 . Значимость расхождения их определялась с помощью двойного $\hat{t}$ -критерия Стьюдента, который показал несущественное различие в средних выборок Φ_1 и Φ_2 для признаков x_1, x_2, x_3 , косвенно характеризующих состояние старого снега в момент начала снегопада. Это в дальнейшем сказывалось на выборе оптимального комплекса предикторов.

Для выявления зависимых и независимых между собой признаков был произведен их корреляционный анализ. Устойчиво высокий коэффициент корреляции ($r > 0,8$) между параметрами $x_1 - x_2$ в обоих классах всех выборок позволяет сделать вывод, что эти параметры дублируют друг друга в смысле информации для прогноза данного типа лавин.

Выявление информативности различных групп предикторов производилось способом «просеивания» с определением показателя разделимости NR . Результаты просеивания, а также значение теоретической вероятности правильного прогноза p_T , рассчитанное последовательно для групп предикторов, расположившихся в определенном порядке после просеивания, приводятся в табл. 23.

Они позволяют сделать вывод, что оптимальная в настоящем комплексе по информативности группа складывается из переменных, характеризующих суммарное значение осадков, солнечной радиации, абсолютной влажности воздуха, продолжительность выпадения осадков и в трех случаях из шести — сумму значений средней суточной температуры воздуха. На границе этой группы прекращается и существенный рост теоретической оправдываемости прогноза. Порядок распределения этих переменных по степени информативности различен в обеих высотных зонах. В зоне выше 3000 м наиболее существенно для разделения ситуаций при снегопадах на лавиноопасные и нелавиноопасные количество осадков, в зоне ниже 3000 м — солнечной радиации. На третьем шаге просеивания в I-й зоне выбрана переменная x_7 — сумма средней суточной абсолютной влажности воздуха, во II зоне эта переменная вошла в оптимальный комплекс только на четвертом шаге.

Следующий этап эксперимента — составление прогноза на обучающей выборке. Для него находилось значение дискриминантной функции и осуществлялось разделение ситуаций при снегопадах на лавиноопасные и нелавиноопасные при различных значениях C_1 и C_2 .

Лучшие результаты по разделению ситуаций на два класса получились при ценах ошибочной классификации, обратно пропорциональных вероятностям появления классов в каждой выборке, т. е. когда второй член, входящий в пороговое значение дискриминантной функции, равен нулю.

Сравнительная информативность различных групп предикторов по NR и p_T

Выборка		Предиктор (Nx)	NR	p_T	Выборка		Предиктор (Nx)	NR	p_T
I высотная зона	I сектор	x_5	0,491		II высотная зона	I сектор	x_8	1,00	
		x_8	0,877	0,666			x_5	1,58	0,785
		x_7	0,983	0,688			x_4	1,63	0,791
		x_6	1,129	0,716			x_1	1,70	0,802
		x_4	1,221	0,729			x_7	1,78	0,813
		x_3	1,2267	0,729			x_6	1,80	0,816
		x_2	1,2302	0,732			x_2	1,82	0,818
		x_1	1,2567	0,735			x_3	1,83	0,818
	II сектор	x_5	0,558			II сектор	x_8	0,719	
		x_8	0,750	0,644			x_5	1,07	0,705
		x_7	1,049	0,698			x_4	1,209	0,726
		x_4	1,078	0,705			x_7	1,532	0,776
		x_3	1,091	0,709			x_6	1,846	0,821
		x_2	1,1244	0,716			x_2	1,90	0,836
		x_1	1,1316	0,716			x_3	1,98	0,838
		x_6	1,1327	0,716			x_1	1,99	0,838
	III сектор	x_5	0,744			III сектор	x_8	0,413	
		x_8	1,004	0,691			x_5	0,579	0,614
		x_7	1,065	0,705			x_4	0,729	0,640
		x_4	1,144	0,715			x_7	0,951	0,681
		x_6	1,2335	0,732			x_2	1,043	0,698
		x_3	1,2352	0,732			x_3	1,0442	0,698
		x_1	1,2374	0,732			x_6	1,0443	0,698
		x_2	1,2381	0,732			x_1	1,0445	0,698

В табл. 24 дается оценка прогноза на обучающей выборке при таких соотношениях C_1 и C_2 и восьми- и пятимерного вектора-предиктора ($Nx=8$ и $Nx=5$) для секторов I высотной зоны с целью оценки влияния размерности вектора-предиктора Nx на результат прогноза (при $Nx=5$ из схемы прогноза исключались предикторы, не вошедшие в информативный комплекс по табл. 23). В табл. 24—25 приняты следующие обозначения: n — число случаев совмещения событий; (Π_1 , Φ_1) — лавины предсказаны и наблюдались; (Π_1 , Φ_2) — предсказаны, но не наблюдались; (Π_2 , Φ_1) — наблюдались, но не были предсказаны; (Π_2 , Φ_2) — не предсказаны и не наблюдались; $p\%$ — процент оправдавшихся прогнозов; H — критерий успешности метода, используемый для оценки прогнозов редких явлений (изменяется от 0 для случайного прогноза до 1 для идеального прогноза). Последний критерий наиболее эффективен для оценки прогноза лавин, что видно, например, на результате прогноза II сектора

Оценки успешности разделения ситуаций при снегопадах на лавиноопасные и нелавиноопасные

Сектор	Размер- ность $N \times$	Значение C_1/C_2	Сопряженность прогнозов		Оценки оправдываемости прогноза	
			$\frac{n(\Pi_1, \Phi_1)}{n(\Pi_1, \Phi_2)}$	$\frac{n(\Pi_2, \Phi_1)}{n(\Pi_2, \Phi_2)}$	$p \%$	H
I высотная зона						
I	8	3/1	87/66	30/304	80,2	0,50
	5	3/1	91/64	26/306	81,5	0,51
II	8	3/1	35/45	41/325	80,7	0,34
	5	3/1	32/40	44/330	81,2	0,32
III	8	5/1	65/69	34/432	82,8	0,47
	5	5/1	66/67	33/434	83,3	0,47
II. высотная зона						
I	8	10/1	21/37	11/316	87,6	0,43
II	8	8/1	7/5	57/494	90,9	0,15
III	8	4/1	58/58	23/189	75,3	0,42

II высотной зоны, где при $p = 90,9 \%$ значение H всего 0,15. Высокая оправдываемость обеспечивается в данном случае удачным прогнозом класса Φ_2 ; оправдываемость прогноза класса Φ_1 остается при этом низкой.

Надо заметить, что вариацией соотношения цен ошибочной классификации можно добиться хорошего результата правильного опознавания одного класса; опознавание другого класса при этом может значительно ухудшаться, что можно видеть из табл. 25. В ней приведены результаты разделения ситуаций на лавиноопасные и нелавиноопасные в I секторе I высотной зоны. Кроме общей оправдываемости p , в таблице даются оправдываемость на наличие лавин p_H и оправдываемость на их отсутствие p_0 . Лучшие результаты общего прогноза и прогноза каждого

Таблица 25

Оценка успешности разделения ситуаций на лавиноопасные и нелавиноопасные в I секторе I высотной зоны при различных ценах ошибочной классификации

Цены ошибок		Сопряженность прогнозов		Оценки успешности		
C_1	C_2	$\frac{n(\Pi_1, \Phi_1)}{n(\Pi_1, \Phi_2)}$	$\frac{n(\Pi_2, \Phi_1)}{n(\Pi_2, \Phi_2)}$	$p \%$	$p_H \%$	$p_0 \%$
1	1	36/23	80/347	78,8	31,0	93,7
3	1	86/66	30/304	80,2	74,1	82,2
5	1	105/122	11/248	72,6	90,5	67,0
10	1	115/233	1/137	51,8	99,1	37,0

класса в отдельности получены при ценах ошибочной классификации, обратно пропорциональных вероятностям появления классов в данном секторе.

Прогноз по дискриминантным функциям на независимом материале, как правило, имеет меньшую оправдываемость, но вполне сравнимую с оправдываемостью прогноза лавин любым другим способом, что говорит о перспективности данного метода. Результаты прогноза на независимой выборке даны в табл. 26.

Таблица 26

Оценки успешности разделения ситуаций при снегопадах на лавиноопасные и нелавиноопасные на независимом материале

Сектор	Размерность N_x	Значение C_1/C_2	Оценки успешности прогноза	
			$p \%$	H
I высотная зона				
I	8	3/1	78,8	0,50
	5	3/1	80,0	0,56
II	8	5/1	70,0	0,20
	5	5/1	72,0	0,33
III	8	4/1	79,1	0,51
	5	4/1	80,6	0,53
II высотная зона				
I	8	5/1	84,7	0,10
	5	5/1	76,4	0,22
II	8	5/1	79,6	0,54
	5	5/1	79,8	0,56
III	8	3/1	63,2	0,30
	5	3/1	62,1	0,28

2.5. ЛАВИНЫ В ГОРАХ ЮЖНОГО САХАЛИНА

В Сахалинском УГКС накоплен опыт исследований по разработке метода прогноза лавинной опасности, основанного на анализе процессов атмосферной циркуляции, предшествующих массовому сходу лавин из метелевого снега и сопутствующих ему, с заблаговременностью от 10 до 24 ч. Основой этого метода прогноза является прогноз осадков, разработанный в Южно-Сахалинском бюро погоды. Установлено, что при устойчивом снежном покрове (коэффициент устойчивости больше 1,5—2,0) массовый сход лавин наиболее вероятен при сумме осадков более 20 мм, а при меньших значениях коэффициента устойчивости сход лавин возможен при осадках менее 20 мм. Лавиноопасными синоптическими процессами для данного района следует считать южные циклоны, движущиеся по траектории Желтое море—Японское море—Курильские острова. Учет устойчивости

снежного покрова на склоне (см. рис. 53) производится при этом по формулам (1.3.3) и (1.3.7), разработанным в САРНИГМИ и НИИЖТ (стр. 66—67).

Оценка степени лавинной опасности дается на основании прогноза погоды (табл. 27).

Таблица 27

Прогноз погоды	Степень лавинной опасности
Осадки 5—15 мм/сут; ветер более 15 м/с	Возможен сход отдельных лавин
Осадки 15—20 мм/сут; ветер менее 10 м/с	Сход отдельных лавин
Осадки более 20 мм/сут при любом ветре	Массовый сход лавин
Средняя суточная температура более 0 °С, выпадение жидких осадков	Сход мокрых лавин (только для весеннего периода март—май)

Данный метод применяется для прогноза лавинной опасности для большей части территории Сахалинской области.

На железнодорожной линии Южно-Сахалинск—Холмск используется климато-метеорологический метод прогноза лавин [65]. Здесь по условиям лавинообразования выделены три района:

- 1) лавиносоры восточного склона Мицульского хребта (участок Новодеревенская—Перевал);
- 2) лавиносоры западного склона Мицульского хребта (участок Перевал—Ожидаево);
- 3) лавиносоры Южно-Камышового хребта (участок Чапланово—Камышево—Николайчук).

Лавинная служба систематически ведет анализ влияния на вероятность схода лавин десяти основных лавинообразующих факторов: 1) высоты старого снега, 2) состояния подстилающей поверхности, 3) высоты свежавыпавшего снега, 4) вида выпавшего снега, 5) плотности свежавыпавшего снега, 6) интенсивности снегопада, 7) интенсивности выпадения осадков, 8) оседания снега, 9) скорости и направления ветра, 10) температуры воздуха.

В результате этого определены критические синоптические и метеорологические условия, ведущие к лавинообразованию:

- 1) глубокие циклоны с давлением в центре ниже 980 мбар, движущиеся по траектории Желтое море—Японское море—Курильские острова;

- 2) осадки 25 мм за метель при ветре более 20 м/с для участка Новодеревенская—Перевал—Ожидаево и соответственно для участка Чапланово—Камышово—Холмск 15 мм при ветре более 20 м/с;

3) критические суммы осадков для каждого лавиносбора с момента установления устойчивого снежного покрова до даты схода первой лавины;

4) образование в припочвенном слое увлажненного горизонта снега в период установления снежного покрова;

5) продолжительность солнечного сияния в весенний период более 8 ч в сутки;

6) весенний переход средней суточной температуры воздуха через 0°C в сторону положительных значений.

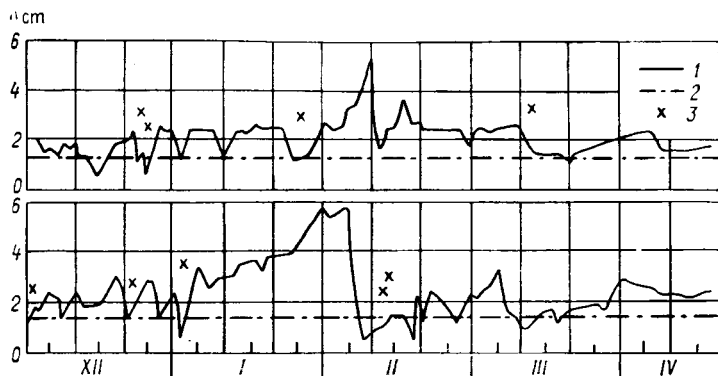


Рис. 53. Изменение коэффициента устойчивости и фактические сходы лавин в районе СЛС Перевал (Южный Сахалин) зимой 1972-73 г.

1 — коэффициент устойчивости $K_{с.т.}$ по формуле (1.3.7), 2 — наступление значительной лавинной опасности ($K_{с.т.}=1,5$), 3 — зарегистрирован сход лавин.

Зная критическую сумму осадков и интенсивность снегопада за последнее наблюдение, можно ориентировочно рассчитать время наступления лавинной опасности.

С момента образования устойчивого снежного покрова для каждого из районов строится интегральный график накопления твердых осадков. Для большинства лавиноопасных участков удалось установить минимальное количество твердых осадков, при которых отмечались первые сходы лавин. График накопления твердых осадков с нанесенными на него минимальными значениями лавинообразующей суммы позволяет судить о наступлении потенциальной лавинной опасности для каждого района и выявить из всех лавиносборов наиболее угрожающие.

На изменение высоты снежного покрова в лавиносборе большое влияние оказывает снегоперенос во время метели. При оценке влияния метелевого переноса необходимо учитывать господствующее направление и скорость ветра и соответственно экспозицию и тип лавиносбора. Так, во время метели можно наблюдать почти полное сдувание снега с одних склонов и интенсив-

ное увеличение высоты снежного покрова — на других. Особое влияние оказывает снегоперенос на образование лавин там, где они вызываются обрушением снежных карнизов, поэтому вероятность схода лавин со склонов различной экспозиции в течение одной метели неодинакова.

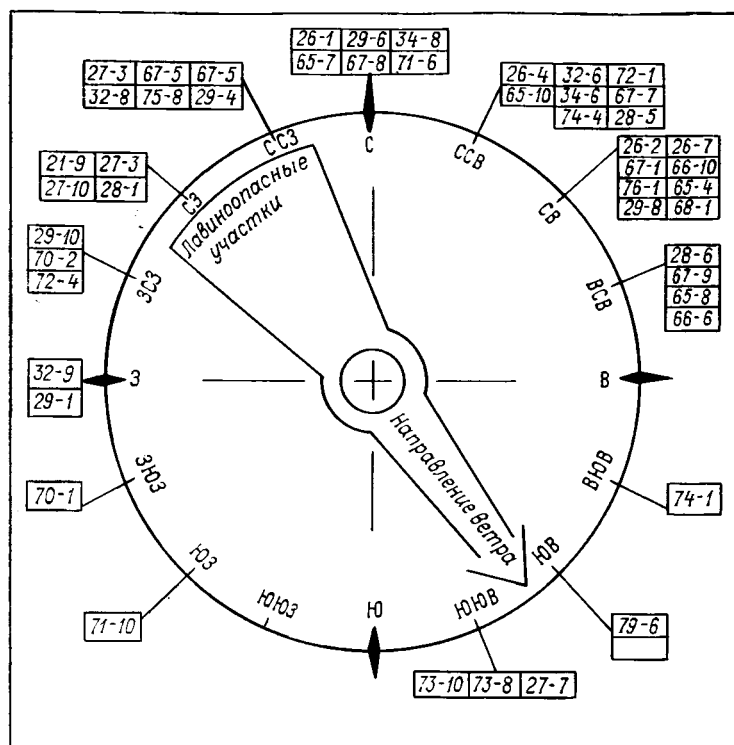


Рис. 54. Указатель соотношения румбов ветра во время метели с вероятностью схода лавин из свежавыпавшего снега на склонах разной экспозиции.

Для оперативного прогноза лавин разработан указатель румбов ветра, устанавливающий связь между направлением ветра и вероятностью схода лавин из свежавыпавшего метелевого снега на лавиноопасных склонах разной экспозиции. На рис. 54 приведена схема этого указателя. Стрелка указателя устанавливается в направлении, соответствующем румбу ветра, а диаметрально расположенный сектор указывает на лавиноопасные участки, где при данном ветре наиболее вероятен сход лавин из свежавыпавшего снега.

В зависимости от особенностей зимнего сезона и сложившихся метеорологических условий значение различных лавинообразующих факторов меняется. В определенный период одни

из них оказывают решающее влияние на образование лавины, другие могут отсутствовать совсем. Но с изменением условий изменяется и соотношение лавинообразующих факторов. Не давая ответа на вопрос о конкретной дате и времени схода лавин, климато-метеорологический метод позволяет оценить развитие лавинообразующих процессов в целом.

Для оценки лавинной опасности в определенном лавиносборе также применяется аналитический метод определения устойчивости снежного пласта на склоне (стр. 67—69). Необходимые исходные данные получаются при шурфовании снежного покрова, которое выполняется по возможности в верхней части лавино- опасного склона (при тщательном соблюдении техники безопасности) с целью определения стратиграфического разреза снежной толщи, условий ее залегания и измерений физико-механических характеристик снега в различных слоях.

3. СИСТЕМАТИЗАЦИЯ СНЕГОЛАВИННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ С ЦЕЛЮ СОСТАВЛЕНИЯ ЛАВИННЫХ ПРОГНОЗОВ НА ЭВМ

Решение задач статистического прогноза лавин невозможно без активного внедрения электронно-вычислительных машин. Для этих целей необходима единая система сбора, хранения и обработки снеголавиновых и метеорологических данных, которая должна осуществляться с использованием методов наблюдений, разработанных на данный момент времени.

В качестве первого решения этой задачи предлагается система сбора, хранения и обработки данных снеголавиновых наблюдений, разработанная В. Ф. Граковичем и М. Ч. Залихановым.

Наиболее существенным недостатком этой системы является то, что она использует некоторый набор информации, не принятый в оперативной практике снеголавиновых станций Госкомгидромета и при этом в значительной мере расходится с понятиями, утвержденными «Руководством по снеголавиновым работам» издания 1965 г. В настоящем пособии не приводятся программы реализации этой системы на ЭВМ, что связано с вышеизложенным, а также с тем, что разработка выполнена для ЭВМ типа «Минск-22», «Минск-32», эксплуатация которых в связи с вводом в действие машин нового поколения заканчивается в ближайшее время.

Для автоматизации процесса сбора, хранения и обработки данных предлагаются следующие информационные бланки: «Лавина», «Метео», «Склон».

Информационный бланк «Лавина»

Шифр и номер пачки бланков «Лавина»

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Информационный бланк «Склон»

Шифр и номер пачки бланков „Склон“

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Информационный бланк «Метео»

Шифр и номер пачки бланков „Метео“

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

3.1. СОСТАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО БЛАНКА «ЛАВИНА»

В бланк должны включаться все сведения о сошедших лавинах в порядке, перечисленном в его графах. Ниже даются пояснения записи в информационный бланк «Лавина».

Операционный лист — записывается шифр и номер пачки бланков «Лавина» со знаком минус. В каждой пачке бланков может быть до 60 лавин.

Графа 1 — номер лавины в порядке записи в полевой книжке (не обязательно по датам схода лавин). В бланк номера лавин записываются со знаком минус.

Графа 2 — номер очага по карте района. Мелким осям в конкретных участках склона присваивается отдельный номер; морфологические характеристики этого участка записываются в бланк «Склон».

Графа 3 — дата схода лавины (месяц, год, число). Например, лавина сошла 27 февраля 1971 г. Кодировается шестью цифрами — 710227.¹

Графа 4 — время схода лавины (в часах). При отсутствии сведений кодируется цифрой — 25.

¹ Необходимо создать коды для предполагаемых сведений и их отсутствия. (Прим. ред.)

Графа 5 — тип сошедшей лавины.¹ Кодировается следующим образом:

1 — лавина свежевывавшего снега, включаются лавины, сошедшие во время снегопада или сразу после него. При этом считается, что наблюдаемый ветер не превышает 10 м/с и не влияет на формирование структуры лавин;

2 — лавина метелевого снега. Образуется в результате переноса снега при скорости ветра более 10 м/с;

3 — лавина из снежной доски;

4 — лавина температурного сокращения;

5 — лавина сублимационного диафтореза (сублимационной перекристаллизации);

6 — инсоляционная лавина;

7—8 — запасные коды;

9 — нет сведений.

Графа 6 — размер сошедшей лавины. Определяется по вычисленным объемам лавин или косвенным методом, по следующим грациям:

1 — небольшие лавины, которые останавливаются в лавиносборе. Представляют угрозу для находящихся на склоне или катающихся лыжников;

2 — лавины средних размеров (останавливаются в пределах канала схода или верхней части конуса выноса). Представляют угрозу для находящихся в долине людей;

3 — большая лавина (проходит нижнюю часть конуса выноса и останавливается у его пределов). Представляет угрозу для сооружений, хозяйственных построек и людей;

4 — спорадические лавины. Бывают раз в несколько десятков лет. Приносят катастрофические разрушения;

5—8 — запасные коды;

9 — нет сведений.

Графа 7² — высота отрыва лавины, верхняя граница (ВГ) в метрах. Кодировается по высотно-морфологическим зонам:

1 — <2500;

2 — 2500—2700;

3 — 2700—3000;

4 — >3000;

5—8 — запасные коды;

9 — нет сведений.

¹ В зависимости от используемой исполнителями работ лавинной классификации тип лавины может быть иным. (Прим. ред.)

² В разных районах СССР пределы высотно-морфологических зон могут охватывать значительно большее число разрядов, чем предлагается авторами. Так, в районе г. Хорога лавины охватывают высоты от 2500 до 5000 м. В этом случае дифференциация зон должна быть менее дробной. Кодировка графы 7 создаст определенные трудности. (Прим. ред.)

Графа 8¹ — высота остановки лавины, нижняя граница (НГ) в метрах. Кодировается аналогично предыдущему.

Графа 9 — условия схода лавины; кодируется:

1 — внутренние причины (ослабление сил сцепления снежного покрова);

2 — естественные внешние причины (отрыв снежного карниза, горной породы и т. д.);

3 — искусственные причины (подрезание снега лыжами, хождение по склону и т. д.);

4 — лавина сошла в результате взрыва;

5—8 — запасные коды;

9 — нет сведений.

Графа 10 — характер отрыва лавины:

1 — по линии;

2 — из точки;

3—7 — запасные коды;

8 — нет сведений.

Графа 11 — поверхность скольжения лавины кодируется так:

1 — лавина сошла по снегу;

2 — лавина сошла по грунту;

3—7 — запасные коды;

8 — нет сведений.

Графа 12 — вид сошедшей лавины по трем градациям:

1 — лавина сухого снега;

2 — лавина мокрого снега;

3 — лавина смешанного снега (конгломерат);

4—7 — запасные коды;

8 — нет сведений.

Графа 13 — морфологическая характеристика лавинного пути. Кодировается как:

1 — прыгающая лавина;

2 — лотковая лавина;

3 — осов;

4—7 — запасные коды;

8 — нет сведений.

Графа 14 — структура поверхности снежного покрова в месте схода лавины. Кодировается следующим образом:

1 — поверхность снега твердая, шероховатая;

2 — поверхность снега твердая, гладкая;

3 — поверхность снега рыхлая;

4 — поверхностный иней, изморозь;

5—8 — запасные коды;

9 — нет сведений.

¹ В разных районах СССР пределы высотно-морфологических зон могут охватывать значительно большее число разрядов, чем предлагается авторами. Так, в районе г. Хорога лавины охватывают высоты от 2500 до 5000 м. В этом случае дифференциация зон должна быть менее дробной. Кодировка графы 8, аналогично предыдущей графе, создаст определенные трудности (Прим. ред.)

Графа 15¹ — кодируется внутренняя структура горизонта снега, по которому сошла лавина:

- 1 — твердый слой;
- 2 — рыхлый слой;
- 3 — глубинная изморозь;
- 4—8 — запасные коды;
- 9 — нет сведений.

Графа 16 — записывается ширина отрыва лавины в метрах. Занимает четыре разряда (9999)².

Графа 17 — записывается плотность старого снега в месте отрыва лавины в г/см³. Занимает два разряда (99), нуль целых опускается.

Графа 18 — записывается плотность нового снега в месте отрыва лавины в г/см³. Количество занимаемых разрядов также 2, нуль опускается.

Графа 19 — толщина снежного покрова в месте отрыва лавины в сантиметрах. Количество занимаемых разрядов три (999).

Графа 20 — угол скольжения лавины в градусах, измеренный инструментально на линии отрыва. Кодировка занимает два разряда (99).

Дополнительные сведения наблюдений за сходом сошедших лавин заносятся в журнал в обычном порядке.

3.2. ПОРЯДОК РЕГИСТРАЦИИ И ЗАПОЛНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО БЛАНКА «СКЛОН»

В бланк заносятся морфологические и морфометрические характеристики лавиносборов, в которых зафиксированы лавины. Ниже перечислен порядок заполнения граф этого бланка.

Графа 1 — номер лавиносбора. Максимально используются четыре разряда (9999).

Графа 2 — тип лавиносбора. Кодируется в следующем порядке:

- 1 — очаги склоновых лавин;
- 2 — очаги лотковых лавин (эрозионный врез);
- 3 — очаги лотковых лавин (денудационная воронка);
- 4 — очаги лотковых лавин (разрушенные кары);
- 5—8 — запасные коды;
- 9 — нет сведений.

Графа 3 — площадь лавиносбора общая в га. Кодируется максимально двумя-тремя разрядами (999).

¹ При кодировании графы 15 исполнителям представляются возможности для субъективных оценок. (Прим. ред.)

² Авторами для кодировки в графе 16 предлагаются всего 2 разряда. Этого явно недостаточно. (Прим. ред.)

Графа 4 — площадь лавиносбора эффективная в га. Используются три разряда (999).

Графа 5 — точность определения площади лавиносбора. Используется один разряд (9). Кодировается так:

- 1 — точная инструментальная съемка;
- 2 — использована крупномасштабная карта;
- 3 — глазомерная съемка;
- 4—8 — запасные коды;
- 9 — нет сведений.

Графа 6 — средний угол наклона лавиносбора. Кодировается цифрами в двух разрядах (99).

Графа 7 — точность определения угла наклона лавиносбора определяется аналогично графе 5.

Графа 8 — экспозиция лавиносбора. Определяется по следующим градациям:

- 1 — северное направление (С);
- 2 — северо-восточное (СВ);
- 3 — восточное (В);
- 4 — юго-восточное (ЮВ);
- 5 — южное (Ю);
- 6 — юго-западное (ЮЗ);
- 7 — западное (З);
- 8 — северо-западное (СЗ);
- 9 — нет сведений.

Графа 9 — абсолютная высота нахождения лавиносбора (верхняя граница). Записывается четырьмя цифрами. Используется четыре разряда (9999).

Графа 10. Нижняя граница лавиносбора. Определяется по морфометрической структуре. Для лавиносборов, выходящих в долину, нижней границей считается дно долины. Используются четыре разряда.

Графа 11 — точность определений абсолютной высоты нахождения лавиносбора. Используется один разряд (9) аналогично графе 5.

Графа 12 — ширина лавиносбора в метрах. Используются три разряда (999).

Графа 13 — длина лавиносбора в метрах. Записывается аналогично предыдущему.

Графа 14 — точность определения ширины и длины лавиносбора в зависимости от используемых инструментальных средств. Записывается аналогично графе 5.

Графа 15 — конфигурация лавиносбора по поперечному профилю. Используется один разряд. Кодировается так:

- 1 — V-образные лавиносборы;
- 2 — U-образные лавиносборы;
- 3 — ∪-чашеобразные лавиносборы;
- 4 — —участки прямые;
- 5—8 — запасные коды;

9 — нет сведений.

Графа 16 — подстилающая поверхность лавиносбора. Кодится одной цифрой:

1 — скалы;

2 — дерн;

3 — кустарник;

4 — смешанная;

5—8 — запасные коды;

9 — нет сведений.

Сведения, которые не вошли в настоящий бланк, записываются в полевую книжку.

3.3. ЗАПИСЬ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЛАНК «МЕТЕО»

В бланк заносится выборочно средняя суточная метеорологическая информация, собираемая по стандартной форме ТМ-1. Данные специальных лавинных наблюдений также осредняются за сутки и заносятся в этот бланк.

Операционный лист включает шифр документа и номер пачки бланков (со знаком минус). Пачки нумеруются по порядку для каждого месяца независимо от года.

Дата наблюдений (год, месяц) записывается четырьмя цифрами со знаком плюс. Например, данные сняли в декабре 1970 г. Записывается +7012.

Графа 1 — число наблюдений. Записывается со знаком минус. Занимает два разряда (99).

Графа 2 — температура воздуха, средняя за сутки $\Theta_{в. ср.}$ с точностью до десятых. Отрицательная температура записывается со знаком Δ . Например: температура воздуха была $-14,1^{\circ}\text{C}$, записывается так: $\Delta 14,1$.

При положительной температуре знак Δ опускается.

Графа 3 — температура воздуха максимальная $\Theta_{в. макс}$ за сутки. Все операции записи в бланк аналогичны графе 2.

Графа 4 — температура воздуха, минимальная $\Theta_{в. мин}$ за сутки. Аналогично графам 2 и 3.

Графа 5 — количество осадков x в мм с точностью до десятых. Например: $x = 23,2$ мм. Кодруется пятью разрядами (999,9).

Графа 6 — средняя суточная скорость ветра в м/с с точностью до целых. Занимает два разряда (99).

Графа 7 — температура снега в $^{\circ}\text{C}$ на глубине 15 см от поверхности снежного покрова с точностью до целых. Занимает два разряда (99).

Графа 8 — продолжительность солнечного сияния в часах. Занимает два разряда (99).

Графа 9 — направление ветра. Кодруется по следующим градациям:

- 1 — северное направление (С);
- 2 — северо-восточное (СВ);
- 3 — восточное (В);
- 4 — юго-восточное (ЮВ);
- 5 — южное (Ю);
- 6 — юго-западное (ЮЗ);
- 7 — западное (З);
- 8 — северо-западное (СЗ);
- 9 — нет сведений.

Графа 10 — высота снега по рейке от поверхности почвы в см с точностью до одного знака после запятой. Занимает пять разрядов (999,9).

Графа 11 — продолжительность снегопада (ПС) в часах. Занимает два разряда (99).

Графа 12 — оседание снега в см с точностью до десятых. Занимает четыре разряда (99,9).

Примечания:

1. Связка граф 9, 10, 11 может отсутствовать;
2. Значение метеоданных, которые отсутствуют в наблюдениях из-за определенных причин, осредняются по интервалу четырех дней;
3. Данные срочных метеорологических наблюдений и специальных наблюдений записываются в полевой журнал.

Полученные бланки являются входными для информационной системы «Снег» и анализа снеголавинных метеорологических данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным для прогноза лавин благодаря своей простоте и доступности является эмпирический метод, основанный на анализе снего-метеорологической обстановки и сравнении ее с известными лавиноопасными ситуациями. Этот метод достаточно универсален и поддается алгоритмизации для использования современной электронно-вычислительной техники. Но в настоящее время применение ЭВМ для прогноза лавин еще не вышло из стадии экспериментирования и на практике не используется, поэтому заслуживают внимания простейшие способы упорядочения, накопления и анализа снеголавинной информации для прогноза лавин. Это — графики временного хода и вариационные ряды снего-метеорологических элементов, таблицы и графики связи предикторов и предиктанта. Но, как правило, все эти построения бывают вспомогательным средством, а основным является опыт прогнозиста и в известной мере его интуиция, т. е. применяется, в сущности, метод экспертной оценки снего-метеорологической ситуации. Другой, формализованный метод сводится в конечном счете к задаче опознавания образов, к которому близок и дискриминантный анализ (примеры разрабатываемых методик прогноза лавин в этих двух последних направлениях даны в разделе 2).

В настоящее время наиболее целесообразен комплексный метод (анализ снего-метеорологической обстановки, строения и развития снежной толщи и оценка ее механической устойчивости), которому и следует отдавать предпочтение в практике лавинного прогнозирования. Перспективны метод машинного опознавания образов, дискриминантный анализ и метод аналогий с применением ЭВМ. Наряду с этим заслуживают внимания эмпирические методы, особенно те из них, которые принимают во внимание по меньшей мере два снего-метеорологических фактора (ряд прогностических графиков, данных в разделе 2, содержит разграничительные кривые, которые являются, в сущности, двухмерным вариантом дискриминантной функции, причем не только линейной).

Любая методика прогноза, принимаемая для данного района по аналогии с другими, должна пройти критическую проверку на материалах имеющихся наблюдений, а в дальнейшем по мере надобности уточняться и корректироваться. При этом прогнозист должен осмысленно применять в конкретных условиях имеющийся опыт, руководствуясь основами теории и привлекая на помощь аналогии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ¹

1. Абдушлишвили К. Л. Возможность предсказания лавин в период развития процессов оседания снежного покрова.— Труды ВГИ, 1967, вып. 12, с. 133—139.
2. Абдушлишвили К. Л., Басилашвили Ц. З. Оперативная схема фонового прогноза с использованием ЭВМ.— Труды ЗакНИГМИ, 1977, вып. 48(54), с. 94—99.
3. Абушлишвили К. Л., Цома я В. Ш. Из опыта прогноза лавин свежеснежавшего снега в горах Закавказья.— В кн.: Труды I Всесоюз. совещания по лавинам. Л., Гидрометеоиздат, 1965, с. 117—120.
4. Айвазян С. А., Бежаева З. И., Староверов О. В. Классификация многомерных наблюдений — М.: Статистика, 1974.— 240 с.
5. Аккуратов В. Н. Прогноз наступления лавинной опасности по величинам метелевого переноса и температурного сжатия снега.— В кн.: Вопросы использования снега и борьба со снежными заносами и лавинами. М., Изд-во АН СССР, 1956, с. 167—183.
6. Аккуратов В. Н. Генетическая классификация лавин.— Труды Эльбрусской высокогорной комплексной экспедиции, т. 1(4), 1959, с. 215—232.
7. Аккуратов В. Н. Основы предсказания некоторых типов лавин.— Изв. ВГО, 1960, т. 92, № 5, с. 420—427.
8. Аккуратов В. Н. Производство метелемерных наблюдений и методики их обработки.— В кн.: Снежный покров, его распространение и роль в народном хозяйстве. М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 169—174.
9. Аккуратов В. Н. Метеорологические условия образования лавин в Хибинах.— Материалы гляциологических исследований. Хроника. Обсуждения. Вып. 12. М., 1966, с. 132—138.
10. Аккуратов В. Н. О расчетах вероятного максимального объема снежной лавины.— В кн.: Снежные лавины (прогноз и защита). М., Изд. Моск. гос. ун-та, 1974, с. 39—44.
11. Андерсон Т. Введение в многомерный статистический анализ.— М.: Физматгиз, 1963.— 500 с.
12. Анисимов М. И. Снег и снежные обвалы.— М.: Изд-во АН СССР, 1958.— 100 с.
13. Балабуев А. Г., Сулаквелидзе Г. К. Метод лавинограмм (К вопросам изменения и механической устойчивости снежного покрова на горных склонах).— Труды Ин-та геофизики АН ГрузССР, 1953, т. 12, с. 157—161.
14. Барбат Ю. П. К вопросу прогнозирования лавин свежеснежавшего снега в районах Тянь-Шаня.— В кн.: Вопросы географии Киргизии. Тезисы докладов научной конференции. Фрунзе, Илим, 1966, с. 68—69.
15. Барбат Ю. П. К вопросу прогнозирования лавин в районе Тянь-Шаня и номограммирование уравнений, определяющих лавинную опасность.— Труды ВГИ, 1967, вып. 12, с. 166—174.

¹ Этот список не претендует на полноту (в частности, в него не вошел ряд работ регионального характера); библиографические ссылки на другие работы по лавиноведению и снеговедению имеются в перечисленных книгах и специальной литературе; рефераты новых работ даются в ежемесячном издании ВИНТИ «Реферативный журнал География [или Геофизика]. В. Океанология. Гидрология суши. Гляциология», статьи и рефераты — в ряде выпусков сборника «Материалы гляциологических исследований. Хроника, обсуждения», статьи — в трудах Высокогорного геофизического института (ВГИ), Закавказского (Тбилисского) (ЗакНИГМИ) и Среднеазиатского регионального (САРНИГМИ) научно-исследовательских гидрометеорологических институтов, Московского государственного университета, Новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта (НИИЖТ) и в некоторых сборниках Академии наук СССР и других научно-исследовательских учреждений.

16. Барбат Ю. П. О возможности прогноза объемов лавин во время снегопада.— Труды ВГИ, 1967, вып. 12, с. 129—132.
17. Барбат Ю. П. Способы расчета объемов лавин свежеснежавшего снега для районов Тянь-Шаня.— Сб. работ Фрунзенск. ГМО, 1968, вып. 2, с. 137—144.
18. Барбат Ю. П. Метеорологические особенности формирования лавин на территории Киргизии.— Материалы гляциологических исследований. Хроника. Обсуждения. Вып. 16. М., 1970, с. 130—136, 160.
19. Барбат Ю. П. Об оценке степени лавинной опасности во время оттепелей во Внутреннем Тянь-Шане.— Вопросы изучения снега в горах: Информ. письмо. М., Гидрометеиздат, 1970, с. 35—37.— (ГУГМС).
20. Барбат Ю. П. Комплексный метод прогноза снежных лавин в горах Тянь-Шаня.— Труды ВГИ, 1974, вып. 26, с. 126—137.
21. Беспалов Д. П., Козлов В. Н., Матвеев Л. Т. Психрометрические таблицы.— Л.: Гидрометеиздат, 1972.— 235 с.
22. Благовещенский В. П. Прогноз максимальных дальностей выброса лавин на основе статистического анализа видимых границ действия лавин.— В кн.: Снежные лавины (Прогноз и защита). М., Изд. МГУ, 1974, с. 32—38.
23. Божинский А. Н. Критерии обрушения снежных лавин.— В кн.: Итоги науки, 1967. Гидрология суши, гляциология. М., ВИНТИ, 1968, с. 42—59.
24. Брукс К., Карузерс Н. Применение статистических методов в метеорологии. Пер. с англ.— Л.: Гидрометеиздат, 1963.— 416 с.
25. Бугаев В. А. и др. Синоптические процессы Средней Азии.— Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957.— 477 с.
26. Бурнаев В. С. Прогноз лавин из свежеснежавшего снега по количеству и интенсивности осадков.— В кн.: Вторая Всесоюз. конференция молодых ученых Гидрометслужбы, 25—27 мая 1976 г. (тезисы докладов). Обнинск, 1976, с. 97—98.
27. Вапник В. Н. Задача обучения распознавания образов.— М.: Знание, 1971.— 60 с.
28. Войтковский К. Ф. Проблемы возникновения и схода снежных лавин.— В кн.: Склоновые процессы. Вып. 1, 1974, с. 101—112.
29. Войтковский К. Ф. Механические свойства снега.— М.: Наука, 1977.— 126 с.
30. Володичева Н. А., Пеунов В. Г. Пространственно-временной прогноз лавинной опасности в горах Станового нагорья.— В кн.: Снежные лавины. (Прогноз и защита). М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1974, с. 45—53.
31. Гвинчидзе Н. И. Борьба со снежными лавинами при высокогорном гидроэнергостроительстве.— Гидротехническое строительство, 1953, № 4, с. 42—45.
32. Гербер А. Р. Устойчивость снега на склоне и параметры средств активного воздействия.— Материалы науч.-техн. конфер. молодых ученых, специалистов и студентов по теме «Вопросы строительства и эксплуатации железных дорог в условиях сурового климата Сибири», 1972. Новосибирск, 1974, с. 54—57.
33. Гонгадзе Д. Н. Некоторые вопросы теории образования и движения снежных лавин.— Труды Ин-та геофизики АН ГрузССР, 1954, т. 13, с. 161—174.
34. Гракович В. Ф. Об использовании метода распознавания образов для оценки лавинной ситуации по комплексу метеорологической информации.— В кн.: Снежные лавины (Прогноз и защита). М., Изд. Моск. гос. ун-та, 1974, с. 22—31.
35. Гракович В. Ф. Применение статистического анализа к исследованию вероятности схода снежных лавин.— Вестн. Моск. гос. ун-та. Сер. геогр., 1974, № 4.
36. Гракович В. Ф. Вероятностно-статистический метод оценки лавинной ситуации.— В кн.: Исследования снега и лавин в Хибинах. Л., Гидрометеиздат, 1975, с. 71—77.

37. Гракович В. Ф. Вероятностный подход при прогнозировании снежных лавин.— В кн.: Исследования взаимодействий в геосистемах. Владивосток, 1975, с. 204—210.
38. Гракович В. Ф. Информационная система для организации службы предупреждения снежных лавин. Автореф. дис. на соискание уч. степени канд. геогр. наук.— М.: 1975.— 30 с.
39. Гракович В. Ф. Методика обработки гляциологических данных на ЭВМ.— Материалы гляциологических исследований. Хроника. Обсуждения. Вып. 25. М., 1975, с. 214—219.
40. Гракович В. Ф. Применение статистического анализа при прогнозировании лавин Приэльбрусья.— Материалы гляциологических исследований. Хроника. Обсуждения. Вып. 28. М., 1976, с. 79—84.
41. Гракович В. Ф. Информационная система «Снег».— М.: Гидрометеониздат, 1978.— 201 с.
42. Гракович В. Ф. Концепции построения автоматизированной информационной системы обработки гляциологических данных.— Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 32(113), с. 3—18.
43. Гракович В. Ф., Залиханов М. Ч. К вопросу автоматизированной обработки снеголавиновых данных.— Труды ВГИ, 1978, вып. 40, с. 13—19.
44. Груза Г. В. Некоторые общие вопросы теории прогноза погоды на основе статистических данных.— Труды САРНИГМИ, 1967, вып. 29(44), с. 3—41.
45. Груза Г. В. О некоторых практических приемах дискриминантного анализа.— Труды САРНИГМИ, 1967, вып. 29(44), с. 160—166.
46. Груза Г. В., Солдаткина А. М. О принципах построения метода прогноза погоды по аналогии.— Труды САРНИГМИ, 1967, вып. 29(44), с. 123—136.
47. Долов М. А. Процессы перекристаллизации и равновесия снежного карниза.— Труды ВГИ, 1965, вып. 4, с. 29—34.
48. Долов М. А., Халкечев В. А. Физика снега и динамика снежных лавин.— Труды ВГИ, 1972, вып. 23.— 327 с.
49. Дроздовская Н. Ф. и др. Опыт статистического анализа лавинообразующих факторов.— Материалы гляциологических исследований. Хроника. Обсуждения. Вып. 31. М., 1977, с. 106—117, 155, 156.
50. Дроздовская Н. Ф., Имас Л. И. Разделение ситуаций при снегопадах на лавиноопасные и нелавиноопасные с помощью линейного дискриминантного анализа.— Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 37(118), с. 3—17.
51. Дроздовская Н. Ф., Имас Л. И. Эксперимент прогноза лавин свежесвалившегося снега с помощью дискриминантного анализа.— В кн.: Вопросы горной гляциологии. Томск, 1977, с. 148—156.
52. Дроздовская Н. Ф., Канаев Л. А., Чиркова А. А. О видах прогноза лавин.— Труды САРНИГМИ, 1972, вып. 63(78), с. 34—40.
53. Ефимов М. К., Козик Е. М. Связь некоторых метеорологических элементов со сходом лавин в бассейне р. Дукант.— Труды САРНИГМИ, 1974, вып. 15(96), с. 142—147.
54. Залиханов М. Ч. Снежно-лавиновый режим и перспективы освоения гор Кабардино-Балкарии.— Нальчик: Эльбрус, 1971.— 191 с.
55. Залиханов М. Ч., Акаева Л. А. Из опыта прогнозирования мест схода лавин в горах Большого Кавказа.— Труды ВГИ, 1974, вып. 27, с. 72—84.
56. Залиханов М. Ч., Акаева Л. А. Из опыта прогнозирования схода лавин на Центральном Кавказе.— Сб. работ Ростовской ГМО, 1977, вып. 16, с. 96—111.
57. Зинченко А. А. О некоторых особенностях образования и прогнозирования лавин в районах с интенсивным перераспределением снега.— Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 32(113), с. 108—112.
58. Зинченко А. А., Харитонов Г. Г. Оперативный прогноз лавин из свежесвалившегося снега на основе комплекса метеорологических фак-

торов в районе снеголавинной станции Наугарзан.— Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 32(113), с. 95—107.

59. Зубков А. М., Чумаков Ю. С. О прогнозировании лавин при оттепелях в Заилийском Алатау.— В кн.: Снежные лавины и ледники Казахстана. Алма-Ата, Наука, 1977, с. 65—74.

60. Зябкин В. В. Условия образования мокрых лавин и возможности их прогнозирования.— Сб. работ Фрунзенск. ГМО, 1968, вып. 2, с. 145—155.

61. Зябкин В. В. Прогнозирование снежных лавин и борьба с ними в Киргизии.— Автореф. дис. на соискание уч. степени канд. геогр. наук.— М., 1975.— 20 с.

62. Зябкин В. В., Щербаков М. П., Попов Н. И. Физические свойства глубинной изморози и метод прогноза лавин сублимационного диафореза снега.— Труды САРНИГМИ, 1974, вып. 15(96), с. 113—125.

63. Ижболдина В. А. Аэросиноптические условия образования и схода метелевых лавин на Кольском полуострове.— В кн.: Исследования снега и лавин в Хибинах. Л., Гидрометеониздат, 1975, с. 51—63.

64. Инженерная гляциология/Под ред. Г. К. Тушинского.— М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971.— 208 с.

65. Исаенко Э. П., Иванов А. В., Васильев А. Б. Вопросы оперативного прогноза лавинной опасности на железнодорожной линии Южно-Сахалинск—Холмск.— В кн.: Снег и лавины Сахалина. Л., Гидрометеониздат, 1975, с. 93—102.

66. Календарь типов синоптических процессов над Средней Азией.— Ташкент, 1968.— 135 с.

67. Канаев Л. А. Некоторые типы лавин Западного Тянь-Шаня.— В кн.: Труды I Всесоюз. совещания по лавинам. Л., Гидрометеониздат, 1965, с. 84—91.

68. Канаев Л. А. Современное состояние прогнозирования лавинной опасности в СССР: Обзор.— Обнинск, 1975, 15 с. (ВНИИГМИ. Обзорная информация).

69. Канаев Л. А., Тупаева Н. К. Процессы трансформации снежной толщи в горах Средней Азии.— Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 32(113), с. 66—79.

70. Карты лавиноопасных районов Советского Союза/Под ред. Г. К. Тушинского.— М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1971.— 27 с.

71. Кириллова Т. В., Ковалева Е. Д. О введении поправок при определении эффективного излучения и противоионизации по наземным данным.— Труды ГГО, 1951, вып. 27(89), с. 50—54.

72. Ковалева Е. Д. О расчете эффективного излучения поверхности Земли и противоионизации атмосферы.— Труды ГГО, 1951, вып. 27(89), с. 42—49.

73. Колесников Е. И. Способы прогноза лавинной опасности по интенсивности осадков и снегопадов в горах Заилийского Алатау.— Труды САНИГМИ, 1972, вып. 63(78), с. 104—121.

74. Колесников Е. И. Возможности прогнозирования снежных лавин и их максимальных объемов в Заилийском Алатау.— Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 32(113), с. 119—148.

75. Колесников Е. И. К вопросу о прогнозировании мокрых лавин в Заилийском Алатау.— Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 37(118), с. 59—69.

76. Коломыц Э. Г. Миграция водяных паров и структура теплового потока в снежной толще.— Материалы гляциологических исследований. Хроника. Обсуждения. Вып. 14. М., 1968, с. 71—78.

77. Кондрашов И. В. Опыт прогнозирования лавин из свежеснежного покрова на снеголавинной станции Чимбулак.— Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 37(118), с. 31—37.

78. Королев А. И. К вопросу о методике определения лавинной опасности.— Труды САНИГМИ, 1967, вып. 30(45), с. 111—121.

79. Королев А. И. О прогнозировании мокрых лавин свежего снега, начинающихся «из точки». — Материалы гляциологических исследований. Хроника. Обсуждения. Вып. 16. М., 1970, с. 115—121, 159.
80. Королев А. И. Анализ существующего определения лавиноопасного периода. — Труды САНИГМИ, 1972, вып. 63(78), с. 28—33.
81. Королев А. И. Значение надпочвенного горизонта снега в лавинообразовании, механизм возникновения снежных обвалов и возможности количественного лавинного прогноза. — Труды САНИГМИ, 1977, вып. 32(113), с. 149—166.
82. Королев А. И., Королева Л. М. О собственно лавинах и лавинных процессах. — Труды САНИГМИ, 1970, вып. 51(66), с. 135—139.
83. Королева Л. М. Некоторые особенности образования лавин сухого рыхлого снега из ядра. — Труды САНИГМИ, 1974, вып. 15(96), с. 126—135.
84. Королева Л. М. Определение критической длины снежного ядра, вызывающего лавинный процесс. — Труды САНИГМИ, 1977, вып. 32(113), с. 113—118.
85. Косарев М. В. Основные результаты изучения условий образования лавин на южных склонах Западного Тянь-Шаня. — Труды САНИГМИ, 1969, вып. 48(63), с. 5—19.
86. Котляков В. М. Профиль развития снежной толщи во времени как основной результат стационарных исследований снежного покрова. — Геогр. сообщ. Ин-та геогр. АН СССР, 1960 (1961), вып. 2, с. 30—32.
87. Красносельский Э. Б. К вопросу определения степени лавинной опасности в высокогорных районах Центрального Тянь-Шаня. — Труды ГГО, 1964, вып. 150, с. 133—139.
88. Красносельский Э. Б. Некоторые закономерности суточного хода сил сцепления в снежном покрове. — Материалы гляциологических исследований. Хроника. Обсуждения. Вып. 16. М., 1970, с. 86—90, 157.
89. Куваева Г. М. Условия и время, необходимые для развития в снежном покрове глубинной изморози. — Труды ВГИ, 1972, вып. 18, с. 61—70.
90. Куваева Г. М. и др. Физические свойства снежного покрова Большого Кавказа: Результаты исследований по программе МГГ, гляциология, № 17. — М.: Наука, 1967. — 194 с.
91. Кузьмин П. П. Процесс таяния снежного покрова. — Л.: Гидрометеиздат, 1961. — 345 с.
92. Кузьмин П. П. Физические свойства снежного покрова. — Л.: Гидрометеиздат, 1957. — 179 с.
93. Лавиноопасные районы Советского Союза/Под ред. Г. К. Тушинского. — М.: Изд. Моск. гос. ун-та, 1970. — 199 с.
94. Лед и снег. Свойства, процессы, использование: Пер. с англ. — М.: Мир, 1966. — 480 с.
95. Логвинов К. Т., Раевский А. Н., Айзенберг М. М. Опасные гидрометеорологические явления в Украинских Карпатах. — Л.: Гидрометеиздат, 1973. — 199 с.
96. Лосев К. С. Методы прогноза начала периода лавинной опасности во время снегопадов и метелей. — Изв. АН СССР. Серия геогр., 1960, № 6, с. 98—101.
97. Лосев К. С. Прогноз начала периода лавинной опасности во время снегопадов и метелей. — В кн.: Информ. сб. о работах МГУ по МГГ. Вып. 5. М., 1960, с. 125—129.
98. Лосев К. С. О релаксации снежного покрова и причинах возникновения лавин. — В кн.: Информ. сб. о работах МГУ по МГГ. Вып. 9. М., 1962, с. 139—145.
99. Лосев К. С. Некоторые общие закономерности режима лавин в горных районах СССР. — В кн.: Геогр. сб. Ин-та научной информации АН СССР, 1963, с. 101—104.
100. Лосев К. С. Устойчивость снега на склоне и причины возникновения лавин. — В кн.: Исследования ледников и ледниковых районов. М.: Изд-во АН СССР, 1963, вып. 3, с. 88—93.

101. Лосев К. С. Прогнозы лавин.— В кн.: Труды I Всесоюз. совещания по лавинам. Л., Гидрометеиздат, 1965, с. 97—111.
102. Лосев К. С. Прогнозы лавин.— Труды ВГИ, 1965, вып. 4, с. 112—130.
103. Лосев К. С. Лавины СССР (распространение, районирование, возможности прогноза).— Л.: Гидрометеиздат, 1966.— 131 с.
104. Лосев К. С. О методах прогноза лавин.— Труды САНИГМИ, 1970, вып. 51(66), с. 100—104.
105. Лосев К. С. О механизме возникновения лавин, связанных со снегопадами и метелями.— Труды САНИГМИ, 1972, вып. 63(78), с. 3—11.
106. Максимов Н. В. Климато-метеорологический метод прогноза снежных лавин.— Инф. сб. № 5, Вопросы гидрологии. М., Гидрометеиздат, 1962.
107. Максимов Н. В. Некоторый опыт работ по устранению лавинной опасности в районах Тянь-Шаня.— В кн.: Труды Всесоюз. совещания по лавинам. Л., Гидрометеиздат, 1965, с. 204—209.
108. Максимов Н. В. Условия образования гидронапорных лавин и возможности их прогнозирования.— Метеорология и гидрология, 1973, № 3, с. 66—72.
109. Максимов Н. В. Некоторые особенности образования лавин в условиях Киргизии.— Труды САНИГМИ, 1977, вып. 37(118), с. 18—23.
110. Максимов Н. В., Зябкин В. В., Барбат Ю. П. Лавиноопасные районы Киргизии.— Фрунзе: Кыргызстан, 1975.— 92 с.
111. Максимов Н. В., Красносельский Э. Б. Опыт искусственного устранения лавинной опасности в высокогорных районах Тянь-Шаня.— Труды ГГО, 1964, вып. 160, с. 148—156.
112. Максимов Н. В., Щербаков М. П., Вернер Е. Ф. Лавины и борьба с ними на территории Киргизии.— Фрунзе: Кыргызстан, 1965.— 120 с.
113. Марин Ю. А. О масштабном эффекте при измерении силы сцепления в снежном покрове.— Труды НИИЖТ, 1971, вып. 130, с. 115—122.
114. Миллер Р. Л., Кан Дж. С. Статистический анализ в геологических науках: Пер. с англ.— М.: Мир, 1965.— 482 с.
115. Митропольский А. К. Техника статистических вычислений.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Физматгиз, 1971.— 567 с.
116. Молочников А. В., Пузанов В. П. Зависимость образования снежных обвалов в Хибинах от метеорологических условий.— Снег и снежные обвалы в Хибинах, 1938, вып. 1, с. 66—70.
117. Москалев Ю. Д. Возникновение и движение снежных лавин.— Л.: Гидрометеиздат, 1966.— 152 с.+1 л. рис.
118. Москалев Ю. Д. Расчеты устойчивости снежной толщи по углам сдвига.— Труды ЗакНИГМИ, 1966, вып. 20, с. 156—165.
119. Москалев Ю. Д. О прочностных свойствах снега в связи с проблемой лавинообразования.— В кн.: Успехи советской гляциологии. Фрунзе, Илим, 1968, с. 329—337.
120. Москалев Ю. Д. Об эмпирических зависимостях для прогноза снежных лавин и о снеголавинных расчетах.— Труды САНИГМИ, 1969, вып. 48(63), с. 32—61.
121. Москалев Ю. Д. Изучение снежных лавин в СССР.— Информ. письмо ГУГМС № 18. М., 1970, с. 3—13.
122. Москалев Ю. Д. Некоторые вопросы изучения, прогноза схода лавин и методики снеголавинных расчетов.— Труды САНИГМИ, 1970, вып. 51(66), с. 89—99.
123. Москалев Ю. Д. О формах обрушения и движения лавин.— Труды САНИГМИ, 1972, вып. 63(78), с. 12—27.
124. Москалев Ю. Д. Динамика снежных лавин и снеголавинные расчеты.— Труды САНИГМИ, 1977, вып. 36(117). 231 с.
125. Москалев Ю. Д. Эмпирический метод прогноза лавин.— Труды САНИГМИ, 1979, вып. 64(145), с. 51—60.

126. Москалев Ю. Д., Ефимов М. К. Условия снегопадов в горах Западного Тянь-Шаня в связи с проблемой лавинообразования.— Труды САНИГМИ, 1969, вып. 48(63), с. 62—77.

127. Москалев Ю. Д., Ефимов М. К. О снеговалинных параметрах в связи с активными воздействиями на сход лавин и расчетами их движения.— Труды САНИГМИ, 1972, вып. 63(78), с. 48—61.

128. Москалев Ю. Д., Ефимов М. К. Рекомендации по искусственному обрушению лавин.— Ташкент: 1973.— 14 с.

129. Наставление по службе прогнозов. Раздел I. Служба метеорологических прогнозов. Части III, IV, V. Терминология и оценка оправдываемости прогнозов погоды суточных, трехдневных, пентадных и декадных, а также предупреждений об ОЯ и ООЯ.— Л.: Гидрометеиздат, 1977.— 46 с.

130. Обухов А. М. К вопросу об оценке успешности альтернативных прогнозов.— Изв. АН СССР. Сер. геофиз., 1955, № 4, с. 339—350.

131. Околов В. Ф. Роль радиационного баланса и турбулентного обмена в процессе снеготаяния в Хибинских горах (к вопросу о фоновом прогнозе мокрых лавин).— В кн.: Снег и лавины Хибин. М., Изд-во МГУ, 1967, с. 138—193.

132. Опасные гидрометеорологические явления в Средней Азии/Под ред. А. Д. Джураева, С. Г. Чанышевой, О. Н. Субботиной.— Л.: Гидрометеиздат, 1977.— 335 с.

133. Отуотер М. Охотники за лавинами: Пер. с англ.— М.: Мир, 1972.— 226 с.

134. Пановский Г. А., Брайер Г. В. Статистические методы в метеорологии: Пер. с англ.— Л.: Гидрометеиздат, 1967.— 242 с.

135. Положение о сборе сведений и порядке предупреждений об особо опасных гидрометеорологических явлениях. 3-е изд.— М.: Гидрометеиздат, 1972.— 19 с.

136. Полхов А. П. Модель альтернативного прогноза метелевых лавин в Хибинах.— Метеорология и гидрология, 1976, № 10, с. 74—80.

137. Полхов А. П., Ижболдина В. А. Оценка информативности вектора-предсказателя для описания синоптических ситуаций, вызывающих сход метелевых лавин в Хибинах.— Труды ГГО, 1976, вып. 378, с. 141—147.

138. Полхов А. П., Ижболдина В. А. Распознавание синоптических ситуаций, вызывающих метелевые лавины в Хибинах, с помощью правил статистических решающих функций.— Труды ГГО, 1977, вып. 390, с. 97—108.

139. Попов В. И., Токарев А. А. О лавинной опасности гор Казахстана. Алтай.— Труды САНИГМИ, 1977, вып. 32(113), с. 192—201.

140. Попов В. И. и др. Условия формирования и режим лавин западной части Джунгарского Алатау.— Труды САНИГМИ, 1977, вып. 37(118), с. 70—76.

141. Пучкова Н. В. К вопросу о формировании и деятельности снежных лавин.— В кн.: Работы Тянь-Шаньской физ.-геогр. станции АН КиргССР. Вып. 6. 1964, с. 47—52.

142. Рао С. Р. Линейные статистические методы и их применение: Пер. с англ.— М.: Наука, 1968.— 548 с.

143. Ржевский Б. Н. Лавины резких температурных изменений и способы их прогнозирования.— Труды ВГИ, 1967, вып. 12, с. 253—259.

144. Ржевский Б. Н. Гидронапорные лавины и актуальность их изучения.— Материалы гляциологических исследований. Хроника. Обсуждения. М., 1970, вып. 16, с. 107—111, 158.

145. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям.— Л.: Гидрометеиздат, 1957.— 124 с.+1 л. диагр.

146. Руководство гидрометеорологическим станциям по регистрации радиации.— Л.: Гидрометеиздат, 1961.— 119 с.

147. Руководство по снеговалинным работам (временное).— Л.: Гидрометеиздат, 1965.— 397 с.+9 вкл.

148. Руководство по снегомерным работам в горах.— Л.: Гидрометеиздат, 1958.— 148 с.

149. Саатчан Г. Г. Снег и снежные обвалы.— Труды ТНИС, 1936, вып. 27.
150. Савельев Б. А., Лаптев М. Н., Лаптева Н. И. Строе-ние, состав, физико-механические свойства снега в Хибинах и их изменение в процессе метаморфизма.— В кн.: Снег и лавины Хибин. М.: Изд. МГУ, 1967, с. 201—239.
151. Северский И. В. Исследование процессов перекристаллизации снега и особенностей лавинного режима по северным склонам Заилийского Алатау.— В кн.: Успехи советской гляциологии.— Фрунзе: Илим, 1968, с. 338—347.
152. Северский И. В. Снежные лавины Заилийского Алатау (форми-рование, возможности прогноза, оценка опасности, влияние на сток). Автореф дис. на соискание уч. степени канд. геогр. наук.— М., 1969.— 27 с.
153. Северский И. В. Возможности прогноза лавин на северном склоне Заилийского Алатау.— Вопросы географии Казахстана, вып. 16, 1974, с. 141—153.
154. Снежные лавины: Справочник по прогнозированию и мерам контроля: Пер. с англ.— М.: Прогресс, 1965.— 208 с.
155. Статистические методы в гидрологии: Пер. с англ.— Л.: Гидрометеиздат, 1970.— 271 с.
156. Статистические методы в метеорологии.— Л.: Гидрометео-издат, 1974.— 176 с.
157. Сулаквелидзе Г. К. К вопросу об образовании и движении снежных лавин.— Труды Ин-та физики и геофизики АН ГрузССР, 1949, т. 11, с. 101—110.
158. Тушинский Г. К. Процесс перекристаллизации снежной толщи и возникновение лавин.— Вестн. МГУ, 1948, № 6, с. 131—140.
159. Тушинский Г. К. Лавины. Возникновение и защита от них.— М.: Географгиз, 1949.— 213 с.
160. Тушинский Г. К. Программа и методика по изучению снеж-ной толщи с целью прогнозирования наступления лавинной опасности.— Труды ТбилигМИ, 1953, вып. 3, с. 118—127.
161. Тушинский Г. К. Лавины и защита от них на геолого-разве-дочных работах.— М.: Госгеолтехиздат, 1957.— 108 с.
162. Тушинский Г. К. Защита автомобильных дорог от лавин.— М.: Автотрансиздат, 1960.— 152 с.
163. Тушинский Г. К. Ледники, снежники, лавины Советского Союза.— М.: Географгиз, 1963.— 311 с.+3 л. рис.
164. Тушинский Г. К., Гуськова Е. Ф., Губарева В. Д. Перекристаллизация снега и возникновение лавин.— М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1953.— 116 с.+5 л. илл.
165. Фляйг В. Внимание, лавины! Пер. с нем.— М.: Изд. иностр. лит., 1960.— 224 с.+29 л. илл.
166. Фомин А. Г. Модель снежного покрова.— Труды НИИЖТ, 1970, вып. 115, с. 107—114.
167. Харитонов Г. Г. Расчет начала периода лавинной опасности в районе СЛС Наугарзан на основе наблюдений за метелевым переносом снега.— Труды ВГИ, 1967, вып. 12, с. 187—198.
168. Харитонов Г. Г. Расчет времени наступления лавинной опас-ности в периоды ветрового перераспределения снега в долине р. Наугарзан.— Труды САНИГМИ, 1967, вып. 30(45), с. 101—110.
169. Харитонов Г. Г. Условия образования лавин из метелевого снега в бассейне р. Наугарзан и возможности их предсказания. Автореф. дис. на соискание уч. степени канд. геогр. наук.— Ташкент, 1968.— 24 с.
170. Харитонов Г. Г. Условия образования лавин из свежеснежав-шего снега в верховьях реки Ангрен.— Материалы гляциологических исследо-ваний. Хроника. Обсуждения. Вып. 16, 1970, с. 126—130.
171. Харитонов Г. Г. К вопросу прогнозирования лавин из свеже-выпавшего снега в районе СЛС Дуكانт.— В кн.: Инженерная гляциология. Апатиты, 1973, с. 160—164.

172. Харитонов Г. Г. Методические рекомендации по прогнозированию лавин из свежеснежавшего снега.— Ташкент, 1974.— 21 с.
173. Харитонов Г. Г. Краткосрочный прогноз лавин из свежеснежавшего снега в бассейне р. Дукант.— Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 37(118), с. 79—94.
174. Харитонов Г. Г. К методике прогнозирования лавин из мокрого снега в районе снеголавинной станции Дукант.— Труды САРНИГМИ, 1979, вып. 64(145), с. 61—67.
175. Хоменюк Ю. В. и др. Отчет о применении метода опознавания образов для прогноза снежных лавин.— М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973.— 43 с.
176. Хоменюк Ю. В., Урумбаев Н. А., Урумбаева Л. В. Прогноз снежных лавин с помощью программ опознавания.— В кн.: Снежные лавины (Прогноз и защита). М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1974, с. 7—22.
177. Хоменюк Ю. В. Программа опознавания образов «Поиск».— Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 32(113), с. 19—29.
178. Хоменюк Ю. В. Методика предсказания снежных лавин с помощью программ опознавания образов.— Труды САРНИГМИ, 1977, вып. 32(113), с. 80—94.
179. Цомае В. Ш. Метеорологические условия образования снежных лавин в горах Закавказья.— Труды ЗакНИГМИ, 1963, вып. 11, с. 112—123.
180. Цомае В. Ш., Абдушелишвили К. Л. К методике прогноза схода лавин свежеснежавшего снега в зависимости от метеорологических факторов.— Труды ЗакНИГМИ, 1963, вып. 13, с. 97—100.
181. Цомае В. Ш. Прогноз схода лавин свежеснежавшего снега на основе учета факторов снегонакопления на склонах.— Труды ЗакНИГМИ, 1979, вып. 68(78), с. 3—15.
182. Черноус П. А. Применение многомерного дискриминантного анализа для распознавания лавиноопасных ситуаций.— В кн.: Исследования снега и лавин в Хибинах. Л., Гидрометеиздат, 1975, с. 64—70.
183. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования.— 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Статистика, 1977.— 200 с.
184. Читадзе В. С. Причины образования и динамика снежных лавин в районе Дариали.— Труды Ин-та геофизики АН ГрузССР, 1958, т. 17, с. 527—541.
185. Читадзе В. С. Аналитический метод прогноза лавин.— Труды ВГИ, 1967, вып. 6, с. 170—174.
186. Шумский П. А. Диагенез и фирнизация снежного покрова.— В кн.: Снег и талые воды, их изучение и использование. М., Изд-во АН СССР, 1956, с. 13—21.
187. Щербаков М. П. Роль метеорологических факторов в развитии снежной толщи.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1964, № 2, с. 115—119.
188. Щербаков М. П. Способ прогноза лавинной опасности по интенсивности снегопадов на Тянь-Шане.— Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1966, № 3.
189. Щербаков М. П. Изменение величины сцепления различных видов снега и некоторые вопросы прогнозирования образования лавин.— Работы Тянь-Шанск. физ.-геогр. станции, 1965, вып. 11, с. 77—81.
190. Щербаков М. П. К вопросу о классификации и прогнозе снежных лавин.— В кн.: Динамика и режим современного и древнего оледенения. Фрунзе, Илим, 1977, с. 117—130.
191. Щербаков М. П., Ржевский Б. Н. О возможности прогнозирования лавинной опасности на Тянь-Шане.— В кн.: Успехи советской гляциологии. Фрунзе, Илим, 1968, с. 365—375.
192. Эльмесов А. М. Сжимаемость и растяжимость снега под действием постоянной и переменной нагрузок. Возможность прогнозирования лавин.— Труды ВГИ, 1967, вып. 6, с. 25—39.
193. Эльмесов А. М., Настаев М. Х. Снежный покров и возможности прогнозирования его обрушения со склонов.— Труды ВГИ, 1967, вып. 12.
194. Яблоков А. А. К вопросу о лавинном режиме средней части Транс Тяньшаньской автомагистрали Фрунзе—Ош.— Материалы гляциологических исследований. Хроника. Обсуждения. Вып. 16, 1970, с. 136—142. 160.

195. Allix A. Sur la prévision des avalanches de neige.— Comptes rendus Acad. Sci. Paris, 1924.
196. Armstrong R. L. Continuous monitoring of metamorphic changes of internal snow structure as a tool in avalanche studies.— J. Glaciol., 1977, 19, N 81, p. 325—334.— (См. РЖ География, Геофизика, 1978, № 5 В510.)
197. Atwater M. M. The relationship of precipitation intensity of avalanche occurrence.— In: Proc. West. Snow Conf., 20, 1952, p. 11—19.
198. Atwater M. M. Comment prévoir les avalanches de neige.— Atomes, 1954, 96, N 9.
199. Avalanche release and snow characteristics, San Juan Mountains, Colorado.— Final rep. 1971—1975. Univ. Colo. Inst. Arct. Res. Occas. Pap., 1976, N 19, p. 1—256.— (См. РЖ География, Геофизика, 1977, № 7В 395.)
200. Bader H. R. u. a. (mit Einführung von P. Niggli). Der Schnee und seine Metamorphose.— Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Serie. Hydrologie, Lief. 3, Bern, 1939.
201. Beaumont R. T. Evaluation of the Mt. Hood pressure pillow snow gauge and application to forecasting avalanche hazard.— Publ. Assoc. Intern. Hydrol. Sci., 1966, N 69, p. 341—349. (См. РЖ География, Геофизика, 1967, № 5В 438.)
202. Bernet F. Wetter und Lawinenkatastrophen.— Publ. Zentralanst. Meteorol. und Geodyn., Wien, 1978, N 227, S. 45/1—47/7. (См. РЖ География, Геофизика, 1978, № 4В 597.)
203. Bois Ph., Obled Ch. Vers un système opérationnel de prévision numérique des avalanches à partir des méthodes statistiques.— Hydrol. Sci. Bull., 1973, 18, N 4, p. 419—429.— (См. РЖ География, Геофизика, 1974, № 9В 397.)
204. Bois Ph., Obled Ch. Prévision des avalanches par méthodes statistiques. Aspects méthodologiques et opérationnels. (Applications à la région de Davos, Suisse.) — Houille blanche, 1976, 31, N 6—7, p. 427, 433—434, 531.— (См. РЖ География, Геофизика, 1977, № 7В 392.)
205. Bois Ph., Obled Ch., Good W. Multivariate data analysis as a tool for day-to-day avalanche forecast.— In: UGGI/AISH/Commission des Neiges et Glaces Symp. Mécanique de la neige. Actes du colloque de Grindelwald, 1974, IASH—AISH Publ. N 114, 1975, p. 391—403.
206. Bovis M. J. Development of methodology for evaluation and prediction of avalanche hazard in the San Juan mountain area of Southwestern Colorado. Ch. 6. Statistical analysis.— Univ. Colo., Inst. Arctic and Alpine Research Pap. N 13, 1974, p. 71—94.
207. Bovis M. J. Statistical forecasting of snow avalanches, San Juan Mountains, Southern Colorado, U. S. A.— J. Glaciol., 1977, 18, N 78, p. 87—99.— (См. РЖ География, Геофизика, 1977, № 9В 411.)
208. Bradley Ch. C. The snow resistograph and slab avalanche investigation.— Publ. Assoc. Internat. Hydrol. Sci., 1966, N 69, p. 251—260.— (См. РЖ География, Геофизика, 1967, № 5В 442.)
209. Bradley Ch. C. The location and timing of deep slab avalanches.— J. Glaciol., 1970, 9, N 56, p. 253—261.— (См. РЖ География, Геофизика, 1971, № 1В 507.)
210. Bradley Ch. C., Bowles D. Strength-load ratio: an index of deep slab avalanche conditions.— In: Phys. Snow and Ice. Vol. 1. P. 2.— Sapporo, 1967, p. 1243—1253.— (См. РЖ География, Геофизика, 1969, № 1В 453.)
211. Capello C. F. La presunta previsione delle valanghe.— Boll. Soc. geogr. ital., 1977, 6, N 4—6, p. 209—221.— (См. РЖ География, Геофизика, 1978, № 2В 456.)
212. Christa R. Wetter und Lawinen.— Ann. Meteorol. Neue Folge, 1977, N 12, S. 166—169.— (См. РЖ География, Геофизика, 1977, № 11В 521.)
213. Condet J. La situation météorologique et les avalanches.— Météorologie, Ser. 4, 1957, N 45—46, p. 49—63.
214. De Crecy L. Statistique et prévision d'avalanches.— Publ. Assoc. Internat. Sci., 1966, N 69, p. 369—374.— (См. РЖ География, Геофизика, 1967, № 5В 457.)

215. Delsol F. L'évolution du manteau neigeux et le déclenchement des avalanches.— Houille blanche, 1976, 31, N 6—7, p. 485—488, 426, 432—433.— (См. РЖ География, Геофизика, 1977, № 7В 391.)
216. De Quervain M. R. Problems of avalanche research.— Publ. Assoc. Intern. Sci., 1966, N 69, p. 15—22.— (См. РЖ География, Геофизика, 1967, № 5В 451.)
217. De Quervain M. R. e. a. Avalanche classification.— Hydrol. Sci. Bull., 18, 1973, No. 4, p. 391—402.— (См. РЖ География, Геофизика, 1974, № 8В 495.)
218. Der Megreditchian G. e. a. Approche statistique du problème d'évaluation des risques d'avalanches.— Météorologie, 1975, N 3, p. 121—143.— (См. РЖ География, Геофизика, 1976, № 10В 436.)
219. Fink W. Lawinenmelde-Anlage.— Mahnkinn Hasler-Mitt., 1954, Bd 13, 1, S. 12—16.
220. Flaig W. Lawinen. Abenteuer und Erfahrung, Erlebnis und Lehre. 2. Aufl.— Wiesbaden, F. A. Brockhaus, 1955.— 251 S.
221. Foehn P., Haechler P. Prévision de grosses avalanches au moyen d'un modèle déterministe-statistique.— In: Comptes rendus A.N.E.N.A. Deuxieme rencontre internationale sur la neige et les avalanches 12—13 et 14 avril 1978, Grenoble France, p. 151—165.
222. Föhn P. e. a. Evaluation and comparison of statistical and conventional methods of forecasting avalanche hazard.— J. Glaciol., 1977, 19, N 81, p. 375—387.— (См. РЖ География, Геофизика, 1977, № 5В 512.)
223. Fraser C. The avalanche enigma.— London: Murray, 1966.— 301 p. (См. РЖ География, Геофизика, 1967, № 8В 387.)
224. Friedrich W. Synoptische Lawinenprognosen.— Wetter und Leben, Bd 5, 1953, S. 9—11.
225. Gayl A. Lawinen. 3. verbess. Aufl.— Innsbruck, Verl. Öster. Alpenverein, 1970.— 101 S.
226. Giddings F. C., LaChapelle E. The formation rate of depth hoar.— Geophys. Res., 1962, 67, N 6, p. 2377—2383.— (См. РЖ География, Геофизика, 1963, № 3В 295.)
227. Gold L. W., Williams G. P. (ed.) Ice engineering and avalanche forecasting and control.— In: Proc. conf. held at the University of Calgary, 23—24 Oct. 1969, Nat. Res. Coun. Canad. Assoc. Comm. Getech. Res. Tech. Mem., N 98, 1970.— 163 p.
228. Haefeli R. Considérations sur la pente critique et la coefficient de pression au repos de la couverture de neige.— Publ. Assoc. Intern. Hydrol. Sci., 1966, N 69, p. 141—153.— (См. РЖ География, Геофизика, 1967, № 5В 430.)
229. Handl L. Praktische Schnee- und Lawinenkunde.— Obergurgl, 1955.— 56 S.
230. Hoinkes H. Zur Meteorologie der Lawinen.— Sicherheit in den Bergen, Jahrbuch, 1972, Österr. Kuratorium für Sicherheit vor Berggefahren, Wien.
231. Houdek J., Vrba M. Zimní nebezpečí v horách.— Praha: Státní Tělovýchovný Nakladatelství, 1956.— 205 p.
232. Gand H. R., Zupančič M. Snow gliding and avalanches.— Publ. Assoc. Intern. Hydrol. Sci., 1966, N 69, p. 230—242. (См. РЖ География, Геофизика, 1967, № 5В 431.)
233. International Symposium on Scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches. 5—10 Apr. 1965. Davos, Switzerland. Reports and discussions. Publ. Assoc. Intern. Hydrol. Sci., N 69, Gentbrugge (Belg.), 1966.— 424 p.— (См. РЖ География, Геофизика, 1967, № 5В 421К.)
234. Ives J. D., Harrison J. C., Armstrong R. L. Development of methodology for evaluation and prediction of avalanche hazard in the San Juan mountain area of Southwestern Colorado.— Interim rep. for period 1972 Aug.— Aug. 1973. Boulder, Colorado, Inst. Arctic and Alpine Res., 1973.
235. Jaccard C. Neue Erkenntnisse der Lawinenforschung.— Umschau in Wissenschaft und Technik, 1966, H. 3.— (См. РЖ География, Геофизика, 1966, № 8В 420.)

236. Judson A. Relative importance of weather factors creating slab avalanches in Colorado.—In: Proc. West. Snow Conf., 32, 1964, p. 60—67.
237. Judson A. Snow cover and avalanches in the high Alpine zone of Western United States.—In: Physics of Snow and Ice. Vol. 1, p. 2. Sapporo, 1967, p. 1151—1168.—(См. РЖ География, Геофизика, 1968, № 10В 415.)
238. Judson A. Colorado's avalanche warning program.—Weatherwise, 1976, 29, N 6, p. 268—275, 277.—(См. РЖ География, Геофизика, 1977, № 10В 470).
239. Judson A., Erickson B. J. Predicting avalanche intensity from weather data: a statistical analysis.—U. S. For. Serv. Rocky Mt. For. Range Exper. Sta. USDA Forest Service Res. Pap. RM-112, 1973.—12 p.
240. Kamata M. Koku shashin ni yoru nadare hassei gikendo no handoku (Avalanche forecasting by the interpretation of aerial photographs).—Seppio, 1964, vol. 26, N 3, h. 87—90.
241. Kňazovický L. Laviný.—Bratislava: SAV, 1967.—151 s.—(См. РЖ География, Геофизика, 1968, № 11В 362К.)
242. Krasser L. Grundzüge der Schnee- und Lawinenkunde.—Bregenz.: Eugen Russ Verlag, 1964.—43 S. (См. РЖ География, Геофизика, 1965, № 11В 433К.)
243. Кудо Якэйтэ. Применение телеметрической аппаратуры для предсказания снежных лавин.—Ом Дэнки дзасси, Ohm Electr. Mag., 1963, 50, N 9, p. 51—53.—См. РЖ География, Геофизика, 1964, № 2В 357.
244. LaChapelle E. R. Recent progress in North American avalanche forecasting and control.—J. Glaciol., 1960, vol. 3, N 28, p. 679—685.
245. LaChapelle E. R. Avalanche forecasting—a modern synthesis.—Publ. Assoc. Intern. Hydrol. Sci., 1966, N 69, p. 350—356.—(См. РЖ География, Геофизика, 1967, № 5В 476).
246. LaChapelle E. R. The relation of crystal riming to avalanche formation of new snow.—In: Physics of Snow and Ice. Vol. 1, p. 2, Sapporo, 1967, p. 1169—1175.—(См. РЖ География, Геофизика, 1969, № 1В 452.)
247. LaChapelle E. R. Field guide to snow crystals.—Seattle and London: Univ. Washington Press, 1969.
248. LaChapelle E. R. Principles of avalanche forecasting.—Natl. Res. Coun. Can. Assoc. Comm. Géotechn. Res. Tech. Mem. N 98, 1970, p. 106—113.
249. LaChapelle E. R., Atwater M. M. Three instruments used in avalanche hazard forecasting: (1) snow settlement—temperature gauge, (2) snow collector for recording rain gauge, and (3) temperature telemeter.—U. S. For. Serv., Alta Aval. Study Ctr., Misc. Rpt. N. 1, Project E, 1964.
250. LaChapelle E. R., Fox T. Real-time data network for avalanche forecasting in the Cascade Mountains of Washington State.—In: Sante-ford H. S., Smith J. L. Advanced concepts and techniques in the study of snow and ice resources.—Wash., D. C.: Natl. Acad. Sci., 1974, p. 339—345.
251. Lawinenschutz in der Schweiz.—Chur, 1972.—222 S.
252. Lliboutry L. Traité de glaciologie. Vol. 1. Glace, neige, hydrologie nivale.—Paris: Masson et Cie, 1964.—427 p.—(См. РЖ География, Геофизика, 1965, № 12В 404К.)
253. Mellor M. Avalanches. USA CRREL Monograph III-A. Hanover, N. H., U. S. A. 1968.—215 p.
254. Metodi di previsione delle valanghe.—Riv. meteorol. aeronaut. 1973, 33, N 2, p. 156—158.—(См. РЖ География, Геофизика, 1974, № 3В 410.)
255. Miller L., Miller D. The computer as an aid in avalanche hazard forecasting.—Olympia, Washington: Evergreen State College, 1973.
256. Nakaya U. Snow crystals. Natural and artificial.—Cambridge: Harvard University Press, 1954.
257. Окуяма Ивао. Снежные лавины и метеорологические карты.—Shizen, 1961, 16, N 2, p. 48—53.—(На японском языке).—(См. РЖ География, Геофизика, 1962, № 2В 331.)
258. Paulcke W. Praktische Schnee- und Lawinenkunde. Verständl. Wissensch. Bd. 38. Berlin, 1938. 218 p.

259. Пеев Хр. Д. Снег, причини за образуването на лавините, видове лавини и предназначено от тях.— София: Земиздат, 1968.— 29 с.
260. Пеев Хр. Д., Димитров Ст. Снежни лавини.— София: Земиздат, 1971.— 104 с.
261. Perla R. I. On contributory factors in avalanche hazard evaluation.— *Canad. Geotechn. J.*, 1970, N 4, p. 414—419.— (См. РЖ География, Геофизика, 1971, № 7В 420.)
262. Perla R. I., Martinelli M., Jr. Avalanche handbook.— U. S. Dep. of Agriculture, Handbook 489, 1976.— 238 p.
263. Plas J. J. De l'appréciation empirique a la prévision scientifique des avalanches.— In: *Comptes rendus A.N.E.N.A. Deuxieme rencontre internationale sur la neige et les avalanches 12—13 et 14 avril 1978, Grenoble, France*, p. 167—172.
264. Plasschaert J. H. M. Weather and avalanches.— *Weather*, 24, 1969, N 3, p. 99—102.— (См. РЖ География, Геофизика, 1969, № 9В 386.)
265. Poggi A., Plas J. Conditions météorologiques critiques pour le déclenchement des avalanches.— *Publ. Assoc. Intern. Hydrol. Sci.*, 1966, N 69, p. 25—34.— (См. РЖ География, Геофизика, 1967, № 5В 474.)
266. Roch A. Les déclenchements d'avalanches.— *Publ. Assoc. Intern. Hydrol. Sci.*, 1966, N 69, p. 182—195.— (См. РЖ География, Геофизика, 1967, № 5В 458.)
267. Roch A., Fraser C. How to estimate avalanche danger.— *Alpine J.*, vol. 72, 1967, N 314.— (См. РЖ География, Геофизика, 1968, № 1В 539.)
268. Schaerer P. The avalanche hazard evaluation and prediction at Rogers Pass.— *Techn. Pap. N 142, Building Res. Ottawa*, 1962.— 67 p.— (См. РЖ География, Геофизика, 1966, № 6В 408.)
269. Schild M. Lawinen. Dokumentation für Lehrer, Skilager- und Tourenleitern.— Zürich, Lehrmittelverlag des Kantons Zürich, 1972.— 132 S.
270. Schleiss V. G. e. a. Avalanche hazard evaluation and forecast, Rogers Pass, Glacier National Park.— *Natl. Res. Coun. Can. Assoc. Comm. Geotech. Res. Tech. Mem. N 98*, 1970, p. 115—122.
271. Schnee und Lawinen in der Schweiz: Alpen: Winterberichte Eidg. Inst. Schnee- und Lawinenforsch.— Davos, Schweiz. 1, 1936/37.
272. Seki K. On the forecasting avalanche in Hokuriku-District.— *J. Meteorol. Res.*, 1956, N 11—12.
273. Seligman G. Snow structure and ski fields.— London: McMillan and Co., 1936.— 555 p.
274. Snow avalanches: a handbook of forecasting and control measures.— *Agriculture Handbook N 194, Juneau, Alaska, U. S. For. Serv.*, 1961, 1968.— 84 p.— (См. РЖ География, Геофизика, 1962, № 4В 278.)
275. Sommerfeld R. A., King R. M., Budding F. A. A correction factor for Roch's stability index of slab avalanche release.— *J. Glaciol.*, 1976, vol. 17, N 75, p. 145—147.— (См. РЖ География, Геофизика, 1976, № 10В 442.)
276. Tesche T. W., Yocke M. A. Application of numerical wind models to snow avalanche forecasting.— In: *Avalanche Workshop, Banff, Alberta, Canada*, 1—4 Nov. 1976.— 42 p.
277. Tollner H. Zum Problem Lawinenabgang und Lawinen — Vorhersage in Österreich.— *Wetter und Leben*, 1971, 23, N 11—12, S. 237—243.— (См. РЖ География, Геофизика, 1972, № 7В 447.)
278. Vrba M. Lavinová prevence horské služby.— *Krásý Slovenská*, 1964, N 12, p. 472—474.— (См. РЖ География, Геофизика, 1965, № 9В 362.)
279. Vrba M., Urbánek B. Zjišťování lavinového nebezpečí.— *Meteorologické Zprávy*, 1955, vol. 8, p. 123—127.
280. Wechsberg J. Avalanche.— London: Weidenfeld and Nicholson, 1958.— 190 p.
281. Williams Knox. Colorado avalanche warning program. In: *Avalanche Workshop, Banff, Alberta, Canada*, 1—4 Nov. 1976.

282. Y a m a d a T. Koseitauki ni okeru kisho yoshin ni tsuite (Weather forecasting during snow seasons).—Seppio, 1963, vol. 25, N 2, p. 38—45.— (In Japanese.)

283. Z d a r s k y M. Beiträge zur Lawinenkunde.—Wien: ABC-Verlag, 1929.

284. Z i n g g T. Relation between weather situation, snow metamorphism and avalanche activity.—Publ. Assoc. Intern. Hydrol. Sci., 1966, N 69, p. 61—64.— (См. РЖ География, Геофизика, 1967, № 5В 473.)

285. Z i n g g T. Wetter und Lawinenkatastrophen.—Alpen, 1955, H. 4.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

- A* — альbedo снежного покрова
a — температурный коэффициент
B — поглощенная радиация
b — ширина
C — теплоемкость снега
c — сцепление
d — толщина, диаметр
e — влажность, упругость водяных паров
f — коэффициент трения
g — ускорение свободного падения
H — высота снежного покрова
h — высота слоя снега
I — напряженность потока водяного пара
i — интенсивность снегопада, дождя и т. п.
K, k — коэффициент (в разных значениях)
L — теплота плавления
l — длина
N — число устойчивости снежного пласта
n — число (измерений и т. п.)
P — атмосферное давление
p — вероятность события
Q — метелевый перенос снега
q — интенсивность метелевого переноса снега
R — сопротивление снега зонду
r — относительная влажность воздуха
S — интенсивность прямой солнечной радиации
T — длительность метели
v — скорость ветра
W — объем лавины
w — запас воды в снеге
X — горизонтальная длина
x — сумма осадков
y — количество лавин
 α — угол наклона склона
 β — параметр
 ϵ — эффективное излучение
 Θ — температура
 σ — нормальное напряжение в снеге
 τ — касательное напряжение в снеге
 ρ — плотность снега
 ξ — коэффициент распора в снеге
 φ — угол внутреннего трения снега
 ψ — предельный угол устойчивости снежного покрова

Остальные обозначения — см. в тексте при формулах.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Основы лавинного прогнозирования	5
1.1. Механизм лавинообразования	—
1.2. Анализ снего-метеорологической обстановки	10
1.3. Оценка и прогноз механической устойчивости снежного покрова	64
2. Методы прогноза лавин для отдельных районов СССР	77
2.1. Лавины Кольского полуострова	—
2.2. Лавины Украинских Карпат	92
2.3. Лавины в горах Большого Кавказа	93
2.4. Лавины в горах Средней Азии и Казахстана	105
2.5. Лавины в горах Южного Сахалина	172
3. Систематизация снеголавинных наблюдений с целью составления лавинных прогнозов на ЭВМ	177
3.1. Составление информационного бланка «Лавина»	178
3.2. Порядок регистрации и заполнения информационного бланка «Склон»	181
3.3. Запись метеорологической информации в информационный бланк «Метео»	183
Заключение	185
Список литературы	186
Список основных обозначений	199

