



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра метеорологии, экологии и экономического обеспечения деятельности
предприятий природопользования

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)
по направлению подготовки 05.03.05 Прикладная гидрометеорология
(квалификация – бакалавр)

На тему «Устойчивость снежного покрова как фактор лавиноопасности на территории пгт. Красная Поляна»

Исполнитель Абдулжалилов Сергей Габирович

Руководитель д.г.н. , профессор Яйли Ервант Аресович

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой _____

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай Светлана Николаевна

«*Цай*» 01 2020 г.

Туапсе
2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1 Климатические и географические особенности района Красной Поляны	5
1.1 Основные черты орографии и рельефа.....	5
1.2 Основные климатические характеристики района.....	9
2 Классификация лавин, основные метеорологические условия их образования.....	17
2.1 Типы лавин по характеру снегосбора, возникновения и движения	17
2.2 Основные метеорологические условия образования лавин	21
3 Снег и снежный покров, его устойчивость как фактор лавинообразования ...	26
3.1 Виды снега по происхождению и кристаллообразованию	26
3.2 Устойчивый снежный покров как фактор лавинообразования.....	32
Заключение	55
Список использованной литературы.....	57

Введение

Снежные лавины – одно из стихийных природных явлений, способных вызвать гибель людей и причинить значительные разрушения. Среди прочих опасностей лавины выделяются тем, что причиной их обрушения может стать деятельность человека. Непродуманное природопользование в горных районах (вырубка лесов на склонах, размещение объектов на открытых, подверженных воздействию лавин территориях), выход на заснеженные склоны людей, сотрясения снежной толщи от техники приводят к активизации лавинной деятельности и сопровождаются жертвами и материальным ущербом.

В России в последние годы несчастные случаи связаны с перемещением по лавиноопасным районам - гибель альпинистов (Северный Кавказ), туристов (Северный Кавказ, Хибины), горнолыжников (Северный Кавказ), пограничников (Северный Кавказ), пассажиров транспортных средств (Транскавказская транспортная магистраль).

Трагически регулярно попадают в лавины школьники в окрестностях населенных пунктов. Размер лавин не имеет решающего значения для возможного ущерба. Статистика утверждает, что почти половина жертв гибнет под небольшими лавинами, которые проходят путь не более 200 метров.

Случаи единовременной массовой гибели людей приурочены к сходам лавин на населенные пункты, отдельные сооружения и транспортные средства. Значительные разрушения происходят чаще всего в периоды массового лавинообразования, когда в течение короткого промежутка времени на значительной площади срабатывает большое количество лавинных очагов.

Игнорирование лавинной опасности часто приводит к весьма тяжелым последствиям и огромным разрушениям объектов различной инфраструктуры, к катастрофам с человеческими жертвами. Это определяет необходимость организации и проведения исследовательских работ по территориальному распределению лавин в горных районах, в частности, в Краснополянском районе г. Сочи. Район территории пос. Красная Поляна входит в число

наиболее лавиноопасных зон горной части России.

Актуальность исследований обоснована тем, что усиленное освоение в последние годы, горных районов Краснодарского Причерноморья, осложняется таким природным явлением, как снежные лавины, представляющие угрозу для жизни людей.

Объект исследования – район поселка Красная Поляна.

Предмет исследования – зависимость метеорологических условий и процессов лавинообразования.

Цель исследования – изучение метеорологических условий, как факторы образования лавин.

Задачи работы:

- выявить особенности температурного режима воздуха и снежного покрова;
- определить их взаимное влияние;
- дать краткое определение лавинам краткосрочного и долгосрочного развития;
- оценить основные условия формирования устойчивости снежного покрова на территории.

1 Климатические и географические особенности района Красной Поляны

1.1 Основные черты орографии и рельефа

Район Красной Поляны территориально входит в состав Краснодарского края и расположен в юго-восточной его части. По характеру рельефа район входит в горную систему Большого Кавказа, который представлен цепью гор, простирающимися на 1100 км с северо-запада на юго-восток, и протянувшимися от Черного моря к Каспийскому (рисунок 1.1).

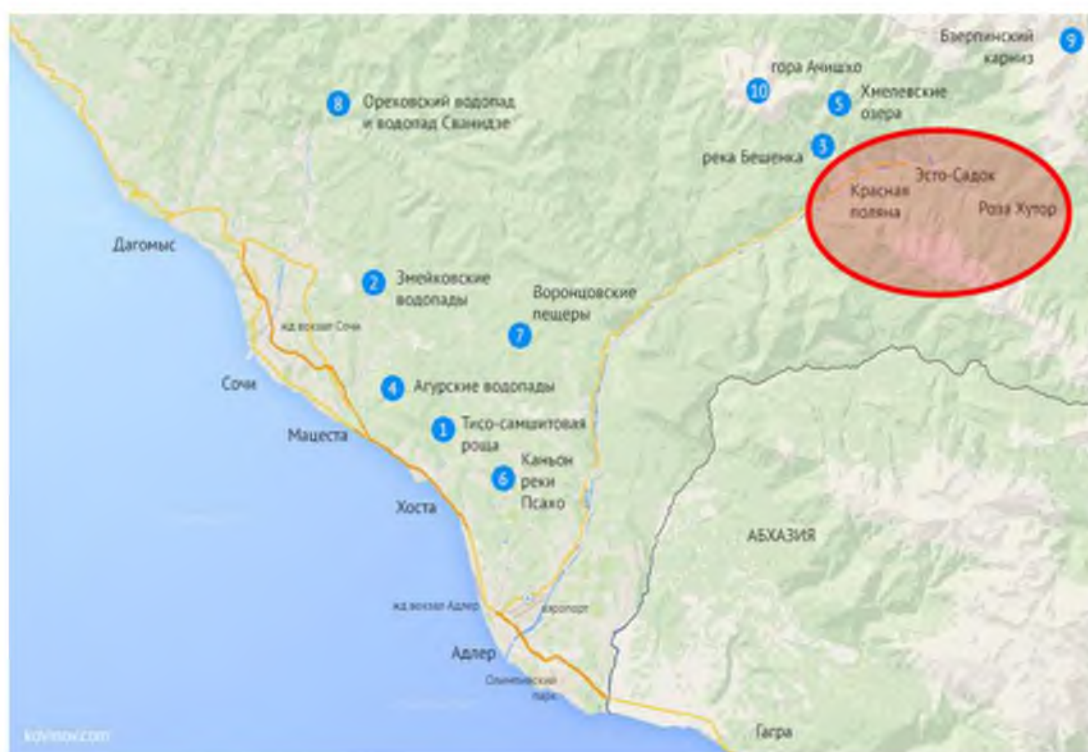


Рисунок 1.1 – Район Красной Поляны на карте Краснодарского края

Район Красной Поляны занимает часть края, которая относится к Краснодарскому Причерноморью - часть края, протянувшаяся параллельно береговой линии Черного моря, от полуострова Тамань до границы с Абхазией. Протяженность Причерноморья вдоль моря не превышает 400 километров, а его ширина находится в пределах от 15 до 80 километров. В поперечном направлении Краснодарское Причерноморье занимает территорию от приморской зоны до Главного Кавказского хребта. Вся система Главного Кавказского хребта занимает площадь порядка 2600 км², причем северный

склон более мощный и занимает около 1450 км², а южный - 1150 км². В районе Эльбруса Большой Кавказ достигает наибольшей ширины - около 180 км [6, с. 45].

Географически Краснодарское Причерноморье занимает западную часть Главного Кавказского хребта (Западный Кавказ). Количество ледников на данной территории не большое, но, как и в целом на Большом Кавказе, наблюдается постепенное их отступление.

Краснодарское Причерноморье характеризуется большим количеством рек и небольших речушек, берущих свое начало в горах Кавказа и впадающих в Черное море. Большая часть речушек имеет временные водотоки, которые в засушливый летний период года пересыхают, но во время дождей количество воды в реках значительно пополняется.

Самой большой рекой данного района является река Мзымта, которая характеризуется бурным характером и имеет самую большую площадь водосбора, около 1000 км². На всем своем протяжении река характеризуется порогами, общая протяженность водотока реки около 89 км. Необходимо отметить, что протяженность и водность рек в этом регионе возрастает по направлению от северо-западной до юго-восточной его границы [23, с. 18].

Свое начало река Мзымта берет на южном склоне Западного Кавказа, ее долина в верховьях гор вытянута в направлении с юго-востока на северо-запад, в районе посёлка Красная Поляна и до своего устья река меняет направление и протягивается с северо-востока на юго-запад. С юга долина реки ограничивается хребтами Ацетука и Аибга, на севере она примыкает к Главному Кавказскому хребту. Долину реки Мзымта делят на несколько участков несколько небольших отрогов Главного Кавказского хребта - Ачишко, Псехоко, Грушевый. В пределах долины р.Мзымта сравнительно Главный Кавказский хребет невысок, высшей его точкой является гора Псеашхо Южная высотой 3251 м [23, с. 43].

В среднем, высота хребтов, окружающих долину реки Мзымта не превышает 2000-2500м, местами дно долины может понижаться до 400-500 м.

Такое сильное расчленение рельефа склонов окружающих долину реки обуславливают большую крутизну, ослабевающую с приближением ко дну долины. Сложившийся современный рельеф обязан древнему оледенению, который сформировал троговый характер рельефа.

Рельеф на южном склоне Большого Кавказа носит альпийский характер, практически на всем протяжении вершины склонов поднимаются выше границы лесов. Древнеледниковые формы рельефа отчетливо выражены на большем количестве хребтов. До настоящего времени сохранились обширные кары - естественные чашеобразные углубления в привершинной части склонов гор. Такие кары в виде крупных денудационных мульд, ограниченные крутыми скальными стенами наблюдаются в пригребневой части хребта Аибга. Нередко скопление кар образует каровые лестницы, обязанные своим образованием расположению один над другим.

На Южном склоне Северо-Западного Кавказа развит ряд параллельных хребтов, повышающихся к юго-востоку. Это средневысотные без резко выраженных очертаний горы, склоны которых расчленены глубокими и узкими ущельями, называемыми по-местному «щелями». Вдоль побережья Черного моря во многих местах прослеживаются поверхности древних террас, свидетельствующие о неоднократном тектоническом поднятии суши. Сравнительно отчетливо (местами) выражены три террасовых уровня.

По данным С. А. Яковлева, в окрестностях г. Сочи высота самой низкой террасы достигает в среднем 15 м. Вторая терраса лежит на высоте 70 – 100 м; третья – 120 – 160 м. Ширина террас достигает 1 – 2 км. Согласно Д. С. Васильеву, в пределах Черноморского побережья Кавказа развито до шести морских террас: чаудинская, древнеэвксинская, узунларская, карангатская, новозэвксинская и древнечерноморская. В формировании и развитии террасовых уровней большую роль сыграли новейшие тектонические движения.

Многие террасы представлены озерами, изредка, изредка при условии достижения ими значительных высот - снежниками. Немалую площадь хребтов

занимают морены, оставшиеся от древних ледников и аккумуляровавшихся на вершинах современных ледников и их подножий, которые периодически разгружаются в виде крупных селевых и флювиогляциальных потоков и гравитационных обвалов.

Селевые потоки способствовали формированию бугристого рельефа по долинам всех крупных водотоков, берущих начало из современных склонов хребта Аибга.

В настоящее время ежегодно в период зимних и осенних дождей возникает ряд новых оползневых очагов. Среди современных экзогенных рельефообразующих процессов на Черноморском побережье активны: абразия, эрозия и оползневые явления. Между крутыми склонами хребта Аибга находятся глубокие практически непроходимые ущелья реки Мзымты и её притоков, с густым лесом [18, с. 14].

Не менее важным климатообразующим фактором региона, после орографического фактора, является Черное море. Если хребты Большого Кавказа представляют собой защитный барьер, блокирующий продвижение холодных воздушных масс с севера, то море, расположенное с южной стороны, аккумулирует в себе тепло в летний период и плавно отдает его в зимнее время.

Черное море обладает наибольшей длиной около 1148 км, максимальная ширина составляет 600 км, минимальная 258 км. В течение всего года Черное море является незамерзающим, лишь в редкие годы. Характеризующимися аномально холодными зимами, может покрываться неустойчивым ледяным покровом у северных берегов (место впадения реки Дунай) [18, с. 23].

По многолетним наблюдениям температура морской воды не опускается ниже 4°C даже в самые холодные месяцы года - январе и феврале. Средняя многолетняя температура морской воды у берегов составляет 7 °С. Абсолютный минимум температуры воды у восточных берегов отмечался +5°C, максимум +30,1°C. Минимум наступает в марте, максимум в августе (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Среднемесячная и среднегодовая температура Черного моря

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Горизонт, м													
0	7,9	7,4	7,1	8,5	12,1	13,2	19,4	22,1	13,4	18,3	11,5	10,5	7,1
10	7,8	7,45	7,05	8,3	9,1	9,7	10,9	16,4	9,7	18,1	11,8	10,6	7,1
20	8,2	7,25	7,02	7,5	6,8	7,9	7,9	10,7	8,2	11,2	8,8	10,8	6,8
30	7,8	7,6	7,08	6,6	6,4	7,06	6,8	7,2	6,3	8,0	7,6	9,2	6,3
40	7,8	7,78	7,17	6,3	6,4	6,7	6,1	6,5	6,02	6,3	7,6	7,4	6,0

1.2 Основные климатические характеристики района

Северо-Западный Кавказ, к которому принадлежит рассматриваемый район, является типично горной страной с труднодоступными скалистыми вершинами, покрытыми шапками вечных снегов, с высокогорными альпийскими лугами и девственными лесами, с многочисленными горными реками, водопадами, глубокими каньонами и ущельями.

Сложившиеся сложные орографические условия обуславливают разнообразие климата на территории.

Опираясь на классификацию М.И. Будыко можно выделить три климатические зоны в бассейне реки Мзымта:

- зона влажного климата, характеризующаяся очень теплым летом и мягкой зимой. К ней относится часть бассейна реки, примыкающей к Черному морю;
- зона влажного климата, характеризующаяся теплым летом и умеренно мягкой зимой. К ней относится среднегорная часть бассейна;
- зона избыточно влажного климата, характеризующаяся умеренно теплым летом и умеренно мягкой зимой. К ней относится высокогорная часть бассейна.

Вследствие этого климат долины реки Мзымта характеризуется относительно теплой зимой и прохладным летом. Горный рельеф Западного

Кавказа обуславливает высотную зональность климата, которая выражается в понижении температуры воздуха с увеличением высоты места над уровнем моря.

Большая климатообразующая роль принадлежит циклонической деятельности, особенно часто в районе наблюдаются средиземноморские циклоны, на пути которых лежит Чёрное море. Более высокая температура моря, по сравнению с температурой суши в холодный период года способствует возникновению над морем области пониженного давления.

Образовавшийся резкий температурный контраст, в районе Чёрного моря обусловленный взаимодействием холодных тыловых потоков движущихся средиземноморских циклонов с тёплыми воздушными массами их передней части способствует возникновению новых циклонических возмущений, регенерации затухающих циклонов и их выходу их на юго-восточные районы страны [10, с. 13].

Выходы средиземноморских циклонов оказывают существенное влияние на климат в холодную половину года, смягчая его, как следствие, зима в регионе достаточно мягкая.

В предгорной части, к которой относится район Красной Поляны, происходит задержка холодных масс воздуха, стационарирование атмосферных фронтов, и их обострение перед орографическими препятствиями [17, с. 78].

Горный рельеф определяет вертикальную (высотную) зональность климата, а, следовательно, и ландшафтов. Учитывая сложившиеся факторы, этот регион по климатическим условиям с учетом вертикальности можно разделить на следующие зоны:

1. Прибрежная зона от 0 до 300 метров над уровнем моря.
2. Предгорная зона от 300 до 600 метров над уровнем моря.
3. Горная и альпийская зоны расположены выше 600 над уровнем моря.

Климат Красной Поляны относится к предгорной зоне и является характерным для горных долин и характеризуется как горно-морской.

МС Красная Поляна расположена в узкой горной долине на высоте 566 м

и отражает особые климатические условия, характерные для горных долин, которые будут значительно отличаться по всем климатическим параметрам от склоновых территорий (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Данные местоположения МС Красная Поляна

Метеостанция	Описание местности расположения	Высота над уровнем моря (м)	Год открытия станции	Год закрытия станции
Красная Поляна	Расположена в среднем течении реки Мзымта в горной котловине Западного Кавказа.	566	1921	Является действующей

По многолетним данным, средняя температура января в районе Красной Поляны + 0,5°С в Сочи +6°С). Днём температура воздуха повышается до +5+10°С, в отдельные дни +15+18°С. Зима умеренно мягкая, значительно отличается как по количеству осадков, так и по числу дней с осадками. Почти повсеместно зимой, а также летом в ночные часы на исследуемой территории наблюдается инверсионное состояние приземного слоя воздуха, вызываемое либо выхолаживанием, либо тёплой адвекцией на более холодную подстилающую поверхность. В отдельные годы может наблюдаться понижение температуры воздуха до отрицательных значений, но устойчивых морозов не бывает. Похолодания чаще всего связаны с проникновением с северо-востока холодного воздуха через низкие перевалы (район п. Лазаревское) или выносом холодного воздуха с Закавказья.

С середины ноября наблюдаются первые вторжения холодного арктического воздуха на Черноморском побережье Кавказа, с которым связаны первые снегопады и слабые заморозки. Зима характеризуется дождливым периодом, на который приходится максимальное количество выпавших осадков. Дожди носят, как правило, обложной и затяжной характер и наблюдаются в половине дня.

Самым холодным месяцем является январь - февраль температура колеблется в пределах от +0,5 до - 0,5°С, самым теплым - июль 19,4°С. Средняя из абсолютных минимальных температур для МС Красная Поляна и Ачишхо

составляет минус 13 °С и минус 19 °С соответственно. Средняя из абсолютных максимальных температур воздуха составляет 33 °С и 25 °С тепла (таблица 1.3, рисунок 1.2).

Таблица 1.3 – Данные средних и абсолютных значений температуры воздуха

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя температура	0,5	1,2	4,3	9,6	14,1	17,2	19,7	19,6	15,7	10,9	6,6	2,2	10,1
Абсолютный макс.	18	22	27	36	33	36	40	38	35	31	28	21	40
Средняя макс.	5,0	6,1	9,6	15,6	20,5	23,1	25,5	25,7	22,1	17,3	12,7	6,8	15,8
Абсолютный миним.	-23	-20	-17	-11	0	3	8	4	-1	-6	-13	-22	-23
Средняя миним.	-2,9	-2,3	0,2	4,7	9,0	11,7	14,2	14,1	10,5	6,2	3,1	-0,7	5,6

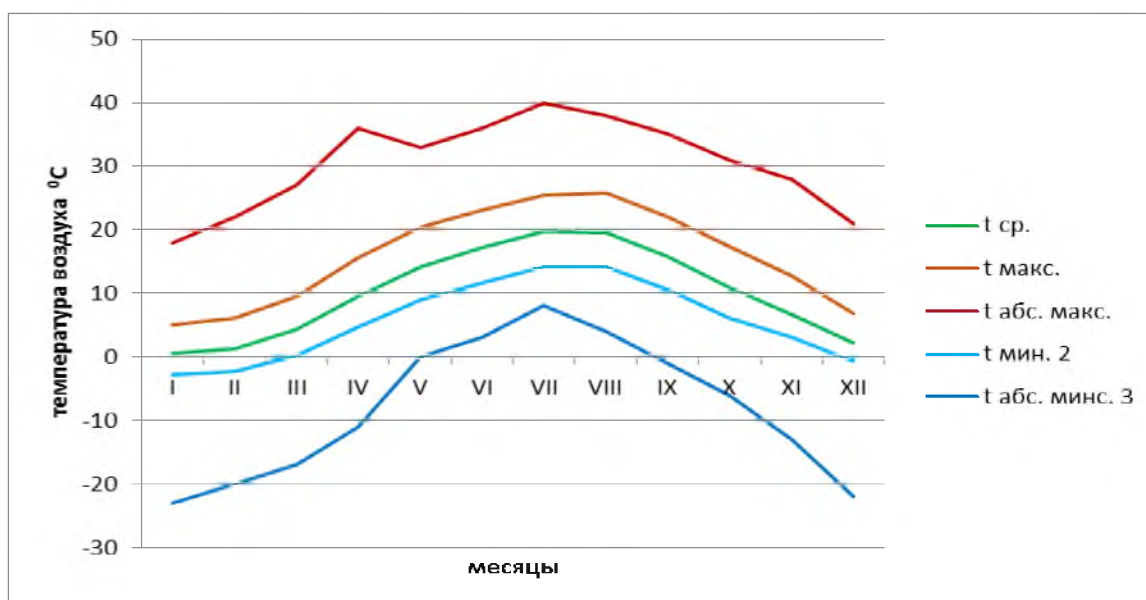


Рисунок 1.2 – Средние и абсолютные значения температуры воздуха в районе Красной Поляны

Снег в районе Красная Поляна выпадает каждую зиму, с конца декабря может устанавливаться устойчивый снежный покров. Продолжительность залегания снежного покрова в среднем составляет около 3-3,5 месяца. Максимальная высота снежного покрова Красная Поляна - 157 см, Кордон Лаура - 408 см.

По характеру увлажнения район Красной Поляны можно отнести к

черноморской субтропической области с избыточным влагосодержанием, решающая роль в этом отводится процессам западной и юго-западной циркуляции систем атлантических средиземноморских и черноморских циклонов. По мере продвижения с северо-запада на юго-восток, а также с ростом абсолютной высоты местности количество осадков значительно увеличивается. В северо-западной части черноморской области количество осадков в среднем составляет 1000 мм в год, в юго-восточных районах на побережье и у подножия склонов возрастают до 1500-2000 мм, в горах достигает 3800 мм. Наибольшее количество атмосферных осадков выпадает в зимний период, в основном в виде твердых осадков [17, с. 79].

В пределах рассматриваемой территории развиты и другие типы местной циркуляции воздуха. В частности, хорошо прослеживается горно-долинная циркуляция. В результате неравномерного нагрева долин и склонов гор возникают горно-долинные ветры, отличающиеся суточной периодичностью. В дневное время из-за большого нагревания склонов и дна долин происходит подъем воздуха вверх по склону (долинный ветер), а ночью охлажденные массы воздуха спускаются вниз по склонам (горный ветер).

В районе Красной Поляны преобладающими являются ветры северо и северо-восточного направлений, характеризующиеся в среднем слабыми скоростями ветра 0,4 м/с. В основном ветры имеют стоковый характер (с гор) и горно-долинное направление.

Района характеризуется большим поступлением солнечной радиации что обуславливает обилие солнечного света и тепла. В предгорной зоне продолжительность солнечного сияния в среднем составляет около 1800 часов в год [17, с. 81].

По распределению снежного покрова район Красной Поляны можно разделить на следующие зоны:

- зона неустойчивого снежного покрова
- зона переменного снежного покрова
- зона постоянного снежного покрова.

До высоты 1000 м над уровнем моря территорию можно отнести к зоне неустойчивого снежного покрова. Данная зона охватывает нижние участки горной территории и предгорья. Зона характеризуется неустойчивым снежным покровом и небольшой продолжительностью залегания снега (до 50-70 дней). Также до высоты 1000 м иногда могут быть зимы без устойчивого снежного покрова [7, с. 46].

На высотах от 1000 до 2500 метров располагается зона переменного снежного покрова, которая занимает большую часть территории. Для данной зоны характерным является полное отсутствие бесснежных зим. Продолжительность залегания снега на высотах более 2000 метров колеблется от 100 до 260 дней в году.

На высоте более 2500 метров находится зона постоянного снежного покрова. Продолжительность залегания снежного покрова составляет 365 дней в году. Снег, выпавший в холодный период года, практически полностью не стает даже в теплое время года. К этой зоне относится северный склон массива Агепста, хребет Аибга, г. Ачишхо, г. Фишт и другие.

В этих зонах внутри года выделяется два основных периода: холодный, характеризующийся ветреной, пасмурной и дождливой погодой, и тёплый период года относительно сухой и ясный, с преобладанием местной бризовой циркуляции. Помимо основных периодов выделяют еще переходные.

Холодный и переходные периоды года характеризуются резким изменением погоды, обусловленное влиянием рельефа района на скорость смещения и эволюцию барических образований и фронтов. Особенно остро задерживающее влияние хребта на массы воздуха проявляется за холодными фронтами. Как следствие, осадки, связанные с холодным фронтом, характеризуются сильной интенсивностью и большой продолжительностью. Максимальное развитие циклонической деятельности является отличительной особенностью холодного периода года [6, с. 81].

Приход тёплых и влажных масс воздуха со средиземноморскими циклонами приносят с собой резкое повышение температуры воздуха,

приводящее к оттепелям. В это же время усиливаются феновые явления, повышающие температуры воздуха до +17 - +25°C. Резкое повышение температуры воздуха может приводить к нарушению нормального суточного хода температуры воздуха, которая может резко повыситься даже в ночные часы. В холодную половину года повторяемость средиземноморских циклонов составляет порядка половины от всех других синоптических процессов.

В горной местности наблюдается падение средней годовой температуры воздуха с высотой, выше 2500 м значения температуры становятся отрицательными. Зимой нередко наблюдаются частые инверсии, которые оказывают значительное влияние на изменения температуры воздуха в горных условиях. Вертикальный температурный градиент до высоты 1000м, на каждые 100 м поднятия обычно достигает 1,0-1,5°C, выше 1000м температура воздуха под влиянием свободной атмосферы понижается в пределах нормы (0,5° на 100 м высоты). С высоты 1500м отмечается снижение средней суточной температуры воздуха до отрицательных значений. В высокогорной зоне за начало зимы берут время залегания устойчивого снежного покрова, который устанавливается с конца октября - начала ноября. Высота местности над уровнем моря оказывает влияние и на температурный режим - число дней с положительной температурой воздуха испытывает значительные колебания - от 331 дня на высоте 500м до 137 дней на высоте 3000м.

На формирование уникального климата горного района Красной Поляны оказывают влияние близость Черного моря, географическое положение района на южных склонах Западного Кавказа и связанный с этим сложный рельеф местности, большой диапазон высот [24, с. 115].

Горные массивы Западного Кавказа располагаясь между умеренным и субтропическими климатическими поясами, препятствуют нормальному обмену воздушных масс и оказывают влияние на протекание синоптических процессов. Приходящие с юга, юго-запада и запада, соответственно со стороны средиземноморские и атлантические циклоны приносят с собой основное количество атмосферных осадков и формируют в районе Красной Поляны

горно-морской и влажный климат. В районе Красной Поляны долина реки Мзымта в окружении высокогорья образует уникальную котловину, ограниченную северо-востока и с севера отрогом Кавказского хребта горы Ачишхо с вершинами, достигающими высот 2500м, с юга и юго-востока долину ограничивает хребет Аибга, идущий параллельно долине р. Мзымта; с юго-запада котловина замыкается ущельем реки.

Такое расположение долины и ее ориентирование относительно направления воздушных масс служит естественными воротами, для проникновения воздушных масс с моря вглубь гор. Воздушные массы, проникшие на территорию за счет инверсионных процессов, поднимаясь по ущельям, отдают влагу и тем самым способствуют образованию глубокого снежного покрова и возникновению снежных лавин.

В самой долине создается комфортный мягкий и теплый климат, обусловленный изолированностью долины, отсутствием сильных ветров и относительно невысокой влажностью воздуха [18, с. 24].

Район Красной Поляны характеризуется как район с аномально высокой снежностью, обусловленной с формированием пояса повышенной снежности, протянувшегося вдоль осевой части Главного хребта с юга. Участки избыточного снегонакопления, как правило, находятся здесь на отдельных массивах или кулисообразных хребтах южного макросклона (Бзыч, Аибга, Гагрский, Бзыбский). Их объединяет расположение в относительной близости от акватории моря, доступность юго-западным влагонесущим потокам и отсутствие массивных «затеняющих» гребней со стороны побережья. В эту зону входят юго-западный склон горы Фишт, окрестности горы Большой Чуры, гора Ачишхо, массивы Ах-Аг и Арабика [19, с. 36].

2 Классификация лавин, основные метеорологические условия их образования

2.1 Типы лавин по характеру снегосбора, возникновения и движения

Осовы – отрыв и скольжение снежных масс со всей поверхности ровного склона не имеющего четко выраженных эрозионных борозд и врезов.

Лотковые лавины (из эрозионных врезов, тектонических трещин) – снежные массы движутся по фиксированному руслу:

- из денудационных воронок;
- из ледниковых каров.

Прыгающие лавины – при наличии на пути движения участков отвесных скал, где происходит свободное падение снежных масс.

Денудация - совокупность процессов сноса и переноса (водой, ветром, льдом, силой тяжести) продуктов разрушения горных пород в пониженные участки земной поверхности, где происходит их накопление.

Типы лавин по состоянию снега и характеру движения. Из сухого снега. Пылевая - при движении снежного пласта его обломки могут разрушаться и формировать пылевое облако. Скорость лавины 450-500 км/час. Этот тип лавин наиболее разрушителен и опасен для человека.

Из сухого снега. Снежная плита - пласт мелкозернистого снега или метелевого снега плотностью $250-600 \text{ кг/м}^3$, лежащего на поверхности менее плотного снега. Под снежной доской нередко возникают пустоты, что приводит к ее оседанию и разрушению. Обрушение снежного пласта происходит на большой площади. Линия отрыва снежной лавины представляет собой арку, ступень, перпендикулярную поверхности склона (рисунок 2.1). Скорость таких лавин достигает 160-200 км/час.

Из влажного и мокрого снега. Лавина из «точки» – каплевидное начало лавины от окончания скального выступа на снежном склоне. Скалы, нагреваясь, подпитывают влагой сцепление снега со скальной основой, и отсюда отрывается лавина. Характерна для весеннего периода. Скорость такой лавины

достигает 60-120 км/час [2, с. 33].

Сверхмокрые лавины (гидронапорные). Движение снежно-водяной смеси, иногда с примесью захватываемых потоком частиц грунта и камней, наподобие движения селевых потоков.

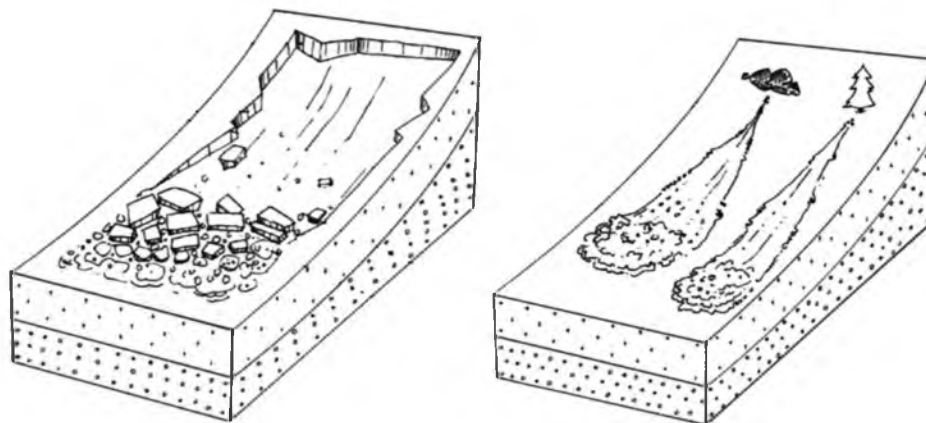


Рисунок 2.1 – Типы лавин по причине возникновения (по В.Н. Аккуратовой) [26, с. 114]

Лавины из сухого свежеснег выпавшего снега - во время снегопада формируется слой свежеснег выпавшего снега, состоящий из снежных кристаллов, образованных в атмосфере, плотностью 50-200 кг/м³. Устойчивость такого снега на склоне зависит от скорости прироста его высоты и силы сцепления с почвой или от контакта с ранее отложившимся снегом.

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

Лавины вызванные метаморфизмом (изменения форм, размеров, количества кристаллов льда и связей между ними) - образуются в результате перекристаллизации снега, определяющей появление разрыхленных слоев и прослоек в снежном покрове.

Лавины температурного сокращения снега - связаны с напряжениями, возникающими в результате изменения линейных размеров снежного поля под

воздействием изменения температуры.

Инсоляционные лавины - образуются в результате поглощения солнечной энергии снежным покровом. Объемы и скорость таких лавин невелики.

Адвекционные лавины - образуются в результате адвекции (прихода) теплых и влажных масс воздуха. Талая и дождевая вода, просачиваясь в снежный покров, разрушает связи слоев в результате таяния снега в контактных и припочвенных зонах.

Адвекционно-инсоляционные лавины - возникают, когда таяние снежного покрова обусловлено повышением температуры воздуха в результате адвекции (прихода) теплых и влажных масс воздуха в сочетании с проникновением солнечной энергии в снежную толщу [8, с. 58].

Схема лавиносбора. Участок склона и долины, где зарождается, движется и останавливается снежная лавина, называется лавиносбором. В лавиносборах обычно можно выделить три зоны – зарождение, транзита (пути движения) и отложения лавины

В районе курорта «Красная Поляна» можно выделить 2 основных периода формирования лавин: Сложный лавиносбор может включать множество лавинных очагов или обширные очаги в пределах транзитной зоны.

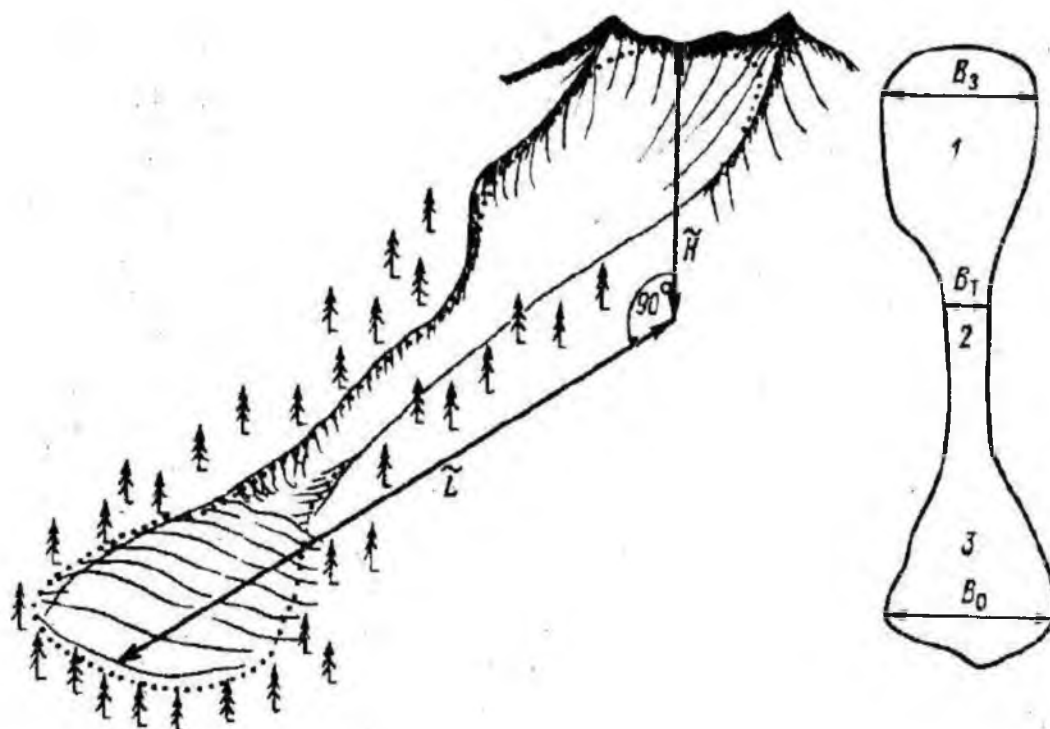
В лавиносборах можно выделить три зоны зарождения, транзита и отложения (рисунок 2.2).

Границы между этими зонами нечёткие и носят условный характер. Так, зона отложения конкретной лавины может стать зоной транзита более мощной лавины.

Лавины краткосрочного формирования - это лавины, сформированные не более чем за несколько суток, непосредственно снегопадами. И состоящие из свежего, чаще сухого снега. Такие лавины характерны для зимнего периода с ноября по март, в иные зимы до середины апреля.

Лавины продолжительного формирования являются результатом процессов, происходящих в снежной толще на протяжении длительного периода, почти всегда состоят из мокрого снега, с возможным захватом грунта.

Могут собираться до рекордных объёмов [25, с. 38].



а – лавиносбор с хорошо выраженными зонами: лоток (H – превышение лавиносбора, L – его заложение); б – план лавиносбора: 1, 2, 3 – зоны зарождения, транзита, отложения, B_3 , B_1 , B_0 – ширина этих зон.

Рисунок 2.2 – Типичный лавиносбор [11, с. 113]

Сезон схода лавин ориентировочно с марта по май. В районе курорта «Красная Поляна» можно выделить 2 основных периода формирования лавин (таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Генетические типы лавин сезона 2018-2019 гг.

тип лавины	Месяцы							всего за зиму
	XI	XII	I	II	III	IV	V	
Сухие								
свежевыпавшего/мете левого	21	167	97	141	99	34	0	559
сублимационного разрыхления	5	1	0	0	0	0	0	6
Мокрые								
инсоляционные адвекционные	0	0	0	0	2	17	1	20
полигенетические	0	0	0	0	0	6	2	8
Всего	26	168	97	141	101	57	3	593

Как видно из таблицы 2.1 в сезоне 2018-2019 гг. большинство зарегистрированных лавин, были именно лавинами краткосрочного развития, причем чаще всего (559 случаев) наблюдаются после свежеснежавшего метелевого сухого снега. Лавины после выпадения мокрого снега наблюдались лишь в 17 случаях и только в апреле.

Таблица 2.2 – Количество лавин по градации объема

объем лавин, м ³	Месяцы							всего за зиму
	XI	XII	I	II	III	IV	V	
<100	4	3	8	2	7	9	1	34
100 – 1000	19	42	51	45	50	31	1	239
1001 – 10000	3	110	38	83	43	14	1	292
10001 – 100000	0	13	0	11	1	3	0	28
Всего	26	168	97	141	101	57	3	593

Как это видно из таблицы 2.2, определенная роль принадлежит объему выпавшего или накопившегося снега. Наибольший сход лавин наблюдается при накоплении от 1001 – 10000 м³ - 292, и от 100 – 1000 – 239. Меньшее накопление или большее вызывает незначительное количество схода лавин. Отдельная задача состоит в прогнозировании лавин долгосрочного развития и лавин весеннего снеготаяния. И, если, процессы конструктивного метаморфизма с образованием граненых кристаллов и далее кристаллов глубинной изморози не характерны для региона, хотя и имеют место быть, как было замечено выше, то с лавинами весеннего снеготаяния сотрудникам противолавинной службы приходится сталкиваться уже с конца февраля.

2.2 Основные метеорологические условия образования лавин

Основными метеорологическими показателями, вызывающими сход снежных лавин в районе Красной Поляны, являются: температура и влажность воздуха, толщина снежного покрова, температура внутри снежной толщи,

оттепели и таяние снежного покрова, метелевый перенос снега, ветровое уплотнение поверхности снега, ветровые формы рельефа (снежные карнизы).

Температура и влажность воздуха. Массовый сход влажных и мокрых лавин возможен уже с конца февраля, когда среднесуточная температура воздуха переходит через 0°C в положительную сторону.

Температура воздуха выше 0°C вызывает таяние снега и сход мокрых лавин. Первые влажные и мокрые лавины сходят из лавиносборов, находящихся на наименьшей высоте, а затем, по мере увеличения положительных среднесуточных температур воздуха, начинают действовать лавиносборы, лежащие на большей высоте.

Однако, не всегда переход среднесуточной температуры воздуха через 0°C в положительную сторону означает таяние снежного покрова и сход снежных лавин, т. к. снег может не таять при положительной температуре воздуха, а интенсивно испаряться при низкой абсолютной влажности воздуха.

Температура внутри снежной толщи. Внутри снежной толщи, а она может достигать 6 м и более, за счет ее значительных теплоизоляционных свойств возникает большой температурный перепад. Причем, наиболее теплые слои находятся на некоторой глубине и ближе к поверхности почвы, а холодные в верхних горизонтах.

Зимой же в снежной толще существует температурный градиент. А т. к. упругость водяного пара при больших температурах выше, то в снежной толще происходит миграция пара из более теплых слоев в холодные, что влечет за собой испарение ледяных частиц в нижних горизонтах снежной толщи и уплотнение в верхних [10, с. 112].

В результате этого нижние горизонты разрыхляются, и по ним могут соскользнуть со склонов снежные лавины.

К весне температуры слоев снежной толщи выравниваются, и постепенно вся снежная толща приобретает нулевую температуру (таблица 2.3).

Оттепели и таяния снежного покрова. Абсолютные положительные максимумы температуры воздуха и оттепели на рассматриваемой территории

возможны в зимнее время на высотах до 2000 м и выше, во время которых снег начинает насыщаться талой водой, промачиваясь на большую глубину.

Таблица 2.3 – Температура снежной толщи в зимние месяцы 2017 – 2018 гг. на высоте 1880 м, °С

Высота снега, см	Месяцы						
	XI	XII	I	II	III	IV	V
1	2	3	4	5	6	7	8
577			-5,5*				
560			-9,2				
540			-8,5				
520			-8,0	-4,0*			
500			-7,5	-10,2			
480			-8,0	-9,0	0,0*		
460			-7,5	-7,0	-0,1		
440			-7,3	-7,0	-0,2		
420			-7,0	-7,0	-0,2	0,0*	
400		-5,1*	-6,5	-6,5	-0,2	0,0	
380		-5,6	-6,2	-6,0	-0,2	0,0	
360		-5,6	-6,5	-5,5	-0,2	0,0	
340		-5,5	-6,5	-5,4	-0,2	0,0	
320		-5,5	-6,0	-4,8	-0,2	0,0	
300		-5,4	-5,2	-4,7	-0,2	0,0	
280		-5,6	-4,6	-4,8	-0,2	0,0	
260		-5,3	-4,5	-4,5	-0,2	0,0	
240		-5,2	-3,5	-4,4	-0,2	0,0	
220		-4,9	-3,0	-4,0	-0,2	0,0	
200	-0,5*	-4,9	-2,5	-4,0	-0,2	0,0	0,0*

* поверхность снега

Мокрый снег становится тяжелым, на контакте его с грунтом появляется вода, по которой может соскользнуть лавина. Весной особенно большая опасность схода лавин возникает вследствие поступления воды с нагретых солнцем склонов.

Однако, если у подошвы коренного склона имеется мощная осыпь или делювиальный шлейф, то талая вода фильтруется в осыпи и уменьшает промачивание снега [11, с. 43].

Если же вода стекает по скальным участкам, то намокает нижняя поверхность снежного пласта, что также приводит к сходу лавины.

Определенное влияние оказывает метелевый перенос снега, который приводит к накоплению, утолщению и соответственно утяжелению.

Таблица 2.4 – Среднее (1) и наибольшее (2) число дней с метелью, среднее число дней с поземкой (3) и средняя (4) продолжительность метелей по м/с Ачишхо, час

№	X	XI	XI	I	II	III	IV	V	VI	Год
1	0,7	2	4	7	7	6	2	0,1	0,1	29
2	5	8	12	18	16	19	5			66
3	0,2	0,2	0,8	1	1	0,8	0,5			4
4	4	10	32	57	25	35	12			175

Как видно из таблицы 2.4, среднее число дней с метелью на рассматриваемой территории может достигать 31 при максимуме 66 дней, в годовом ходе продолжительность метелей составляет 175 дней.

В зимнее время сильные ветры сопровождаются метелями с понижением температуры воздуха. Максимальные скорости ветра на рассматриваемой территории достигают 28-40 м/с, а при порывах - даже более 45 м/с.

Из практики известно, что лавины, помимо прочих причин, сходят именно со склонов, на которых за счет метелевого переноса скапливается много снега. Установлено также, что режим снегонакопления во многом зависит от ветра и орографии.

На подветренных склонах, особенно в залесенных участках, происходит интенсивное снегонакопление, и толщина снега может достигать 6 м и более, в то время как наветренные склоны и даже снегосборные воронки могут иметь минимальный снежный покров, но зато за счет интенсивного метелевого переноса в отрицательных формах рельефа, уже в начале зимнего периода накапливаются большие толщии снежного покрова, что и приводит затем к сходу крупных лавин.

Так, например, если сумма твердых осадков за зиму равна 400 мм, то при наличии сильных ветров сумма твердых осадков в лавиносборах будет уже 6000 мм, т. е. в 15 раз больше.

В значительной степени снег сносится с перевалов и перемычек, где его в

5-6 раз меньше, чем на более низких отметках. При этом снег сносится не только с самих перевалов, но захватывается и с южного склона на расстоянии до 1,5 км от седловин перевалов. В целом, по этой причине на северных склонах на расстоянии до 3-5 км отмечается зона повышенного снегонакопления, где снега больше на 20-50%, чем на тех же высотах, но на южных склонах.

Ветровые формы рельефа (снежные карнизы). В горной части района Красной Поляны большое число дней с сильным ветром, который усиливается на пригребневых участках и на перевалах. На гребне горы, подвергающейся воздействию ветра, воздушный поток, ударяясь о наветренный склон, оказывает давление на снежную поверхность и, деформируясь, движется вдоль склона, захватывая частички снега. Перевалив через гребень, воздушный поток опускается на подветренный склон, где его скорость уменьшается. Вследствие ослабления скорости потока, уменьшается его транспортирующая способность, и из него выпадают захваченные им частички снега.

При этом снег откладывается в виде снежных карнизов, нависающих над подветренными склонами. Если вес карниза все время увеличивается, то он, не выдерживая собственного веса, разламывается и падает на нижележащий на склоне снег, увлекая его за собой вниз по склону, образуя снежную лавину, что ежегодно наблюдается в бассейне р. Мзымты [9, с. 32].

3 Снег и снежный покров, его устойчивость как фактор лавинообразования

3.1 Виды снега по происхождению и кристаллообразованию

Снегопадом, или просто снегом, мы называем атмосферные осадки, состоящие из маленьких ледяных кристаллов. С точки зрения химии кристаллы являются не чем иным, как затвердевшей водой. Отлагаясь на земной поверхности слоями, они образуют рыхлую горную породу снег.

Они падают на землю не только в виде всем известных шестилучевых звездочек различного строения, но и в зависимости от атмосферных условий в форме шестиугольных пластинок и листочков, часто образующих ядро лучистых кристаллов.

Кристаллы снега нередко выпадают в виде призм и маленьких столбиков или иголочек либо в форме миниатюрных гантелей, на которых с обоих концов на призмы насажены пластинки (рисунок 3.1).

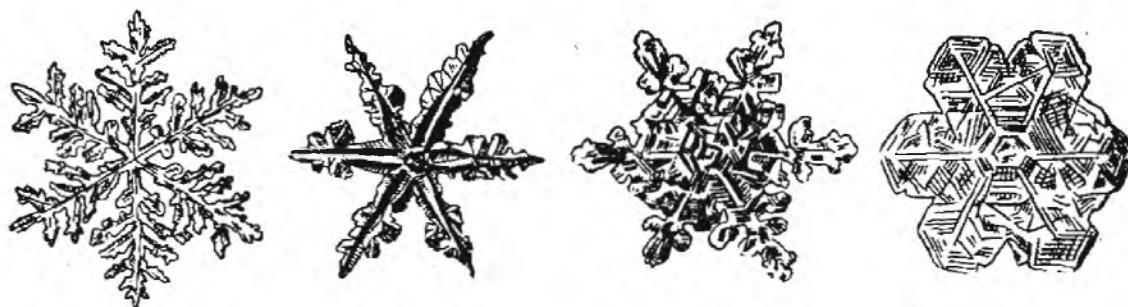


Рисунок 3.1 – Виды снежинок [3, с. 28]

Когда несколько снежных кристаллов «слипаются», то есть смерзаются или сцепляются, образуется то, что мы называем снежными хлопьями. Такие хлопья с еще хорошо распознаваемыми кристаллами образуют, например, слой снега мощностью около 5 см, изображенный на рисунке 3.2. Диаметр звездочек не превышает 3-7 мм.

В результате намерзания переохлажденных водяных капелек на кристалл, например в облаках, они превращаются в град. Низкие температуры малоблагоприятны для образования снежинок в это время с неба падают

преимущественно сухие одиночные кристаллы, образующие необыкновенно рыхлые отложения, из которых возникают лавины.

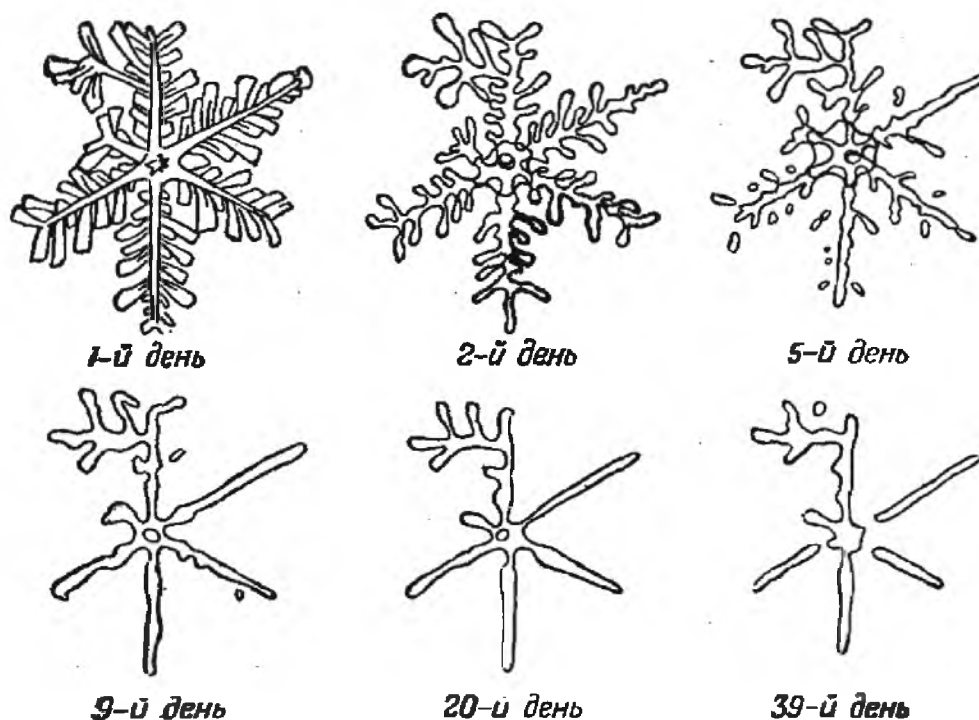


Рисунок 3.2 – Метаморфоза снежного кристалла [3, с. 32]

Выпавшие в виде атмосферных осадков различные по форме снежные кристаллы испытывают в дальнейшем видоизменение, имеющее существенное значение при образовании лавин. Метаморфоза часто начинается уже во время снегопада. Достаточно сказать, что снежные кристаллы падают со скоростью около 0,5-1 м в секунду, поэтому нередко их путь до земли с большой высоты продолжается более часа.

Кристаллы проходят воздушные слои с различными температурами, не говоря уже о чисто механических изменениях при столкновении нескольких кристаллов или при ударе их о землю; дальнейшее преобразование происходит при переносе снега ветром.

Однако наиболее существенной является метаморфоза, которую снежинки испытывают в слоях снежного покрова, где шестиугольные кристаллы превращаются в бесформенные, аморфные ледяные зерна.

1. Порошкообразный, или пороховидный, снег (Pulverschnee). Этот

термин охватывает все виды сухого снега, выпадающие при относительно низких температурах, обычно при полном штиле или слабом ветре, и образующие редкие, небольшие, плохо слипающиеся в комки хлопья. При очень большом морозе и безветрии выпадают большие, хрупкие, необыкновенно легкие кристаллы, часто в форме игл, называемые «диким снегом». Из дикого снега и имеющего форму тонких пластинок пушистого снега, летающих в воздухе, словно пух, возникают особенно опасные типы лавин - пороховидные и пылеобразные.

2. Мелкозернистый снег, или снег крупа (Graupelschnee), это описанные выше белоснежные сухие снежные комочки размером 1-3 мм, содержащие много воздуха и поэтому очень легкие. Такая крупа не что иное, как иней, образующийся на кристаллах снега. Лавинообразующее значение описанного типа снега невелико. В виде мелких зерен он иногда примешивается на поверхности к пороховидному снегу.

3. Липкий снег (Pappschnee). Виды снега с небольшой влажностью, выпадающие при температурах около нуля, легко образующие хлопья и скатывающиеся в снежки. Спаявшись, такой снег образует характерный «волоknистый» горизонт и находится в переходном состоянии от пороховидного к липкому и является наглядным примером многообразия переходных форм. Влажный липкий снег относительно прочен, а поэтому опасен как лавинообразователь только на очень гладком или мокром основании, так как образует в этих случаях оползни из нового снега и снежные платки. Сильно промокший старый снег, напротив, очень рыхл и лавиноопасен.

4. Плотный и спрессованный снег (Packschnee, Prefischnee). Если снегопад сопровождается сильным ветром или бурей или новый снег переносится ветром (в качестве метелевого снега), снежные массы уплотняются и спрессовываются под ударами ветра на месте выпадения осадков, особенно тогда, когда склон расположен на наветренной стороне.

Но и на подветренной стороне, в ветровой тени за гребнями хребтов, за скалами и неровностями местности, снег перевевается, переотлагается и более

или менее сильно уплотняется. Это вызывает огромную лавинную опасность, уплотненный «досковидный», типа снежных досок, как с подветренной, так и с наветренной стороны состоят именно из плотного или спрессованного снега.

5. Ветровой наст (Windharsch) имеет так много общего с плотным или спрессованным снегом, в основном состоит обычно из старого снега. В отличие от плотного и спрессованного снега поверхностный ветровой наст возникает после снегопада на однажды уже переотложенном снегу благодаря воздействию ветра с метелевым переносом снега или без него.

В результате деятельности ветра часто возникает так называемая ветровая рябь, или заструги. Такой наст может быть отполирован до гладкости фарфора и твердости камня. Ветровой наст очень прочен и сам по себе не является лавинообразователем, хотя может служить горизонтом скольжения для всех типов лавин.

Старый снег. Когда кристаллы снега, потеряв свою первоначальную форму, преобразуются в снежные зерна, то есть метаморфизуются, мы говорим о старом, или зернистом, снеге. В зависимости от размера зерен различают тонкозернистый (до 2 мм в диаметре) и грубозернистый (свыше 2 мм) старый снег. Прочность старого снега очень различна, но ввиду его более высокой плотности она обычно выше, чем у свежавыпавшего рыхлого снега.

6. Снег пльвун (Schwimmschnee) состоит из перекристаллизовавшегося старого снега, но его считают новообразованием (однако не новым снегом), поскольку перекристаллизация происходит через фазу газообразного состояния, а не непосредственно в самом кристалле. Эти кубкообразные кристаллы обладают очень слабым внутренним сцеплением и поэтому часто образуют чрезвычайно опасный горизонт скольжения и являются причиной схода лавин.

7. Студнеобразный снег, фирновый снег, ленивый снег, снежная каша (Sulzschnee, Firnschnee, Faulschnee, Schneeschlamm). Солнечное излучение и теплый воздух образуют на поверхности снежного покрова талый слой, более или менее насыщенный водой. Весной снег особенно сильно пропитывается

влажностью, при этом водная оболочка, образующаяся вокруг снежных зерен, способствует их росту [5, с. 26].

Поскольку разные типы лавин связаны с различными видами снега, то знание последних и стратиграфии снежного покрова позволяет установить возможный характер лавины и ее опасность.

По определению Швейцарского общества исследования лавин (таблица 3.1), абсолютная пористость данного вида снега это отношение объема пустот к объему снежной массы, выраженное в процентах [16, с.82]. Процент пористости указывает на количество воздуха, содержащегося в общем объеме снежной массы; остаток приходится на снег.

Таблица 3.1 – Удельный вес и абсолютная пористость

Виды снега		Удельный вес (кг/м ³)	Абсолютная пористость (%)
	Дикий снег	10-30	99-97
Новый снег	Пороховидный снег	30-60	97-93
	Слабо уплотненный ветром снег	60-100	93-89
	Сильно уплотненный ветром снег	100-300	89-67
	Снег-пльвун	200-300	78-67
	Сухой осевший снег	200-400	78-56
Старый снег	Мокрый осевший снег	400-550	70-50
	Сухой фирновый снег	400-700	56-24
	Мокрый фирновый снег	600-800	50-20
Лёд		917	0

Такой удельный вес (1 м³ мокрого фирна весит 600-800 кг) представляет собой гигантский груз, который душит людей, засыпанных лавиной.

Если снежный покров лежит на склоне, то происходит не только его уплотнение, но и медленное движение по наклонной плоскости: снег ползет.

Условия предельного равновесия и причины нарушения устойчивости снежного покрова во многом определяются состоянием и прочностными характеристиками снега, которые зависят в свою очередь от условий формирования и метаморфизма снежного покрова.

Условия снегонакопления. Какие бы причины ни вызывали сход снежных лавин, но если нет снежного покрова или отмечается небольшая его толщина, лавины никогда и нигде не пойдут, так как лавиноопасность в значительной мере связана с высотой и свойствами снега.

В отдельные годы снежный покров образуется в сентябре, но он осенью неустойчив. Устойчивый снежный покров, на склонах гор, образуется со второй половины ноября и держится до начала июня.

На высоте н. у. м. 566 м устойчивый снежный покров (высота снега 30 см и более) устанавливается в конце января (37 см) Высота снежного покрова к февралю обычно достигает 0,5 м. Выше в горы высота снежного покрова возрастает, достигая на отметках 1500-2000 м – 6-7 м [17, с. 76].

Ранее всего снежный покров на рассматриваемой территории появляется во второй - третьей декадах октября в наиболее высоких точках района, на остальных высотах в ноябре, причем, на высоте 1000 м в первой декаде, а на 500 м - во второй. Через 3-5 недель после появления первого снежного покрова устанавливается на всех высотах устойчивый снежный покров, лежащий в течение всей зимы.

До высоты 500 м в теплые зимы устойчивый снежный покров может не образовываться вообще. Однако выше 1000 м устойчивый снежный покров образуется ежегодно.

Число дней со снежным покровом с высотой местности увеличивается: от 66 до 81 дня - на высоте 600 м до 202-250 дней - на высоте 2200 м. При этом среднее число дней со снегом всегда больше на северном склоне по сравнению с южным (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Среднее число дней с устойчивым снежным покровом за год

Экспозиция склонов	Высота над уровнем моря, м								
	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Южная	66	70	77	85	106	140	157	181	202
Северная	81	93	102	109	131	144	160	230	250

Продолжительность периода устойчивым снежным покровом в Красной Поляне в среднем равна 81 дню.

В течение мая и начала июня снег сходит повсеместно на высотах 1500-2000 м, однако снежники в глубоких понижениях рельефа могут сохраняться всё лето.

Характеристика появления и схода снежного покрова (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Характеристики дат появления и схода снежного покрова [20]

	Появление снежного покрова	Образование устойчивого снежного покрова	Разрушение устойчивого снежного покрова	Сход снежного покрова	% зим без устойчивого снежного покрова
Среднее	01.12	31.12	16.03	04.04	-
Раннее	29.09	17.11	-	12.03	20
Позднее	11.01	-	11.04	25.04	-

Плотность снега в районе Красной Поляне 0,18-0,25 г/см, к весне увеличивается до 0,56 г/см [21, с.11].

Высота снежного покрова (см) за зиму характеризуется следующими величинами (м/с Красная Поляна): средняя - 65, максимум - 173, минимум - 4.

Высота снежного покрова значительна и колеблется на одних и тех же участках в разные годы в широком диапазоне. По мере подъема в горы высота снежного покрова увеличивается.

Большую роль в распределении снежного покрова играет экспозиция склонов и их освещенность. Обычно на северных склонах высота снежного покрова на 0,7-1,0 м больше чем южных при одинаковых абсолютных отметках.

Залегание снежного покрова в подавляющем большинстве случаев происходит на почву с положительными температурами близкими к 0 °С. Глубина промерзания почвы составляет 0,2-0,3 м.

3.2 Устойчивый снежный покров как фактор лавинообразования

Сход снежных лавин здесь возможен в начале зимы, т.е. с появлением снежного покрова, и в ее конце весной в период снеготаяния, зависит от начала

выпадения осадков в виде снега и от высоты пунктов. Таким образом, период лавинной опасности, или количество потенциально лавиноопасных дней, зависит от начала выпадения снега и от местоположения.

В таблице 3.4 приведена продолжительность лавиноопасного периода по высотным зонам для северного и южного склонов района Красной Поляны.

Таблица 3.4 – Продолжительность лавиноопасного периода, дней

Экспозиция	Высота над уровнем моря, м								
	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Южная	40	55	75	100	120	140	160	180	200
Северная	45	60	83	115	135	160	200	230	240

Из таблицы 3.4 видно, что число лавиноопасных дней в зависимости от высоты местности колеблется в широком диапазоне от 40 до 200 дней на южном склоне, и от 45 до 240 дней на северном. При этом необходимо учитывать, что максимальная продолжительность лавиноопасного периода в годы с ранним залеганием и поздними снежными осадками может быть значительно больше.

На высотах до 1000 м как на северном, так и на южном склонах лавиноопасный период отмечается практически только в зимние и весенние месяцы (XII-IV), в то время как на высотах более 1500 м сход лавин отмечается с ноября по май.

По условиям схода снежные лавины разделяются: во время снегопада, во время таяния снега, при метелях, при резких похолоданиях и во время дождя. В целом, в рассматриваемом районе, преобладают лавины, сходящие во время снегопадов, на которые приходится 50% от всех видов лавин. Необходимо отметить, что эти лавины сходят в течение периода с октября по июль, при их максимуме в марте (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Повторяемость лавин по видам и месяцам (опасные гидрометеорологические условия схода снежных лавин), %

Условие схода лавин	Месяцы										Итого
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	
Во время снегопада	0,3	2,8	5,0	11,7	11,3	15,0	3,0	0,3	0,3	0,3	50,0
Во время таяния снега		0,8	1,7	2,2	4,4	8,3	4,7	0,3			22,4

Продолжение таблицы 3.5

При метелях		0,6	0,8	2,0	2,2	5,3	0,6			0,3	11,8
При резких похолоданиях		0,8	0,3	1,6	2,8	1,4	2,5				9,4
Во время дождя			0,3	0,3	1,1	1,6	2,5	0,6			6,4
Всего	0,3	5,0	8,1	17,8	21,8	31,6	13,3	1,2	0,3	0,6	100

На втором месте стоят лавины, сходящие во время таяния снега, составляющие 22,4%, и на третьем – при метелях – 11,8%. Из таблицы 3.5 видно, что наибольшее количество лавин, более 50%, отмечается в марте и феврале. Лавин, сходящих в октябре и июне-июле, отмечается весьма незначительное количество. При этом они сходят в высокогорной зоне на высотах более 2500 м. Лавины могут быть как одиночные, так и массовые, одновременно на большой территории.

Большинство лавин сходит по одним и тем же местам несколько раз за зиму. Наиболее крупные лавины, объемом более 100 тыс. м³ сходят один раз в 5 лет, а объемом более 500 тыс. м³ - один раз в 10 лет.

В целом повторяемость схода лавин зависит от толщины снежного покрова и средней месячной температуры воздуха. Для Западного Кавказа, куда входит район Красной Поляны [25,с.89] получены соответствующие зависимости, обобщенные в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Зависимость повторяемости схода снежных лавин от толщины снежного покрова и температуры воздуха, см

Повторяемость лавин в среднем за 10 лет	Толщина снега в районах, где температура воздуха января, °С		
	от +4 до -4	от -4 до -20	ниже -20
Менее 1	До 100см	40-70 см	30-50 см
От 1 до 10	100-200 см	70-120 см	50-100 см
Более 10	Более 200 см	Более 120 см	Более 100 см

Частота схода лавин сильно зависит от площади снегосбора, крутизны склона и количества выпадающих твердых осадков и поэтому повсеместно изменяется в широких пределах, но, тем не менее наибольшая повторяемость

установлена в январе, в случаях, когда снег достигает более 200см и температура от +4 до -4°C.

Рыхлое состояние снега на склонах наблюдается относительно редко. Обычно снег на склонах гор состоит из связанных между собой зерен (кристаллов) и способен оказывать сопротивление внешним нагрузкам. В таком случае снежный покров можно рассматривать как снежную плиту. Неоднородный по глубине покров при наличии четко выраженных контактов между слоями иногда рассматривают как многослойную плиту.

Отношение предельного сопротивления сдвигу снежной плиты по основанию или по ослабленной контактной поверхности t_{cp} к величине действующего на этой напряжении сдвига t называют показателем локальной устойчивости.

Величина показателя локальной устойчивости снежно покрова характеризует запас его устойчивости состояния. При уменьшении этого показателя до единицы возникают условия для нарушения устойчивости снежного пласта. Однако у плит из твердого плотного снега возможно сохранение устойчивого состояния и при показателях локальной устойчивости меньше единицы за счет краевых усилий. На ограниченных по площади участках снежная плита может находиться в неустойчивом состоянии, а избыток усилий сдвига здесь должен компенсироваться дополнительными удерживающими усилиями на контуре локально неустойчивого участка силами сопротивления снега сжатию у нижнего края плиты, разрыву у верхнего края и срезу по бокам.

Одна из основных причин нарушения устойчивости снежного покрова увеличение массы снега до критической величины в результате выпадения осадков и метелевого снегопереноса. Вторая причина уменьшение удерживающих сил в результате процессов метаморфизма и ползучести снега.

Непосредственно с устойчивостью снежного покрова связано такое понятие как лавиноопасный период интервал времени, в течение которого условия снегонакопления и характер его устойчивости на склонах,

обусловленные развитием метеорологических условий и процессов внутри снежного покрова, приводят к сходу снежных лавин.

Анализ стратиграфии снежного покрова является важным этапом при исследовании снежной толщи. При определенных условиях в ней возникают разрыхленные слои (ЛОС - лавиноопасный слой), нередко являющиеся причиной схода снежных лавин.

Устойчивый снежный покров в верхней части СТК «Горная Карусель», сформировался к середине ноября.

Снегопады №1 и №2 (12 - 18 ноября) сформировали так называемую подложку - слой снега, который, уже не тая, пролежит до весны, и на который ложатся все последующие снегопады.

Снегопад №2 явился причиной схода лавины №1 (рисунок 3.3), от 17.11.2018 г.



Рисунок 3.3 – Лавина №1, от 17.11.2018 г.

Снегопады чередовались с периодами ясной погоды. В безоблачные ночи поверхность снега подвергалась сильному радиационному выхолаживанию, утром температура поверхности снежного покрова достигала $-13,5^{\circ}\text{C}$.

При том что глубина снежного покрова не превышала 40 см, в снегу на теневых экспозициях градиент температуры был довольно значителен под действием сильного перепада температур происходил рост кристаллов.

В период 17-19 ноября снеговая линия опустилась до высоты 1400 м., а

затем в результате потепления постепенно поднялась до 1700 м.

Сильные осадки в виде дождя 27 ноября привели к уменьшению градиента температур в толще снега, также трансформировалась и ледяная прослойка, находившаяся до этого на поверхности снега. В дальнейшем слои фасеточных кристаллов трансформировались в формы таяния - округлые слипшиеся зерна, с плотностью 0,30 - 0,40 г/см³.

С середины декабря, в связи с сильными снегопадами и понижением среднесуточных температур, наблюдалось значительное увеличение высоты снежного покрова. Свежевыпавший снег имел невысокую плотность - 0,04 - 0,07 г/см³. По формам и характеристикам снега отдельный интерес представляет снегопад №10, 25-28 декабря. В начале данного снегопада выпадавшие кристаллы имели форму пластин - такие кристаллы иногда называют Wildsnow - «Дикий снег». Данные пластины имели плотность около 0,05 г/см³, при этом они составляли большую часть выпавших кристаллов всю первую половину снегопада, за которую прирост составил около 60 см.

В дальнейшем, во время снегопада №10, 26 декабря, зафиксирована рекордно низкая плотность выпадавшего снега - 0,03 г/см³. Такую низкую плотность имели кристаллы дендриты - звезды, размером 1-2 мм. Также во время этого снегопада, 26 декабря, с 9:00 до 12:00, зафиксирован рекордный прирост снега за 3-х часовой срок - 42 см. То есть, в данное время интенсивность снегопада составила 14 см/час. Ближе к окончанию снегопада №10, в связи с мощным вертикальным развитием облаков, вид осадков сменился на снежную крупу, плотностью 0,08 - 0,10 г/см³.

Таким образом, снегопад №10 сформировал достаточно интересный «слоенный пирог» - внизу около 60 см пластины, Wildsnow, далее звёзды низкой плотности (0,03 - 0,04 г/см³), сверху упаковано плотными слоями с крупой. Такая конфигурация слоев, несмотря на большое количество свежего снега, позволила открыть трассы 1000 - 1500 м. Стабильности снега способствовали нижние слои данного снегопада, состоящие из пластин, а также тот факт, что средние слои низкой плотности не связались в протяженные по

площади снежные доски. Однако стоит отметить, что передвижение в таком снегу, из-за глубины и малых плотностей, практически не представлялось возможным вне подготовленных трасс, даже с помощью самых широких лыж.

Впоследствии, до конца января, обильные снегопады следовали один за другим практически непрерывно. Это привело к глубокому захоронению слоев снега, состоящих из свежеснегоступавших кристаллов, и имеющих малую плотность. Так, в шурфах на глубинах более 100 - 150 см от поверхности, наблюдались плотности 0,17 - 0,20 г/см³. Причем на глубинах до 200 см от поверхности сохранились частично разрушенные снежинки, а местами даже не разрушенные кристаллы – звёзды.

Малая плотность слоев в глубине снежного покрова явилась причиной разрушительной лавины №77 (рисунок 3.4). Активные воздействия, проводившиеся 16.01.2019г., в лавиносборе AN2i вызвали каскадное обрушение, с вовлечением захороненных слоев предыдущих снегопадов.



Рисунок 3.4 – Шурф №М39 от 17.01.2019. Линия отрыва лавины №77

Со второй половины января не было обильных снегопадов. Также, в регион пришли теплые воздушные массы, температура даже на высотах около 2000 м стала положительной. Эти факторы способствовали стабилизации слоев.

Стратиграфические параметры приобрели характерные для региона значения - плотные, около $0,40 \text{ г/см}^3$ слои внизу, состоящие в основном из поликристаллов, с температурой $0,0^\circ\text{C}$, и менее плотные слои наверху, плотностью $0,15 - 0,20 \text{ г/см}^3$. При этом, несмотря на среднесуточные плюсовые температуры воздуха, из-за сильного радиационного выхолаживания поверхности снега, в верхних слоях сохранялся запас холода, около минус $3,0^\circ\text{C}$.

Интересно исследование линии отрыва лавины № 95 (рисунок 3.5), вышедшей на трассу 3А, и полностью перекрывшей ее в районе «Утюга». Отрыв данной лавины произошел на высоте 1650 м., ниже поворота трассы 3А, прямо из-под снегоудерживающих сетей.



Рисунок 3.5 – На линии отрыва лавины №95 28.02.2019 г.

Исследование линии отрыва показало, что обрушение произошло по тонкому слою между старым снегом и свежими слоями двух последних снегопадов.

Также в этот день была зарегистрирована еще одна самопроизвольно сошедшая лавина на трассу 4А. Лавина № 96 (рисунок 3.6), сформировалась в результате ветрового переноса свежего снега, при ЮЗ ветре.



Рисунок 3.6 – На линии отрыва лавины № 96 от 28.02.2019 г.

В первой половине марта, в снежной толще не наблюдалось ослабленных слоев, кроме верхних слоев из свежевывавшего снега, которые служили формирующими лавины слоями.

После 15 марта, в связи с повышением температуры воздуха, наблюдались лавины адвекционного генезиса. Верхние слои из недавно выпавшего снега интенсивно прогревались, что и вызывало сход лавин из влажного снега этих слоев. В конце марта наблюдались самые значительные за весенний период снегопады (снегопады №№ 32,33).

Прирост снега составил 80 и 72 см снега соответственно (на МП СЛП 1500 по срочной рейке без учета просадки). При этом снежный покров стабилизировался достаточно быстро, лавины свежего снега сходили только в первые сутки после снегопада, затем горнолыжный комплекс работал без ограничений.

В апреле происходило интенсивное таяние снега. Значительных снегопадов не наблюдалось. При этом в снежной толще отсутствовали влагонасыщенные слои, что способствовало стабильности снежного покрова. В

этот период наблюдались лавины полного профиля, их причиной являлось не наличие слабых слоев в глубине, а сползание снега и наличие прослойки воды на подстилающей поверхности. Стоит отметить, что такие лавины наблюдались на склонах крутизной более 45 градусов, и в основном сходили в местах скальных обнажений (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Лавина №161, выше привода КЗ, 1550 м. 04.04.2019 г.

Лавиноопасный период 02-17 января 2019 г. В январе серия циклонов, следовавших один за другим, принесли в регион большое количество осадков. Начался снег 02.01.2019 г при температуре воздуха $-3,5^{\circ}\text{C}$, в 14:20, и закончился в 9:20, 06.01.2019 г.

Продолжительность снегопада составила 91 ч. 00 мин. за это время выпало 70,0 мм осадков, прирост снега составил 70 см. Температура воздуха колебалась от $1,7^{\circ}\text{C}$ до $-4,4^{\circ}\text{C}$, несмотря на то, что были зафиксированы положительные температуры воздуха, осадков в жидком виде не наблюдалось. 03.01.2019 г. в период с 19:02 до 20:09 проводились работы по предупредительному спуску снежных лавин, системой GAZ.EX. Было

произведено 20 выстрелов. В отсутствии видимости обследовать результаты АВ не представлялось возможным.

Так-же, во время этого снегопада 05.01.2019 г. с 3:02 по 4:04 проводились повторные работы по предупредительному спуску снежных лавин, системой GAZ.EX. Было произведено 18 выстрелов. В отсутствии видимости обследовать результаты АВ не представлялось возможным. К 5-му января сложилась довольно сложная лавинная обстановка.

Накануне, вместе со снегопадом, дул сильный ветер, переменных направлений, преимущественно северный. Эти два фактора в совокупности, привели к образованию метелевых досок на определенных экспозициях. В частности, из-за северного ветра, образовалась ветровая доска в пригребневой части лавинного очага AN3b1. В связи с этим, Восточный сектор выше 1500 м был закрыт для посещения туристам, вне трассовое катание было запрещено

Несмотря на запрет, в закрытом для катания месте, был спровоцирован лыжниками сход доски в лавинном очаге AN3b1. В 26. В результате схода этой лавины, погибли двое туристов. 05 января 2019 г. в 12:40 мск. в службу аварийно-спасательного формирования (АСФ) СТК «Горная Карусель» поступила информация о горнолыжниках, попавших в лавину. После проведения поисково-спасательных работ, около 14:00 мск., были обнаружены тела двух погибших мужчин туристов-горнолыжников, катавшихся за пределами официальных маркированных горнолыжных трасс, в зоне, закрытой для катания туристов по лавинной опасности.

Лавина сошла на территории СТК «Горная Карусель» на участке «Восточный сектор», перепад высот составил 1850-1600 м н.у.м., транзит около 400 м, объём 2400 м³. Спасатели, которые были вызваны одним из очевидцев, прибыли на место спустя 5-7 мин. после схода лавины (рисунок 3.8). Пострадавшие были откопаны примерно через 20 мин. с момента схода, с глубины 1 м и 1.5 м. Они были погребены на изломе кулуара, в так называемой ловушке рельефа, где глубина лавинных отложений была максимальная (ЛЮ AN3b1-20, высота 1650 м.

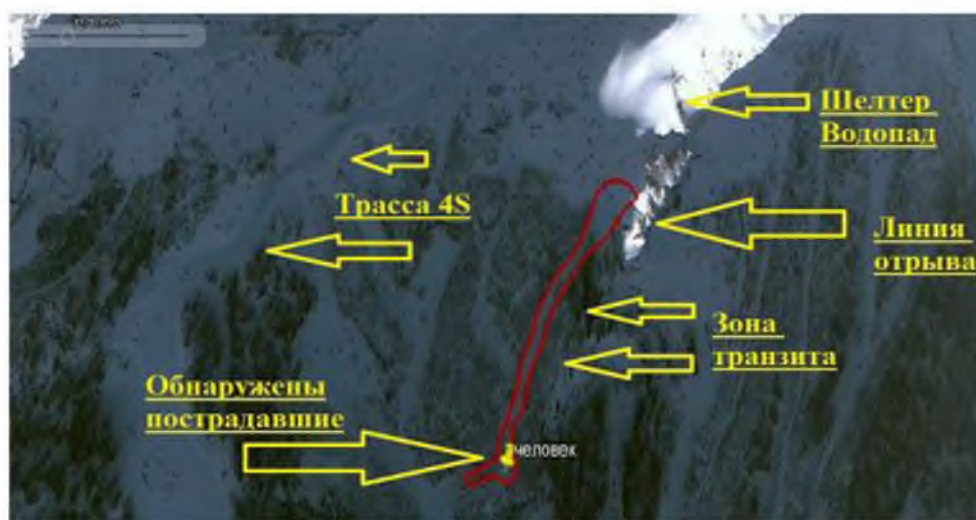


Рисунок 3.8 – Схема места происшествия 05.01.2019 г.

Реанимационные действия проводились более часа, однако признаков жизни у пострадавших не появилось. Смерть наступила в результате асфиксии. Стоит отметить, что погибшие были опытными фрирайдерами, имели лавинное снаряжение, соблюдали меры предосторожности при спуске, например, соблюдение дистанции и движение по одному, однако, недооценили риски связанные с рельефом: выраженный контур напряжений на воронке кулуара, длинный транзит и ловушку рельефа в зоне отложений. При этом, по словам очевидцев, в данном кулуаре уже имелись следы другой группы, которая смогла проехать в этом месте, не вызвав обрушения доски (рисунок 3.9, рисунок 3.10).



Рисунок 3.9 – Линия отрыва лавины № 68 от 05.01.2019 г.



Рисунок 3.10 – Спасательные работы на месте происшествия

С 6 по 8 января действовало Штормовое предупреждение №1: «На период от 18 час. 06.01.2019 г. до 18 час. 08.01.2019 г. В горах МО г. Сочи выше 1500 м н.у.м. - лавиноопасно».

Начался в 23:40, 06.01.2019 г. и закончился в 5:30, 08.01.2019 г. Продолжительность снегопада составила 29 ч. 50 мин., за это время выпало 37,2 мм осадков, прирост снега составил 43 см. Температура воздуха колебалась от $-0,1^{\circ}\text{C}$ до $-6,3^{\circ}\text{C}$.

Во время этого снегопада дважды проводились работы по предупредительному спуску снежных лавин, системой GAZ.EX. 06.01.2019 г., с 7:48 до 8:16 было произведено 10 выстрелов. Вследствие недостаточной видимости обследовать все лавины, сошедшие в результате АВ не представлялось возможным. Были обследованы три лавины из свежего снега общим объемом 780 м^3 . 07.01.2019 г. с 16:01 до 17:39 было произведено 34 выстрела. Вследствие недостаточной видимости обследовать результаты АВ не представлялось возможным.

Рекордным по количеству осадков явился снегопад №15. В связи с большим снегонакоплением, все трассы курорта были закрыты для туристов, а

выше 1500 м, закрыты для всех.

Начался в 4:30, 12.01.2019г. и закончился в 4:50 17.01.2019 г. Продолжительность снегопада составила 120 ч. 20 мин., за это время выпало 160,6 мм. осадков, прирост снега составил 294 см. Температура воздуха колебалась от 2,1°C до -7,8°C, температура воздуха дважды проходила через 0°C. Было объявлено Штормовое предупреждение № 2: «На период от 18 час. 12.01.2019 г. до 18 час.14.01.2019 г. В горах МО г. Сочи выше 1500 м н.у.м. - лавиноопасно», а также Штормовое предупреждение №4: «На период от 18 час. 15.01.2019 г. до 18 час. 17.01.2019 г. В горах МО г. Сочи выше 500 м н.у.м. - лавиноопасно»5А.

Во время этого снегопада шесть раз проводились работы по предупредительному спуску снежных лавин, системой GAZ.EX. 12.01.2019 г. с 18:13 до 19:22 было произведено 22 выстрела. 13.01.2019г. с 9:04 до 10:14 было произведено 22 выстрела. 13.01.2019 г. с 19:10 до 20:27 было произведено 22 выстрела. 15.01.2019 г. с 5:06 до 5:40 было произведено 11 выстрелов. Во время этого снегопада отличавшегося высокой интенсивностью и перепадами температур, дальность видимости составляла 50-200 метров, вследствие этого обследовать результаты АВ не представлялось возможным.

16.01.2019 г. с 20:12 до 23:42 было произведено 33 выстрела. В условиях недостаточной видимости обследовать все лавины, сошедшие в результате АВ не представлялось возможным. Было зарегистрировано шесть лавин из свежего снега, общим объемом 153500 м3 (№№ 72-77).

Необходимо отметить лавину №77 (рисунок 3.11), которая сошла 16.01.2019 г. в результате АВ в лавинном очаге AN2i, с высоты 2150 м н.у.м. и дошла до высоты 1400 м н.у.м.

Данная лавина повредила двух опорный стационар сетей безопасности и уничтожила четырех опорный стационар сетей безопасности (рисунок 3.12), под снегом оказался снегогенератор.

Правый борт лавины прошел практически вплотную вдоль жилого модуля на 1500 м н.у.м, лавинные отложения привалили вход в вагончик

снеголавинного отряда ФГБУ «СЦГМС ЧАМ» и повредили и погребли под собой прилегающую к нему стационарную метеоплощадку с приборами (МП СЛП 1500).



Рисунок 3.11 – Лавина №77, Центральный сектор, АВ, 17.01.2019 г. на абс. отм. 1550 м н.у.м.



Рисунок 3.12 – Лавина №77, разрушенный четырех опорный стационар

Также снежно пылевое облако пришлось частично на крышу ресторана «Сугроб», которая на тот момент была уже под снегом и повреждений не

получила. Причиной такого большого объема данной лавины был интенсивный продолжительный снегопад, во время которого не было возможности открыть верхнюю зону для катания, вследствие чего новый снег ложился на такие же неуплотненные слои. В результате АВ шелтером Горная Карусель (2200 м) произошло каскадное обрушение с вовлечением слоев до 2 метров глубины.

Со второй половины января по конец марта не было значительных осадков. Тем не менее, в этот период зарегистрировано 10 снегопадов. В среднем, за каждый снегопад выпадало от 5 до 20 мм осадков.

Лавиноопасный период 27 февраля - 28 марта 2019 г. Снегопад №26. Начало в 3:20, 26.02.2019 г. Окончание 0:00, 28.02.2019 г. Продолжительность снегопада составила 44 ч. 40 мин., за это время выпало 80,3 мм осадков, прирост снега составил 93 см, в связи со значительным снегонакоплением. В этот период действовало Штормовое предупреждение № 6: «На период от 18 час. 26.02.2019 г. до 18 час. 28.02.2019 г. В горах МО г. Сочи выше 1000 м н.у.м. – лавиноопасно». Во время этого снегопада АВ проводились дважды. 27.02.2019 г. в период с 5:07 до 5:25 проводились работы по предупредительному спуску снежных лавин, системой GAZ.EX. Было произведено 6 выстрелов. В условиях недостаточной видимости была зарегистрирована лавина из свежего снега объемом 400 м³ №94. Повторные АВ во время этого снегопада проводились 27.02.2019 г. в период с 23:25 по 0:41 28.02.2019 г. было произведено 23 выстрела. Было обследовано десять лавин из свежего снега общим объемом 203520 м³ (№№ 97-106).

Стоит отметить так же, две самопроизвольные лавины, сошедшие на трассы. Лавина № 95 (рисунок 3.13), объемом 300 м³, сошла на ГЛТ 3А; лавина №96, объемом 720 м³, на ГЛТ 4А.

Снегопад №27. Начало в 0:50, 01.03.2019 г. Окончание 0:00, 03.03.2019 г. Продолжительность снегопада составила 47 ч. 10 мин., за это время выпало 70,1 мм осадков, прирост снега составил 90 см.

Действовало Штормовое предупреждение № 6: «На период от 18 час. 26.02.2019 г. до 18 час. 28.02.2019 г. В горах МО г. Сочи выше 1000 м н.у.м. -

лавиноопасно». В связи со значительным снегонакоплением во время этого снегопада АВ GAZ.EX проводились трижды. 01.03.2019 г. в период с 21:02 до 23:18 проводились работы по предупредительному спуску снежных лавин, системой GAZ.EX, и было произведено 19 выстрелов.



Рисунок 3.13 – Лавина № 95, 28.02.2019 г.

В условиях недостаточной видимости обследовать сошедшие лавины не представлялось возможным. Второй раз во время этого снегопада АВ проводились 02.03.2019 г. в период с 10:06 по 10:16 02.03.2019 г. было произведено 4 выстрела. В отсутствии видимости обследовать результаты АВ не представлялось возможным. Третий раз АВ проводились 03.03.2019 г. в период с 06:42 по 06:52. было произведено 6 выстрелов. Было зарегистрировано три лавины из свежего снега общим объемом 5000 м³ (№№107-109), а так-же две самопроизвольно сошедшие лавины из свежего снега объемом 4000 м³ (№№110,111).

Снегопад №28. Начало в 9:00, 06.03.2019 г. Окончание 5:50, 07.03.2019 г. Продолжительность снегопада составила 20 ч. 50 мин. за это время выпало 35,4 мм.осадков, прирост снега составил 43 см. Действовало Штормовое

предупреждение № 11: «На период от 18 час. 06.03.2019 г. до 18 час. 07.03.2019 г. В горах МО г. Сочи выше 1500 м н.у.м. - лавиноопасно». Было принято решение о проведении АВ. 07.03.2019 г. в период с 4:00 до 5:19 проводились работы по предупредительному спуску снежных лавин, системой GAZ.EX. Было произведено 22 выстрела. Было зарегистрировано девять лавин из свежего снега общим объемом 65775м³ (№№114-122). А также были обследованы и зарегистрированы две лавины из свежего снега, относящиеся к категории ОЯ, самопроизвольно сошедшие на ГЛТ 3А общим объемом 740м³ (№№112,113).

Снегопад №30. Начало в 16:50, 12.03.2019 г. Окончание 8:50, 14.03.2019 г. Продолжительность снегопада составила 40 ч. 00 мин., за это время выпало 95,6 мм осадков, прирост снега составил 16 см. Столь незначительный прирост снега при значительном количестве осадков обусловлен тем, что начало снегопада происходило в виде дождя при положительной температуре воздуха. По данным АМС 1500 м на начало снегопада температура воздуха составляла 4,9°С, затем наблюдалось падение температуры воздуха - 14.03.2019 г. в 3:00 произошел переход через 0°С, и изменился вид осадков на снег. 13.03.2019 г. с 9:15 до 9:29 проводились АВ системой GAZ.EX. Было произведено 6 выстрелов. В отсутствии видимости обследовать результаты АВ не представлялось возможным. В течение дня была зарегистрирована самопроизвольно сошедшая лавина из свежего снега объемом 3000 м³ (№124). С 18:05 до 18:42 проводились повторные АВ системой GAZ.EX., произведено 15 выстрелов. Было зарегистрировано четыре лавины из свежего снега общим объемом 63500 м³, сошедшие в результате АВ (№№126-129) и одна самопроизвольно сошедшая лавина свежего-метелевого снега объемом 6750 м³ (№125).

В данный период было объявлено штормовое предупреждение №13: «от 18:00 13.03.2019 г. до 18:00 14.03.2019 г. в горах МО г.Сочи выше 1000 м н.у.м. - лавиноопасно». Так же, действовало предупреждение о неблагоприятном явлении погоды №18 (в период с 18.00 11 марта до 18.00 12 марта 2019 г. в

горной зоне МО г.Сочи ожидается усиление В, ЮВ ветра с переходом на ЮЗ, З в высоких горах местами порывы 18-23 м/с).

Основное снегонакопление во время этого снегопада происходило в течение дня в верхней зоне от 1700 м н.у.м. и выше, в течение светового дня. По данным АМС 2000 количество осадков за 10-ти минутный срок колебалось от 0,3мм до 1,0мм и составило 32,5мм за 12 часов. Это обусловило значительное снегонакопление.

В связи с тем, что по лавинному бюллетеню № 133-А были открыты трассы 8А и 8Е Центрального сектора и 12А Восточного сектора, для обеспечения безопасности туристов Активные воздействия было решено проводить после закрытия курорта.

14.03.2019 г. во время обследования ЛО курорта были обнаружены 4 лавины из свежего снега от АВ.

Так лавина №128 объемом 12500 м³ (рисунок 3.14), сошла на КД №5 и засыпала опору №1 не причинив ущерба ни опоре, ни приводу КД, ни креслам.

Лавина №126 объемом 30000 м³ сошла в Восточном секторе курорта с высоты 2300 м и дошла до лавинной дамбы на высоте 1100м., остановившись около трассы 13Т, данная лавина также не причинила никакого вреда сооружениям курорта.



Рисунок 3.14 – Вид опоры №1 КД №5, засыпанной лавиной №128 14.03.2019 г.

15.03.2019 г. были обнаружены и зарегистрированы 5 самопроизвольно сошедших лавин адвекционного генезиса (№№130-134) общим объемом 9600 м³, сошедших по причине прихода теплых масс воздуха.

Снегопад №31. Начало в 9:00, 15.03.2019 г. Окончание 19:30, 17.03.2019 г. Продолжительность снегопада составила 51 ч. 25 мин. за это время выпало 64,0 мм.осадков, прирост снега составил 47см. Такой прирост снега при большом количестве осадков обусловлен тем, что в начале снегопада осадки выпадали в виде дождя при положительной температуре воздуха. По данным АМС 1500 м на начало снегопада 37.

Температура воздуха составляла 4,4°С. Наблюдалось падение температуры воздуха до отрицательных значений - 16.03.2019 г. и изменение вида осадков. 16.03.2019 г. с 22:11 до 22:43 проводились АВ системой GAZ.EX. В течение дня 16.03.2019 г. были зарегистрированы 2 самопроизвольно сошедшие лавины из свежего снега (№№135,136) общим объемом 3500 м³. Лавина №135 (рисунок 3.15, рисунок 3.16), сошла ночью с 15 на 16 марта, в результате потепления и выпадения жидких осадков, на трассу 11Е, которая, как и все трассы 11 канатной дороги, была закрыта для катания. Лавины сошедшие в результате АВ обследовать не удалось из-за недостаточной видимости.



Рисунок 3.15 – Лавина №135, ГЛТ 11Е, 16.03.2019 г., 1300 м

Во время этого снегопада 17.03.2019 г. было принято решение о проведении повторного воздействия системой GAZ.EX. С 17:09 до 18:00 было произведено 15 выстрелов. На следующий день было зарегистрировано 6 лавин сошедших от АВ из свежего снега общим объемом 21350 м³ (№№138-142), и 2 самопроизвольно сошедшие лавины общим объемом 18 000 м³. В данный период было объявлено штормовое предупреждение №14 от 18:00 16.03.2019 г. до 18:00 18.03.2019 г. в горах МО г.Сочи выше 1000 м н.у.м. - лавиноопасно.



Рисунок 3.16 – Лавина №135, ГЛТ 11Е, 16.03.2019 г., 1300 м н.у.м.

Снегопад №32. Начало в 14:45, 22.03.2019 г. Окончание 18:10, 23.03.2019 г. Продолжительность снегопада составила 34 ч. 30 мин. за это время выпало 64,0 мм осадков, прирост снега составил 82 см. Было объявлено Штормовое предупреждение № 15: «На период от 18 час. 23.03.2019 г. до 18 час. 24.03.2019 г. В горах МО г. Сочи выше 1000 м н.у.м. - лавиноопасно». В связи с большим приростом снега и интенсивным снегонакоплением, АВ системой GAZ.EX 23.03.2019 г. проводились дважды. С 17:12 до 17:38 было сделано 9 выстрелов и с 21:02 до 21:53 было произведено еще 16 выстрелов. В условиях недостаточной видимости и сильного тумана было зарегистрировано 7 лавин из свежего снега от АВ (№№146-152) общим объемом 35000 м³, и одна самопроизвольно сошедшая лавина из свежего снега (№153) объемом 3000 м³.

Снегопад №33. Начало в 0:20, 28.03.2019 г. Окончание 23:40, 29.03.2019 г. Продолжительность снегопада составила 47 ч. 20 мин., за это время выпало 42,9 мм осадков, прирост снега составил 70 см. Во время этого снегопада АВ системой GAZ.EX проводились дважды. 28.03.2019 г. в период с 14:35 до 15:01 было произведено 10 выстрелов. Было зарегистрировано 5 лавин из свежего снега от АВ (№№155-159) общим объемом 8240 м³. 29.03.2019 г. в период с 4:06 до 5:22 было произведено 16 выстрелов. В отсутствии видимости обследовать результаты АВ не представлялось возможным.

Лавиноопасный период 02 апреля – 05 мая 2019 г. В апреле - начале мая не было интенсивных снегопадов. Осадки выпадали в основном в виде дождя, иногда на высотах более 2000 м переходя в мокрый снег (см. снегопад №34–38). При этом для туристов Цирк №2 работал практически без ограничений, а Центральный сектор и Цирк №3 большую часть этого периода работали до 13:00, когда прогрев снежного покрова достигал максимального значения и вероятность мокрых лавин значительно возрастала.

В этот период, во время максимального прогрева, а также при выпадении жидких осадков, действовали Штормовое предупреждение №16: «На период от 18 час. 06.04.2019 г. до 18 час. 09.04.2019 г. В горах МО г. Сочи выше 1000 м н.у.м. - лавиноопасно и Штормовое предупреждение № 17: «На период от 18 час. 15.04.2019 г. до 18 час. 18.04.2019 г. В горах МО г. Сочи выше 1000 м н.у.м. - лавиноопасно.

Стоит отметить, что в данном сезоне достаточное количество снега на трассах позволило работать трассе 3А (рисунок 3.17), до первых чисел мая. Обычно уже в апреле снега для эксплуатации данной трассы недостаточно.

При ясной погоде на высотах более 2000 м. температура снежного покрова опускалась до -4,0°С. Это происходило из-за сильного радиационного выхолаживания поверхности снега, несмотря на положительную температуру воздуха.

Иногда разница между температурой воздуха и температурой поверхности снега достигала более 10 градусов.



Рисунок 3.17 – Лавина №161, 04.04.2019 г., 1500 м н.у.м.

Данный эффект способствовал стабилизации снежного покрова. Однако в пасмурную погоду, особенно при осадках в виде дождя, эффект выхолаживания поверхности снега отсутствовал, и лавинная опасность в такие дни повышалась. При этом происходило интенсивное таяние снежного покрова, с образованием лавин полного профиля.



Рисунок 3.18 – Лавина №175 на ГЛТ 4S, 28.04.2019 г., 2100 м н.у.м.

Так, в конце апреля - начале мая, действовало Штормовое предупреждение № 18: «На период от 18 час. 30.04.2019 г. до 18 час. 02.05.2019 г. В горах МО г. Сочи выше 1500 м н.у.м. - лавиноопасно». В связи с угрозой схода грунтовых лавин (рисунок 3.18), 3 мая ГЛК был полностью закрыт для катания.

Заключение

На основании проведенной оценки климатических условий холодного периода 2018-19 гг., таблиц и графиков зависимости метеорологических и снеголавинных параметров метеорологических элементов по данным МП СЛП 1500, АМС «Горная Карусель-1000», АМС «Горная Карусель-1500» и АМС «Горная Карусель-2000». обобщены следующие выводы:

1. Самым холодным месяцем за отчётный период был январь. Среднемесячная температура воздуха в январе 2019 г. по данным АМС «Горная Карусель-2000» составила минус 4,7°C. Минимальная температура достигала минус 13,2°C. С 01 ноября 2018 г. до 12 мая 2019 г. года было зафиксировано 20 снегопадов общей продолжительностью 1130 часов 10 минут и 3 дождя продолжительностью составила 86 часов 10 минут.

2. Устойчивый снежный покров высотой до 30 см и более, на высоте 566 метров (мс «Красная Поляна») устанавливается в конце января, и к февралю достигает 50 см, средняя за зиму -65 см, максимум -173 см, минимум - 4 см. Выше в горах она возрастает, достигая на отметках 1500 - 2000 м, от 6 -7 и более, а в местах образования снежных карнизов достигает более 10 метров.

3. За исследуемый период на обслуживаемой территории было зарегистрировано 187 лавин общим объёмом 781 931 м³. Из них 64 самопроизвольно сошедших лавины общим объёмом 139226 м³ и 123 лавины, сошедшие в результате проведения АВ при помощи системы «GAZ.EX», суммарным объёмом 642705 м³.

4. В годовом ходе число лавиноопасных дней варьирует в широком диапазоне от 40 до 200 дней на южном склоне, и от 45 до 240 дней - на северном. По метеорологическим условиям сход снежных лавин наступает: во время снегопада (до 50%), таяния снега, при метелях, при резких похолоданиях и во время дождя. Чаще всего наблюдаются в период с октября по июль, при максимуме в марте

5. В географическом плане, сход лавин, происходит со склонов, на

которых за счет метелевого переноса ветром скапливается много снега. При интенсивном снегонакоплении, толщиной от 6 м и более, объемом от 1001 - 10000 м³ (292 случаев) на подветренных склонах, особенно в залесенных участках, происходит сход крупных лавин.

6. Наибольшая вероятность образования снежных лавин возникает при формировании снежного покрова из свежевыпавшего сухого и мелкозернистого снега, а также переметённого снега, образовавшегося в результате ветрового (метелевого) переноса.

7. Катастрофические лавины формируются из смешанного снега при наличии ослабленных слоев в снежной толще (ЛОС), а также из свежевыпавшего снега по штилевым прослойкам, состоящим из кристаллов атмосферного образования. Около 90% всех лавин приходится на высоту более 2000 м н.у.м. (высота зарождения лавин).

Рекомендации и предложения:

1. Во время интенсивных снегопадов (более 50 см прироста снега), следует производить уплотнение с помощью механических средств (экскаватор) для принудительного обрушения нависающих снежных бортов трасс.

2. Для защиты строящейся трассы 2D на 1300-1200 м н.у. покрытую глыбами и буреломом следует разработать инженерную защиту для внетрассового катания, которое приведет к существенному снижению лавинной опасности на вышеуказанном участке трассы.

3. Также, на этом участке, лавинную опасность существенно снижал лес, уничтоженный оползнем. Обрушение карнизов в Цирке №2, Цирке №3 в обязательном порядке производить активные воздействия имеющимися средствами «GAZ.EX» при закрытых трассах в данных секторах.

Список использованной литературы

1. Fierz, C., Armstrong, R.L., Durand, Y. The International Classification for Seasonal Sown the Ground. – Paris: UNESCO-IHP, 2009. – С. 27-28.
2. Ветров, Н.А., Гракович, В.Ф., Трутко, Т.В. Синоптико-климатический анализ лавинных ситуаций в Приэльбрусье // Тр. ВГИ. – 1984. – Вып. 52. – С. 32-35.
3. Войтковский, К.Ф. Лавиноведение: учеб. пособие. – М.: Изд. МГУ, 1989. – 158 с.
4. Геология СССР. В 15 т. Том 9. Северный Кавказ. Часть I: Геологическое описание / под ред. И.И. Малышева. – М.: Гос. изд. геолог. лит-ры мин. геологии СССР, 1947. – 237 с.
5. Грищенко, В.Ф. Физико-географические условия снегонакопления и лавинообразования в Украинских Карпатах: Автореф. дис. канд. геогр. наук. – Тбилиси, 1981. – 105 с.
6. Ефремов, Г.М. Материалы к петрографии района верховьев рек Шахе и Белой на Северо-Западном Кавказе. – Новочеркасск: изд. Новочерк. индустриального ин-та, 1941. – Т. I. – 188 с.
7. Ефремов, Ю.В. Голубое ожерелье Кавказа. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 160 с.
8. Залиханов, М.Ч., Акаева, Л.А. Лавинно-селевая опасность и районы предстоящего освоения гор Западного Кавказа // Труды Высокотгорного геофизического института. – 1979. – Вып. 43. – С. 56-69.
9. Канаев, Л.А. Основные результаты и задачи исследований по прогнозированию лавинной опасности в СССР (обзор) // Тр. 2-го Всесоюз. сов. по лавинам. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – С. 28-36.
10. Лосев, К.С. По следам лавин. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 136 с.
11. Лосев, К.С., Божинский, А.Н. Основы лавиноведения. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 215 с.
12. Методические указания по применению ручного заряда «SECUBEX» в

- целях предупредительного спуска снежных лавин: РД 52.37.783-2013. – Нальчик, 2013. – 9 с.
13. Методические указания по применению системы принудительного спуска лавин «DAISYBELL»: РД 52.37.771-2012. – Нальчик, 2013. – 60 с.
 14. Методические указания по применению системы принудительного спуска лавин «Снежная стрела»: РД 52.37.785-2013. – Нальчик, 2013. – 61 с.
 15. Методические указания по применению системы принудительного спуска лавин газовой пушки «GAZ.EX»: РД 52.37.659-2004. – Нальчик, 2004. – 48 с.
 16. Москалев, Ю.Д. Возникновение и движение лавин / под ред. П.М. Машукова. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – 152 с
 17. Отчёт о предоставленных информационных услугах в области гидрометеорологии по снеголавинному обеспечению ГКК «Альпика-сервис» при исполнении договора № 129 от 01.12.2016 г. – Архив ФГБУ «СЦГМС ЧАМ», 2017. – 163 с.
 18. Отчёт о предоставленных информационных услугах в области гидрометеорологии по снеголавинному обеспечению СТК «Горная карусель» при исполнении договора № 1534/128. – Архив ФГБУ «СЦГМС ЧАМ», 2017. – 36 с.
 19. Панов, В.Д. Каталог ледников СССР. В 14 т. Т. 9. Закавказье и Дагестан. Часть 1: Бассейн р. Мзымта. / В.Д. Панов Э.С. Боровик. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 149 с.
 20. Робинсон, В.Н. Карбоновые отложения Северного Кавказа и их угленосность / В сб. работ: Природные богатства Северо-Кавказского края. – Пятигорск, 1935. – С.140-144.
 21. Руководство по предупредительному спуску снежных лавин с применением артиллерийских систем КС-19 (временное). – М.: Гидрометеоиздат, 1984. – 24 с.
 22. Руководство по снеголавинным работам: РД 52.37.613-2000. – Л.: Гидрометеоиздат, 2001. – 56 с.

- 23.Сергин, С.Я., Яйли, Е.А., Цай, С.Н., Потехина И.А. Климат и природопользования Краснодарского Причерноморья. – СПб.: изд. РГГМУ, 2001. – 188 с.
- 24.Темникова, Н.С. Некоторые характеристики климата Северного Кавказа и прилежащих степей. – Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1964. – 368 с.
- 25.Трошкина, Е.С. Лавинный режим горных территорий СССР: монография / под ред. К.С. Лосева. – М.: ВИНТИ, 1992. – 185 с.
- 26.Тушинский, Г.К. Ледники, снежники, лавины Советского Союза. – М.: Географгиз, 1963. – 311 с.