



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
филиал в г. Туапсе

Кафедра «Метеорологии и природопользования»

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

На тему «Особенности формирования осадков в районе Красной Поляны и их влияние на образование лавин»

Исполнитель Гванба Т.Ю.

Руководитель доктор географических наук, профессор Дробышев А.Д.

«К защите допускаю»  
Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай С.Н.

«18» июля 2016 г.

Филиал Российского государственного гидрометеорологического университета в г. Туапсе	
НОРМОКОНТРОЛЬ ПРОЙДЕН	
«25» мая 2016 г.	
подпись	расшифровка подписи

Туапсе  
2016



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
филиал в г.Туапсе

Кафедра «Метеорологии и природопользования»

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

На тему «Особенности формирования осадков в районе Красной Поляны и их влияние на образования лавин»

Исполнитель Тванба Т.Ю.

Руководитель доктор географических наук, профессор Дробышев А.Д.

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

Цай С.Н.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Туапсе  
2016

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение .....</b>	<b>3</b>
<b>Глава 1 Физико-географическое условия поселка Красная поляна .....</b>	<b>6</b>
1.1 Особенности рельефа, гидрологии и растительности.....	6
1.2 Характеристика климата района .....	9
<b>Глава 2 Осадки как фактор формирования лавин в районе Красная поляна, их распределения.....</b>	<b>13</b>
2.1 Условия образования и виды осадков.....	13
2.2 Распределения осадков по территории в годовом и межгодовом ходе	16
2.3 Образование и виды снежных лавин .....	17
<b>Глава 3 Условия прогнозирования лавин, их виды, методы борьбы .....</b>	<b>31</b>
3.1 Прогнозирование лавиной опасности.....	31
3.2 Виды и методы борьбы с лавинной угрозой .....	43
<b>Заключение.....</b>	<b>53</b>
<b>Список использованной литературы.....</b>	<b>55</b>
<b>Приложение .....</b>	<b>58</b>

## Введение

Район пос. Красная Поляна считается наиболее лавиноопасной областью России, что связано с выпадением большого количества снега. Изучения снеголавинного режима в районе Западного Кавказа проводились Аккуратовым, Тушинским, Залихановым, Лосевым, Зарудневым. Наблюдение за снеголавинной обстановки в Краснополянском районе проводятся специалистами Росгидромета, снеголавинный отряд Государственного учреждения «Специализированный центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Черного и Азовского морей» с 2003 г. под научно-методическим руководством Государственного учреждения «Высокогорный геофизический институт». В настоящее время на территориях горнолыжных курортов пос. Красная Поляна: Горная Карусель, Алпика Сервис и Роза Хутор организованы лавинные службы ведущие наблюдения и организации активных воздействий.

Огромное влияние на формирования лавин оказывают количество выпадающих осадков, интенсивность и продолжительность. Благоприятные условия для формирования лавин в районе Красной Поляны зарождаются в верхней части подветренных склонов с скалистым рельефом. Самыми лавиноопасными зонами являются склоны северных экспозиций. Граница леса на северных склонах хребта Аибга находится на высоте приблизительно 2000 м над ур. м. Широколиственный лес значительно снижает лавинную опасность. В основном снежные лавины, возникающие в верхней части хребта, затухали в лесной зоне. Но строительство горнолыжных курортов и гостиничных комплексов в Краснополянском районе, привело к неминуемой вырубке леса под горнолыжные трассы и канатные дороги. С формированием широких просек в лесу сильно увеличилась вероятность движения снежных лавин, возникающих в пригребневой зоне. В этом районе преобладают влажные лавины, скорость которых могут составлять сотни километров в час. Такие лавины даже относительно небольших объемов обладают огромной

разрушительной силой.

При наличие припочвенного, хорошо развитого, слоя – горизонта разрыхления, лавинная опасность увеличивается многократно. Начало лавиноопасного периода в районе поселка Красная поляна на высотах от 1880м над ур. м, отмечается с конца сентября и длится до июня.

Вопрос защиты людей, спортивных сооружений и гостиничных комплексов в районе п. Красная Поляна стала одной из важнейших проблем при организации зимних Олимпийских игр в 2014 году. В связи, с чем возникла необходимость проводить исследования снеголавинного режима по высотным зонам, установления видов снежных лавин и расчет их динамические характеристик. В России широко применяется контролируемое обрушение лавин при помощи артиллерийских орудий и миномётов. Такой способ защиты хорошо отработан на территории ТрансКавказской автомагистрали, в Приэльбрусье, Республике Северная Осетия и других лавиноопасных регионах России. Но в районе поселка Красная Поляна на использование этих методов есть ограничения: мораторий на использование фугасно-разрывных снарядов на время проведения Олимпийских игр «Сочи-2014»; легко разрушающиеся породы, лавинных очагов; территория заповедника. Альтернативой этих методов стало применение систем типа GAZ.EX производства французской фирмы T.A.S. И систематические наблюдения за снеголавинный режим включающие в себя:

- прогноз лавин;
- мониторинг за снеголавинными процессами;
- инженерные решения противолавинной защиты;
- организация активных воздействий на лавины.

**Актуальность исследования** - повысить эффективность противолавинной защиты людей и сооружений горнолыжных курортов Красной Поляны.

**Объект исследования** - осадки и лавины.

**Предмет исследования** - особенности формирования осадков и лавин

**Цель** - выявить основные закономерности образования осадков и лавин в районе поселка Красная Поляна.

**Задачи:**

- рассмотреть физико-географические и климатические условия рассматриваемого района;
- дать характеристику условиям и видам осадков, а также их распределению по территории и по времени;
- изучить виды и методы борьбы с лавинами;
- проанализировать возможные условия прогнозирования лавин.

**Структура работы.** Работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы.

В первой главе рассмотрены физико-географические условия пос.Красная поляна, особенности рельефа, характеристики климата.

Во второй главе был изучен вопрос формирования лавин, выявлены предопределяющие условия их возникновения, проведен анализ распределения осадков по территории.

В третьей главе рассмотрены возможные методы борьбы с лавинной угрозой, а также изучены условия прогнозирования лавин.

**Информационно-методическое обеспечение** представлено справочниками, учебными изданиями, научными трудами авторов, список которых приведен в списке использованной литературы.

Общий объем работы составляет 55 страниц, работа содержит 20 рисунков, 4 таблицы, 6 приложений.

## Глава 1 Физико-географическое условия поселка Красная поляна

### 1.1 Особенности рельефа, гидрологии и растительности

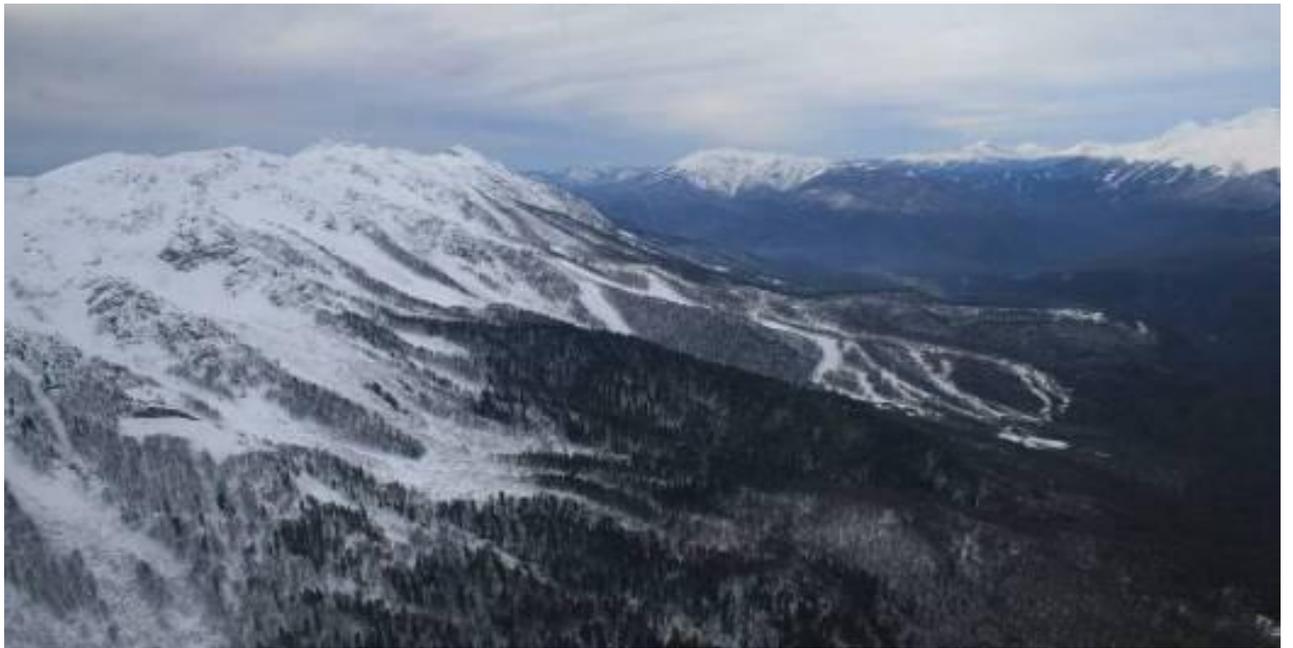
Долина р. Мзымта находится в южной части Западного Кавказа. От Главного Кавказского хребта на юг отдалаются два отрога Ачишхо и Псехоко, они разделяют долину на отдельные участки, возвышаясь на высоту 2000-2500м. Высшей точкой Главного Кавказского хребет в этом районе является гора Псеашхо Южная 3251м над ур. м. (рис. 1.1).



**Рис. 1.1. Карта горной территории Красная Поляна [18, с. 58]**

Нежная точка опускается до 400-500м над ур. м. При таком сильном перепаде рельефа долины имеют большую крутизну. В создании рельефа учувствовало древнее оледенение, формируя тороговый характер рельефа (рис. 1.2).

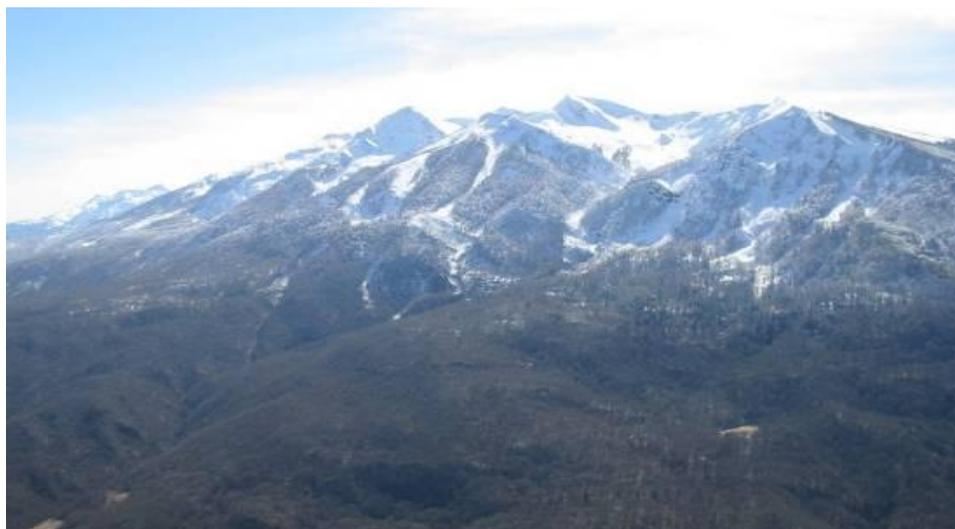
Главный Кавказский хребет в этой области сложен в основном из твердых кристаллических пород, а южнее хребты Аибга и Ацетука из легко разрушающиеся сравнительно рыхлых образований.



**Рис. 1.2. Троговый характер рельефа долины р. Мзымта [25, с. 197]**

В этом месте эрозия является одним из главных экзогенных процессов, создающих рельеф, с ней связано формирование очень глубоких горных ущелий и каньонобразных долин. Склоны крутые ( $30-60^{\circ}$ ), хребты узкие скалистые.

В этом районе преобладает: денудационный тип рельефа создаваемый эрозионными процессами и аккумулятивный образовавшийся в результате накопления поверхностных отложений (рис.1.3).



**Рис. 1.3. Денудационный и аккумулятивный рельеф Красной Поляны [25, с. 199]**

Поселок Красная Поляна расположен на конусе выноса отрога ГКХ Ачешхо упирающейся в р. Мзымта. Уклон составляет 6-8<sup>0</sup>, местами до 12<sup>0</sup>, а высота над уровнем моря 640-470м., изрезаны V-образными руслами р. Бешенка и руч. Мельничный.

Поселок Эсто-Садок располагается восточнее пос. Красная Поляна ширина достигает 400м, а высота 5-7м над рекой у подножья хребта Аибга (рис. 1.4).



**Рис. 1.4. Панорама реки Мзымта в районе п. Эсто-Садок [26, с. 35]**

Рельеф Западного Кавказа формирует зональность климата, обуславливающую поясное распределение ландшафтов и их неотъемлемых компонентов – почв и растительности. В это районе на небольшой территории можно встретить хвойные, широколиственные с вечнозеленым подлеском из реликтовых растений (лавровишни, самшита, понтийского рододендрона) и смешанные (дуб, граб, каштан, пихта, горная сосна) субтропические леса. Сменяющиеся субальпийскими и альпийскими лугами. Наличие леса снижает вероятность обрушения лавин, но не исключает полностью [20, с. 173].

С высоты примерно 2000м и выше начинаются субальпийские и альпийские луга с высокой травянистой и кустарниковой растительности.

Склоны, покрытые высокими стеблями травянистой растительностью, повышают лавинную опасность. На высоте 2300м травянистый покров редет, почва становится, каменистее, покрытая мхами и лишайниками, которые способствуют большой интенсивности процесса перекристаллизации снега, что приводит к соскальзыванию снежной толщи и обрушению снежных лавин. Это подтверждаются опытами, проведенными на географической станции МГУ в 1948 году, где на опытных площадках покрытыми мхами, в нижней части снежного покрова сформировались наиболее крупные кристаллы глубинного инея величиной до 5мм [20, с. 87].

## **1.2 Характеристика климата района**

Горные хребты Западного Кавказа находятся между умеренным и субтропическими климатическими зонами, ограничивая обмен воздушных масс между ними и в то же время обостряя синоптические процессы. Воздействие на климат района оказывают приходящие с юга и юго-запада, со стороны Средиземноморья и Атлантического океана, циклоны являющиеся основными носителями осадков. На формирование климата района влияет: его месторасположения и соседства Черного моря, горный рельеф, а также большой перепад высот. Климат определяется как горно-морским, влажным.

Район реки Мзымта в Красной Поляны образовала уникальную долину окруженную горами. Такое местоположение и ориентировка относительно движения воздушных масс служит коридором, по которому они поступают с побережья в долину и здесь за счет инверсионных процессов, поднимаясь по ущельям, отдавая влагу, способствуя образованию интенсивных осадков и глубокому снежному покрову.

Ограниченность долины и практически полное отсутствие сильных ветров, по сравнению с соседними районами, формируют довольно теплый климат.

Минимум относительной влажности приходит именно весной, т.е. в

период максимума облачности.

В развитии климата большую роль играет Черное море, аккумулирующее тепло и Главный Кавказский хребет, отсекающий холодные массы воздуха с севера.

Западные воздушные массы впитывают испарившуюся влагу с поверхности Черного моря, еще сильнее насыщаются парами и достигают Западного Кавказа. В горах влага содержащаяся в воздушных массах конденсируется и выпадает в виде обильных осадков.

Будыко М.И. дал классификацию трем климатическим зонам района р. Мзымта:

- с влажным климатом, очень теплым летом и мягкой зимой – часть бассейна, примыкающая к Черному морю;
- с влажным климатом, теплым летом и умеренно мягкой зимой – среднегорная часть бассейна;
- с избыточно влажным климатом, умеренно теплым летом и умеренно мягкой зимой – высокогорная часть бассейна.

Вся территория этого района зависит от циркуляции воздушных масс южной части умеренных широт. Летом сюда поступают субтропические области повышенного давления из Атлантики, а зимой Иранские и средиземноморские циклоны. Арктические и сибирские холодные воздушные массы поступают сюда крайне редко из-за расположения Главного Кавказского хребта.

В горных районах среднегодовая температура опускается с высотой, а выше 2500 м становится отрицательной. Наиболее холодные месяцы являются январь и февраль, а теплыми - июль и август.

Климат горной части района, в большой мере определяется режимом свободной атмосферы со стороны Главного Кавказского хребта. Доминирует Западный перенос общей циркуляции. Из-за взаимодействия свободной атмосферы с окружающим горным рельефом, приводит к резким изменениям температуры в годовом суточном ходе. Наблюдается изменение количества

выпавших осадков с высотой. Осень приходит в высокогорье с первыми снегопадами и окончание безморозного периода, а так же увеличивается облачность и вероятность туманов. (приложение 1).

С формированием устойчивого снежного покрова и отрицательной суточной температуры воздуха на высотах 1500м и выше, приходит зима.

Положительная температура воздуха на высоте 500м составляет примерно 331 день, а на 3000м всего лишь 137.

На такое распределение годового хода температуры воздуха указывают графики, построенные по данным м/с «Ачишхо» (1880м) (приложение 2).

Положительный абсолютный максимум температуры воздуха в бассейне реки Мзымта отмечается во все месяцы года, а его величина находится в прямой зависимости от абсолютной высоты местности, опускаясь с повышением её высоты (приложение 3).

Абсолютная минимальная температура воздуха в долине реки Мзымта в годовом ходе на всех высотах отмечается, как правило, в январе (приложение 3). Из табл. 1.1 видно длительность оттепелей за период устойчивого залегания снежного покрова в районе Красная Поляна на высоте 1880 м может достигать 23 дней.

**Таблица 1.1**

**Продолжительность оттепелей (дней) за период залегания устойчивого снежного покрова [7, с. 107]**

Станция	Высота местности	Месяц							Год
		XI	XII	I	II	III	IV	V	
Красная Поляна	566	-	16	9	8	8	-	-	41
Ачишхо	1880	3	4	2	2	4	8	2	23

Ветер, один из основных факторов влияющих на формирования лавин, в следствие переноса снежных масс и образования снежных карнизов. На хребте Аибга доминируют западные и юго-западные ветра. При переваливании воздушных масс через хребты на подветренных склонах создадутся нисходящие потоки – фены.

Бризовая и горно-долинная циркуляция атмосферы, так же влияет на климат территории. Бризы-ветра дующие днем с моря приносят влажный воздух. В основном бризы дуют летом, со скоростью не более 1м/сек. Широко распространены фены – сухие теплые ветры, спускающиеся с гор.

На высоте 500-600м скорости ветра достигает от 10 до 20 м/с, а на высоте более 2000м усиливается до 30 м/с. Максимальная скорость ветра, зафиксированная на ТДС «Аибга» 08.03.2006г., составила 50 м/с. Ветер района Красной Поляны формируется из-за влиянием рельефа. Среднегодовая скорость ветра значительно увеличивается с высотой (табл. 1.2).

На станции Ачишхо 1880м и на хребте Аибга 2247м максимальная скорость ветра наблюдалась зимой с порывами до 30 м/с, а средняя скорость ветра 15,5 м/с.

**Таблица 1.2**

**Средняя месячная и годовая скорость ветра (м/с) [15, с. 112]**

месяцы												
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
1,4	1,6	1,8	2,1	2,0	2,0	1,9	1,9	1,8	1,8	1,6	1,4	1,8

На станции Ачишхо по пятнадцатилетним наблюдением можно выделить среднюю высоту снежного покрова в 4,7м. В отдельные зимы снежный покров достигал 6,5-7,0м. Особая форма вершины, бесспорно, увеличивает снегонакопление, но главной причиной все же, является экспозиция его гребня, направленная к влагонесущих ветрам. Высота снега на станции Ачишхо бьет все рекорды Большого Кавказа. По форме стволов деревьев северных и южных склонов хребта Ачишхо, можно сделать заключение о большем количестве снега. Стволы деревьев (бук) под тяжестью снега принимают саблевидную форму. Средняя из наибольших и продолжительность периода с устойчивым снежным покровом в этом районе, характеризуется данными, отраженными в приложении 4. В горах Западного Кавказа снег лежит обычно до половины июня. Приток тепла из южных широт, обуславливает быстрый сход снежного покрова.

## **Глава 2 Осадки как фактор формирования лавин в районе Красная поляна, их распределения**

### **2.1 Условия образования и виды осадков**

Атмосферные осадки это - вода в жидком и твердом виде (дождь, роса, снег, град), а также изморозь, иней, роса, осаждающиеся на поверхности наземных предметов при конденсации паров в насыщенном влагой воздухе. Среднее количество атмосферных осадков Земли около 1000 мм/ год. По времени выпадения максимального количества осадков все страны можно разделить на две категории: 1) страны с преобладающими летними и 2) страны с преобладающими зимними осадками. К первой категории принадлежат тропическая область, более континентальные области умеренных широт и северные окраины суши северного полушария. Зимние осадки преобладают в субтропических странах, а также в странах с морским климатом в умеренных широтах. Зимой океаны и моря теплее, чем суша, давление понижается, создаются благоприятные условия для возникновения циклонов и усиления осадков [24, с. 118].

Предпосылкой для выпадения осадков является конденсация водяного пара в атмосфере тумана или облаков. Высота гор, их расположения относительно приносящих осадки ветров, их близость к морю, а также к очагам циклонов и к путям их перемещения дифференцируют, в частности, эффект запруживания. Причем во многих случаях он осложняется за счет ветровой тени от расположенного впереди горного хребта. На территории района Красная Поляна, Действие запруживания ощущается далеко в глубине горной долины бассейна реки Мзымта, где количество осадков значительно увеличивается.

Процесс охлаждения теплых воздушных масс в горном районе происходит в значительной мере быстро и начинается процесс выпадения осадков в виде снега или дождя. Распределение осадков в большей или меньшей степени – в зависимости от высоты уровня конденсации и степени

влагонестойчивости облаков – отражает рельеф местности. В связи с направлением воздушных масс наветренная и подветренная склоны хребтов получают разные количества осадков. Известно также, что с высотой количество осадков увеличивается, особенно в зоне перед орографическим препятствием. Хребты Аибга и Ацетука, находясь южнее Главного Кавказского хребта и параллельно ему, играют значительную роль в распределении осадков в бассейне реки Мзымта, так как затрудняют проникновение влажных воздушных масс с моря к Главному Кавказскому хребту. В связи с чем, от моря и до высоты 2000 м на северном склоне хребтов Аибга и Ацетука отмечается увеличение осадков. Выше до гребня хребтов, на их южном склоне и в котловине, расположенной к северу от них, сумма осадков уменьшается: Красная Поляна, Пслух.

Град - называют особого рода ледяные образования, причисляемые к атмосферным осадкам, иначе гидрометеорам. Вид, строение и размеры градин крайне разнообразны. Одна из наиболее обыкновенных форм — коническая или пирамидальная с острыми или слегка усеченными верхушками и закругленным основанием. Верхняя часть таких обыкновенно более мягкая, матовая, как бы снежная; средняя — полупрозрачная, состоящая из концентрических, чередующихся между собою прозрачных и непрозрачных слоев; нижняя, самая широкая — прозрачная. Не менее часто встречается шарообразная форма, состоящая из внутреннего снежного ядра (иногда, хотя и реже, центральная часть состоит из прозрачного льда), окруженного одной или несколькими прозрачными оболочками. В тропических странах град — явление весьма редкое, причем там он падает почти исключительно на высоких плоскогорьях и горах [8, с. 124].

Дождь — жидкие осадки в виде капель диаметром от 0.5 до 5 мм. Отдельные капли дождя оставляют на поверхности воды след в виде расходящегося круга, а на поверхности сухих предметов — в виде мокрого пятна.

Снег — твердые осадки, выпадающие (чаще всего при отрицательной

температуре воздуха) в виде снежных кристаллов (снежинок) или хлопьев. При слабом снеге горизонтальная видимость (если нет других явлений — дымки, тумана и т. п.) составляет 4-10 км, при умеренном 1-3 км, при сильном снеге — менее 1000 м. В морозную погоду (температура воздуха ниже  $-10\dots-15^{\circ}$ ) слабый снег может выпадать из малооблачного неба. Отдельно отмечается явление мокрый снег — смешанные осадки, выпадающие при положительной температуре воздуха в виде хлопьев тающего снега.

Дождь со снегом — смешанные осадки, выпадающие (чаще всего при положительной температуре воздуха) в виде смеси капель и снежинок. Если дождь со снегом выпадает при отрицательной температуре воздуха, частицы осадков намерзают на предметы и образуется гололёд.

Морось — жидкие осадки в виде очень мелких капель (диаметром менее 0.5 мм), как бы парящих в воздухе. Сухая поверхность намокает медленно и равномерно. Осаждаясь на поверхность воды, не образует на ней расходящихся кругов.

Туман - скопление продуктов конденсации (капель или кристаллов, или тех и других вместе), взвешенных в воздухе, непосредственно над поверхностью земли. Характерная горизонтальная видимость при тумане менее 1 км. В противном случае помутнение называется дымкой.

Ливень - кратковременные атмосферные осадки, обычно в виде дождя (иногда - мокрого снега, крупы), отличающиеся большой интенсивностью (до 100 мм/ч). Возникают в неустойчивых воздушных массах на холодном фронте или в результате конвекции. Обычно ливневый дождь покрывает сравнительно небольшую территорию. Ливневый снег — снег ливневого характера, характеризуется резкими колебаниями горизонтальной видимости от 6-10 км до 2-4 км (а порой до 500—1000 м, в ряде случаев даже 100—200 м) в течение периода времени от нескольких минут до получаса (снежные «заряды»).

Снежная крупа — твердые осадки ливневого характера, выпадающие при температуре воздуха около нуля  $^{\circ}$  и имеющие вид непрозрачных белых крупинок диаметром 2-5 мм; крупинки хрупкие, легко раздавливаются

пальцами. Нередко выпадает перед ливневым снегом или одновременно с ним.

Ледяная крупа — твердые осадки ливневого характера, выпадающие при температуре воздуха от +5 до +10° в виде прозрачных (или полупрозрачных) ледяных крупинок диаметром 1-3 мм; в центре крупинок — непрозрачное ядро. Крупины достаточно твёрдые (раздавливаются пальцами с некоторым усилием), при падении на твёрдую поверхность отскакивают. В ряде случаев крупинки могут быть покрыты водяной плёнкой (или выпадать вместе с капельками воды), и если температура воздуха ниже нуля, то падая на предметы, крупинки смерзаются и образуется гололёд.

Роса — атмосферный осадок в виде капелек воды, осаждающихся на поверхности земли и наземных предметах при охлаждении воздуха.

Изморозь — рыхлые кристаллы льда, нарастающие на ветвях деревьев, проводах и других предметах обычно при намерзании капель переохлажденного тумана. Образуется зимой, чаще в тихую морозную погоду в результате сублимации водяного пара при понижении температуры воздуха.

Иней — тонкий слой ледяных кристаллов, образующихся в холодные, ясные и тихие ночи на поверхности земли, травах и предметах с отрицательной температурой, причем более низкой, чем температура воздуха. Кристаллы инея так же, как и кристаллы изморози, образуются путем сублимации водяного пара.

## **2.2 Распределения осадков по территории в годовом и межгодовом ходе**

Как видно из приложения 4, на перевале Аишха количество выпадающих осадков значительно меньше по сравнению, чем в районе метеостанции Ачишхо. Такое отличие характеризуется тем, что к югу от хребта Ачишхо нет высоких хребтов, как Аибга и Ацетука, в связи с этим к вершинам Ачишхо проникают массы воздуха с большой концентрации влаги.

В рассматриваемом районе распределение годового хода осадков неравномерен, в июле 161 мм до 406 мм в декабре. Максимальное количество

осадков выпадает здесь зимой, что создает условия для формирования и схода лавин (приложение 5).

В долине реки Мзымта в течение года выпадает большое количество осадков в сравнении с остальными районами Большого Кавказа, а также отличается интенсивностью, в жидком и в твёрдом виде. Основным отличием является максимальное количество выпадаемых осадков зимой, а не летом как в соседних районах Северного Кавказа. Количество выпадаемых осадков в холодный период (с ноября по март), в три-четыре раза больше выпадаемых осадков на тех же высотах Приэльбрусья или Домбая и составляет 1737,1 мм.

Для сравнения приведем некоторые данные наблюдений за осадками в этих районах.

В декабре 1978 г. на метеостанции «Ачишхо» и январе 1987 г. на СФМ «Кордон Лаура» отмечены максимальные суммы твёрдых осадков 930 мм и 960 мм. Примерно такое же количество осадков отмечено на снеголавинной станции (СЛС) «Чегет» (3040 м над ур. м.) в Приэльбрусье, за 5-ть месяцев холодного периода года, только дважды: в аномально многоснежные зимы 1962-1963 гг. и 1986-1987 гг., а среднемноголетняя величина осадков за весь холодный период года в Приэльбрусье, составляет всего 507 мм (приложение 6).

### **2.3 Образование и виды снежных лавин**

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.м<sup>3</sup>.

Снег, лежащий на склоне, обрушивается вследствие потери им равновесия. Для самопроизвольного возникновения лавины слой снега должен находиться в состоянии близком к предельному равновесию; в этих условиях для ее начала бывает достаточно легкого толчка [23, с. 83].

Небольшое воздействие на снежный покров может вызвать лавину, не

смотря на некоторый запас прочности в нем, если будет дан начальный импульс какой-то массе, которая продолжает движение и захватывает снег, 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 нарушения сплошности в одном каком-то месте вызывает образование лавины (когда силы трения не достаточно 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 в следствии:

- 1) перегрузки склонов снегом при снегопадах и метелях (или его релаксации – расслаблениях);
- 2) появления в снежной толще ослабленных прослоек при перекристаллизации снега, его таянье или промачивании дождевой водой.

Снег с момента его выпадения постоянно изменяется. На формирование лавины оказывают влияния размер, форма, состояние поверхности снежинок, условия их падения в атмосфере и отложения их на склоне гор, состояния подстилающей поверхности [7, с. 99].

Отложившийся на склонах снег подвергается процессам уплотнения (оседания) и перекристаллизации, протекающий 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 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 (разрывов), влекущее за собой обрушения лавин.

Оседания 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 свежавыпавшем снеге.

В дальнейшем скорость оседания в нагруженном слое снежного покрова значительно уменьшается, составляет в среднем 0,3-0,6 см /сут. Нагрузка на снег от выпадающего на его поверхность свежавыпавшего снега увеличивается скачкообразно [19, с. 36].

Оседания 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 изменением главных 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 разрушения снежинок не компенсируется уплотнением снега вследствие его оседания под действием силы тяжести, процесс, называется деструктивной (разрушительной) метаморфозой снега, может привести к образованию лавин в течение ближайших дней после окончания снегопада. В процессе деструктивной метаморфозы свежавыпавший снег перерождается в зернистый.

В дальнейшем размеры зерен в снеге увеличиваются за счет роста более крупных кристаллов, исчезновения (возгонки) более мелких, при этом появляется кристаллическая огранка зерен (этот процесс называется конструктивной или созидательной метаморфозой), а также происходит значительное изменение структуры во всей толще снега вследствие миграции водяных паров по порам снега в направлении температурного градиента, т.е. от зон более высокой температуры к зонам с более низким. 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 глубинной изморози. Снег с большим содержанием глубинной 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 сублимационной перекристаллизации, могут возникать при различных метеорологических условиях, казалось бы, без видимой причины. В их подготовке большую роль играют условия всей предшествующей части зимы.

Глубокая изморозь может подвергаться перекристаллизационному разрушению с изменением ее внешнего облика и перерождением в крупнозернистый снег. Этот процесс носит название процесса регрессивного

метаморфоза. 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 выпадению дождя на снежный покров могут служить образования влажных и мокрых лавин. Увлажнение снега до известного предела увеличивает его прочность, но далее с увеличением количества влаги он обрушивается со склонов [12, с. 96].

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.

Для систематизации разнообразных сведений о лавиносборах, причинах образования и характеристиках снежных лавин применяются различные классификации. Одной из наиболее известных является классификация, предложенная Г. К. Тушинским (1949), учитывающая особенности лавинного пути и состояние лавинообразующего снега. В ней выделено 7 видов лавин по морфологии снегосбора и пути движения лавин:

- осовы (отрыв и скольжение снежных масс на ровном склоне);
- лотковые лавины (снежные массы движутся по фиксированному руслу) из эрозионных врезов — ЛЛ-1;
- то же из денудационных воронок — ЛЛ-2;
- то же из деформированных каров — ЛЛ-3;
- прыгающие лавины (при наличии на пути движения участков отвесных скал, где происходит свободное падение снежных масс) из эрозионных врезов — ПЛ-1;
- то же из денудационных воронок — ПЛ-2;
- то же из деформированных каров — ПЛ-3.

Для каждого из выделенных типов лавиносборов рассматривается три вида лавин по состоянию снега — из сухого метелевого и снежных плит, из влажного старого и из мокрого фирнового снега. Классификация Г. К. Тушинского удобна для характеристики лавиносборов на схематических лавинных картах. Широкое признание получила также генетическая классификация лавин В. Н. Аккуратова (Гляциологический словарь, 1984), основанная на выявлении причин, вызывающих сход лавин. В ней выделяется четыре типа сухих лавин:

- лавины из свежевывпавшего снега;
- из метелевого снега;
- возникающие в результате сублимационного диафтореза (роста глубинной изморози);
- лавины температурного сокращения снега (при резком понижении температуры воздуха) и три типа мокрых лавин:
- инсоляционные лавины (вследствие ослабления связей при таянии снега в контактных зонах или в припочвенном слое в результате действия проникающей солнечной радиации);
- адвекционные лавины (вследствие ослабления связей в результате размыва водой, образующейся при таянии поверхности снега при адекватном перемещении воздушных масс);
- промежуточные лавины (при совместном воздействии солнечной радиации и адвекции масс воздуха).

Для каждого типа лавин даются краткие описания причин: их возникновения, рассмотрены также характер движения структура снега и вид лавинных отложений [10, с. 216].

Классификация В. Н. Аккуратова долгое время успешно применялась при прогнозировании лавин в Хибинах и других лавиноопасных районах.

В настоящее время для описания и систематизации характеристик лавин и при прогнозировании лавинной опасности применяются международные морфологические и генетические классификации.

Международная морфологическая классификация лавин<sup>1</sup>

Зона	Критерий	Альтернативная характеристика, название лавины и код
Зарождения	А. Тип начала движения	A1. Двинулась из точки (лави́на из рыхлого снега) A2. Двинулась с линии (лави́на из снежной плиты) A3. Мягкая плита A4. Твердая плита
	В. Положение поверхности скольжения	V1. Внутри снежного покрова (лави́на поверхностного слоя) V2. Срыв в новом снежном покрове V3. Срыв в старом снежном покрове V4. По грунту (лави́на полной глубины)
	С. Жидкая вода в снеге	C1. Отсутствует (сухая лавина) C2. Имеется (мокрая лавина)
Транзита	Д. Форма пути	D1. Движение на ровном склоне (не канализованная лавина) D2. Движение в лотке (лотковая лавина)
	Е. Тип движения	E1. Облако снежной пыли (пылевая лавина) E2. Течение вдоль поверхности грунта (текучая лавина)
Отложения	Ф. Поверхностная шероховатость отложений	F1. Крупнокомковатые отложения F2. Угловатые блоки F3. Окатанные комья F4. Мелкокомковатые отложения
	Г. Жидкая вода в свежих отложениях	G1. Отсутствует (сухие лавинные отложения) G2. Имеется (мокрые лавинные отложения)
	Н. Загрязнение отложений	N1. Нет явного загрязнения (чистая лавина) N2. Имеется загрязнение (загрязненная лавина) N3. Скальные обломки, остатки почвы N4. Ветки, деревья N5. Обломки сооружений

Международная морфологическая классификация лавин позволяет передавать информацию о лавинах в закодированном виде, где символы для

<sup>1</sup> Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

критериев даются в виде заглавных букв (А, В, С, D, E, F, G, H), а символы для характеристик — в виде цифр. Кроме цифровых символов (1—5) предлагается использовать цифры 0— когда нет сведений о характеристике, 7 или 8 — для смешанных характеристик и 9 — для отсылки к специальному замечанию. Например, код А3 В2 С1 D9 E1 F4 G1 H4 обозначает, что лавина образовалась из мягкой снежной плиты в результате отрыва в новом снежном покрове, лавина из сухого снега двигалась по лотку и образовала воздушную волну (9 отсылает к специальному замечанию, уточняющему характеристику пути движения лавины), отложения лавины мелкокомковатые, сухие, содержащие ветки деревьев (табл. 2.1).

Одна из основных причин возникновения лавин этого — увеличение массы снега до критической величины в результате выпадения осадков и метелевого снегопереноса. Нарушение устойчивости рыхлого сухого снега наступает при увеличении его толщины до критической.

$$h_{кр} = \frac{C}{\rho g (\sin\varphi - \cos\varphi \tan\varphi)} \quad (1)$$

где,  $h_{кр}$  — критическая (предельная) толщина слоя рыхлого снега, при которой происходит нарушение его устойчивости;

$C$  — величина, характеризующая сцепление зерен снега (несмотря на рыхлое состояние, снег обладает некоторым сцеплением).

$\psi$  — угол наклона поверхности, подстилающей слой рыхлого снега;

$\varphi$  — угол внутреннего трения в снеге;

$h$  — фактическая толщина слоя рыхлого снега.

Это происходит чаще всего во время снегопадов на склоны крутизной 30—40°. Сначала по мере нарастания слоя увеличивается интенсивность вязкого уплотнения и течения снега, что приводит к мелким нарушениям сплошности снежного покрова. В какой-то момент наступают критические условия, когда некоторая масса теряет сцепление с основанием и начинает двигаться с ускорением, оказывая дополнительное динамическое воздействие

на расположенный ниже по склону участок снежного покрова. Это давление в свою очередь нарушает устойчивость встречаемого на пути массива снега и вовлекает его в движение. В результате возникает расширяющийся в плане поток снега, который на крутом склоне движется с возрастающей скоростью, захватывая все новые и новые его порции. Набрав скорость, поток рыхлого снега может вовлечь в движение и слои старого, более плотного снега. Однако объемы лавин из рыхлого сухого снега обычно относительно небольшие, так как на склонах редко скапливаются его большие массы. Чаще всего свежий снег откладывается в виде снежных плит, обладающих повышенным по сравнению с рыхлым снегом сцеплением.

Снежные плиты могут состоять из снега любого вида — мягкого, пушистого свежего снега, уплотненного метелевого снега, твердого старого или мокрого весеннего снега. Конкретные причины и механизм нарушения устойчивости снежных плит во многом зависят от их плотности и прочности характеристик которые в свою очередь определяются условиями формирования снежного покрова и последующими процессами уплотнения и метаморфизма снега. Рассмотрим два крайних случая — нарушение устойчивости плит из мягкого снега малой плотности (до  $200 \text{ кг/м}^3$ ) и плит из плотного твердого снега [26, с. 67].

Предельные сопротивления плиты из мягкого снега сжатию и растяжению небольшие (при  $\rho=200 \text{ кг/см}^3$  ср  $\sigma_{сж} < 0,01 \text{ МПа}$ ). В связи с этим суммарные величины сил сопротивления  $N_{сж}$   $N_p$  и  $N_{ср}$  по краям потенциально неустойчивого участка плиты не оказывают существенного влияния на устойчивость снежного покрова.

$$K = \frac{\sum N_{уд}}{T} = \overline{K_{ср}} + \frac{N_{сж} + N_p + N_{ср}}{T} \quad (2)$$

где,  $T = \int_{F_{п}} \tau dF$  — составляющая собственной массы плиты на участке локальной неустойчивости  $F_{п}$ , направленная параллельно поверхности

основания плиты;

$K_{cp}$  — средний показатель локальной устойчивости выделенного участка, где  $K < 1$ ;  $N_{сж}$   $N_p$  и  $N_{ср}$  — суммарные величины сопротивления сжатию, разрыву и срезу снежной плиты по краям локально неустойчивого участка.

Нарушение устойчивости плит из снега малой плотности происходит чаще всего на контакте свежего снега с более плотным старым из-за уменьшения локальной устойчивости вследствие увеличения напряжения сдвига за счет выпадающего свежего или отложения метелевого снега.

$$\bar{K} = \frac{\tau_{ср}}{\tau} = \frac{C_y}{G \sin \psi} + \frac{f_y}{tg \psi} \quad (3)$$

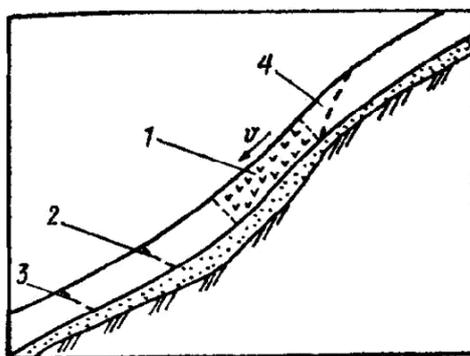
где,  $C_y$  и  $f_y$  — сцепление  $\Sigma$  и коэффициент трения на потенциальной поверхности среза;

$\psi$  — угол наклона склона;

$G = \rho_j \cdot g \cdot h_j$  - масса снежной толщи над поверхностью среза;

$y$  — расстояние.

На склоне с переменным профилем условия для нарушения устойчивости возникают в первую очередь на крутых его участках. Пришедшая в движение масса снега захватывает затем снег и на более пологих участках, где он находился в устойчивом состоянии (рис. 2.1).



1 — начальный объем снега, теряющий сцепление с нижним слоем снега; 2, 3 — последовательные контуры участков плиты, вовлекаемых в движение; 4 — участок плиты, теряющий устойчивость после соскальзывания объема 1

**Рис. 2.1. Нарушение устойчивости плиты из слабо уплотненного снега [12, с. 118]**

Возникшая лавина может на своем пути вовлекать в движение старый уплотненный снег.

Обрушение происходит обычно во время снегопада или метелевого снегопереноса, а также в течение ближайших часов после окончания снегопада и метелевого снегопереноса. Если в этот период не происходит обрушения, то вероятность нарушения устойчивости мягкой плиты резко уменьшается, так как происходит уплотнение снега и увеличивается предельное сопротивление сдвигу плиты по основанию [3, с. 15].

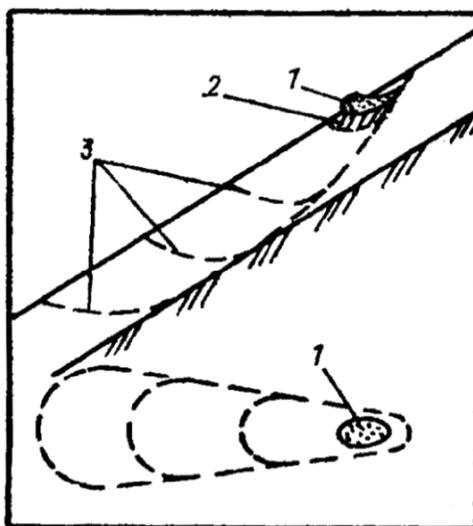
Плита из твердого снега может находиться в локально неустойчивом состоянии. Обрушение происходит чаще всего вследствие нарушения ее целостности и резкого уменьшения сил сопротивления на краях плиты. Непосредственной причиной нарушения устойчивости плиты могут быть различные случайные факторы (например, нарушение сплошности плиты при резкой неоднородной осадке нижерасположенного слоя снега, излом плиты при проходе лыжника или при искусственном воздействии на снежный покров, образование в зоне растяжения трещины при быстром понижении температуры). Предельное состояние может быть достигнуто и при постепенном перераспределении внутренних напряжений растяжения и сжатия в плите в результате процессов метаморфизма, ползучести и ослабления связей ее с основанием.

Во время дополнительных осадков и метелевого снегопереноса увеличение массы плиты может приводить к разрыву пласта в зоне растяжения. Возможны также случаи, когда вначале произойдет излом плиты в зоне неравномерной осадки, а разрыв пласта будет вторичным.

Характерная особенность обрушения снежных плит — одновременное нарушение устойчивости и движение на значительном по площади участке снежного покрова, сопровождающееся разрывом пласта по верхней границе этого участка. Граница отрыва представляет собой ломаную линию или неровную дугу в верхней части лавиносбора. Поверхность отрыва близка к плоскости, перпендикулярной к основанию снежной плиты. Наибольшие плиты

обрушаются на склонах крутизной 30—45°. При движении плита быстро разрушается, дробится и превращается в снежный поток. Нижняя часть потока состоит из обломков плиты и его плотность близка к плотности потерявшего устойчивость снежного покрова. Верхняя часть потока состоит из легких частиц раздробленной снежной плиты, плотность потока в этой части убывает с высотой.

В весенний период через снежный покров просачивается вода, образующаяся при таянии верхних слоев или интенсивных дождях. Вода перемещается в виде пленок по поверхности зерен или фильтруется между зернами. При этом зерна округляются, а ледяные связи между ними разрушаются и заменяются водными пленками, что приводит к уменьшению сил сцепления и сопротивления снега сжатию, что может вызвать нарушение устойчивости снежного покрова.



1 — начальный объем снега, потерявший сцепление с основанием; 2 — зона, в которой может произойти скачкообразное уплотнение под действием дополнительной нагрузки от пришедшего в движение объема 1, 3 — последовательные контуры вовлекаемого в движение снега

**Рис. 2.2. Зарождение лавины из мокрого снега [12, с. 121]**

Начальным импульсом нарушения устойчивости снега служат падение куска снежного карниза, случайно движущийся по склону камень или ком снега, увеличение содержания воды в снеге, резкое оседание снега на локальном участке или искусственное воздействие на снежный покров. В

результате действия какого-либо из перечисленных факторов на небольшом участке снежного покрова нарушаются первоначальные связи между зернами снега, и образуется зона неустойчивого состояния (рис. 2.2).

Масса снега в этой зоне начинает сползать вниз, оказывая дополнительное силовое воздействие на расположенный под ней и ниже по склону снежный покров, что увеличивает напряжения сжатия и сдвига на границе между зоной неустойчивого состояния и ненарушенным снежным покровом.

Если напряжение сжатия превышает сопротивление снега сжатию, происходит скачкообразное уплотнение снега в прилегающей зоне, сопровождаемое нарушением начальных структурных связей между его зернами. При этом нарушается сцепление вновь уплотненной зоны с ненарушенным снежным покровом, что облегчает частичное соскальзывание нарушенной массы снега и последующее нарастание давления на расположенный ниже ненарушенный покров. После этого процесс может повторяться с нарушением все новых зон снежного покрова вовлечением их в соскальзывающую массу снега. Работа, совершаемая движущимся снегом, расходуется на его частичное таяние, особенно на контакте скольжения. Это вызывает дополнительное увлажнение, уменьшает сопротивление сдвигу и способствует увеличению скоростей оползания, что в свою очередь повышает силы давления сползающего снега на ненарушенный снежный покров и способствует вовлечению в движение новых масс снега и расширению движущегося потока в плане [13, с. 29].

В условиях интенсивного неравномерного снеготаяния и концентрации стока талой воды, дождей возможно образование водоснежных потоков, которые по своему составу и характеру движения занимают промежуточное положение в ряду катастрофических склоновых процессов между снежными лавинами и селевыми потоками. Наиболее существенным отличием водоснежных потоков от лавин из мокрого снега является то, что в их образовании ведущую роль играет появление в снеге свободной воды и потоки

могут возникать на относительно пологих склонах, где возникновение лавин невозможно.

Водоснежные потоки характерны для северных горных районов, в частности для Хибинского горного массива, и арктических островов, где к периоду интенсивного снеготаяния могут сохраняться мощные толщи холодного снега с водоупорными поверхностями. Мощные потоки образуются не регулярно, а лишь эпизодически, один раз в 5 - 50 лет, при особых сочетаниях состояния снежного покрова и условий снеготаяния.

## **Глава 3 Условия прогнозирования лавин, их виды, методы борьбы**

### **3.1 Прогнозирование лавинной опасности**

Лавины - естественный компонент природной среды. Они различаются обширным распространением и большой систематичностью. Человек обычно воспринимает лавины как опасность - стихийное бедствие. В связи с этим в научной литературе широко используется термин «лавиная опасность». Тем не менее, определение этому термину, как правило, не дается. Учитывая закономерность и регулярность лавин, а также немногочисленные имеющиеся определения, предлагается формулировка этого понятия: лавинная опасность - это закономерно возникающее воздействие лавин на природную среду и принципиальная возможность воздействия их на населения и инженерные сооружения. Последнее происходит тогда, когда человек вторгается в пределы лавинного природного комплекса. Разумеется, воздействия лавин на природную среду можно воспринимать как опасные лишь с большой натяжкой, так как далеко не во всех случаях уничтожение лавинами естественной растительности или животных воспринимается как бедствие.

Воздействие лавин на природную среду, человека и хозяйственные объекты в самом общем случае определяются потенциальной энергией лавины, зависящей от высоты падения лавиносбора и массы, которая, в свою очередь, зависит от площади зоны зарождения [5, с. 76].

Лавины обладают большой разрушительной силой, в особенности в тех случаях, когда достигают крупных размеров. Однако большие и гигантские лавины возникают нечасто. В горах обычны и наиболее часты осовы, небольшие лавины и лавины среднего размера. Размеры и частота лавин разной степени опасности определяются условиями развития и существования лавинных природных комплексов, которые меняются от одной горной системы и другой.

Наиболее крупные по объему лавины зарегистрированы в Гималаях и Андах, где вертикальная высота их падения нередко исчисляется несколькими

километрами, заложение превышает 10 км, а объем достигает десятков миллионов кубометров. Крупнейшей считается лавина Уаскаран в Перу, имевшая превышение более 4 км и заложения больше 16 км. Лавина сошла 31 мая 1970 г. Ее объем оценивается в пределах  $25-50 \times 10^6 \text{ м}^3$ . Такие гигантские лавины не могут состоять из одного снега, так как на своем пути включают в лавинное тело огромное количество грунта, воды и органических веществ. При этом вследствие трения значительная масса льда переходит в воду. Снежно-ледяная составляющая лавин Уаскаран в зоне отложения достигла 10-15% общего объема тела лавины.

В горах Северной Америки крупнейшая зарегистрированная лавина имела превышения 1,8 км и заложения 3 км. В Альпах самая гигантская лавина достигла в объеме  $6 \times 10^6 \text{ м}^3$ . На территории Советского Союза гигантские лавины были зафиксированы на Кавказе и западной части Тянь-Шаня. В многоснежную зиму 1975/76 г. на Кавказе в бассейнах рек Ингури и Цхенис-Цкали наблюдались лавины объемом до  $5 \times 10^6 \text{ м}^3$ , которые имели превышение порядка 3-3,5 км и заложение от 6 до 8,2 км. В Киргизии гигантские лавины отмечаются в юго-западной части Тянь-Шаня, где их объем превышает  $6 \times 10^6 \text{ м}^3$ , тогда как средний объем регулярных лавин составляет не более  $10^4 \text{ м}^3$ , причем, по-видимому, многие мелкие лавины и осовы не фиксируются. На о. Сахалин, где горы невысокие, 50% всех зарегистрированных лавин относятся к классам небольших и средних - объем их не более  $2 \times 10^3 \text{ м}^3$ , превышение -  $10^2 \text{ м}$ , только 15% лавин имели объемы более  $10^4 \text{ м}^3$ , а самая крупная по объему лавина достигла  $2 \times 10^5 \text{ м}^3$  превышении лавиносбора 0,7 км и заложения 1,6 км. Очевидно, что средние и предельные размеры лавин определяются средними и абсолютными высотами горных районов в первую очередь при наличии достаточного количества снега. Все классы лавин в той или иной степени опасны для человека и могут принести серьезный ущерб. Однако подавляющая часть лавин воздействует на природную среду и лишь небольшая часть - на человека и инженерные сооружения. В хорошо освоенных с высокой плотностью заселения Швейцарских Альпах из 10 тыс. лавиносборов около 3

тыс., т.е. почти 30% угрожают различным хозяйственным объектам. В горах США, менее заселенных и освоенных, приблизительно из 10 тыс. лавиносборов только около тысячи или 10% представляют угрозу. В Киргизии, где насчитываются более 30 тыс. лавиносборов, только около тысячи из них или чуть более 3% представляет конкретную угрозу (табл. 3.1).

**Таблица 3.1**

**Размеры лавин и их потенциальные эффекты<sup>2</sup>**

Размер лавины	Потенциальный эффект	Порядок величин		
		Превышения лавиносбора, м	Объем лавины, м <sup>3</sup>	Давление лавины, тс/м <sup>2</sup> (Па)
Маленький осов	Может сбить человека с ног, частично	10	1-10	0,1 (10 <sup>3</sup> )
Небольшая лавина	засыпать	10 <sup>1</sup> -10 <sup>2</sup>	10 <sup>1</sup> -10 <sup>2</sup>	0,1 (10 <sup>3</sup> )
Средняя лавина	Ломает ветки деревьев, выдавливает окна, может ранить, засыпать и убить человека	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>	1,0 (10 <sup>4</sup> )
Большая лавина	Ломает молодые деревья, деревянные здания, автомашины	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup> -10 <sup>6</sup>	10 (10 <sup>5</sup> )
Гигантская лавина	Валит старый лес, разрушает каменные сооружения и металлические конструкции Выпахивает русло, разрушает железобетонные сооружения	10 <sup>3</sup> -5×10 <sup>3</sup>	10 <sup>7</sup>	100 (10 <sup>6</sup> )

Таким образом, воздействие лавин на население и хозяйственные объекты возрастает по мере все большего освоения горно-лавинной территории, т.е. потенциальное опасное воздействие лавин реализуется тем чаще, чем выше степень освоенности территорию. Это подтверждают статистические данные о гибели людей от лавин. В альпийских государствах Европы число жертв от лавин каждое пятилетия возрастает примерно на 10%, а размеры ущерба примерно на 5%, несмотря на развитие систем предупреждения и

<sup>2</sup> Таблица составлена по данным, полученным в процессе исследования

прогнозирования, а также широкое строительство противолавинных сооружений и использование активных воздействий. Это связано с быстрыми темпами освоения горной территории особенно под зимние виды спорта [22, с. 34].

Важным методом предупреждения лавинной опасности является прогноз лавинной опасности. Для этих целей используются материалы снеголавинных наблюдений, косвенные признаки лавинной опасности, статистические зависимости, математические модели, изучаются архивы и проводятся опросы местных жителей. По полученным и рассчитанным данным составляются карты лавинной опасности. Результат исследований определяется как пространственный прогноз лавинной опасности – прогноз лавинного «климата». По охвату территории он может быть локальным (для отдельного лавинного очага или их группы) и фоновым (для горного региона или их совокупности). Соответственно для представления локального прогноза используются крупномасштабные карты, для фонового прогноза: средне и мелкомасштабные.

Прогнозы лавинной опасности создаются с использованием специально разрабатываемых для региона или отдельного очага методик, определяющих алгоритм выявления лавинной опасности. Ряд методик предусматривает прогноз лавиноопасного периода – промежутка времени, на протяжении которого будет сохраняться действие фактора лавинообразования. Как правило, такой подход используется при прогнозе лавин во время снегопадов и метелей. Сход лавин прогнозируется с момента достижения критических условий до конца снегопада (метели) и на период от одних до двух суток по их окончании - пока сохраняется неустойчивость снежного покрова. Прогнозы лавиноопасного периода имеют характер консультации, так как прогнозист должен строить свой прогноз исходя из предположений типа «если интенсивность потепления сохранится в течение нескольких дней» и т.д. При этом периодные прогнозы имеют существенно большую оправдываемость по сравнению с суточными. Однако неопределенность времени схода лавин, сопровождающая данный тип

прогноза делает его использование неудобным для потребителя [11, с. 285].

В отдельных методиках прогноза, использующих информацию о состоянии снежного покрова в районе зоны отрыва лавин, производится расчет времени обрушения лавин.

По мере поступления новой снежно-метеорологической информации прогноз подлежит уточнению.

Предметом прогноза ряда методик являются количественные характеристики лавин – объем, дальность выброса, число лавин. Для фонового прогноза уточняются места схода – конкретные лавинные очаги, высотные интервалы действия лавин и склоны определенной экспозиции. Предметом прогноза может являться массовый сход лавин, когда сход лавин происходит более чем в 1/3 лавинных очагов территории, для которой составляется прогноз [17, с. 16].

Возможность разработки долгосрочного прогноза появилась с созданием численных моделей изменения климата. Задача решается переходом от прогнозируемых моделей характеристик климата к лавиноиндикационным. Основанием служат установленные аналитические связи между климатическими характеристиками (температурой воздуха, осадками), рассчитанными моделью и лавиноиндикационными показателями (толщиной снежного покрова, продолжительностью его залегания, количеством твердых осадков, числом дней с интенсивными снегопадами и с оттепелью). Далее с использованием определенных зависимостей выявляется изменение границ лавиноопасных территорий, рассчитываются продолжительность лавиноопасного периода и число лавиноопасных ситуаций – выдается заключение о лавинной активности территории в будущем.

Повышению качества прогноза может способствовать внедрение ГИС-технологий, уже активно используемых в расчетах динамических характеристик лавин и при оценке лавинной опасности рельефа. Функциональные возможности современных ГИС позволяют непрерывно накапливать данные, производить различные расчеты, осуществлять

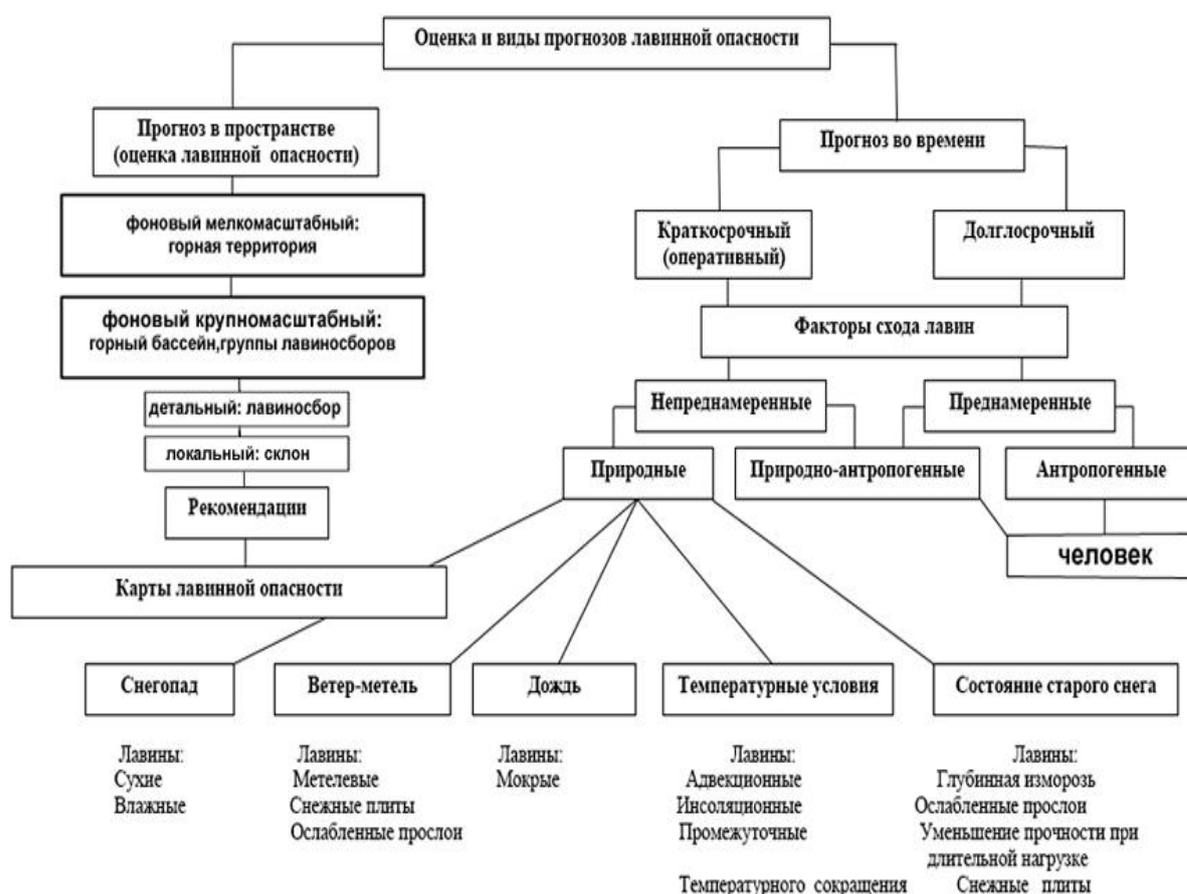
пространственную привязку их результатов. Важнейшей прикладной задачей разрабатываемых ГИС является прогноз времени схода лавин [19, с. 169].

Большую роль в предупреждении лавинной опасности и прогноза играют снеголавинные службы, в программу которых входит как комплекс проводимых наблюдений, так и практическое применение активных воздействий на предупреждение лавинной опасности.

Для решения поставленных задач противолавинными отрядами проводятся регулярные метеорологические и снеголавинные наблюдения, являющиеся необходимым условием успешного проведения прогноза снежных лавин (ПСЛ). Снеголавинное обеспечение работ по ПСЛ подразумевает проведение следующих наблюдений: наблюдение за снегопадами, регистрация толщины снежного покрова в снегосборах по дистанционным снегомерным рейкам, стратиграфические исследования снежной толщи на склонах различных экспозиций с целью выявления потенциально лавиноопасных слоев и определения их физико-механических характеристик, регистрация спонтанных и искусственно вызванных лавин и т.д.

Результаты проводимых наблюдений с учетом специализированного прогноза погоды используются при составлении специализированного лавинного прогноза, который является основанием для проведения активного воздействия с целью предупредительного спуска снежных лавин. Искусственное обрушение снежных лавин осуществляется путем обстрела зон зарождения лавин. Успешное проведение работ по искусственному обрушению лавин возможно только на основе правильного определения периодов проведения активных воздействий (обстрелов) и выявления зон, в которые необходимо воздействовать. Причем определение времени воздействия, а также выбор зон обстрела лавиноопасного склона должны осуществляться таким образом, чтобы искусственное обрушение лавин носило регулируемый характер. В противном случае воздействие может вызвать обрушение лавин нежелательных размеров, что неизбежно повлечет за собой негативные последствия.

При возникновении прогноза о лавинной опасности необходимо не допускать присутствия людей во всех лавиноопасных местах. Применяются различные способы профилактического обрушения потенциально неустойчивых снежных масс на склонах. Чтобы не ждать момента, когда естественные процессы снегонакопления и перекристаллизации снега приведут к сходу лавины, она вызывается искусственным образом в заранее намеченное время. Искусственное воздействие на снежный покров применяется также для уточнения оценок степени лавинной опасности и получения дополнительных сведений о состоянии снежного покрова для выдачи лавинных прогнозов.



**Рис. 3.1. Оценка и виды прогнозов лавинной опасности<sup>3</sup>**

Лавинный прогноз предполагает заблаговременное определение некоторого временного интервала, в течение которого снегонакопление и процессы метаморфизма могут привести к нарушению устойчивости снежного

<sup>3</sup> Рисунок составлен по данным, полученным в процессе исследования

покрова и образованию лавин. Он тесно связан с прогнозом метеорологических условий, так как вид, интенсивность выпадения, количество атмосферных осадков, метелевый снегоперенос, температура и влажность воздуха и другие характеристики метеорологических условий непосредственно влияют на состояние и устойчивость снежного покрова.

Фоновый прогноз заключается в оценке лавинной опасности в рассматриваемом горном районе и выдается в виде «лавиноопасно» или «нелавиноопасно». Заблаговременность прогнозов лавин ограничивается отсутствием количественных методов длительного прогноза интенсивности осадков, интенсивности и продолжительности оттепели и других, метеорологических показателей в горах. Обычно она измеряется часами, а зачастую прогноз выдается с «нулевой» заблаговременностью, т. е. дается лишь текущая оценка лавинной опасности (рис. 3.1).

Методы прогноза лавин разрабатывались еще в СССР, начиная с 30-х годов, сначала в Хибинах, затем на Кавказе, где они нашли широкое практическое применение. В послевоенные годы существенные успехи в прогнозировании лавинной опасности достигнуты также в горах Средней Азии, Казахстана и Южного Сахалина [4, с. 38].

Наиболее разработан фоновый прогноз лавин, вызываемых снегопадами и метелями. Достигнуты также определенные успехи в разработке фоновых прогнозов лавин из мокрого снега, основанных главным образом на анализе снегометеорологической обстановки и установленных статистических зависимостей между временем наступления лавинной опасности и изменением факторов, определяющих сход лавин. При этом используется вся доступная информация о строении, плотности и температурном режиме снежного покрова и локальные характеристики его устойчивости.

Методы локальных прогнозов разработаны еще слабо, что обусловлено отсутствием методики и аппаратуры для получения надежной информации о состоянии и свойствах снежного покрова в зонах зарождения лавин, а точность существующих способов определения прочностных характеристик и

показателей устойчивости снежного покрова мала.

Проблемой прогноза снежных лавин состоит из двух основных частей:

1) выявление территорий, подверженных лавинному воздействию, т.е. прогноза в пространстве;

2) предсказание времени наступления и окончания лавинной опасности, т.е. прогноза во времени.

Задачи предсказания лавинных мест можно считать в основном решенным. Ответы здесь имеют достаточную точность, хотя некоторые вопросы, еще исследуются.

Предсказание времени схода лавин сталкивается с рядом принципиальных затруднений, вызванных отсутствием необходимой информации, многофакторностью процесса и его вероятностным характером. Поэтому пока для значительных территорий реализуется лавинный прогноз только фонового типа в период выпадения осадков, метелевого переноса или при оттепелях.

Развитие промышленности, горнолыжных курортов и транспортных магистралей в горной местности требует одновременного повышения точности прогнозов лавин во времени и пространстве, их методического обобщения. Поэтому актуальна задача развития методов оперативного прогнозирования - предсказания времени схода лавин из определенных лавиносборов или групп однородных лавиносборов с заблаговременностью от нескольких минут до нескольких часов. Точность прогнозирования целесообразно оценивать в абсолютных отрезках времени и в единицах его заблаговременности. Желательно, чтобы максимальная ошибка не превышала интервала времени прогнозирования. Надо стремиться к тому, чтобы точность оперативного прогноза лавин изменялась в пределах 0,1-1,0 заблаговременности.

Для решения поставленной задачи выделим три основных типа лавин: 1) из свежеснежавшего и метелевого снега, 2) из свежих досок, 3) из мокрого снега. Время их схода определяется многими параметрами (метеорологическими факторами, физико-механическими свойствами снежного пласта, элементами

геоморфологии склона). Из-за этого, за редким исключением, отсутствуют простые связи между каким-либо одним из указанных параметров и времени схода.

Возникновение лавинной опасности при снегопадах и метелевом переносе связывают с рядом основных факторов: 1) высотой слоя старого снега, 2) состоянием подстилающей поверхности, 3) высотой слоя свежеснегавшего снега (критическое значение 30см), 4) видом снега, 5) плотностью снега, 6) скоростью отложения снега, выражается в сантиметрах в час (критическое значение 2,5 см/ч), 7) количеством и скоростью приращения массы снега в миллиметрах слоя воды за час (критическое значение 25мм и 1,5 мм/ч), 8) оседанием снега (критическое значение 15-20%), 9) ветром, 10) температурой воздуха.

Некоторые из перечисленных параметров являются производными других, их можно исключить. Формирование лавин, кроме того, связывается с малоизученными факторами релаксации и концентрации напряжения, накоплением дефектов структуры, ползучести снега и т.д. В 10 основных лавинообразующих факторов включены в первую очередь метеорологические процессы и только один процесс в самом снегу - оседание, а также только одно свойства снега - плотность.

Остальные процессы в снегу и его свойства отнесены к малоизученным факторам. Разработаны расчетные схемы для оценки времени схода лавин, при реализации которых необходимо знать интенсивность поступления воды, коэффициент фильтрации снега, силы сцепления снега в опасном горизонте и другие измеряемые параметры, поэтому упомянутые способы не могут использоваться для прогнозирования.

Несмотря на сложности, с которыми сталкиваются исследователи при использовании расчетных методов прогноза из свежеснегавшего, метелевого и мокрого снега, очевидно, что лавины последнего типа хорошо коррелируется с метеорологическими условиями, определяющими скорости приращения масс снега в лавинных очагах и увеличение влажности снега. Повышение точности

прогноза в данном случае связано с поиском более информативных и легких регистрируемых факторов, тесно связанных с упомянутыми главными причинами потери устойчивости снега.

Совершенствование физической модели условий равновесия снега на склонах гор приводит к необходимости строгих измерений свойств снега, которые в реальных условиях лавинных очагов провести невозможно. Кроме того, физические свойства снега в каждом лавинном очаге имеют значительную дисперсию, а для прогноза лавин необходимо знать эти свойства для наиболее неустойчивых локальных и обычно недоступных зон.

Наибольшие трудности возникают при прогнозе лавин из снежных досок. Фактически эта задача до сих пор не решена, хотя для ее решения разработаны несколько подходов. Основной причиной возникновения лавин из снежной доски являются ослабленные сублимационной перекристаллизацией подстилающие слои, сцепления. Неустойчивость пласта формируется в течение длительного времени и этот процесс развития снежной толщи плохо коррелируется с текущими метеорологическими условиями.

Для оценки лавинной опасности предлагается систематическое изучение стратиграфических разрезов, физико-механических свойств снега, метеорологических элементов в течение всей зимы. Предложены формулы для вычисления времени формирования горизонта глубинной изморози, критической высоты снежного покрова. В формулах широко используется пределы прочности снега на сдвиг, отрыв и сжатия, получаемые при испытании образцов при шурфовании. Но указанные данные не могут быть использованы для расчетов устойчивости снежных склонов, так как не отражают свойств пласта и не являются стабильными характеристиками прочности материала.

Константой прочности материала является критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_c$ , включающие в себя разрушающие напряжения  $\sigma^*$  и размеры максимальных трещин  $l_m$ .

В частности для трещин нормального отрыва, представляющий интерес для прогноза лавин из снежных досок, коэффициент  $K_{IC}$  с точностью до

множителя  $K$ -тарировки записывается в виде

$$K_{IC} = \sigma^* \sqrt{2\pi l_m / \alpha} \quad (4)$$

где,  $\alpha$  - относительная конкретная поверхность.

Большим размерам трещин  $l_m$  соответствует меньшее значение  $\sigma^*$  и наоборот. Разрывные напряжения, измеренные на образцах, гораздо больше значений  $\sigma^*$ , регистрируемых при отрыве пласта, так как в плоскости отрыва лавины формируются трещины многомерной длины. Величину  $l_m$  измерить нельзя, поэтому и физическая модель хрупкого разрушения не подходит для практического прогнозирования. Без данных о значениях  $l_m$  не определить, как коэффициент интенсивности напряжения  $K_I$  приблизится к своему критическому значению  $K_{IC}$ .

Работники лавинных служб иногда определяют степень лавинной опасности пробными проездами на лыжах или сноуборде. Опытный лавинщик может обладать высокой чувствительностью к вибрациям, потрескиваниям и другим признакам неустойчивости пласта. Эти признаки фиксируются и анализируются чаще всего на подсознательном уровне, и делается вывод о наличии или отсутствии лавинной опасности. Но возможная нагрузка на пласт и чувствительность при таких испытаниях, очевидно, ограничены и лавиноопасный слой не всегда можно определить.

Для прогнозирования лавин в красной поляне используется, Руководящий документ «Инструкция прогнозирования лавинной опасности» (РД 52.37.612-2000). Данная инструкция применяется для прогноза лавинной опасности, возникающей из-за снегопадов и метелей, а также для прогноза лавин, вызываемых перекристаллизацией снега, и лавин из мокрого снега. Для более точного прогнозирования желательно получить исходные данные непосредственно из зоны зарождения лавин. Но, если эта информация не доступна, то используется результаты измерений на метеоплощадке, расположенной достаточно близко к лавиносбору.

Методика прогнозирования лавинной опасности разработана по результатам математического моделирования процессов в снеге и, таким образом, не связана с каким-либо районом. Она применяется независимо от наличия или отсутствия данных о сходе лавин в том или ином лавинном очаге или горном районе.

Расчеты по этой инструкции завышают лавинную опасность, так как подобное явления приводят к значительным материальным ущербам и человеческим жертвам. Расчетное число непредсказанных лавин составляет одну из тысячи. Прогнозирование лавинной опасности лучше выполнять с помощью компьютера, но расчет осуществим и с использованием калькулятора.

### **3.2 Виды и методы борьбы с лавинной угрозой**

Главная цель противолавинной защиты на горнолыжных комплексах Красной Поляны заключатся в том, чтобы исключить гибель людей и свести к минимуму ущерб спортивным объектам, канатным дорогам и остальной инфраструктуры курортов. Для достижения максимальных результатов, нужно проводить ряд мероприятий.

К.Ф Войтковский предложил выделить группы противолавинных мероприятий (ПМ):

- организационно-хозяйственные (ПМ);
- искусственное обрушение снега на лавиноопасных склонах;
- строительство сооружений для искусственного удержания снега на склонах;
- строительство сооружений для регулирования отложений метелевого снега;
- строительство инженерных сооружений, изменяющих направление, уменьшающих скорость движения и дальность выброса лавин, также пропускающих лавины над или под защищаемым объектом.

Противолавинные мероприятия подразделяются также на: профилактические, лавинопредотвращающие и лавинозащитные.

Противолавинные сооружения не обходимо располагать на пути движения снежной массы для остановки, торможения или отведения ее от защищаемого объекта, такими сооружениями являются: снегоотводящие дамбы, лавинорезы (рис. 3.2) и тормозящие клинья.



**Рис. 3.2. Лавинорез<sup>4</sup>**

Снегоотводящие дамбы располагают под углом к лавине. Угол между отбойной дамбой и направлением лавинного потока следует задавать в пределах  $20^\circ$  и в исключительных случаях до  $30^\circ$ , так как при увеличении этого угла лавинный поток будет отклоняться не столько в сторону, сколько вверх, «перепрыгивая» через дамбу.

Реальный угол отклонения лавинного потока при встрече со снегоотводящей дамбой составляет  $10-20^\circ$  (рис. 3.3).

---

<sup>4</sup> Рисунок получен в процессе исследования



**Рис. 3.3. Снегоотводящая дамба<sup>5</sup>**

Так же широко используют противолавинные конструкции установленные непосредственно на лавиноопасных склонах, снегосборных лотков. В этих местах происходит предполагаемый отрыв снежных масс провоцирующий сход лавин. На склонах с уклоном в  $25^{\circ}$ - $60^{\circ}$  устанавливаются такие конструкции, как металлические щиты и сетки, которые поддерживают равновесие снежного покрова (рис. 3.4).



**Рис. 3.4. Снегоудерживающие сетки<sup>6</sup>**

---

<sup>5</sup> Рисунок получен в процессе исследования

<sup>6</sup> То же

В Краснополянском районе помимо горнолыжных курортов и гостиничных комплексов защита требуется железнодорожным путям и автомагистрали, там также установлены снегоудерживающие сетки или щиты.

При правильной расстановке, с учетом физико-географических условий района и ландшафтной дифференциации склона, сетки надежно удерживают снежные пласты и хорошо сопротивляются динамическим нагрузкам при возникновении трещин в снежной толще и подвижек снежного пласта. Они также затормаживают или полностью предотвращают сползание рыхлого сухого или мокрого снега [15, с. 113].



**Рис. 3.5. Снеговыводяющие щиты<sup>7</sup>**

Хребет Аибга с относительно пологим южным наветренным склоном и крутым подветренным, который в верхней части переходит практически в отвесный обрыв. Здесь в лавинообразовании большую роль играет метелевый перенос снежных масс. Над скалистыми обрывами образуются большие карнизы, обрушение которых провоцирует сход снежных лавины. Для уменьшения наростов таких карнизов на хребте устанавливают снеговыдувающие, которые уменьшают объемы переносимых снежных масс на подветренный склон, чем уменьшают его накопление в лавинных лотках и

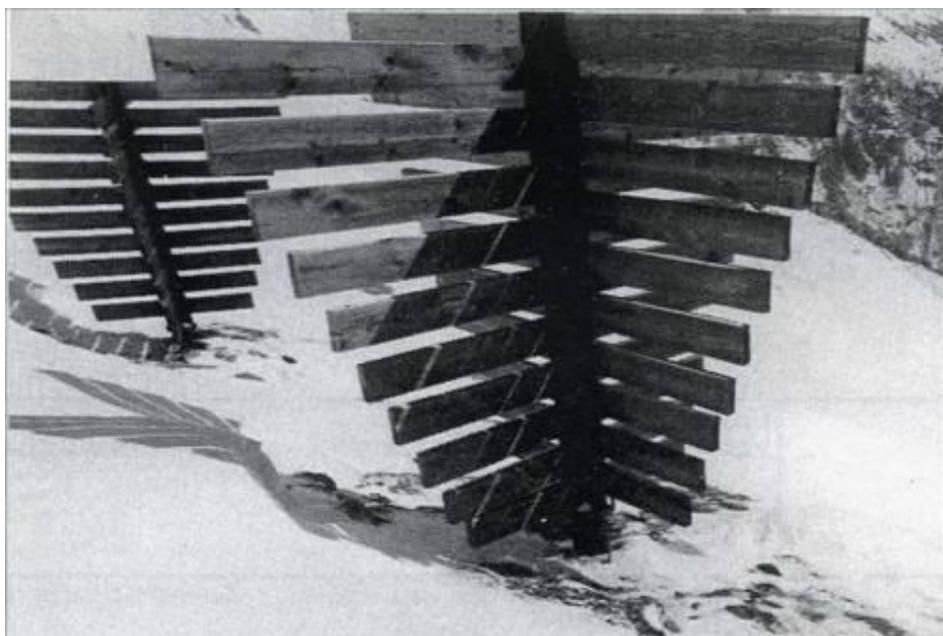
---

<sup>7</sup> Рисунок получен в процессе исследования

возникновения карнизов (рис. 3.5).

Помимо снеговывдувающих щитов устанавливают снегозадерживающие заборы на наветренном склоне. При грамотном расположении таких конструкция можно достичь отличных результатов по ограничению ветрового переноса снега (до 70% ) с наветренного на подветренные участки склона.

Так же хорошо себя зарекомендовали кольктафелей, они воздействуют на ветровые потоки таким образом, что в снежном покрове у их оснований образуются ямы выдувания (рис. 3.6). Главном отличием кольктафелей от снеговывдувающих щитов является работа при любом направлении ветра.



**Рис. 3.6. Кольктафель<sup>8</sup>**

Для повышения защиты канатных дорог, у основания опор устанавливают лавинарезы. Строят лавинарезы из бетона и железобетона в виде сплошных массивов.

Одни из наиболее эффективных мероприятий при защите людей и строений является проведение активных воздействий по предупредительному спуску лавин. Так как Краснополянский горный кластер относится к району высокой лавинной активности, то на горнолыжных трассах лавинная опасность регулярно контролируется лавинщиками, опытными лыжниками, умеющими

---

<sup>8</sup> Рисунок получен в процессе исследования

проводить испытания устойчивости снежного покрова и при необходимости искусственное обрушение снега со склонов.



**Рис. 3.7. Подрыв снежного карниза в цирке Роза-хутор<sup>9</sup>**

Часто обрушение снежного карниза, провоцирует сход лавины. Для этого, над лавинном ледком образовавшиеся снежный карниз обрушат искусственно. Закладывают серию зарядов, по предполагаемой линии отрыва и подрывают. Такие активные воздействия зарекомендовали себя как очень эффективные, в местах где невозможно использования каких либо конструкций (рис. 3.7).



**Рис. 3.8. Подрезка и обрушение карнизов<sup>10</sup>**

---

<sup>9</sup> Рисунок получен в процессе исследования

<sup>10</sup> То же

Одним из старых и рискованных методов обрушения карнизов является их подрезка с помощью троса (рис. 3.8).

На ГЛК Красной Поляны активно применяют воздействие на лавиноопасные склоны с помощью газовых пушек системы «GAZ.EX» (рис. 3.9).



**Рис. 3.9. Газовая пушка системы «GAZ.EX»<sup>11</sup>**

Из вышеизложенного следует необходимость развития наблюдательной сети противолавинной службы, оснащения ее инструментально-методическими средствами дистанционного определения параметров снежной толщи в ЛО и проведение исследования на лавнообразующих склонах для определения рациональных методов инженерной защиты от лавин.

При анализе снеголавинного режима было отмечено, что в районе прохождения дороги Адлер – Красная Поляна, а также в районе построенных Олимпийских объектов и прохождения горнолыжных трасс встречаются лавины различного генезиса, но порядка 50% процентов приходится на лавины мокрого снега и водоснежные сели. На лавины свежесвыпавшего снега

---

<sup>11</sup> Рисунок получен в процессе исследования

приходиться порядка 20 % и около 10 % на лавины, образующиеся при обрушении карнизов. Остальное соотношение приходится на сухие и лавины другого генезиса.

Хребет Аибга плотно застроен горнолыжными объектами и применения артиллерийско-минометных систем в режиме on-line крайне опасны. Небольшая ошибка при наведении или погодные условия (плотная облачность, ветер) могут привести к разрушению элементов горнолыжных комплексов.



**Рис. 3.10. Последствия лавины 25.02.2001 г. Обломки домика спасателей МЧС (КСП-2) на приводной станции 3-ей очереди ККД ГЛК «Альпика-Сервис»<sup>12</sup>**

Своевременный обстрел ЛО из GAZ.EK на хр. Аибга и искусственное обрушение снежных карнизов обеспечивают безопасность. Увеличение количества пушек системы GAZ.EK и грамотная расстановка их в очагах лавиносборов поможет избежать катастрофических сходов лавин.

24.02.2001 г. Сулимовский цирк. Массовый сход лавин «от линии», транзит около 3 км., ниже третьей обводной станции ККД. Зарождение лавин от хр. Аибга и от гребней оконтуривающих цирк. Объем лавин до 0,5 млн. м<sup>3</sup>. Лавина сухая. Причина – большой объем свежеснежавшего снега.

25.02.2001 г. Шумихинский цирк. 17<sup>30</sup>-17<sup>45</sup>. Сход катастрофической лавины «от линии». Начало – движения – от хр. Аибга и контурных хребтов

---

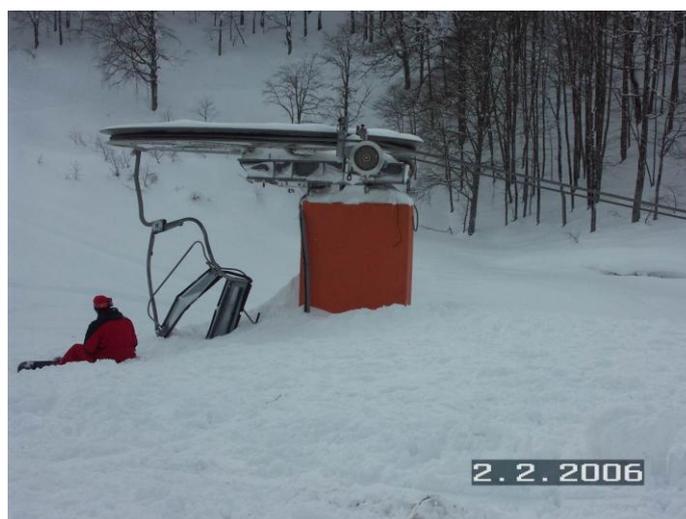
<sup>12</sup> Рисунок получен в процессе исследования

Шумихинского цирка. Транзит 3,25 км. Уничтожено кафе на 3-ей обводной станции. Оторвана технологическая лестница на 4-ой опоре 3-ей очереди ККД. Разрушен домик спасателей МЧС, туалеты, сильно повреждена ТП на 3-ей приводной станции.

Повалено множество крупных буковых деревьев. Ориентировочный объем лавины 400-600 тыс. м<sup>3</sup>. Лавина сухая. Причина – высокая интенсивность снегонакопления (2,13 см/час) в течение трех календарных дней на неустойчивую рыхлую снежную толщу.



**Рис. 3.11. Последствия лавины 25.02.2001 г. ТП на приводной станции 3-ей очереди ККД<sup>13</sup>**



**Рис. 3.12. Последствия лавины 02.02.2006 г. Обводная станция 6-ой очереди ККД (Родниковая)<sup>14</sup>**

---

<sup>13</sup> Рисунок получен в процессе исследования

<sup>14</sup> То же

Интенсивность выпадения жидких осадков (по осадкомерному ведру) с 6<sup>00</sup> до 18<sup>00</sup> 23-го февраля составила 2,94 мм/час, что в 1,18 раз больше критической, равной 2,5 мм/час (рис. 3.10 – 3.11).

02.02.2006г. и 12.02.2006г. сошли две катастрофические лавины полностью уничтожившие обводную станцию 6-ой очереди ККД (Родниковой) (рис. 3.12 – 3.114).



**Рис. 3.13. Последствия лавины 02.02.2006 г. 14-я опора 6-ой очереди ККД (Родниковая)<sup>15</sup>**



**Рис. 3.14. Окончательное разрушение обводной станции 6-ой очереди ККД (Родниковой) лавиной от 12.02.2006 г.<sup>16</sup>**

<sup>15</sup> Рисунок получен в процессе исследования

<sup>16</sup> То же

## Заключение

В результате выполненной дипломной работы сделаны следующие основные **выводы**:

1. В годовом ходе осадки в районе Красной Поляны распределяются довольно неравномерно, так на Ачишхо в июле 161 мм, а в декабре 406 мм. Максимум осадков здесь выпадает за холодный период времени.

Средняя многолетняя сумма осадков на метеостанции Ачишхо отличается от суммы в поселке (метеостанция Ачишхо (1880м.н.у.м.) 3240.1мм, поселок Красная Поляна(500м.н.у.м.) 2010.7мм). Отмечаются отличия распределения осадков не только в разный период года но и по высотам;

2. При анализе снеголавинного режима было отмечено, что в районе Красная Поляна встречаются лавины различного генезиса: 50% процентов приходится на лавины мокрого снега, порядка 20 % на лавины из свежавыпавшего снега и около 10 % на лавины, образующиеся при обрушении карнизов. Остальное соотношение приходится на сухие и лавины другого генезиса;

3. В истории горнолыжных курортов поселка Красная Поляна есть случаи схода катастрофических лавин с разрушениями и к сожалению человеческими жертвами;

4. Для прогнозирования лавин в районе Красной Поляне используется, Руководящий документ «Инструкция прогнозирования лавинной опасности» (РД 52.37.612-2000).

Методика прогнозирования разработана по результатам математического моделирования процессов в снеге. Расчетное число непредсказанных лавин составляет одну из тысячи.

Прогнозирование лавинной опасности лучше выполнять с помощью компьютера, но расчет осуществим и с использованием калькулятора;

5. Основными методами борьбы с лавинами в Красной Поляне является:

- газовые пушки системы «GAZ.EX»;

- подрыв и подрезка снежных карнизов;
- отбойные дамбы для изменения направления движения лавины;
- снегоудерживающие сетки и щиты.

## Список использованной литературы

1. Аккуратов В.Н. Генетическая классификация лавин // Тр. Эльбрусской экспедиции. - 1959. - т.I (4). – С. 206 - 226.
2. 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., 1956. - С.167-183.
3. Болов В.Р. Формирование, прогноз и искусственное обрушение лавин, обусловленных снегопадами, метелями и сублимационной перекристаллизацией снега. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. геогр. наук. Нальчик, 1981. – 28 с.
4. Благовещенский В. П., Миронова Е.М., Эглит М.Э. Расчеты параметров лавин в малоизученных горных районах // Ст. в сб.: Материалы гляциологических исследований. - 1995. - № 79. - С. 36 – 40.
5. Божинского А.Н., Мягкова С.М. Проблемы эффективности защиты от лавин. – М.: ВИНТИ, 1991. – 133 с.
6. Голубев В.Н., Петрушина М.Н., Фролов Д.М. Закономерности формирования стратиграфии снежного покрова. // Лед снег. - 2010. - №1(109). – С. 58 – 72.
7. Гришин И.С. Связь метелевого переноса с продолжительностью метелей. //МГИ. - 1973. - Вып. 21. – С. 96 – 101.
8. Гляциологический словарь./ под ред. Котлякова В. М. - Л.: ГИМИЗ, 1984. – 528 с.
9. Гидрологический ежегодник. Том 3. Вып.0-1, 2, 4, 1936-1977 г. – Бассейны рек Западного Кавказа. – Тбилиси, 1979. – 211 с.
10. Диссертация Корнилова Ю.В. Исследование территориального распределения лавин в районе Красной Поляны. – Нальчик, 2011. – 223 с.
11. Дюнин А.К. Гербер А.Р., Фомин А.Г. Состояние исследований по инженерной защите от лавин // Тр. 2-го всесоюзного совещания по

- лавинам. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – С. 283 - 294.
- 12.Долов М.А. Халкечев В.А. Физика снега и динамика снежных лавин // Тр. ВГИ., Вып. 23. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 326 с.
- 13.Долов М.А., Халкечев В.А. Физика снега и динамика снежных лавин. - Л.: ГИМИЗ, 1972. – 327 с.
- 14.Залиханов М.Ч. Интенсивность, дружность и температурный коэффициент снеготаяния на Большом Кавказе // Тр. ВГИ. – 1974. - Вып. 27. – С. 111-120.
- 15.Залиханов М.Ч. Снежно-лавиновый режим и перспективы освоения гор Большого Кавказа. – Ростов на Дону: Изд. РГУ, 1981. – 374 с.
- 16.Заруднев В.М., Салпагаров А.Д., Хома И.И. Лавино-селевая опасность бассейнов рек Теберда, Большой Зелнчук, Мзымта и защита от снежных лавин селей горнолыжных комплексов Домбай, Архыз, Красная Поляна. – Кисловодск: Северокавказское изд. МИЛ, 2007. – 192 с.
- 17.Исаев А.А. Опыт детализации специализированных прогнозов лавинной опасности для перевала Камчик. //Тр. САНИГМИ. – 1998. - вып. 157 (238). – С. 14-19.
- 18.Корнилов Ю.В. Образование инсоляционных лавин на отрогах северного склона хребта Аибга. Международная научн-практическая конференция «Прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий». – Майкоп: МГТУ, 2011. – 223 с.
- 19.Козик С.М. Расчет движения снежных лавин. – Л.: Гидрометеиздат, 1962. – 74 с.
- 20.Комаров А.А., Альтшулер З.Е. Особенности переноса снега в горных районах // МГИ. - 1975 (1976). - Вып. 26. – С. 172-178.
- 21.Корнилов Ю.В., Аджиев А.Х., Щукин Г.Г. Распределение снежного покрова по высотным зонам в горах района Красная Поляна на главном Кавказском хребте и хребтах Аибга и Ачишхо. // Материалы Международная научная конференция, посвященная 100-летию со дня

- рождения Заслуженного деятеля науки РФ профессора Г.К.Тушинского.-  
Москва, 2010. – С. 152-157.
- 22.Методические указания по снеголавинному обеспечению народного хозяйства. - Ташкент, 1987. – 48 с.
- 23.Тушинский Г.К., Гуськова Е.Ф. Губарева В.Д. Перекристаллизация снега и возникновение лавин. – М.: Изд. МГУ, 1953. – 116 с.
- 24.Хромов С.П. Петросянц М.А. - Метеорология и климатология (Классический университетский учебник). – М.: Из-во Моск. ун-та: Наука, 2006. - 582 с
- 25.Шабельников В.А., Зимин М.И. Оценка лавинной опасности района планируемых горнолыжных трасс на северном склоне хребта Аибга (Западный Кавказ) // Материалы гляциологических исследований. – 2002. - №93. – С. 196 – 200.
- 26.Эльмесов А.М. Механические свойства снега – В книге: Сулаквелидзе Г.К., Эмельсов А.М., Куваева Г.М., Читатзе В.С. Физические свойства снежного покрова Большого Кавказа. - М., 1967. – 194 с.

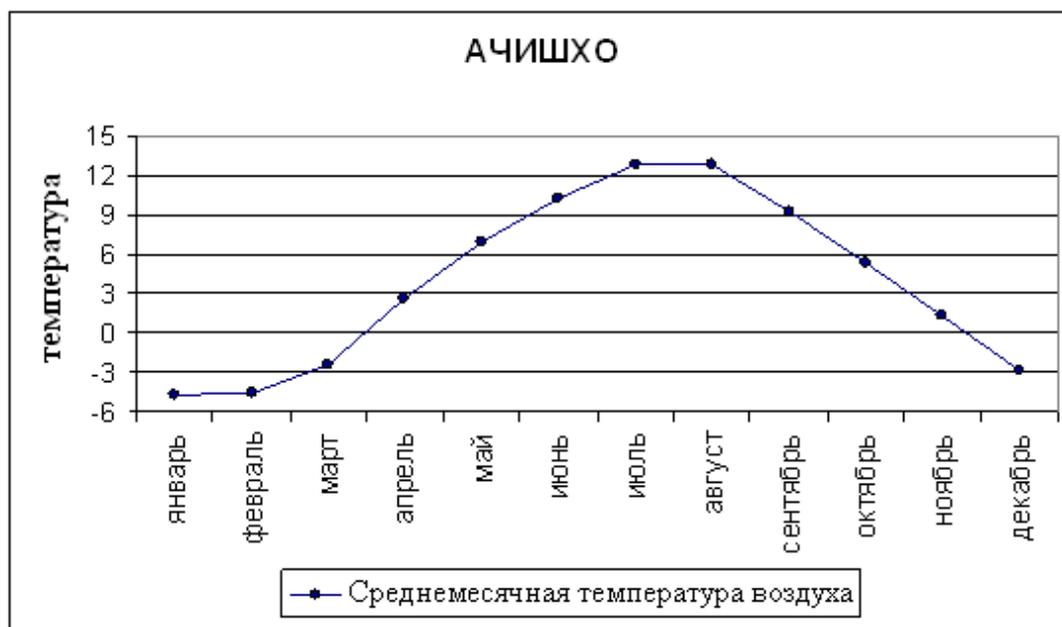
## Приложение 1

### Распределение средней температуры воздуха по высоте в долине р.

#### Мзымта, 0<sup>0</sup>С

Высота, над ур.м., м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
13	5,3	5,9	7,9	11,8	15,9	20,1	23,0	22,9	19,4	14,8	10,5	7,2	13,7
500	0,2	1,1	4,6	9,6	14,4	17,3	19,7	19,8	15,6	11,2	6,6	2,3	10,0
1000	-1,8	-1,3	2,0	7,0	11,6	14,6	17,1	17,3	13,3	9,8	4,6	0,5	7,9
1500	-3,8	-3,7	-0,6	4,4	9,0	11,9	14,5	14,8	11,0	7,8	2,6	-1,3	5,6
2000	-5,8	-6,1	-3,2	1,8	6,3	9,2	11,9	12,3	9,7	5,8	0,6	-3,1	3,3
2500	-7,8	-8,5	-5,8	-0,8	3,6	6,5	9,3	9,8	7,4	3,8	-1,4	-4,9	0,9

Годовой ход температуры воздуха по среднемесячным многолетним данным



Средне многолетние температуры воздуха по данным м/с «Ачишхо»



### Приложение 3

#### Абсолютный максимум температур в долине р. Мзымта, °С

Высота, над ур.м., м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
13	22	24	30	32	34	35	35	38	36	34	29	23	38
560	18	20	29	33	34	35	37	38	37	33	28	21	38
1880	10	12	19	20	23	25	29	28	28	25	16	13	29

#### Абсолютная минимальная температура воздуха в долине р. Мзымта, °С

Высота, над ур.м., м	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
13	-15	-15	-12	-4	2	7	10	9	1	-7	-7	-10	-15
560	-22	-21	-17	-10	-1	4	6	4	-1	-11	-13	-22	-22
1880	-28	-27	-25	-17	-8	-5	1	-0	-8	-16	-19	-23	-28

**Средняя из наибольших декадных высот снежного покрова**

Станция, пункт	Высота над уровнем моря, м	Высота снежного покрова, см
Красная Поляна	566	65
Ачишхо	1880	470
Верховье хр. Аибга	2247	430

**Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом (дни)**

Станция	Средняя	Наибольшая	Наименьшая
Красная Поляна	81	123	37
Ачишхо	219	-	-
Верховье хр. Аибга	219	-	-

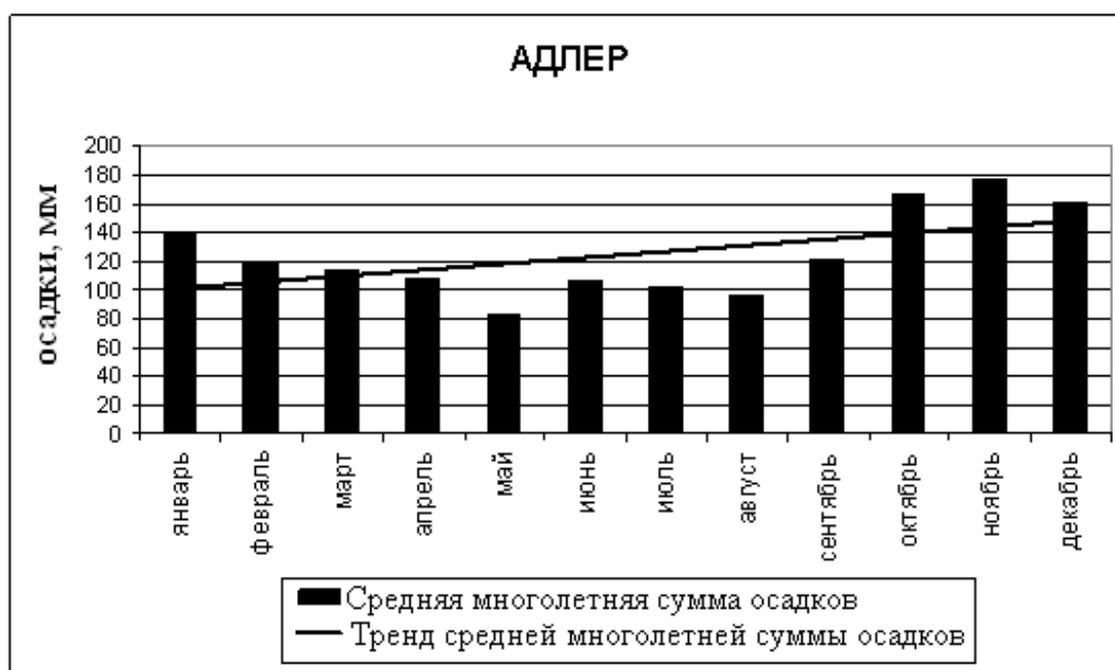
**Суммы осадков в бассейне р. Мзымта по наблюдениям метеостанций и постов**

Пункт наблюдения	Высота, м.н.у.м	Сумма осадков, мм
Адлер	13	1498
Кепш	199	2100
Красная Поляна	566	2024
Пслух, караулка	980	1968
Ачишхо	1880	3237
Перевал Аишха II	1930	2168
Перевал Аишха	2400	2319

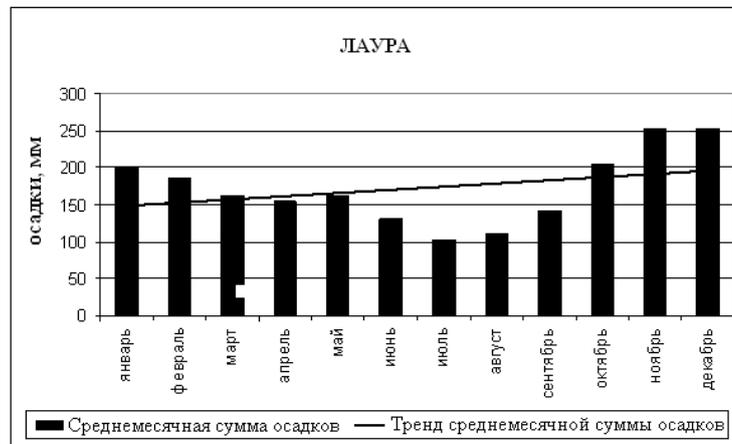
**Среднемесячное и годовое количество атмосферных осадков**

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Красная Поляна, 566 м												
185	168	154	129	119	128	115	108	136	167	180	206	1795
Пслух, караулка, 980 м												
177	159	141	124	115	132	107	136	159	159	177	212	1761
Ачишхо, 1880 м												
390	358	322	212	194	216	161	199	279	344	344	406	3242

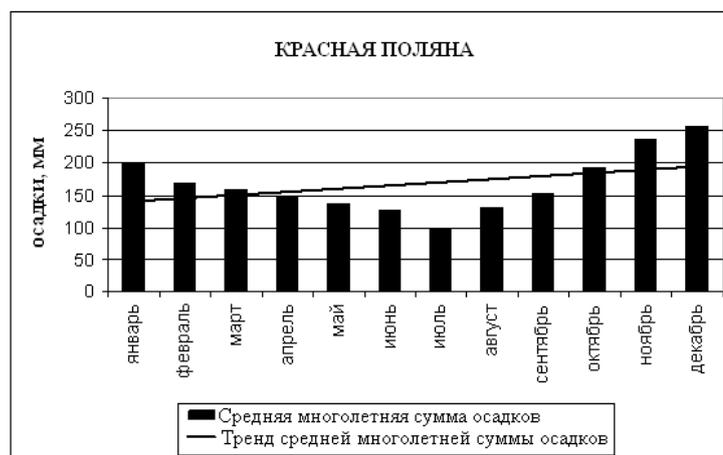
**Распределение осадков за год и линия тренда по данным м/с «Адлер» (13 м над ур. м.)**



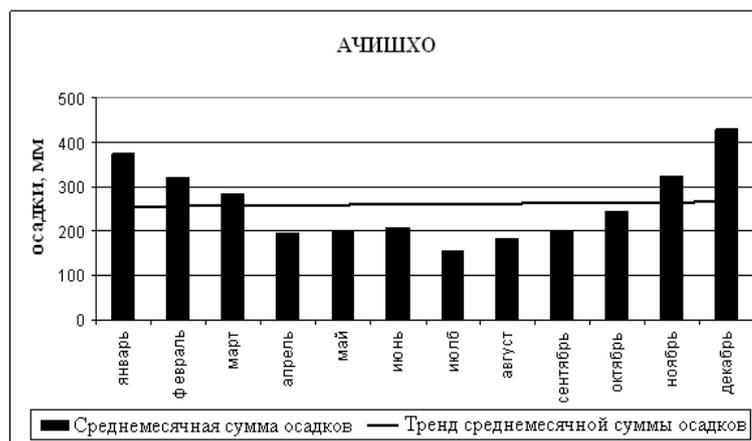
**Распределение осадков за год и линия тренда по данным СФМ «Кордон Лаура» (575 м над ур. м.)**



**Распределение осадков за год и линия тренда по данным м/с «Красная Поляна» (566м над ур. м.)**



**Годовое распределение осадков и тренд по данным метеостанции «Ачишхо» (1885 м над ур. м.)**



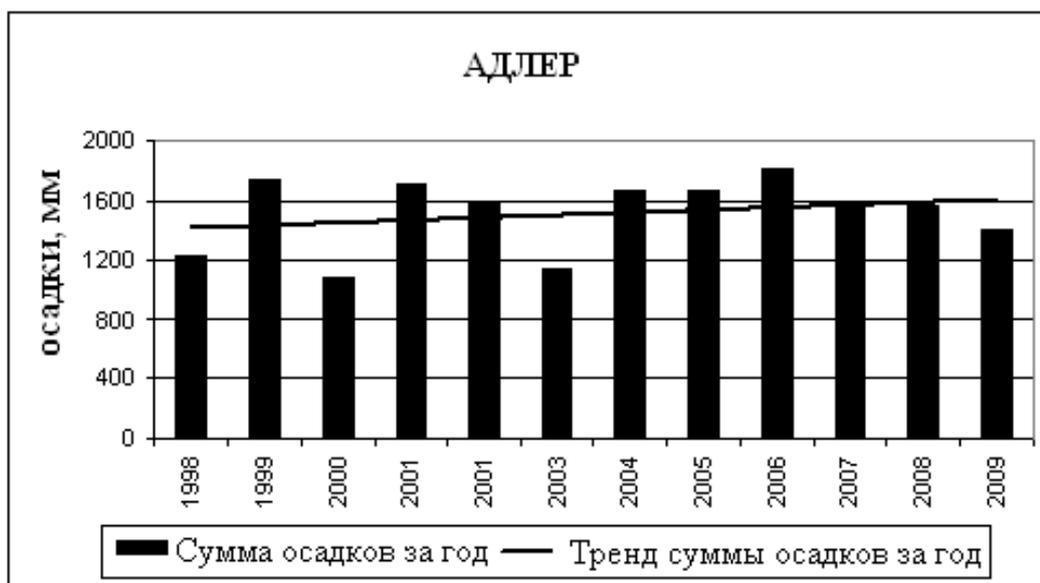
**Средняя многолетняя сумма осадков, мм**

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сумма за год	Сумма за теплый период (IV-X)	Сумма за холодный период (XI-III)
Адлер	139,2	119,7	113,8	107,6	83,4	105,8	102,9	96,1	120,9	167,2	176,8	161,2	1494,5	783,9	710,7
Ачишхо	401,9	298,2	244,1	268,5	201,4	191,8	156,5	194,9	206,3	232,9	371,2	472,5	3240,1	1452,3	1787,8
Красная Поляна	200,3	169,7	158,6	150,0	137,5	127,1	99,3	130,8	152,1	192,5	236,7	256,1	2010,7	989,3	1021,4

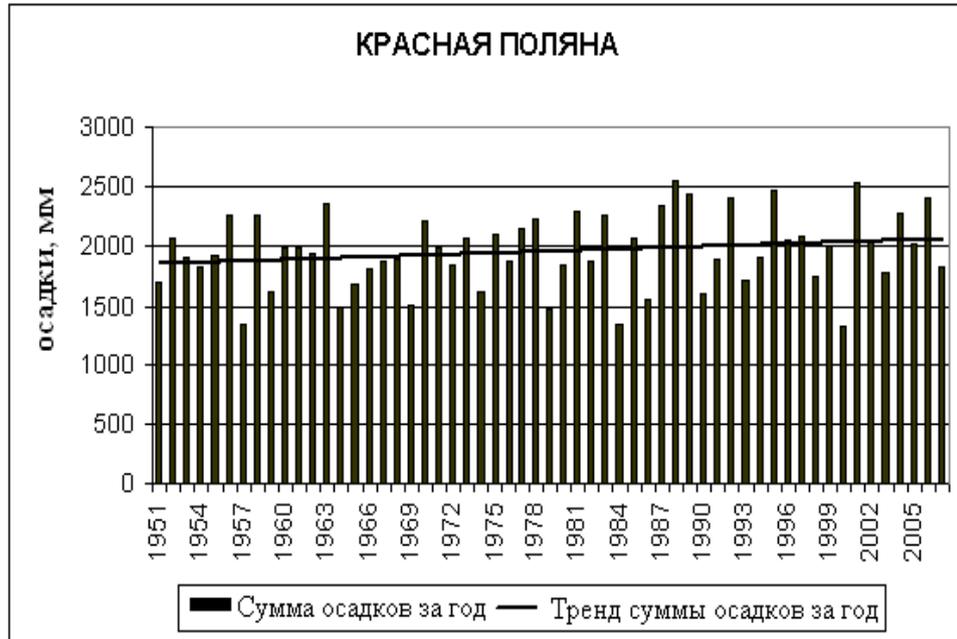
**Абсолютные суточные максимумы осадков за каждый месяц, мм**

М/с	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Максимум	Год наблюдения максимума
Адлер	62,6	58,9	50,3	55,6	58,2	123,5	147,0	104,5	91,1	247,1	71,3	57,0	247,1	1999
Ачишхо	158,2	129,4	93,1	132,8	119,8	190,1	61,5	178,3	120,1	126,6	123,9	171,4	190,1	1985
Красная Поляна	93,8	79,5	66,5	70,6	127,1	108,8	67,2	187,9	93,5	83,0	85,5	93,9	187,9	1977

**График годовых сумм осадков и тренд их изменения  
по данным метеостанции «Адлер» (13 м над ур. м.) за период с 1998  
по 2009 гг.**



**График годовых сумм осадков и тренд их изменения по данным метеостанции «Красная Поляна» (566 м над ур. м.) за период с 1951 по 2005 гг.**



**График годовых сумм осадков и тренд их изменения по данным метеостанции «Адлер» (13 м над ур. м.) за период с 1984 по 2006 гг.**

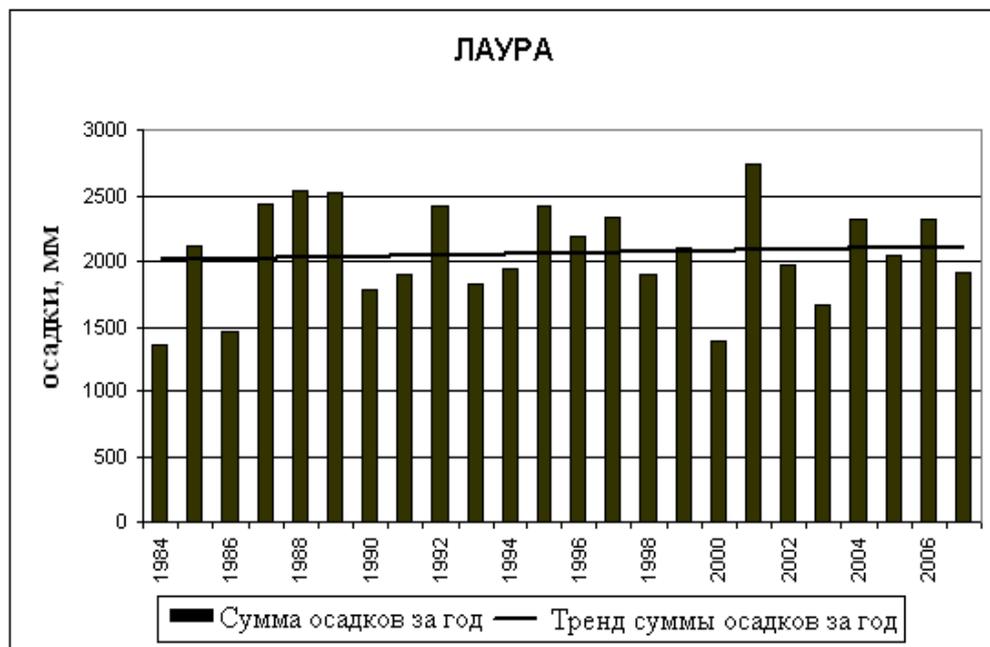


График годовых сумм осадков и тренд их изменения по данным метеостанции «Адлер» (13 м над ур. м.) за период с 1951 по 1987 гг.

