

Лавинные процессы в бассейне реки Мзымты и проблемы противолавинной защиты олимпийских объектов в Красной Поляне

Avalanche processes in the Mzymta River basin and anti-avalanche protection problems of the Olympic objects in Krasnaya Polyana

КАЗАКОВ Н.А.

Заведующий лабораторией лавинных и селевых процессов и директор Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института (СФ ДВГИ) ДВО РАН, к.г.-м.н., г. Южно-Сахалинск, ncn_2001@mail.ru

ГЕНСИОРОВСКИЙ Ю.В.

Научный сотрудник лаборатории лавинных и селевых процессов СФ ДВГИ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, gensiorovskiy@mail.ru

КАЗАКОВА Е.Н.

Младший научный сотрудник и аспирант лаборатории лавинных и селевых процессов СФ ДВГИ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, enk99@mail.ru

KAZAKOV N.A.

The chief of the Laboratory of avalanche and mudflow processes and the director of the Sakhalin Branch of the Far Eastern Geological Institute of the FEB RAS, candidate of science (Geology and Mineralogy), Yuzhno-Sakhalinsk, ncn_2001@mail.ru

GENSIOROVSKY YU.V.

A researcher of the Laboratory of avalanche and mudflow processes of the Sakhalin Branch of the Far Eastern Geological Institute of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, gensiorovskiy@mail.ru

KAZAKOVA E.N.

A junior researcher and postgraduate student of the Laboratory of avalanche and mudflow processes of the Sakhalin Branch of the Far Eastern Geological Institute of the FEB RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, enk99@mail.ru

Ключевые слова: лавина, лавинный процесс.

Аннотация: в статье представлена карта лавиносборов в бассейне реки Мзымты, построенная в результате полевых исследований, проведенных авторами статьи в 2004–2010 годах. Рассмотрены характеристики лавинных процессов и проблемы противолавинной защиты олимпийских объектов горного кластера в Красной Поляне.

Key words: avalanche; avalanche process.

Abstract: the article presents a map of avalanche catchment areas in the Mzymta River basin based on the results of the field research carried out by the authors in 2004–2010. Characteristics of the avalanche processes and anti-avalanche protection problems of the Olympic objects of mountain cluster in Krasnaya Polyana are considered.

Введение

В долине реки Мзымты, где строятся олимпийские объекты горного кластера, активно развиваются лавинные процессы, являющиеся на данной территории постоянно действующим фактором. Сведения об их режиме и характере содержатся в работах [1–7, 9, 14–18, 24, 27–29, 32, 33, 39].

С середины 80-х годов прошлого века наблюдения за лавинными процессами в Красной Поляне проводили подразделения Росгидромета (В.Б. Соколин). До этого во время снегоуборочных, а также при вертолетных обследованиях регистрировались следы схода снежных лавин. Наиболее полный и систематизированный реестр лавиносборов в долине р. Мзымты был составлен В.М. Зарудневым [17].

Систематические наблюдения за динамикой снежного покрова и режимом лавин на рассматриваемой территории были прекращены в конце 1990-х годов.

В последние годы исследования лавинных процессов в долине р. Мзымты проводили специалисты географического факультета МГУ, Высогогорного геофизического института (ВГИ) Росгидромета, ООО «Инжзащита» [1, 6, 7, 14, 16, 17, 32]. Тем не менее ко времени принятия решения о проведении Олимпийских игр 2014 года в г. Сочи (к 2007 году) не было оснований считать, что лавинные процессы здесь хорошо изучены и позволяют обеспечить проектно-изыскательские работы на территории горного кластера олимпийских объектов необходимой и достаточной информацией. Отсутствовали крупномасштабные карты лавинной опасности, схемы планировочных ограничений к генеральному плану горного кластера.

Однако без разработки крупномасштабных карт лавиносборов и выделения зон лавинной опасности на территории олимпийского комплекса в Красной Поляне невозможно составить банки данных об объектах, расположенных в лавиноопасных зонах, считать лавинные риски, разработать и планомерно осуществлять комплексные мероприятия по снижению ущерба от снежных лавин.

Необходимо обратить внимание на то, что авторы многих работ, посвященных лавинным процессам в долине р. Мзымты, сильно занижают значения дальности выброса и повторяемости лавин больших объемов, сходящих с северного макросклона хребта Айбга и в долине реки Бешенка [1, 4, 5, 32].

Наиболее объемные и системные полевые исследования лавинных процессов в бассейне р. Мзымты выполнили лаборатория лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института (СФ ДВГИ) ДВО РАН и АНО НИЦ «Геодинамика» в 2004–2010 годах. Была проведена оценка лавинной опасности и разработаны мероприятия по противолавинной защите ГЛК «Роза Хутор», санно-бобслейного комплекса, верхней медиаледяной (ГЛК «Горная карусель»), комплекса трамплинов и водозабора на р. Бешенка.

На основе этих работ и исследований в бассейнах рек Бешенка, Ачипсе, Мзымта, Пслух, Пслушок, проведенных лабораторией лавинных и селевых процессов СФ ДВГИ в 2004–2007 годах, впервые была выполнена комплексная оценка лавинного режима территории, определены фактические и ожидаемые характеристики лавинных процессов и построена карта лавиносборов в бассейне р. Мзымты (рис. 1). Материалы этих исследований были опубликованы в работах [2, 3, 24, 27–29].

Постановка задачи: общая оценка современного состояния проблемы моделирования лавинных процессов и расчета характеристик лавин

Фундаментальная научная задача — физическое и математическое описание лавины — в настоящее время не имеет удовлетворительного решения. На сегодняшний день нет физических моделей лавинных процессов и движущихся лавин, позволяющих адекватно описать лавину. Существующие математические модели основаны либо на идеальных математических, либо на эмпирических представлениях, сильно упрощающих реальную картину и позволяющих описать лавинный процесс лишь с определенной степенью приближенности, что необходимо учитывать при использовании расчетных характеристик лавин и лавинных процессов при проектно-исследовательских работах.

Следует отметить, что принимаемые при лавинных расчетах значения коэффициентов турбулентного и кинетического трения [13, 34, 35] являются эмпирическими, определяются на основе представлений, сформулированных в гидродинамике и гидрологии, и не вполне соответствуют динамике лавин (особенно лавин сухого перекристаллизованного и смешанного снега).

Таким образом, на сегодняшний день рассчитываемые значения скорости лавин не вполне соответствуют реально наблюдаемому и могут приниматься лишь как оценочные.

Необходимо отметить также, что лавины, как правило, моделируются как некие абстрактные объекты одного класса. Между тем мы имеем все основания выделить как минимум три структурно-реологических типа лавин, серьезно различающихся по своей динамике. Это лавины: мокрого снега; сухого свежеснежного и метелевого снега; перекристаллизованного и смешанного снега [20].

В результате выбор методик расчета характеристик лавинных процессов (в том числе снежных лавин) является сложной задачей, требующей как теоретических представлений о лавинных процессах, так и практического опыта их исследования. Вместе с тем в настоящее время в лавиноведении накоплен большой практический опыт оценки характеристик лавинных процессов и их проявлений, позволяющий с достаточной степенью достоверности описывать поведение лавин и в каждом конкретном случае выбирать такие физические и математические модели, которые позволяют рассчитывать их характеристики с приближением, необходимым и достаточным для практического использования.

Следует также отметить, что выявленные закономерности развития снежного покрова как одного из веду-

щих факторов, влияющих на лавинный процесс [12, 25, 31], общие закономерности развития природных лавинных комплексов [19] и достаточно надежные методы восстановления по геоботаническим признакам сведений о лавинах [10, 11] позволяют на вполне приемлемом уровне достоверности определять их повторяемость и значения их динамических характеристик на основе результатов полевых исследований.

Авторы настоящей статьи считают очень важным донести свою точку зрения о современном состоянии проблем моделирования лавинных процессов и расчета характеристик лавин до изыскателей и проектировщиков, занимающихся решением прикладных вопросов по инженерной защите от лавин, в частности, олимпийских объектов.

Приведенная выше оценка состояния проблемы моделирования лавинных процессов и расчета характеристик лавин была опубликована авторами в работе [20] и в ряде отчетов о научно-исследовательских и изыскательских работах, выполненных ими в 2008–2010 годах по оценке лавинной опасности в Красной Поляне на территориях следующих объектов: ГЛК «Роза Хутор», ГЛК «Горная карусель», «Санно-бобслейный комплекс», «Комплекс трамплинов» и др. Эти отчеты проходили экспертизу в Высочайшем геофизическом институте (ВГИ). Однако текст, приведенный в данной статье выше, который написан на основе работы [20] и указанных отчетов, почти дословно повторяется в работе сотрудников ВГИ А.Х. Аджисва и др. [1] без ссылки на первоисточники. В связи с этим авторы вынуждены отметить недопустимость плагиата в научных публикациях.

Методика исследования

В основу данной работы были положены результаты полевых исследований снежного покрова, лавин, геоморфологических и геоботанических признаков проявлений лавинных процессов в долине р. Мзымты, проводившихся в 2004–2010 годах. По этим данным с учетом результатов анализа материалов исследований прошлых лет, проводившихся другими исследователями [4–6, 14, 15–18, 33, 39], определялись генетические типы, частота формирования, высота и ширина фронта лавин, ширина зон аккумуляции, плотность лавинных потоков, толщина лавинных отложений, структура, текстура, стратиграфия и высота снежной толщи, а также ее физико-механические характеристики в зонах отрыва лавин.

Расчет предельной дальности выброса лавин проводился по графоаналитической методике С.М. Козика [32] и корректировался с учетом результа-

тов полевого определения геоботанических признаков проявлений лавинных процессов и морфологических характеристик лавиноборов.

Считается, что указанная методика приводит к завышению дальности выброса лавин. Однако исследования, проведенные в 2004–2010 годах лабораторией лавинных и селевых процессов СФ ДВГИ на Сахалине, в Забайкалье и на Западном Кавказе, показали, что она на 10–15% занижает дальности выброса катастрофических лавин [2, 3, 28, 29]. И этот результат вполне согласуется с мнением некоторых авторитетных специалистов [35].

Несмотря на то что, подобно всем существующим на сегодняшний день методикам расчета этой характеристики (хотя обычно и в меньшей степени), методика С.М. Козика занижает дальность выброса лавин больших объемов, погрешностями ее результатов для рассматриваемой территории допустимо пренебречь, поскольку дальность выброса лавин редкой повторяемости ограничена характером рельефа долины р. Мзымты: лавины больших объемов, сходящие с северного макросклона хребта Аибга, пересекают долины рек Мзымта и Пслух и останавливаются, упираясь в их правые борта. Однако при возведении в этом районе объектов и сооружений следует учитывать, что скоростные лавины сухого снега, ударившись о противоположный склон, часто разворачиваются почти на 90° и продолжают двигаться вниз по долинам.

Расчеты динамических характеристик лавин, характеристик лавинных процессов и факторов лавинообразования проводились по известным методикам [8, 10–13, 19, 23, 25, 30, 31, 34, 35, 37].

Поскольку значительная часть исследуемой территории покрыта лесом, при оценке степени ее лавинной опасности важен вопрос о возможности формирования лавин на склонах, покрытых густым лесом. Вопреки общепринятому мнению о защитной роли древесной растительности, на крутых склонах отрыв лавин происходит даже в густом лесу. При оценке степени площади поражения территории лавинными процессами вероятность формирования лавин на склонах, покрытых густым лесом, обязательно должна учитываться.

Кроме того, при оценке степени лавинной опасности учитывалась опасность формирования лавин на коротких склонах, имеющих относительную высоту 10–30 м при уклоне более 25° [26].

Поскольку рассматриваемая территория расположена в районе с высокой сейсмичностью, которая может оказывать влияние на динамику лавинных процессов, при оценке лавинного режима рассматривались условия формирования сейсмогенных лавин [19, 21].

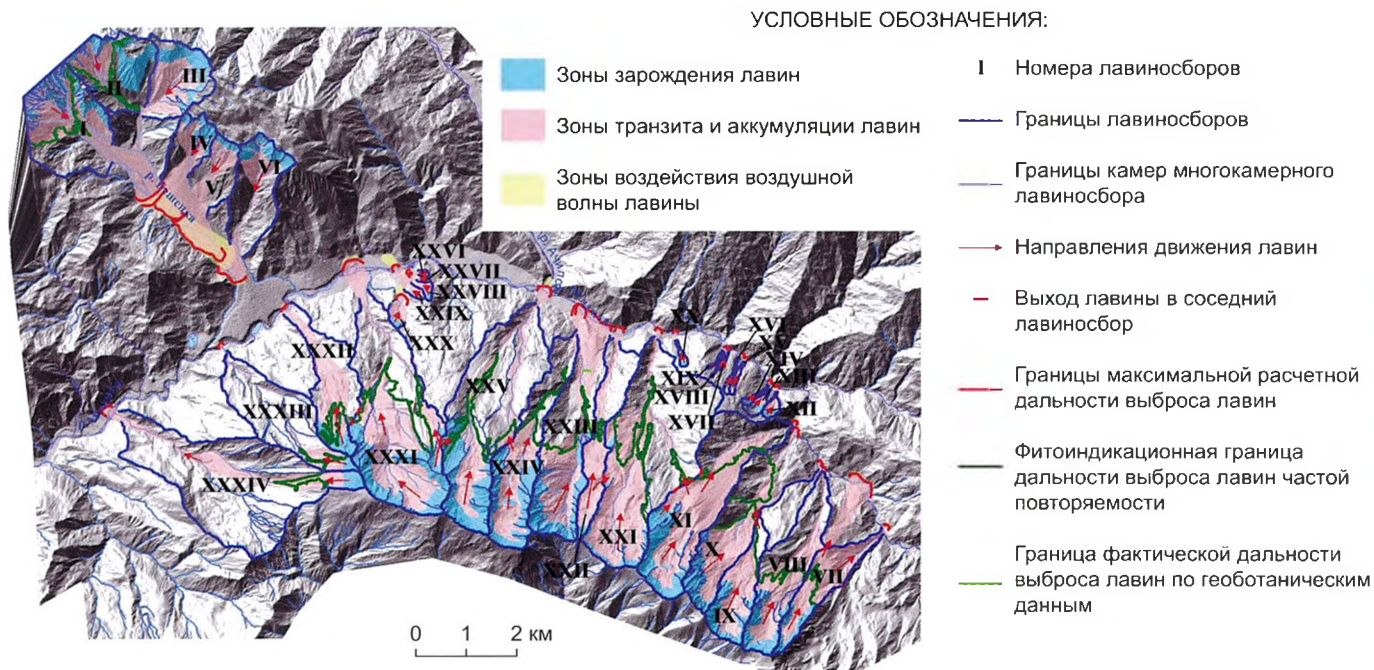


Рис. 1. Карта лавиносборов в бассейне реки Мзымты. Римские цифры — номера лавиносборов

Границы дальности выброса лавин с повторяемостью один раз в 5–7 лет определялись по геоботаническим признакам. Полевые наблюдения позволили уверенно выделить эти границы по всему северному макросклону хребта Аибга (рис. 1).

Факторы лавинных процессов в бассейне реки Мзымты

Основными факторами лавинных процессов в исследуемом районе, обуславливающими большой объем, дальность выброса и частоту формирования лавин, являются:

- большое количество атмосферных осадков;
- большой уклон лавиносбора;
- большая высота снежного покрова;
- сильная перекристаллизация снежного покрова, приводящая к формированию в снежной толще лавиноопасных слоев (особенно на абсолютных отметках 1800–2400 м, где происходит отрыв лавин максимальных объемов) [24, 27].

Геоморфологические факторы

Наряду с геологическим строением территории и ее гидрометеорологиче-

скими характеристиками интенсивность проявления лавинных процессов определяется ее геоморфологическим строением.

В орографическом плане исследуемый район располагается в области со среднегорным и высокогорным рельефом с перепадом абсолютных отметок от 550 м в днище долины р. Мзымты до 2200–2450 м на хребте Аибга. Верхняя часть хребта представлена скалистыми гребнями с карами, карлингами, часто с отвесными склонами. Глубина расчленения рельефа превышает 1900 м.

В геоморфологическом отношении рельеф территории является эрозионно-денудационным. Склоны осложнены оползневыми цирками, мульдами и оползневыми телами, приуроченными к полям развития делювиальных и делювиально-пролювиальных шлейфов. Крутизна склонов превышает 40°.

Рельеф территории создает исключительно благоприятные условия для развития лавинных процессов. Кроме того, мероприятия по его перепланированию при строительстве горноклиматических курортов в 2008–2012 годах привели к увеличению уклонов на гор-

нолыжных трассах, которые повсеместно проложены по зонам транзита лавин. В результате уничтожения террас и увеличения крутизны склонов изменились значения динамических характеристик лавин: в частности, возросли величины скорости и дальности выброса лавин средних и небольших объемов. В результате на территории расположения олимпийских объектов стали лавиноопасными и те участки, которые до начала строительства таковыми не были.

Гидрометеорологические факторы

Наиболее важными среди гидрометеорологических факторов лавинообразования являются режимы осадков и температуры воздуха, определяющие условия седиментации и диагенеза снежной толщ и вовлечения последней в лавинный процесс, и режим снежного покрова.

Для расчета гидрометеорологических характеристик лавинного режима использовались данные об осадках и снежном покрове [38], полученные на гидрометеорологических станциях (ГМС) «Красная Поляна», «Ачишхо», «Кордон Лаура» и на снеголавинной станции (СЛ) «Аибга».

Таблица 1

Среднее годовое количество осадков за холодный период года, мм

ГМС или СЛ	Абс. выс., м	Лавиносбор (см. рис. 1)									
		I	II	III	IV	V	X	XI	XII		
Красная Поляна	565	205	180	169	143	133	183	213	240		
Ачишхо	1800	380	323	296	226	207	278	357	423		
Кордон Лаура	?	179	236	205	134	169	224	234	211		
Аибга	2225	112	134	149	75	106	141	114	100		

Таблица 2

Среднегодовое значение продолжительности залегания снежного покрова (СП)

ГМС	Дата			
	Появления СП	Установления устойчивого СП	Разрушения устойчивого СП	Схода СП
Красная Поляна	29.11	29.12	12.03	01.04
Ачишхо	12.10	02.11	11.06	14.06
Аибга	20.09	05.11	31.05	13.06

Осадки. Важнейшими метеорологическими характеристиками, оказывающими влияние на характер лавинных процессов и определяющими интенсивность их проявления, являются количество и интенсивность выпадения атмосферных осадков. Однако их количество в горах сильно превышает значения, регистрируемые на ГМС.

Поскольку зоны зарождения лавин большого объема в рассматриваемом районе находятся на отметках 1800–2400 м, данные об осадках, выпадающих на изучаемые территории, необходимо принимать по длительным рядам наблюдений на гидрометеорологических станциях, расположенных на высотах более 1600 м. При этом единственная ГМС в районе исследований, расположенная на водоразделе, это ныне уже закрытая станция «Ачишхо» (1800 м).

Среднегодовое годовое количество осадков, выпадающих на ГМС «Ачишхо», составляет 3255 мм, на ГМС «Красная Поляна» — 1974 мм, на ГМС «Кордон Лаура» — 2043 мм (табл. 1).

Наименьшее количество осадков отмечается на СЛ «Аибга» — 1352 мм. Однако ряд наблюдений здесь короткий и сведения о количестве осадков в холодный период года вызывают сомнения в их достоверности, например сомнительны данные о том, что в марте 2008 года на СЛ «Аибга» выпало только 58 мм осадков, а в ноябре того же года — лишь 40 мм (в то время как на ГМС «Кордон Лаура» их было в каждый из этих месяцев по 265 мм, а количество осадков, выпавших за март 2009 года на гребне хребта Аибга над Шумихинским цирком, по результатам снегосъемки 3 апреля 2009 года, составило 71,2 мм). Таким образом, архивные данные об осадках на СЛ «Аибга» нерепрезентативны и не могут использоваться при расчетах характеристик лавинных процессов в районе строительства объектов олимпийского комплекса.

Холодный период года (ноябрь–апрель) отличается активизацией циклонической деятельности, что способствует выпадению в это время до 60% годового количества атмосферных осадков. Сумма осадков за этот период составляет от 1150 мм (ГМС «Красная Поляна») до 2005 мм (ГМС «Ачишхо»).

Метели. Число дней с метелями возрастает с увеличением высоты. Преобладающее направление ветра при метелях на ГМС «Красная Поляна» — юго-западное, на ГМС «Ачишхо» — юго-восточное, на СЛ «Аибга» — южное.

Среднегодовое число дней с метелью колеблется от 0,4 (ГМС «Красная Поляна») до 62 (СЛ «Аибга»). Наибольшее количество таких дней за год отмечено на ГМС «Красная Поляна» — 4 дня. На ГМС «Ачишхо» их число достигает 66.

В зонах зарождения лавин метели приводят к формированию снежных карнизов толщиной до 20 м и более (в среднем 4–8 м), обрушение которых в периоды формирования в снежной толще лавиноопасных слоев вызывает разрушение нижележащего снежного пласта на большой площади и формирование лавин больших объемов.

Снежный покров. Характер залегания снежного покрова на рассматриваемой территории неравномерен. Большая изрезанность и сложность рельефа определяют мозаичность его распределения. Среднее количество дней со снежным покровом составляет 79 (ГМС «Красная Поляна») и 229 (ГМС «Ачишхо»).

Разница в установлении устойчивого снежного покрова (табл. 2) между ГМС «Красная Поляна» (абс. высота 565 м) и СЛ «Аибга» (2225 м) составляет 53 дня, а его разрушение на высоте СЛ «Аибга» происходит на 80 суток позже. Продолжительность залегания снежного покрова составляет 213 дней по данным СЛ «Аибга» и 81 день по данным ГМС «Красная Поляна».

Различия в распределении температуры и осадков в горной зоне отражаются и на высоте снежного покрова. В бассейне р. Мзымты она достигает максимальных значений для Кавказа. Это связано с преимущественным выпадением осадков в горах Западного Кавказа, обусловленным траекториями воздушных масс, сформировавшихся над морем.

Средняя месячная толщина снежного покрова в период максимального снегонакопления в зонах зарождения лавин (в высотной зоне 1200–2100 м) приходится на март и составляет 424 см на ГМС «Ачишхо» и 433 см на СЛ «Аибга».

Максимальная декадная высота снежного покрова наблюдалась на

ГМС «Красная Поляна» в третьей декаде февраля 1911 г. (173 см), на ГМС «Ачишхо» — в третьей декаде марта 1987 г. (796 см), на СЛ «Аибга» — в апреле (475 см). На подветренных склонах в зонах зарождения лавин в приводораздельной зоне хребта Аибга мощность снежного покрова может достигать 7–8 м, толщина снежных карнизов — 10 м и более.

Наступление периода максимальных снегозапасов зависит от высотной зоны и экспозиции склона. Запас воды в снеге по данным ГМС «Красная Поляна» колеблется от 42 до 426 мм, по данным ГМС «Ачишхо» — от 1626 до 2610 мм.

Наблюдения, выполненные авторами в зимние сезоны 2007–2010 годов в зонах зарождения лавин в высотной зоне 1600–2300 м на северном макросклоне и на гребне хребта Аибга («Ро-за Хутор», «Альпика-Сервис», «Горная карусель», «Обер Хутор») в январе–апреле, показали, что прирост толщины снежного покрова с января по апрель в 2009 году составил 174 см (158 см на 28.01.2009 г., 332 см на 04.04.2009 г.), а его средняя плотность возросла с 300 до 340 кг/м³.

Геоботанические факторы

Северный макросклон хребта Аибга задернован, покрыт преимущественно каштаново-ольхово-буковым лесом.

На исследуемой территории вследствие большой крутизны склонов и сильной перекристаллизации снега в середине зимы формируется неустойчивая снежная толща, что приводит к активному формированию лавин (осовов) в лесной зоне.

Вопреки существующему мнению о защитной роли древесной растительности лес (даже густой хвойный) играет регулируемую роль в развитии лавинных процессов: с одной стороны, он удерживает снежные массы на склоне, а с другой — способствует увеличению скорости метаморфизма (перекристаллизации) снежного покрова, что, в свою очередь, приводит к формированию неустойчивой снежной толщи и увеличению дальности выброса и энергии лавин [22].

Густой лес в зонах отрыва лавин способствует снижению частоты их формирования и уменьшению их объемов, но он не способен полностью ис-



Рис. 2. Лавинные отложения на залесенных склонах, пересекаемых подъездной дорогой к трамплинам, на территории лавиносборов XXVI-XXIX (январь 2009 г., фото Н.А. Казакова). Красными стрелками показаны направления движения лавин

ключить возможность их отрыва на склонах крутизной более 35° . Формирующиеся на таких склонах лавины имеют небольшие объемы, но представляют серьезную опасность для людей и сооружений легкого типа.

В Красной Поляне лавины на залесенных склонах формируются в результате перекристаллизации снежной толщи (сложенной из одного или нескольких лавиноопасных слоев из полускелетного или скелетного снега) в сочетании с сильным снегопадом (более 20 мм осадков за сутки) или антропогенным воздействием на снежный пласт [24]. Эти лавины опасны для человека и транспорта.

Отрыв лавин на склонах крутизной более 35° (как правило, более 40°), покрытых густым лесом, происходит при достижении снежной толщи (или слоя) стадии конструктивного метаморфизма в сочетании:

- со снегопадом;
- с повышением температуры до положительных значений и формированием слоя влажного (мокрого)



Рис. 3. Антропогенные изменения в лавиноопасных зонах ГЛК «Роза Хутор» до начала строительства в 2007 г. (а) и после (б) (фото Н.А. Казакова)



Рис. 4. Шурф в снежной толще в зоне зарождения лавин в лавиносборе XXV (ручей Тобиаса, 04.04.2010 г., фото Е.Н. Казаковой)

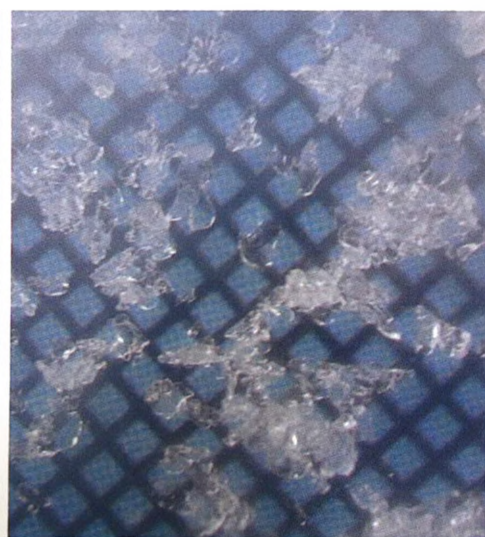


Рис. 5. Ледяные кристаллы полускелетного класса форм (хребет Аибга, абс. отметка 2280 м, 29.01.2009 г., фото Н.А. Казакова)

- снега в верхней части разреза его толщ;
- с антропогенным воздействием на снежный пласт на склоне;
 - с работой тяжелой техники у подножия склона, вызывающей его вибрацию.

На территории расположения олимпийских объектов горного кластера лавиноопасны осовые склоны, поросшие густым лиственным лесом (степень проективного покрытия — 30–90%, высота деревьев — 6–30 м, расстояние между стволами — 2–5 м) и осложненные эрозионными врезами (высотная зона отрыва лавин — 700–1800 м, объемы ла-

вин — 100–10 000 м³). Отрыв лавин в этих местах происходит как на небольших эрозионных врезам (рис. 2, 3), так и на нерасчлененных склонах (осовах).

При высокой антропогенной нагрузке на территорию Красной Поляны густой лес на крутых склонах не обеспечивает защиту от лавин. По этой причине на карте лавинной опасности (см. рис. 1) выделены участки, покрытые лесом, на которых формируются лавины, представляющие опасность для спортсменов, отдыхающих и обслуживающего персонала.

Антропогенное воздействие на древесную растительность во время строи-

тельства горноклиматических курортов в 2008–2012 годах привело к уничтожению или прореживанию леса на склонах, в результате чего на рассматриваемой территории стали лавиноопасными и те участки, которые до начала строительства таковыми не были (см. рис. 3).

Перекристаллизация снежной толщи как основной фактор образования лавин большого объема

Ранее считалось, что формирование лавин больших объемов в Красной Поляне обуславливается преимущественно обильными снегопадами [5]. Однако результаты стратиграфических ис-

Шурф №3 28.01.2009. Северный склон хребта Аибга (Западный Кавказ). ГЛК «Горная карусель».

Лавиносбор А, зона отрыва лавин.

Время: 13 ч 30 м — 15 ч 20 м

№ слоя	Глубина контакта, см	Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Э. Г. Коломийцу); текстура слоя	Плотность, г/см³	Водность, мм	Диаметр кристалла, мм		Температура, °С
						Средний	Максимальный	
								0.0
14	2	158		0,16	3,2			-0.1
13	10	156	см 	0,24	19,2			0.0
12	20	148	 	0,23	23,0	0,8	1,0	0
11	37	138	 	0,21	35,7	0,6	0,8	-0.1
10	46	121	 	0,19	17,1	0,5	0,8	-0.1
9	53	112	см 	0,29	20,3			-0.1
8	68	105	 	0,29	43,5	0,5	0,7	-0.1
7	85	90	  	0,21	35,7	1,0	1,1	-0.1
6	93	73	 	0,29	23,3	0,3	0,5	-0.1
5	112	65	 	0,32	60,8	0,8	1,2	-0.2
4	125	46	  	0,32	41,6	1,7	2,0	-0.1
3	133	33	  	0,34	27,2	1,1	1,3	-0.2
2	137	25	 	0,28	11,2	1,1	2,5	-0.1
1	158	21	см 	0,55	115,5			1.1
		0						
Суммарный водозапас:					477,2			
Средняя плотность:					0,30			
Средняя высота по данным снегосъемки, см:						Водозапас:		0,0
Экспозиция:			СЗ	Абс. высота, м:		1750	Уклон, °:	34
Температура воздуха, °С:			-3,4	Почва:		талая	Ветер:	штиль
Погода:			пер. обл.	Облачность:		8/0		
Козфф. перекристаллизации:			0,66	Выполнил:		Генсиоровский Ю. В.		
Козфф. вторичного расслоения:			0,17	Обработал:		Генсиоровский Ю. В.		

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

→ Лавиноопасный слой

Тип снега:

Первично-идиоморфный

× свежеснежный

↘ обломочный

⊖ сублимационно-полиэдрический

⊗ коррозийно-полиэдрический

●● режеляционно-полиэдрический

Вторично-идиоморфный,

конструктивная стадия метаморфизма:

■ гранный плоский

■ гранный столбчатый

▤ полускелетный плоский

▤ полускелетный столбчатый

□ скелетный плоский

□ скелетный столбчатый

Регрессивная стадия метаморфизма:

△ секториальный

≡ пластинчатый

Твердость первично-идиоморфного снега

≈ очень мягкий, < 0,05 кг/м²

~ мягкий, 0,05–0,5 кг/м²

/// твердый, 2,5–10,0 кг/м²

Текстура вторично-идиоморфного снега

~ столбчатая

~ волокнистая

/// монолитная

Состояние снега

— влажный

— мокрый снег

— режеляционная корка

— ледяная корка

— нерасчлененные кластеры режеляционных кристалл

Подстилающая поверхность:

— кедровый стланик

— курильский бамбук

— трава

Рис. 6. Стратиграфическая колонка снежной толщи в зоне зарождения лавин в лавиносборе XXV (ручей Тобиаса, 28.01.2009 г.)

Шурф №3 29.01.2009. Северный склон хребта Аибга (Западный Кавказ).

ГЛК «Горная карусель».

Лавиносбор, зона отрыва лавин.

Время: 11 ч 15 м — 12 ч 20 м

№ слоя	Глубина контакта, см	Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Э. Г. Коломьцу); текстура слоя	Плотность, г/см³	Водность, мм	Диаметр кристалла, мм		Температура, °С
						Средний	Максимальный	
		140						-2.0
22	2	140		0,10	51,0			-2.0
21	5	138		0,22	118,8			-2.5
20	8	135		0,22	147,4			-2.8
19	15	132		0,24	163,2			-2.8
18	22	125		0,24	172,8	0,3	0,5	-2.7
17	28	118		0,26	189,8	0,3	0,5	-2.6
16	36	112		0,24	184,8	0,5	0,7	-2.4
15	37	104		0,24	182,4	0,5	0,7	-2.4
14	51	103		0,25	195,0	0,5	0,7	-2.1
13	56	89		0,29	14,5	0,8	1,0	-2.0
12	72	84		0,29	46,4	0,8	1,0	-1.9
11	76	68		0,28	11,2	0,8	1,0	-1.7
10	87	64		0,32	35,2	1,0	1,1	-1.4
9	95	53		0,32	25,6	1,0	1,1	-1.2
8	105	45		0,26	26,0	1,2	2,0	-0.9
7	112	35		0,27	18,9	1,0	1,1	-0.6
6	115	28	см	0,32	9,6			-0.6
5	124	25	см	0,37	33,3			-0.5
4	129	16	см	0,42	21,0			-0.3
3	134	11	см	0,40	20,0			-0.3
2	138	6	см	0,37	14,8	0,8	1,2	0.1
1	140	2		0,37	7,4	1,5	2,0	0.3
		0						
Суммарный водозапас:					1689,1			
Средняя плотность:					1,21			
Средняя высота по данным снегосъемки, см:						Водозапас:		0,0
Экспозиция:			ЗЮЗ	Абс. высота, м:		2280	Уклон, °:	32
Температура воздуха, °С:			-2,1	Почва:		таяя	Ветер:	Ю 4/8
Погода:			сл. метель	Облачность:		10/10		
Козфф. перекристаллизации:			0,89	Выполнил:			Генсиоровский Ю. В.	
Козфф. вторичного расслоения:			0,62	Обработал:			Генсиоровский Ю. В.	
Козфф. стратиграфии:			0,00	Проверил:			Казков Н. А.	

Рис. 7. Стратиграфическая колонка снежной толщи в зоне зарождения лавин на хребте Аибга (Шумихинский цирк, 29.01.2009 г.). Усл. обозначения — см. рис. 6

следований снежной толщи, проведенных авторами настоящей статьи в зонах зарождения лавин в январе–апреле 2005–2010 годов, показали, что такое представление не соответствует наблюдаемым фактам [24, 27], что согласуется с мнением некоторых других исследователей [6, 14, 39].

Авторами закладывались шурфы в высотных зонах от 600 до 2300 м на гребне хребта Аибга, над Шумихинским цирком, в цирках Роза Хутор, Салымовском, Шумихинском, Тобиаса, в долине реки Пслух (рис. 4). Исследования показали, что уже в январе в снежной толще появляются лавиноопасные слои, сложенные кристаллами, соответствующими стадии ее конструктивного метаморфизма (кристаллами скелетного и даже секториального классов форм) (рис. 5–7), которые сохраняются вплоть до середины апреля. В апреле лавиноопасные слои, выполненные ледяными кристаллами полускелетного и скелетного (рис. 8) либо секториального классов, выполняют большую часть снежной толщи (рис. 9, 10).

Поскольку лавиноопасные слои формируются в снежной толще на разных стратиграфических уровнях, отрыв лавин может происходить как по приземным, так и по находящимся внутри снежной толщи слоям.

Ошибочное мнение ряда исследователей о том, что в Красной Поляне формируется специфическая снежная толща, не имеющая аналогов в других районах, связано с тем, что при определении структуры снега при температуре воздуха выше 0° происходит быстрое оплавление поверхности ледяных кристаллов (рис. 10). В результате у исследователя возникает впечатление, что вся снежная толща выполнена режеляционными кристаллами.

Режеляция играет важную роль в формировании снежной толщи в высотной зоне ниже 1700 м, где высокие температуры воздуха при наблюдениях и короткий период существования снежного покрова не позволяют долгое время существовать кристаллам полускелетного и скелетного классов форм: поверхность кристаллов уже в конце января–феврале оплавляется и структура слоев деградируют. Тем не менее даже в нижней зоне (в интервале абс. высот 600–900 м) в январе — начале февраля структура снежных слоев, как правило, представлена кристаллами стадии конструктивного метаморфизма. Так, 5–10.02.2007 года при толщине снежного покрова 40–80 см в лавиносборах долин рек Мзымта и Пслух (на абс. отметках 600–650 м); 80–200 и 200–300 см в лавиносборе «Сулимовский ручей» (на абс. отм. 900–1200 и 1200–1700 м соответственно) практически вся снежная толща была выполнена кристаллами

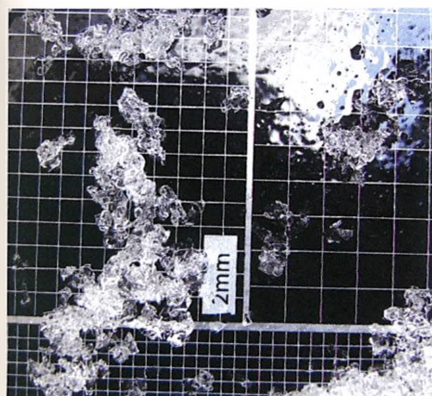


Рис. 8. Ледяные кристаллы полускелетного и скелетного классов форм из приземного слоя (хребет Аибга, абс. отметка 2230 м, 03.04.2009 г., фото Е.Н. Казаковой)

стадии конструктивного метаморфизма [25].

Однако отрыв лавин максимальных объемов с максимальной дальностью выброса происходит преимущественно в высотной зоне 1800–2400 м, в которой процессы сублимационной перекристаллизации снежной толщи чрезвычайно активны и развиваются не менее четырех месяцев. В указанном диапазоне высот снежная толща вплоть до конца апреля может быть сложена кристаллами скелетного класса форм, а слои внутри снежной толщи имеют столбчатую и волокнистую текстуру.

В целом в январе–апреле в зонах зарождения лавин в снежной толще насчитывается 3–6 лавиноопасных слоев, выполненных кристаллами полускелетного и скелетного классов форм (плотность 300–390 кг/м³; диаметр кристалла до 3,5 мм; текстура слоев столбчатая и волокнистая). Высоки значения коэффициентов перекристаллизации (0,70–0,78) и вторичного расслоения снежной толщи (0,30) [25].

Как показывают результаты исследований авторов в Хибинах, на полуострове Ямал, в Забайкалье, на островах Сахалин и Парамушир, в Приэльбрусье, в бассейне реки Мзымты, в зависимости от температурного и ветрового режимов зимы лавиноопасные слои, выполненные кристаллами полускелетного класса форм, появляются в снежной толще через 30–35 суток после образования снежного слоя (снегопада); лавиноопасные слои, выполненные кристаллами скелетного класса форм, образуются через 35–45 суток.

В Красной Поляне продолжительность формирования лавиноопасных слоев составляет 30–45 суток (в зависимости от температурного и ветрового режимов зимы и толщины снежного покрова).

Таким образом, перекристаллизация снежного покрова активно проте-

кает в долине р. Мзымты и играет главную роль в формировании лавин большого объема в Красной Поляне. На это указывают и другие исследователи [6, 39].

Вопрос о роли перекристаллизации снежной толщи в лавинных процессах

в Красной Поляне чрезвычайно важен для прогноза схода лавин и разработки мероприятий по инженерной защите от них, поскольку внутренняя энергия снежного пласта (энергия связи между ледяными кристаллами, высвобождающаяся при разрушении снежной

Шурф №1 03.04.2009.

Водораздел, южный склон хребта Аибга (Западный Кавказ).

Зона формирования лавин.

Время: 12 ч 50 м — 13 ч 20 м

№ слоя	Глубина контакта, см	Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Э. Г. Коломывцу); текстура слоя	Плотность, г/см³	Водность, мм	Диаметр кристалла, мм		Температура, °С
						Средний	Максимальный	
								0,5
18	9	145	×	0,18	16,2			-1,0
17	20	136	×	0,34	37,4			-0,1
16	23	125	—		0,0			0,0
15	27	122	○ //	0,39	15,6			-0,1
14	38	118	■ ■ //	0,34	37,4	1,0	1,2	0,0
13	51	107	■ ■ //	0,37	48,1	0,5	0,8	0,0
12	57	94	■ ■ //	0,26	15,6	1,0	1,1	0,0
11	61	88	■ ■ //	0,28	11,2	2,0	2,2	0,0
10	66	84	■ ■ //	0,37	18,5	1,5	2,0	0,0
9	75	79	—	0,34	30,6			0,0
8	85	70	□ }	0,34	34,0	1,2	1,5	0,0
7	90	60	□ }	0,39	19,5	2,8	3,0	-0,1
6	95	55	□ }	0,27	13,5	2,0	2,4	0,0
5	101	50	□ }	0,34	20,4	2,0	2,4	0,0
4	113	44	□ }	0,37	44,4	2,4	3,0	0,0
3	123	32	□ }	0,34	34,0	2,2	2,5	0,0
2	129	22	□ ▴ §	0,34	20,4	2,4	3,0	0,0
1	145	16	□ ▴ §	0,45	72,0	2,2	2,7	0,5
		0						
Суммарный водозапас:					488,8			
Средняя плотность:					0,34			
Средняя высота по данным снегосъемки, см:						Водозапас:		620,3
Экспозиция:			ЮЗ	Абс. высота, м:		2230	Уклон, °:	30
Температура воздуха, °С:			-0,2	Почва:		талая	Ветер:	8 м/с
Погода:			ясно	Облачность:		0/2		
Коефф. перекристаллизации:			0,95	Выполнил:	Генсиоровский Ю. В., Окопный В. И., Казкова Е. Н.			
Коефф. вторичного расслоения:			0,15	Обработал:	Боброва Д. А., Рыбальченко С. В.			
Коефф. стратиграфии:			0,14	Проверил:	Генсиоровский Ю. В.			

Рис. 9. Стратиграфическая колонка снежной толщи в зоне зарождения лавин на хребте Аибга (03.04.2009 г.). Усл. обозначения — см. рис. 6

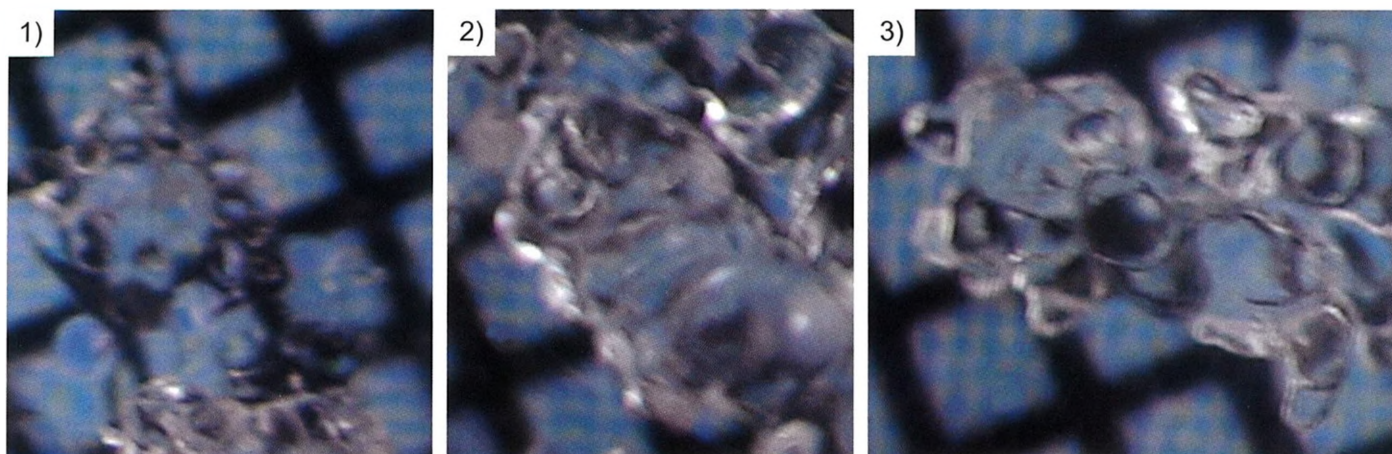


Рис. 10. Оплавленные ледяные кристаллы секториального (1) и скелетного (2, 3) классов форм (долина реки Пслух, абс. отметка 700 м, 05.02.2008 г., фото Н.А. Казакова)

толщи) вносит существенный вклад в энергию лавины и определяет дальность ее выброса, скорость и давление на препятствие.

Поскольку именно степень перекристаллизации снежной толщи во многом определяется устойчивость снежного пласта на склоне, без регу-

лярных наблюдений за изменением структуры и текстуры снежного пласта невозможно проведение качественных мероприятий по активному воздействию на снежную толщу (в том числе мероприятий по предупредительному спуску лавин). Без этих исследований невозможен и расчет способности снегоудерживающих сооружений тех или иных типов препятствовать сходу снежных пластов на склонах (в районах, где снежная толща сильно перекристаллизована, часты случаи отрыва лавин среди снегоудерживающих сооружений).

Перекристаллизация снежной толщи играет ведущую роль в формировании в долине р. Мзымты катастрофических лавин: при образовании в снежной толще слоев, сложенных ледяными кристаллами стадии конструктивного метаморфизма, сход лавин экстремальных объемов вызывается незначительными внешними причинами, а их скорость и дальность выброса достигают максимальных значений (даже при относительно небольших объемах) [19].

Так, на Сахалине при отсутствии в снежном покрове толщиной 70–280 см слоев вторично-идиоморфного снега, выполненных ледяными кристаллами стадии конструктивного метаморфизма, толща старого снега не вовлекается в лавинный процесс при выпадении 25–30 мм осадков за сутки (даже в том случае, когда плотность старого снега составляет 250–270 кг/м³). Формируются только лавины свежеснежного снега, объем и энергия которых ограничены. При наличии в снежном покрове толщиной 100–300 см слоев вторично-идиоморфного снега, выполненных ледяными кристаллами стадии конструктивного метаморфизма, лавины объемом более 100 000 м³ с дальностью выброса более 1800 м формируются при выпадении 30–50 мм осадков.

Лавины, связанные с перекристаллизацией снежной толщи, трудно прогнозируются, поскольку условия их



Рис. 11. Линия отрыва лавины в лесу и лавинные отложения на склоне на территории ГЛК «Горная карусель» (январь 2009 г., фото Н.А. Казакова). Красной линией показана линия отрыва лавины, красной стрелкой — направление ее движения



Рис. 12. Лавина объемом до 1200 м³ с длиной линии отрыва до 100 м на абс. отметке 1300 м над подъездной дорогой к ГЛК «Роза Хутор» (март 2008 г., фото Н.А. Казакова)



Рис. 13. Лавиносоры на северном макросклоне хребта Айбга в долине р. Мзымты. Типы лавиносоров: 1 — лоткового типа; 2 — лотки (прочесы) на залесенных склонах; 3 — лавиноопасные залесенные склоны (фото Н.А. Казакова)

формирования не имеют прямой зависимости от метеорологических факторов лавинообразования.

Сильно перекристаллизованная снежная толща теряет связность и формирует лавины даже на склонах, покрытых густым лесом (со степенью проективного покрытия 70–90% и расстоянием между стволами 1–3 м). На таких склонах происходит отрыв лавин и в Красной Поляне (рис. 11, 12).

Лавины, связанные с формированием слоев перекристаллизованного снега, возникают и на склонах, застроенных снегоудерживающими сооружениями. Так, на Южном Сахалине в

1982–1985 годах наблюдались случаи схода лавин, отрыв которых происходил среди снегоудерживающих щитов.

По этой причине при выборе мероприятий противолавинной защиты (в том числе при проектировании сооружений инженерной защиты), прогнозе лавин и организации системы активного воздействия на лавинные процессы необходимы регулярные наблюдения за динамикой перекристаллизации снежной толщи.

Таким образом, в бассейне р. Мзымты основным фактором, определяющим режим и динамические характеристики лавин больших объемов и с

большой дальностью выброса (которые могут иметь сравнительно небольшие объемы — 15 000–30 000 м³) в высотной зоне 700–2400 м, является перекристаллизация снежной толщи, приводящая к формированию в ней лавиноопасных слоев.

Соответственно, среди лавин больших объемов и с большой дальностью выброса преобладают лавины смешанного генезиса (возникшие в результате перекристаллизации снежной толщи в сочетании со свежевывпавшим снегом при умеренных или сильных снегопадах или мокрым снегом при глубоких оттепелях).



Рис. 14. Лавиносоры в бассейне р. Бешенка (фото Н.А. Казакова)

Характеристики лавиносборов лоткового типа и лавинных процессов в бассейне р. Мзымты

№ лавиносбора	Характеристики лавиносборов лоткового типа								
	общие					для зоны лавин			
	площадь, га	абс. выс., м		относительная высота, м	экспозиция	зарождения		транзита	
		верхней границы зоны зарождения лавин	нижней границы зоны аккумуляции лавин			уклон, град.	макс. толщ. снеж. покрова, см	средний уклон, град.	макс. ширина, м
I, р. Бешенка	426,3	2100	620	1480	ЮВ	37	7	32	520
II, р. Бешенка	271,5	1855	585	1270	ЮВ	54	7	29	550
III, р. Бешенка	225,3	1800	680	1120	ЮЗ	52	7	29	435
IV, р. Бешенка	136,7	1685	775	910	ЮЗ	42	5	31	260
V, р. Бешенка	159,2	1570	675	895	ЮЗ	49	5	30	270
VI	214,9	1565	575	990	ЮЗ	39	5	26	480
VII	143,1	2355	745	1610	СВ	52	7	29	835
VIII	252,6	2325	725	1600	СВ	54	7	22	770
IX	162,7	2360	680	1680	СВ	48	7	20	685
X, руч. Пограничный	324,0	2305	675	1630	СВ	48	7	29	865
XI, руч. Пограничный	405,2	2005	570	1435	СВ	38	7	27	1030
XII, Роза Хутор	11,3	970	635	335	СВ	39	3	32	75
XIII	13,6	1055	630	425	СВ	36	3	32	75
XIV	5,1	1070	630	440	СВ	38	3	37	80
XV	6,7	1085	610	475	СВ	43	3	36	75
XVI	6,3	1085	605	480	СВ	38	3	34	90
XVII	0,9	885	600	285	СВ	36	3	35	35
XVIII	2,1	1025	600	425	СВ	43	3	37	60
XIX	2,3	970	600	370	СВ	34	3	37	80
XX	6,5	930	580	350	СЗ	32	3	31	100
XXI руч. Салымовский	646,7	2160	570	1590	СВ	40	7	24	995
XXII, руч. Шумихинский	173,1	2225	555	1670	СВ	43	7	23	450
XXIII, руч. Шумихинский	370,9	2290	540	1750	СВ	45	7	26	830
XXIV, р. Ржаная	292,5	2120	540	1580	СВ	57	7	27	650
XXV, руч. Тобиаса	526,4	2155	530	1625	СВ	47	7	29	550
XXVI	4,2	620	485	135	З	27	3	18	90
XXVII	4,5	630	490	140	З	35	3	17	105
XXVIII	14,0	800	490	310	СЗ	26	3	20	120
XXIX	15,3	760	490	270	СЗ	45	3	21	170
XXX	19,0	755	495	260	СВ	27	3	25	425
XXXI, руч. 2-я Бригада	591,4	2085	480	1605	СВ	36	6	26	1030
XXXII, руч. Фермерский	204,5	1695	460	1235	СЗ	35	6	22	550
XXXIII	254,9	2000	420	1580	СЗ	23	7	23	470
XXXIV	636,3	2085	320	1765	З	23	7	22	335

* Н — лавины нового снега (свежесвыпавшего и метелевого); М — лавины мокрого снега (адвекционные и инсоляционные); П — лавины, связанные с перекристаллизацией снежной толщи (лавины перекристаллизованного и смешанного снега при наличии лавиноопасных слоев)

Таблица 3

Характеристики лавиносборов лоткового типа и лавинных процессов в бассейне р. Мзымты

Характеристики лавиносборов лоткового типа				Характеристики лавин					Лавинный режим	
для зоны лавин										
аккумуляции										
уклон, град.	макс. ширина, м	макс. толщ. лав. отложений, м	макс. плот. лав. отложений, т/м³	генетические классы лавин*	макс. высота фронта, м	макс. дальность выброса, м	макс. дальность выброса воздушной волны, м	максимальный объем, тыс. м³	частота формирования лавин, раз в год	макс. продолжит. периода лавинной опасности, сут.
8	655	30	0,5	Н, М, П	100	4564	5933	>3000	1–5	210
7	650	30	0,5	Н, М, П	100	3464	4503	>3000	1–5	180
7	625	30	0,5	Н, М, П	100	3320	4316	>3000	1–5	190
0	730	10	0,5	Н, М, П	40	3033	3943	>300	0,3	180
1	970	10	0,5	Н, М, П	40	2983	3878	>300	0,3	180
6	580	10	0,5	Н, М, П	40	3300	4290	>300	0,3	180
15	530	30	0,5	Н, М, П	100	5366	6976	>3000	1–5	210
17	75	30	0,5	Н, М, П	100	5333	6933	>3000	1–5	210
15	155	30	0,5	Н, М, П	100	5600	7280	>3000	1–5	210
14	155	30	0,5	Н, М, П	100	5433	7063	>3000	1–5	210
14	105	30	0,5	Н, М, П	100	4783	6218	>3000	1–5	210
0	75	5	0,5	Н, М, П	8	1117	1452	20	1–5	120
3	75	5	0,5	Н, М, П	8	1417	1842	20	1–5	120
3	80	5	0,5	Н, М, П	8	1467	1907	20	1–5	120
0	75	5	0,5	Н, М, П	8	1583	2058	20	1–5	120
7	90	5	0,5	Н, М, П	8	1600	2080	20	1–5	120
4	35	5	0,5	Н, М, П	8	950	1235	20	1–5	120
3	60	5	0,5	Н, М, П	8	1417	1842	20	1–5	120
3	80	5	0,5	Н, М, П	8	1233	1603	20	1–5	120
6	100	5	0,5	Н, М, П	8	1167	1517	20	1–5	120
11	140	30	0,5	Н, М, П	100	5300	6890	>3000	1–5	210
14	190	20	0,5	Н, М, П	80	5566	7236	1000	1–5	210
10	850	30	0,5	Н, М, П	100	5833	7583	>3000	1–5	210
15	260	30	0,5	Н, М, П	100	5266	6846	>3000	1–5	210
11	290	30	0,5	Н, М, П	100	5416	7041	>3000	1–5	210
1	90	4	0,5	Н, М, П	8	420	546	5	0,3–0,5	120
0	105	4	0,5	Н, М, П	8	392	510	5	0,3–0,5	120
0	120	4	0,5	Н, М, П	8	1031	1341	5	0,3–0,5	120
0	170	4	0,5	Н, М, П	8	898	1167	5	0,3–0,5	120
10	250	3	0,5	Н, М, П	5	600	780	15	1	120
15	475	20	0,5	Н, М, П	100	5350	6955	>3000	1–5	210
12	190	10	0,5	Н, М, П	50	4116	5351	>300	1–5	180
18	120	20	0,5	Н, М, П	100	5266	6846	>300	1–5	210
12	210	20	0,5	Н, М, П	100	5883	7648	1000	1–5	210

* Н — лавины нового снега (свежевыпавшего и метелевого); М — лавины мокрого снега (адвекционные и инсоляционные); П — лавины, связанные с перекристаллизацией снежной толщи (лавины перекристаллизованного и смешанного снега при наличии лавиноопасных слоев)

Именно лавины перекристаллизованного снега представляют наибольшую опасность для территории размещения олимпийских объектов в Красной Поляне.

Сейсмогенные факторы

При оценке вторичных эффектов землетрясений, расчете лавинных рисков для объектов и сооружений и разработке мероприятий по их защите в сейсмичных районах необходимо учитывать вероятность формирования сейсмогенных лавин.

Роль сейсмических событий в развитии лавинных процессов неоднозначна [19, 21]. Сейсмические события могут привести к активизации развития лавинных процессов в бассейне р. Мзымты только в периоды сильной перекристаллизации снежного покрова. В зависимости от метеорологических характеристик зимнего сезона этот период длится с первой декады декабря до середины апреля. В это время сход лавин большого объема могут спровоцировать землетрясения силой 4–5 баллов.

В первые 50–70 суток после формирования снежного покрова (до возникновения лавиноопасных слоев) сход сейсмогенных лавин маловероятен, даже при толщине снежного покрова более 2 м во время землетрясений силой 6–7 баллов.

Лавинные процессы в бассейне р. Мзымты

Степень лавинной опасности для территории размещения олимпийских объектов в бассейне р. Мзымты чрез-

Таблица 4

Динамические характеристики лавин в бассейне р. Мзымты

№ лавиносбора	Макс. скорость лавины по С.М. Козику, м/с	Давление лавины, МПа			Макс. дальность выброса лавины по С.М. Козику, м	Макс. дальность выброса возд. волны лавины, м
		установившееся по А.К. Дюину	ударное по К.Ф. Войтковскому	пиковое		
I	90,6	0,030	0,399	0,149	4564	5933
II	75,3	0,029	0,341	0,147	3464	4503
III	75,8	0,026	0,330	0,141	3320	4316
IV	84,5	0,022	0,078	0,129	3033	3943
V	86,2	0,001	0,028	0,028	2983	3878
VI	76,6	0,003	0,038	0,044	3300	4290
VII	96,5	0,487	2,107	0,604	5366	6976
VIII	85,0	0,359	1,904	0,519	5333	6933
IX	89,5	0,021	0,743	0,126	5600	7280
X	101,1	0,160	1,455	0,347	5433	7063
XI	83,0	0,952	3,605	0,845	4783	6218
XII	58,4	0,037	0,206	0,166	1117	1452
XIII	65,8	0,050	0,228	0,193	1417	1842
XIV	71,9	0,072	0,258	0,233	1467	1907
XV	73,7	0,063	0,246	0,217	1583	2058
XVI	72,3	0,090	0,277	0,260	1600	2080
XVII	56,6	0,090	0,277	0,260	950	1235
XVIII	71,0	0,156	0,333	0,342	1417	1842
XIX	65,9	0,164	0,339	0,350	1233	1603
XX	57,1	0,053	0,233	0,199	1167	1517
XXI	85,2	0,171	1,487	0,358	5300	6890
XXII	92,5	0,451	1,568	0,582	5566	7236
XXIII	97,2	0,148	1,417	0,333	5833	7583
XXIV	98,7	0,283	1,759	0,461	5266	6846
XXV	98,3	0,153	1,433	0,339	5416	7041
XXVI	31,9	0,080	0,209	0,245	420	546
XXX	29,5	0,139	0,266	0,323	600	780
XXXI	96,9	1,190	2,839	0,945	5350	6955
XXXII	81,0	0,289	1,772	0,466	4116	5351
XXXIII	85,3	0,290	0,852	0,466	5266	6846
XXXIV	86,0	0,055	0,778	0,203	5883	7648



Рис. 15. Геоботанические признаки регулярного воздействия лавин на юго-западной границе площадки санно-бобслейного комплекса (лавиносбор XXIII, руч. Шумихинский, абс. отметка 900 м. Форма древесных стволов свидетельствует о постоянном воздействии лавин, 04.2009 г., фото Е.Н. Казаковой)

вычайно высока. С учетом развития лавинных процессов на покрытых лесом и коротких склонах площадная пораженность ими данной территории составляет не менее 90%.

Морфологические типы лавиносборов

Территории, зданиям, сооружениям и транспортной инфраструктуре горного кластера олимпийского комплекса г. Сочи угрожают снежные лавины из лавиносборов трех морфологических типов (рис. 13, 14; табл. 3) [24, 27].

1. *Лавиносборы лоткового типа на склонах хребта Аибга и др.* Абсолютная высота зон отрыва лавин — 1800–2400 м, их объемы могут превышать 3 000 000 м³. Как правило, это лавиносборы долинного типа (по классификации И.В. Северского, В.П. Благовещенского [37]) и кары, осложненные большим количеством лотковых лавиносборов и осовых склонов.

2. *Лавиносборы лоткового типа в лесной зоне: эрозионные врезы и прочесы в лесу.* Высотные отметки зон отрыва лавин — 800–1600 м, их объемы — 1000–30 000 м³.

3. *Осовые склоны, поросшие густым лиственным лесом (см. рис. 13), часто осложненные эрозионными врезам.* Высота зон отрыва лавин — 700–1000 м, их объемы — 100–10 000 м³. Отрыв лавин на этих склонах происходит как на небольших эрозионных врезках, так и на нерасчлененных склонах (осовах) среди густого леса (со степенью проективного покрытия 30–90%, высотой деревьев 6–30 м и расстоянием между стволами 2–5 м).

Лавинный режим

В бассейне р. Мзымты сходят лавины всех генетических классов (см. табл. 3). Их активное формирование (массовый сход) происходит, как правило, во время сильных снегопадов и глубоких оттепелей. Образование адвекционных и инсоляционных лавин

может происходить как весной, так и в декабре–феврале.

Интенсивность проявлений лавинных процессов чрезвычайно высока: в течение зимнего сезона из одного лавиносбора может сходить от 1 до 10 лавин объемом более 1000 м³. Снежные лавины больших объемов (более 50 000 м³) формируются ежегодно.

Даты начала лавиноопасного периода в исследуемом районе — середина октября, окончания — конец апреля. Однако указанные сроки лавиноопасного периода могут колебаться в зависимости от снежности и температурного режима зимы.

Средняя продолжительность лавиноопасного периода в горном кластере олимпийских объектов составляет в зависимости от высотной зоны 120–150 дней (с конца ноября до конца апреля), а максимальная — 180–210 дней (с середины октября до начала мая).

Период максимальной лавинной опасности, когда сходят лавины перекристаллизованного и смешанного снега, продолжается с начала — середины декабря до начала — середины апреля.

Генетические типы лавин

Как уже отмечалось, в долине р. Мзымты формируются лавины всех генетических типов. Рассматривая лавинные процессы с точки зрения решения прикладных задач по защите от их проявлений, все генетические типы лавин можно свести к трем основным классам.

1. *Лавины нового снега (свежевыпавшего и метелевого)* образуются из сухого снега при его быстром накоплении за счет большой скорости прироста его массы во время снегопада или метели при незначительном пределе прочности на сдвиг в основании слоя свежеотложенного снега. Такие лавины, как правило, движутся по слою старого снега.

2. *Лавины перекристаллизации снежной толщи*, образуются из сухого или смешанного (сухого и влажного) снега, в котором вследствие процессов метаморфизма произошли преобразования структуры и текстуры и сформировались лавиноопасные слои (ЛОС). Эти лавины обычно формируются под воздействием дополнительных причин, в роли которых выступают снегопады, метели, оттепели и антропогенные причины. Они обладают наибольшими скоростью, объемом и разрушительной силой и наиболее опасны для объектов капитального строительства.

3. *Лавины мокрого снега (адвекционные и инсоляционные)* образуются при ослаблении связей между кристаллами снега в верхней части снежной толщи в результате воздействия на снежный покров солнечной радиации и (или) адвективных масс воздуха в период весеннего снеготаяния или при оттепели.

Следует напомнить, что в пригребневой зоне хребта Аибга формируются снежные карнизы толщиной более 10 м. Обрушение карнизов, как правило, приводит к формированию лавин генетического класса перекристаллизации снежной толщи больших объемов.

Характеристики лавин

По характеру движения в бассейне р. Мзымты преобладают лотковые лавины из эрозионных врезок, денудационных воронок и каров. Характеристики лавин приведены в табл. 3, 4.

Максимальная высота фронта лавин сухого перекристаллизованного снега может достигать 100 м.

Максимальные дальности выброса лавин достигают 5–6 км, объемы — 3 000 000 м³.

При этом вопреки мнению авторов некоторых работ [32] не существует прямой зависимости дальности выброса лавины от ее объема. Так, дальности выброса лавин сравнительно небольшого объема (80 000–150 000 м³), сходящих из больших лавиносборов на северном макросклоне хребта Аибга, достигают 3300–3800 м.

Признаки регулярного воздействия снежных лавин на древесную растительность позволяют уверенно определить фитоиндикационную границу дальности выброса лавин частой повторяемости (1 раз в 1–5 лет). На северном макросклоне хребта Аибга эта граница отмечается в интервале абсолютных отметок 850–900 м (см. рис. 1). На древесных стволах в этой высотной зоне повсеместно отмечаются признаки регулярного воздействия снежных лавин (рис. 15).

Отрыв большинства лавин происходит в высотном диапазоне 700–2400 м, аккумуляция — на отметках 800–1600 м. Однако лавины больших объемов, формирующиеся в долинах крупных водотоков, достигают отметок 500 м и ниже (см. табл. 3), перекрывая русла рек

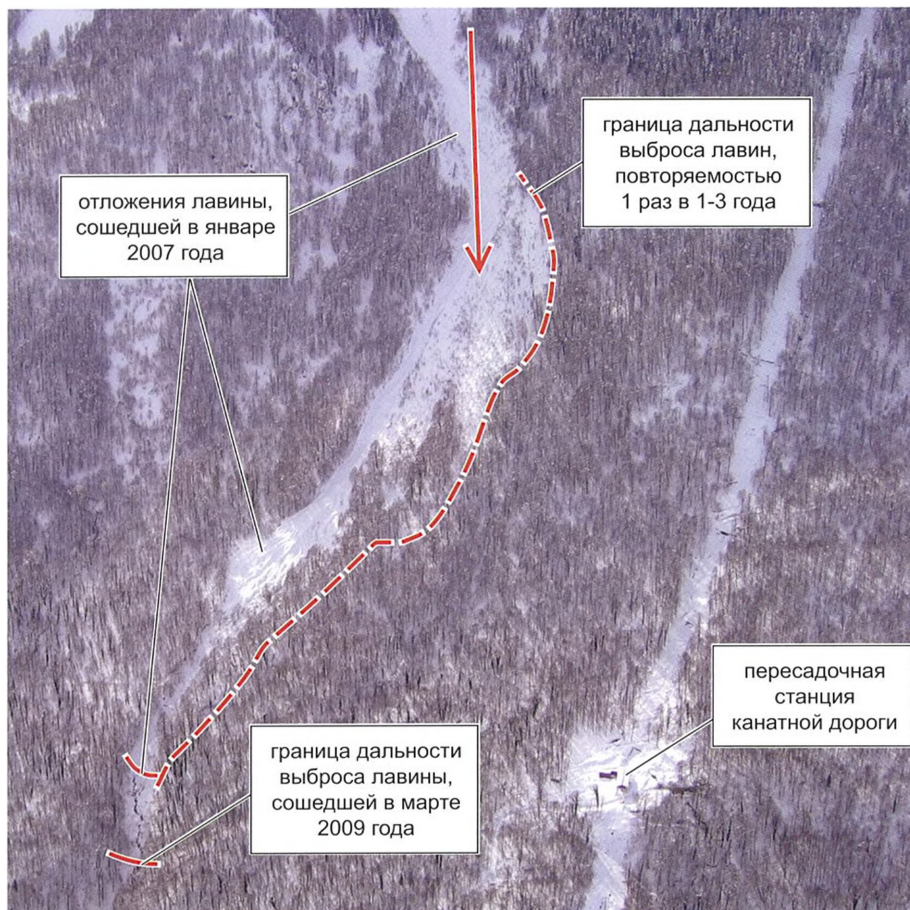


Рис. 16. Отложения лавины, сошедшей в январе 2007 года (лавинобор XXV, руч. Тобиаса, 08.02.2007 г., фото Н.А. Казакова). Красной стрелкой показано направление движения лавин

Мзымта, Пслух и проложенные по днищам их долин автомобильные дороги.

К числу таких лавиносборов относятся бассейны ручьев (см. рис. 14) Салымовский, Ржаной, Пограничный, Тобиуса, Сухой, реки Бешенка (см. рис. 15) и др.

К сожалению, как указывалось выше, большинство исследователей в своих работах занижают максимальную дальность выброса лавин [1, 4, 6, 32].

Лавины большого объема формируются преимущественно в много-

снежные зимы, такие как 1975/76, 1986/87 годов. Так, в марте 1976 года был зарегистрирован конус выноса лавины в устье ручья Салымовский (лавинобор XXI, см. рис. 1), перекрывавший р. Мзымту. Такие лавины по Салымовскому сходят почти каждую зиму. Например, 2 февраля 2007 года лавина из этого же лавиносбора остановилась в 500 м от р. Мзымты.

В марте 1993 года был отмечен сход снежной лавины объемом 1 000 000 м³ по склону горы Аишха. Такие лавины сходили здесь также в 1976 и 1987 годах.

Однако следует отметить важный факт, наблюдаемый не только в Красной Поляне, но и в других регионах: лавины с большой дальностью выброса необязательно должны иметь большой объем и формироваться в много-снежные зимы.

Частые случаи массового формирования лавин сравнительно небольших объемов (100 000–300 000 м³), но обладающих большой дальностью выброса (в Красной Поляне — 2500–3500 м), отмечаются в среднеснежные зимы. Это связано с большей степенью перекристаллизации снежной толщи при меньшей толщине снежного покрова. А сильная перекристаллизация снежного пласта, в свою очередь, приводит к сходу лавин, имеющих большую скорость.

Далее рассмотрим некоторые случаи формирования таких лавин в 2007–2011 годах.

Примеры формирования лавин в 2007–2011 годах

При обследовании лавиносборов на северном макросклоне хребта Аибга отмечены многочисленные признаки того, что лавины объемом 100 000–200 000 м³ сходят здесь регулярно, почти



Рис. 17. Снежник, оставшийся от лавины, сошедшей в марте 2009 года восточнее площадки строительства верхней медиадеревни (лавинобор XXV, руч. Тобиаса, 07.04.2009 г., фото Н.А. Казакова)

ежегодно достигая абсолютных отметок 900–950 м. Такие лавины регистрировались авторами в лавиносборах XI, XXIV, XXV (см. рис. 1) в январе 2007 года и в марте 2009 года.

Ручей Тобиаса, лавиносбор XXV, 2007 год. В феврале 2007 года при аэровизуальных обследованиях восточной части площадки строительства верхней медиадеревни авторами был зарегистрирован снежник большой лавины, сошедшей в январе 2007 года (рис. 16). По геоботаническим признакам высота ее фронта превышала 40 м, а объем составлял не менее 160 000 м³.

Ручей Тобиаса, лавиносбор XXV, 2009 год. При полевых исследованиях, проводившихся 6 апреля 2009 года в восточной части площадки проектируемой верхней медиадеревни, авторами был зарегистрирован снежник лавины, сошедшей в марте 2009 года (рис. 17). 6 апреля нижняя граница лавинного снежника была отмечена на высоте 980 м. Длина снежника превышала 1500 м, ширина — 70–110 м, толщина отложений — 1,5–8,0 м (в среднем 3,5 м). По

отметкам на древесных стволах у нижней границы снежника (на отметке 980 м) высота фронта лавины составляла не менее 15 м. Ее объем составил не менее 200 000 м³. Граница дальности выброса проходила на высоте 900 м. По геоботаническим признакам высота фронта этой лавины у верхней границы площадки верхней медиадеревни составляла 18–25 м. Отмечены многочисленные сломанные, расщепленные и поврежденные деревья. Диаметр их стволов составлял 10–15 см. Рассчитанное по рекомендациям [10, 11] давление снеговоздушной волны на деревья (ольху), сломанные лавиной, составило 0,28 МПа, что вполне согласуется с результатами расчетов, приведенных в табл. 4. Ее скорость в точке перелома древесного ствола, рассчитанная по методикам [10, 11], оказалась равной 60,2 м/с. Лавины такого объема сходили в лавиносборе XXV в 2006 году, в январе 2007 года, в феврале 2009 года.

При обследовании данного лавиносбора отмечены многочисленные следы лавин, говорящие о том, что они

сходят здесь регулярно, почти ежегодно достигая границы площадки будущей верхней медиадеревни.

Салымовский цирк, лавиносбор XXI, 2006 год. В феврале 2006 года лавина объемом до 200 000 м³ разрушила две опоры строящейся канатно-кресельной дороги на ГЛК «Альпика-Сервис».

Шумихинский цирк, лавиносбор XXII, 2006 год. В феврале 2006 года лавина объемом до 300 000 м³ разрушила обводную станцию 3–4-й очереди канатно-кресельной дороги на ГЛК «Альпика-Сервис» и кафе. Лавина оторвалась из-под пушки Gaz.Ех вследствие искусственного обрушения блока снежного карниза при помощи трактора. Толщина линии ее отрыва превышала 2 м, длина достигала 700 м. Лавина остановилась, немного не дойдя до границы коттеджного поселка на р. Ржаная.

Шумихинский цирк, лавиносбор XXIII, 2007 год. На правом борте лавиносбора XXIII в зоне транзита лавин (в русле ручья) отмечены следы большой лавины, сошедшей в январе 2007 года (рис. 18). По геоботаническим признакам высота ее фронта достигала 40 м и более. На исследуемом участке русло ручья делает резкий поворот к западу. Лавина спрямила путь, ударив в правый борт долины, и выбила на нем зрелый буково-каштановый лес (с диаметром стволов 60–80 см).

Шумихинский цирк, лавиносбор XXIII, 2009 год. Снежник лавины, сошедшей в марте 2009 года (рис. 19), был зарегистрирован на 200 м выше по течению ручья от границы площадки размещения проектируемого санно-бобслейного комплекса. 6 апреля 2009 года нижняя граница лавинного снежника отмечена на абсолютной отметке 870 м, его длина составляла 350 м, ширина — 35–45 м, толщина отложений — 1,7–7,0 м (в среднем 3,0 м). Этот снежник сильно загрязнен мусором — стволами и ветками деревьев диаметром до 20 см, валунами диаметром до 30 см, грунтом (отметим, что насыщенность лавинного тела древесным и валунно-глыбовым материалом сильно увеличивает значение ударного давления лавины). По отметкам на стволах деревьев высота фронта данной лавины составляла 15–20 м (над днищем р. Ржаная). Ее снеговоздушная волна прошла вниз по долине ручья после остановки ее тела еще около 200 м и достигла верхней границы проектируемого санно-бобслейного комплекса, где высота этой волны, по геоботаническим признакам, составила 4–6 м. Отмечены многочисленные сломанные, расщепленные и поврежденные деревья с диаметром стволов 10–15 см. Ориентировочный объем рассматриваемой лавины составил около 200 000 м³.

Цирк Роза Хутор, лавиносбор XI, 2008 год. (ГЛК «Роза Хутор»). Лавины на данном лавиносборе сходили в фев-



Рис. 18. Лавиносбор XXIII, руч. Шумихинский. Отложения лавины, сошедшей в январе 2007 года (08.02.2007 г., фото Н.А. Казакова). Красной стрелкой показано направление движения лавин



Рис. 19. Снежник, оставшийся от лавины, сошедшей в феврале 2009 года (территория проектируемого санно-бобслейного комплекса, лавиносбор XXIII, руч. Шумихинский, 06.04.2009 г., фото В.И. Окопного)

рале 2008 года. Две из них прошли по горнолыжным трассам и остановились на отметках 980–1000 м. Высота их фронта достигала 30–40 м.

Ручей Пограничный, лавиносбор X, 2008 год (ГЛК «Роза Хутор»). Лавина, сошедшая здесь в феврале 2008 года,

остановилась в 200 м от верхнего водоема для оснежения горнолыжных трасс.

Ручей Пограничный, лавиносбор X, 2011 год (ГЛК «Роза Хутор»). 13.02.2011 года между 5 и 6 часами на данном участке сошла лавина объемом до 80 000 м³. Толщина линии ее отрыва

составляла около 1,5 м, абсолютная отметка зоны отрыва — около 2200 м. Дальность ее выброса была примерно 2500 м, что очень много для лавины сравнительно небольшого объема. Лавина остановилась на высоте около 1100 м, в 15–20 м от противолавинной



Рис. 20. Отложения лавины, сошедшей из лавиносбора X (руч. Пограничный) 13.02. 2011 года, на противолавинной дамбе водоема для оснежения горнолыжных трасс

дамбы, защищающей водоем для оснежения горнолыжных трасс. Ее воздушная волна достигла этого сооружения, перескочила через него, забросив древесные обломки в водоем, и разрушила временный балаган лесорубов (рис. 20). Высота фронта данной лавины на подходе к противолавинной дамбе достигала 15 м.

Цирк Роза Хутор, лавиносбор XI, 2011 год (ГЛК «Роза Хутор»). 15 февраля 2011 года около 6 часов на этом лавиносборе сошла лавина объемом 15 000–20 000 м³. Она пересекла две горнолыжные трассы, повредила пушку для оснежения трасс и разрушила временное сооружение для старта горнолыжников.

Качественная оценка рисков схода лавин для территории расположения олимпийских объектов

С учетом лавиноопасных склонов, покрытых лесом, площадная пораженность лавинными процессами территории расположения олимпийских объектов горного кластера до начала строительства (2007 год) составляла около 75%. Однако в результате изменения рельефа и уничтожения лесов в ходе строительных работ к 2012 году она существенно увеличилась.

Наибольшую опасность для объектов олимпийского комплекса представляют лавины генетического класса *перекристаллизации снежной толщи*, обладающие максимальными объемами, скоростями и дальностями выброса.

Лавины свежеснежного, метелевого или мокрого снега представляют опасность главным образом для персонала и посетителей горнолыжных комплексов, а также для транспортных средств и сооружений легкого типа.

Проблемы противолавинной защиты объектов олимпийского комплекса

Поскольку степень лавинной опасности на территории Красной Поляны (в долинах рек Мзымта, Пслух, Лаура) чрезвычайно высока, обеспечение противолавинной защиты олимпийских объектов в Красной Поляне невозможно без разработки концепции комплексной защиты территории от лавин, независимо от форм собственности и ведомственной подчиненности горнолыжных комплексов и прочих объектов.

Однако отсутствие единой концепции комплексной противолавинной защиты и несогласованность противолавинных мероприятий, проводимых разными компаниями для защиты своих объектов на данной территории уже приводило к случаям, когда сооружения инженерной защиты от лавин, возводимые для защиты объектов од-

ной компании, приводили к изменению траекторий движения лавин так, что они начинали воздействовать на прежде неопасные объекты другой компании.

Иностранные компании и специалисты, привлекаемые к работе в Красной Поляне, не имеют опыта оценки лавинной опасности на российской территории и либо не могут реально оценить уровень риска, либо применяют проектные и технические решения, разработанные для территорий с иными условиями лавинообразования и неэффективные в наших условиях. К тому же иностранные организации, как правило, не несут ответственности за свои решения.

Ряд специалистов полагает, что противолавинная защита олимпийских объектов может быть обеспечена путем предупредительного спуска лавин. Однако, учитывая высокую степень площадной пораженности рассматриваемой территории лавинными процессами и то количество людей, которое будет находиться на ней во время Олимпийских игр, возможность применения методов предупредительного спуска лавин будет ограничена.

В настоящее время защита существующих горнолыжных объектов в Красной Поляне осуществляется организационными мерами (путем лавинного прогноза и закрытия объектов) и с помощью предупредительного спуска лавин на ограниченной площади в пригребневой части хребта Аибга с помощью противолавинного комплекса Gaz.Ex. Однако этот активно внедряемый в Красной Поляне комплекс (в первую очередь по рекомендациям западных специалистов) имеет ряд серьезных недостатков. Так, в методике его применения не предполагается проведение стратиграфических наблюдений в снежной толще для оценки ее устойчивости, а технология установки системы Gaz.Ex не позволяет воздействовать на контуры напряжения снежного пласта в лавиносборе, что создает риск схода из-под установок Gaz.Ex лавин неконтролируемых объемов на фоне иллюзии защищенности объекта. Кроме того, система Gaz.Ex не позволяет проводить спуск лавин небольшими порциями, воздействуя на контуры напряжения снежного пласта в лавиносборе.

В технологии применения этой системы не уделяется должного внимания перекристаллизации снежного покрова как важнейшему фактору, определяющему методологию предупредительного спуска лавин и условия формирования лавин больших объемов. В результате не учитывается, что при использовании системы Gaz.Ex снег, сбрасываемый из пригребневой части лавиносборов малыми порциями, накапливается в их низележащей части и проходит цикл метаморфических преобразований, в

результате чего в снежной толще формируются лавиноопасные слои. При этом объем снега, который может сойти при произвольном сходе лавины либо при ее антропогенном инициировании, увеличивается по сравнению с естественными условиями. Так, в 2006 году на ГЛК «Альпика-Сервис» был отмечен следующий случай: искусственное обрушение снежного карниза вызвало отрыв лавины большого объема (более 100 000 м³) из-под пушки Gaz.Ex. Толщина линии отрыва этой лавины достигала 2 м. Эта лавина разрушила сооружения и здание кафе на пересадочной станции канатно-кресельной дороги. Поэтому категорически недопустима установка систем Gaz.Ex в лавиносборах, угрожающих каким-либо объектам, поскольку предупредительный спуск может привести к формированию лавины неконтролируемого объема и разрушению сооружений.

В целом система Gaz.Ex не может обеспечить полноценной защиты горнолыжных трасс и сооружений от лавин, связанных с перекристаллизацией снежной толщи, являющихся наиболее опасными для объектов и сооружений и наименее прогнозируемыми. Такие лавины регулярно формируются на склонах хребта Аибга. В феврале 2006 года в лавиносборе ручья Салымовский на ГЛК «Альпика-Сервис» такой лавиной были разрушены опоры строившейся линии канатно-кресельной дороги. На территории горного кластера олимпийских объектов неоднократно наблюдались случаи попадания горнолыжников в лавины, вызванные перекристаллизацией снежной толщи.

Таким образом, возникают серьезные сомнения в целесообразности массового применения системы Gaz.Ex для защиты объектов и сооружений Олимпийского комплекса.

Уплотнение снежного покрова на горнолыжных трассах с помощью ратраков, также не способно привести к стабилизации снега на склоне: при толщине снежного покрова более 2 м уплотняется лишь верхняя часть снежной толщи, а в средней и нижней ее частях продолжают процессы перекристаллизации, приводящие к формированию лавиноопасных слоев.

Лавинный риск может быть снижен до приемлемого уровня только при обязательном использовании комплексной схемы противолавинной защиты людей, территории и объектов горного кластера, включающей следующие группы мероприятий.

1. Применение инженерной защиты от лавин в качестве основного метода.

2. Активное воздействие на лавинные процессы (в том числе предупредительный спуск лавин) с целью снижения объемов и динамических харак-

теристик лавин, для чего целесообразно одновременное использование следующих средств воздействия на снежный покров:

- применение (ограниченное) системы Gaz.Eх;
- применение (предпочтительное) аваланчеров, противолавинных ружий или аналогичных мобильных систем;
- использование лавинных мачт LS12-5 (Wyssen) или аналогичных систем;
- использование систем спуска лавин (в том числе систем, аналогичных Deisi Bell) путем подрыва зарядов взрывчатых веществ, сбрасываемых с вертолета (отметим, однако, что неустойчивый ветровой режим в пригребневых частях водоразделов и частая нелетная погода для вертолетов являются серьезными ограничениями для широкого применения подобных систем) и др.

Обязательным условием при использовании систем и средств активного воздействия на лавинные процессы является применение российской методологии предупредительного спуска лавин, учитывающей ключевое значение процессов метаморфизма снежной толщи в формировании катастрофических лавин [36]. Необходимость этого условия вызвана несовершенством зарубежных методологий оценки состояния снежного покрова при искусственном спуске.

Следует учесть, что вследствие высокой степени площадной пораженности территории лавинными процессами и большого количества посетителей, которые будут находиться на территории горного кластера, возможность применения методов предупредительного спуска лавин будет ограничена.

3. *Организационные мероприятия (мониторинг лавинных процессов)* необходимы для обеспечения безопасности посетителей и персонала путем прогноза лавинной обстановки и закрытия территории на период лавинной опасности.

Во время проведения Олимпийских и Паралимпийских игр 2014 года обеспечение противолавинной безопасности спортсменов, зрителей и персонала (наблюдение за лавинными процессами и прогноз схода лавин, их предупредительный спуск, принятие решений по закрытию объектов из-за лавинной опасности, организация и проведение поисково-спасательных работ и т.д.) должно проводиться централизованно, под руководством уполномоченных государственных органов.

В период проведения Олимпийских и Паралимпийских игр мероприятия по обеспечению противолавинной безопасности будут эффективны только в случае их одновременного проведения по всей территории и для всех объектов горного кластера. По этой причине про-

тиволоавинная служба здесь должна быть организована как единая система обеспечения противолавинной безопасности всего рассматриваемого района и под единым руководством. Создание самостоятельных и действующих независимо друг от друга противолавинных служб на каждом комплексе, подъездных путях и т.д. не позволит обеспечить необходимого уровня противолавинной безопасности в этот период по той причине, что при отсутствии единого руководства в случае резкого изменения снеголавинной обстановки будет невозможно обеспечить слаженность и своевременность действий этих служб и добиться необходимого уровня ответственности их сотрудников и руководителей.

Самостоятельные противолавинные службы на каждом комплексе могут создаваться лишь после проведения Олимпийских и Паралимпийских игр 2014 года.

Выводы

1. Территория строительства большинства объектов горного кластера олимпийского комплекса в г. Сочи находится в зоне транзита лавин ежегодной повторяемости и аккумуляции их отложений.

2. Максимальные объемы лавин, формирующихся в большинстве лавиносборов, превышают 1 000 000 м³ и могут достигать 6 000 000 м³.

3. Максимальная дальность выброса лавин достигает 6,5 км. Лавины, сходящие по долинам большинства водотоков на северном макросклоне хребта Аибга, достигают р. Мзымты.

4. В большинстве лавиносборов граница дальности выброса лавин повторяемостью 1 раз в 1-3 года находится на уровне абсолютных отметок 900–950 м, 1 раз в 5–7 лет — 800–850 м; 1 раз в 10–15 лет — 600–650 м.

3. Лавины большого объема (более 100 000 м³) и с дальностью выброса более 3000 м формируются на северном макросклоне хребта Аибга не реже 1 раза в 3 года. Последние случаи формирования таких лавин (объемом не менее 200 000 м³) на территории строительства объектов олимпийского комплекса были отмечены в 2009 году (лавиносбор XXIII, руч. Шумихинский; лавиносбор XXV, руч. Тобиаса).

4. Основным фактором, определяющим режим и динамические характеристики лавин больших объемов и с большой дальностью выброса в бассейне р. Мзымты, является перекристаллизация снежной толщи, приводящая к формированию в ней лавиноопасных слоев.

Среди лавин больших объемов и с большой дальностью выброса преобладают лавины смешанного генезиса (возникшие в результате перекристаллизации снежной толщи в сочетании со свежеснежавшим снегом при умерен-

ных или сильных снегопадах или мокрым снегом при глубоких оттепелях).

5. Угрожая жизни и здоровью спортсменов, персонала и зрителей, лавины будут оказывать следующие виды воздействий на олимпийские объекты:

- разрушение и повреждение объектов;
- возбуждение в сооружениях и конструкциях вибраций, входящих в резонанс с их собственными колебаниями, вследствие пульсирующего характера движения лавины (с частотами в диапазоне 0,5–1,5 Гц);
- завал территории и сооружений лавинными отложениями, толщина которых может превышать 20 м.

6. Наблюдается повсеместное изменение характеристик лавинных процессов (увеличение скорости, дальности выброса и повторяемости лавин) как следствие вырубki леса и планирования рельефа в зонах транзита лавин во время строительства горнолыжных трасс, что привело к сильному увеличению площади лавиноопасных склонов в зонах зарождения и транзита лавин, ширины зон транзита и площади лавиноопасных зон.

7. Уровень лавинных рисков для объектов олимпийского комплекса чрезвычайно высок. Для его снижения и обеспечения лавинной безопасности территории горного кластера олимпийских объектов и горнолыжных трасс необходимо в первую очередь возвести сооружения инженерной противолавинной защиты, без чего возможность полноценного проведения Олимпийских игр в случае лавиноактивной зимы может оказаться под вопросом.

Применение лишь организационных методов противолавинной защиты и методов активного воздействия на лавинные процессы не позволит обеспечить полноценной противолавинной защиты. Эти мероприятия следует рассматривать только как дополнительные — позволяющие минимизировать лавинные риски.

8. Сильные снегопады также могут стать серьезным препятствием для проведения горнолыжных соревнований, поскольку в случае выпадения снега в течение 12 часов высота снежного покрова на горнолыжных трассах может увеличиться на 1,5–2,0 м и более. Из-за лавинной опасности во время снегопадов очищение трасс перед проведением соревнований можно будет проводить только после окончания выпадения снега, но уборка столь большого его количества потребует большого количества времени.

Авторы выражают благодарность своим коллегам С.В. Рыбальченко, Д.А. Бобровой и В.И. Окопному, принимавшим участие в полевых работах и обработке материалов полевых наблюдений, а также В.Б. Сорокину и Г.Л. Морозову, предоставившим ценные сведения о лавинах и снежном покрове в бассейне р. Мзымты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аджиев А.Х., Корнилов Ю.Б., Кумукова О.А., Кондратьева Н.В.* Динамические характеристики лавин на территории горноклиматического курорта «Альпика-Сервис» (Красная Поляна) // *Геориск*. 2011. № 4. С. 10–14.
2. *Боброва Д.А.* Расчетная и фактическая максимальная дальность выброса лавин // *Геориск*. 2011. № 4. С. 24–26.
3. *Боброва Д.А., Казакова Е.Н., Рыбальченко С.В.* Расчетная и фактическая максимальная дальность выброса лавин // *Материалы Международной конференции «Проблемы снижения природных опасностей и рисков» («Геориск-2009»)*. М.: РУДН, 2009. С. 106–110.
4. *Вивчар А.Н.* Влияние снежных лавин на рекреационное освоение бассейна р. Мзымта (Западный Кавказ): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2011. 24 с.
5. *Вивчар А.Н.* Изменение лавинной опасности на территориях Западного Кавказа в условиях современного изменения климата и интенсивного рекреационного освоения // *Сборник докладов 3-й Международной конференции «Лавины и смежные вопросы»*. Апатиты: Изд-во ООО «Апатит-Медиа», 2007. С. 108–115.
6. *Володичева Н.А., Барипов-Каштанов А.С., Олейников А.Д., Володичева Н.Н.* Метаморфизм снега и формирование снежных лавин в районе Красной Поляны (Западный Кавказ) // *Лед и снег*. 2011. Вып. 2 (114). С. 57–63.
7. *Володичева Н.А., Глазовская Т.Г., Клименко Е.С., Олейников А.Д., Самохина Е.А., Селиверстов Ю.Г., Шныпарков А.Л.* Оценка лавинной опасности в районе поселка Красная Поляна // *Тезисы докладов 4-й Международной конференции «Лавины и смежные вопросы»*. Кировск, Апатиты: Изд-во ООО «Апатит-Медиа», 2011. С. 41.
8. *Генсиоровский Ю.В.* Расчет максимальных снегозапасов на основе ландшафтно-индикационных свойств снежного покрова // *Материалы гляциологических исследований*. 2007. Вып. 102. С. 73–79.
9. *География лавин* / под ред. С.М. Мягкова, Л.А. Канаева. М.: Изд-во МГУ, 1992. 332 с.
10. *Григорян С.С., Урумбаев Н.А.* О природе воздушной волны // *Научные труды института механики МГУ*. 1975. № 2. С. 74–82.
11. *Григорян С.С., Урумбаев Н.А., Некрасов И.В.* Экспериментальное исследование лавинной воздушной волны // *Материалы гляциологических исследований*. 1982. Вып. 44. С. 87–93.
12. *Древило М.С.* Геоэкологические исследования снежного покрова на основе его ландшафтно-индикационных свойств (о. Сахалин): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2000.
13. *Дюнин А.К., Бялобжеский Г.В., Чесноков А.Г.* Защита автомобильных дорог от лавин. М.: Транспорт, 1987. 60 с.
14. *Ефремов Ю.В., Салатовка Р.В., Бендильяни С.С.* Снежный покров и лавинный режим в горном кластере зимних Олимпийских игр в Сочи // *Лед и снег*. 2011. Вып. 2 (114). 2011. С. 64–69.
15. *Запиханов М.Ч.* Снежно-лавинный режим и перспективы освоения гор Большого Кавказа. Ростов-на-Дону: Изд-во РГУ, 1981. 376 с.
16. *Заруднев В.М., Салпагаров А.Д., Ильичев Ю.Г., Хома И.И.* Снежные лавины Западного Кавказа. Теберда — Ставрополь // *Труды ТГБЗ*. 2004. Вып. 37. 192 с.
17. *Заруднев В.М., Салпагаров А.Д., Хома И.И.* Лавинно-селевая опасность бассейнов рек Теберда, Большой Зеленчук, Мзымта и защита от лавин и селей горнолыжных комплексов Домбай, Архыз, Красная Поляна. Кисловодск: Северокавказское издательство МИЛ, 2007. 288 с.
18. *Кадастр лавин СССР. Т. 9: Закавказье и Дагестан. Часть 1: Бассейны рек южного склона Большого Кавказа, впадающих в Черное море, бассейны рек Риони и Чорах*. Л.: Гидрометеиздат, 1984, 1986, 1989.
19. *Казаков Н.А.* Геологические и ландшафтные критерии оценки лавинной и селевой опасности при строительстве линейных сооружений (на примере о. Сахалин): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Южно-Сахалинск, 2000. 36 с.
20. *Казаков Н.А.* Моделирование лавин разных генетических классов: проблемы и решения // *Тезисы докладов 4-й Международной конференции «Лавины и смежные вопросы»*. Кировск, Апатиты: Изд-во ООО «Апатит-Медиа», 2011. С. 59–60.
21. *Казаков Н.А.* О возможном механизме образования сейсмогенных лавин // *Материалы гляциологических исследований*. 2000. Вып. 88. С. 102–106.
22. *Казаков Н.А.* О формировании лавин в лесу // *Материалы гляциологических исследований*. 2007. Вып. 102. С. 192–197.
23. *Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В.* Влияние вертикального градиента осадков на характеристики гидрологических, лавинных и селевых процессов в низкогорье // *Геоэкология*. 2007. № 4. С. 342–347.
24. *Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В.* Перекристаллизация снежной толщи как основной фактор формирования катастрофических лавин в Красной Поляне и обеспечение противолавинной защиты олимпийских объектов // *Инженерные изыскания*. 2007. № 1. С. 51–58.
25. *Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В., Жируев С.П.* Стратиграфические комплексы снежного покрова // *Тезисы докладов Международного симпозиума «Физика, химия и механика снега»*. Южно-Сахалинск: Изд-во компании «КАНО», 2011. С. 159.
26. *Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В., Казакова Е.Н.* Большие лавины небольших склонов // *Геориск*. 2008. № 2. С. 56–58.
27. *Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В., Казакова Е.Н.* Лавинная опасность территории строительства олимпийских объектов в Красной Поляне и защита от лавин // *Тезисы докладов 4-й Международной конференции «Лавины и смежные вопросы»*. Кировск, Апатиты: ООО «Апатит-Медиа», 2011. С. 60–61.
28. *Казакова Е.Н.* Давление лавины на препятствие в низкогорье и высокогорье на примере Сахалина и Западного Кавказа // *Геориск*. 2011. № 4. С. 18–20.
29. *Казакова Е.Н., Боброва Д.А., Рыбальченко С.В.* Давление лавины на препятствие в низкогорье и высокогорье на примере Сахалина и Западного Кавказа // *Проблемы снижения природных опасностей и рисков* // *Материалы международной конференции «Геориск-2009»*. М.: Изд-во РУДН, 2009. С. 310–314.
30. *Козик С.М.* Расчет движения снежных лавин. Л.: Гидрометиздат, 1962. 74 с.
31. *Коломыц Э.Г.* Структура снега и ландшафтная индикация. М.: Наука, 1976. 206 с.
32. *Корнилов Ю.В.* Исследование территориального распределения лавин в районе Красной Поляны: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Нальчик, 2011. 25 с.
33. *Лавиноопасные районы Советского Союза* / под ред. Г.К. Тушинского. М.: Изд-во МГУ, 1970. 198 с.
34. *Лосев К.С., Божинский А.Н., Гракович В.Ф.* Прикладное лавиноведение. Сер. Гляциология. М.: ВИНТИ, 1991. 172 с.
35. *Москалев Ю.Д.* Динамика снежных лавин и снеголавинные расчеты // *Труды САРНИГМИ*. Л.: Гидрометеиздат, 1977. Вып. 36 (117). 232 с.
36. *Руководство по предупредительному спуску снежных лавин с применением артиллерийских систем КС-19*. М.: Гидрометеиздат, 1984. 108 с.
37. *Северский И.В., Благовещенский В.П.* Оценка лавинной опасности горной территории. Алма-Ата: Наука, 1983. 220 с.
38. *Справочник по климату СССР*. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 356 с.
39. *Шабельников В.А., Зимин М.И.* Оценка лавинной опасности района планируемых горнолыжных трасс на северном склоне хребта Аибга (Западный Кавказ) // *Материалы гляциологических исследований*. 2003. Вып. 93. С. 200–204.