

К.В. Александров, Н.В. Северов
ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СНЕЖНЫХ ЛАВИН
И АЛГОРИТМ ИХ РАСЧЁТА

Приведены результаты анализа количественных показателей снежных лавин, причины их возникновения, статистических данных о гибели людей, классификация лавин, степени их опасности, поражающее воздействие на преграды и сооружения.

Ключевые слова: лавины, опасность, защита

K.V. Alexandrov, N.V. Severov
THE MAIN PARAMETERS OF THE SNOW AVALANCHES
AND ALGORITHM OF THEIR CALCULATION

This article gives us information about results of the analysis of quantity indicators of avalanches causes of their appearance, statistical data about destruction of people, classification of avalanches, degrees of their danger, attack influence on barriers and constructions

Key words: avalanches, danger, protection

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

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

По данным Канадской противолавинной службы, с 1984 по 2003 год погибли 230 человек. Из них: туристы-лыжники – 49 %, катающиеся на снегоходах – 23 %, катающиеся вне трасс – 9 %, альпинисты – 8 %, туристы на снегоступах и во время прогулок – 4 %, ледолазы – 4 %.

По данным противолавинной службы США, с 1996 по 2001 год погибли 146 человек. Из них: катающиеся на снегоходах – 44 %, сноубордисты – 14 %, туристы – 10 %, альпинисты – 5 %.

Количество смертельных случаев в странах, в которых ведется мониторинг противолавинной службой: всего погибли 1477 человек с 1991 по 2001 год (рис. 1).

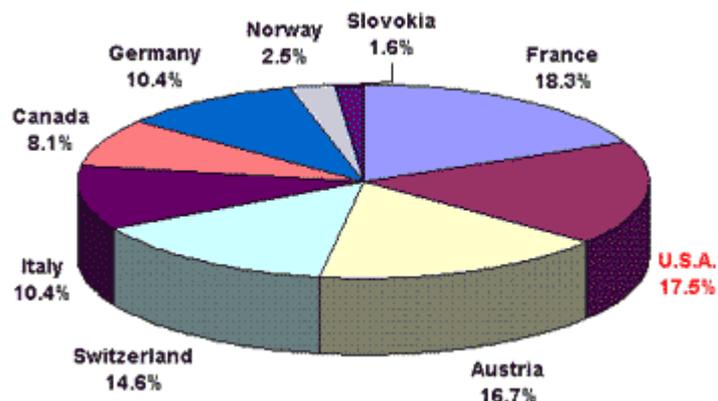


Рис. 1. Статистика погибших горнолыжников, альпинистов, сноубордистов

Необходимость организации противолавинной защиты определяется масштабами распространения явления: площадь лавиноопасных территорий в Российской Федерации составляет 3077,8 тыс. км² (18 % от общей площади страны), еще 829,4 тыс. км² относятся к категории потенциально лавиноопасных. Всего же на Земле лавиноопасные районы занимают около 6 % площади суши и составляют 9253 тыс. км².

В целях повышения безопасности населения и уменьшения ущерба от схода снежных лавин, а также обоснования средств поиска в снегу пострадавших людей необходимо проанализировать параметры снежной лавины и иметь алгоритм их оценки.

Считается, что лавина – это результат действия силы тяжести. Если выделить определенной формы элемент (например, куб) снежной толщи, лежащий на склоне, то, рассматривая его равновесие по законам механики, можно установить следующее: составляющая силы тяжести, направленная параллельно склону, стремится сдвинуть куб вниз. Эта сила тем больше, чем больше масса снега и его плотность.

Но существуют силы, противодействующие этой составляющей: механическое сцепление с нижележащим слоем снега или поверхностью грунта; естественная сила трения, зависящая от тяжести; подпирающая сила снега, лежащего ниже по склону; удерживающая сила сцепления с вышележащим снегом.

Указанные силы называют контурными. Из-за необычайного разнообразия механических свойств снега и его малой стабильности, имеется и многообразие условий, порождающих лавину, и особенно "спусковых механизмов", которые позволяют силе тяжести преодолеть удерживающие силы [1].

К таким условиям или так называемым "спусковым механизмам" относятся следующие лавинообразующие факторы: характер подстилаю-

шего слоя (глубина залегания, устойчивость, характер поверхности); снегопад (количество, тип, плотность, интенсивность); скорость и направление ветра; температура и оседание снега; метелевое перераспределение снежного покрова; высота снежного покрова.

При этом наиболее важными факторами являются прирост свежевыпавшего снега, интенсивность снегопада и метелевый перенос. В отсутствие осадков сход лавин является следствием тепла и солнечной радиации и процесса перекристаллизации, приводящих к разрыхлению снежной толщи, вплоть до образования снежной мелкодисперсной массы в глубине этой толщи, и ослаблению прочности и несущей способности отдельных слоёв.

По характеру движения, в зависимости от строения подстилающей поверхности, различают следующие лавины: склоновая – отрыв и движение по всей поверхности склонов; лотковая – движение по фиксированному руслу; прыгающая – свободное падение с уступов склонов; пластовая – движение по поверхности нижележащего слоя снега; грунтовая – движение по поверхности грунта; снежно-ледовая – появляющаяся в результате обвалов частей снежно-ледовых накоплений, которые располагаются на склонах и вершинах высотой более 3000-5000 м.

В зависимости от свойств снега, лавины могут быть: сухие – снег в лавинном очаге сухой, а его движение сопровождается облаком снежной пыли; мокрые – лавинный снег мокрый и имеет большую плотность; влажные – возникающие в результате увеличения снежной массы при теплых ветрах в высокогорной зоне или при морозящих дождях в верховьях снежной долины.

С учетом рассматриваемого комплекса различных факторов и в соответствии с Международной шкалой [2], снежные лавины характеризуются пятью степенями опасности: наименьшая, умеренная, средняя, значительная, наибольшая.

Основными количественными показателями, характеризующими снежную лавину, являются: масса снега M , до 10^7 кг; объем лавины W , до 10^7 м³; скорость движения, V : для мокрых лавин $V = 10-20$ м/с, для сухих лавин $V = 20-100$ м/с; динамическое давление, $P_d \leq 2$ МПа; дальность выброса, $L_{\max} \leq 2000$ м; повторяемость, $f = 0,01-20$ ед./год; плотность лавинного снега, ρ : для сухих лавин $\rho = 200-400$ кг/м³, для мокрых лавин $\rho = 300-800$ кг/м³; высота фронта лавины, $H_d \leq$ до 10 м; площадь сечения лавинного потока, $S_{\text{лп}} \leq$ до 10^3 м²; коэффициент лавинной опасности $K^* = 0,3-1,0$.

Коэффициент K^* – это отношение лавиноактивной площади к общей лавиноопасной площади.

Коэффициент K^* рассчитывается по формуле:

$$K^* = \frac{S_{ла}}{S_{по}}, \quad (1)$$

где $S_{ла}$ – лавиноактивная площадь; $S_{по}$ – потенциально лавиноопасная площадь.

В работе [4] коэффициент K^* был определен для территории Большого Кавказа. При этом было принято, что площадь $S_{по} = 100 \text{ км}^2$, и выделено 6 зон с различной степенью лавинной опасности, для каждой из которых путем обследования и изучения определялись соответствующие значения площадей $S_{ла}$.

Таким образом, экспериментально-теоретическим способом при $S_{по} = 100 \text{ км}^2$ были определены следующие значения K^* : для зоны №1 – до 1 %; для зоны №2 – 1-5 %; для зоны №3 – 5-25 %; для зоны №4 – 25-50 %; для зоны №5 – 50-75 %; для зоны №6 – 75 % и выше.

Для полученного значения $S_{по} = 100 \text{ км}^2$ при известных значениях K^* , используя формулу (1), для территории Большого Кавказа можно определить площадь $S_{ла}$ в различных зонах лавинной опасности:

$$S_{ла} = K^* S_{по}. \quad (2)$$

Статистический анализ показал, что для очагов площадью более 30 га с увеличением площади очага доля площади, одновременно участвующей в лавинообразовании, уменьшается и описывается уравнением:

$$S_{отр} = 524 \sqrt{S_{ла}}, \quad (3)$$

где $S_{отр}$ – максимальная площадь отрыва, м^2 .

Для определения зависимости толщины оторвавшегося слоя снега от высоты снежного покрова в лавинном очаге были использованы сведения о более чем 100 случаях схода снежных лавин из сухого снега в Швейцарских Альпах [3]. Подобные же сведения были проанализированы по данным Кадастра лавин России для лавин из сухого снега. Для всех рассмотренных районов средняя максимальная толщина оторвавшегося слоя снега, связанная с высотой снежного покрова на лавиноактивной площади, описывается выражением:

$$h_{отр} = 1,83 \cdot \lg 3,36 \cdot h, \quad (4)$$

где $h_{отр}$ – максимальная толщина оторвавшегося слоя снега, м; h – высотой снежного покрова на лавиноактивной площади, м.

Максимальный объем лавин $W_{л}^{\max}$ (м^3), может быть рассчитан по формуле (5):

$$W_{л}^{\max} = 9 \sqrt{S_{ла}} \lg 3,36 \cdot h. \quad (5)$$

Результаты проведенного расчета основных показателей снежных лавин с использованием данных применительно к Северному Кавказу приведены в табл. 1.

Анализ данных табл. 1 показывает, что степень опасности снежной лавины следует считать интегральной характеристикой лавинообразования и количественно оценивать её коэффициентом K^* .

Это, в свою очередь, позволило классифицировать снежные лавины пятью категориями.

На рис. 2 приведена зависимость давления $\Delta P_{\text{фл}}$ (как силы удара на 1 м^2 перпендикулярно расположенной жесткой преграде) фронта снежных лавин от их объема $W_{\text{л}}$ при различной крутизне склонов в различных районах горного массива [4].

Таблица 1

Степень опасности снежных лавин и их характеристики применительно к Северному Кавказу

Категория лавины	Степень опасности K^*	Высота снежного покрова $h, \text{ м}$	Площадь лавино-активная $S_{\text{ла}}, 10^6 \text{ м}^2$	Площадь лавиноотрыва $S_{\text{отр}}, 10^6 \text{ м}^2$	Толщина оторвавшегося слоя снега $h_{\text{отр}}, \text{ м}$	Максимальный объём лавины $W_{\text{л}}, 10^6 \text{ м}^3$
1	Наименьшая ($K^* = 0,01-0,05$)	0,15-0,30	1-5	0,53-1,17	0,06-0,41	0,07-2,68
2	Умеренная ($K^* = 0,05-0,25$)	0,30-0,50	5-25	1,17-2,62	0,41-0,54	2,68-10,14
3	Средняя ($K^* = 0,25-0,5$)	0,50-0,70	25-50	2,62-3,71	0,54-0,68	10,14 -23,70
4	Значительная ($K^* = 0,5-0,75$)	0,70-1,0	50-75	3,71-4,54	0,68-0,96	23,70-40,56
5	Наибольшая ($K^* = 0,75$ и более)	более 1,2	более 75	более 4,6	более 1	более 41,00

Из рис. 2 следует, что для разных горных массивов значения давления $\Delta P_{\text{фл}}$ удара фронта лавины в зависимости от её объема $W_{\text{л}}$ достаточно плотно укладываются в угловом секторе $\alpha = 25^{\circ}-45^{\circ}$.

Сила удара фронта лавины на 1 м^2 перпендикулярно расположенного жесткого препятствия можно рассчитать по формуле:

$$\Delta P_{\text{фл}} = \rho V^2, \quad (6)$$

где $\Delta P_{\text{фл}}$ – давление удара фронта лавины, Па; ρ – плотность снега, кг/м³; V – скорость движения лавины, м/с².

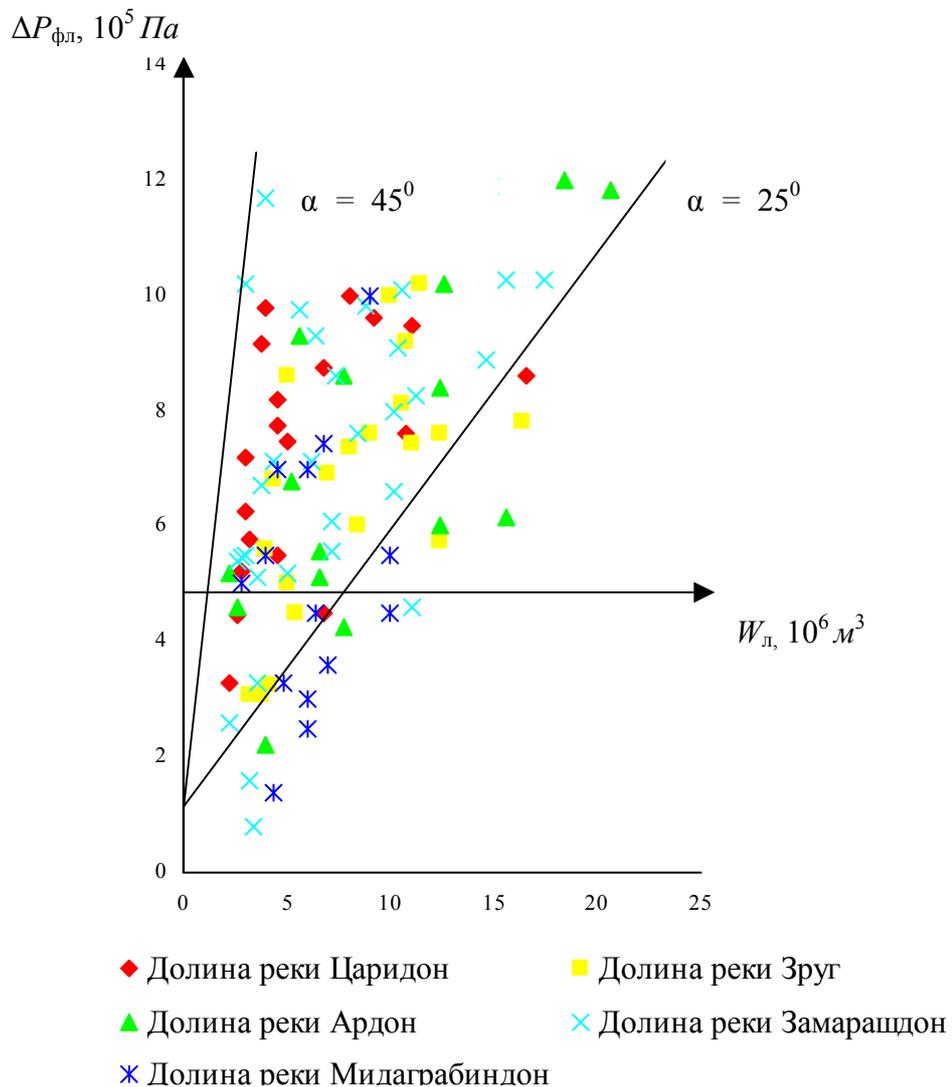


Рис. 2. Зависимость давления фронта лавины от объёма лавины при крутизне склонов $\alpha = 25^{\circ}$ - 45°

Результаты расчета $\Delta P_{\text{фл}}$ по формуле (6) для снежных лавин различных типов даны в табл. 2.

Определено, что расчётные значения давления $\Delta P_{\text{фл}}$ согласуются с данными натуральных измерений параметров снежных лавин при крутизне склонов $\alpha = 25^{\circ}$ - 45° .

Таблица 2

Расчетные давления для различных типов снежных лавин $\Delta P_{\text{фл}}$

№№ п/п	Тип и параметры лавины	Давление удара фронта лавины $\Delta P_{\text{фл}}, 10^5 \text{ Па}$
1	Сухой снег: $\rho = 300 \text{ кг/м}^3$; $V = 30-70 \text{ м/с}$	2,7-14,7
2	Старый снег: $\rho = 400 \text{ кг/м}^3$; $V = 20-40 \text{ м/с}$	1,6-6,4
3	Мокрый снег: $\rho = 500 \text{ кг/м}^3$; $V = 10-20 \text{ м/с}$	0,5-2,0

В соответствии с данными [4], в табл. 3 показано поражающее воздействие снежных лавин на различные преграды и объекты. Данные табл. 3 свидетельствуют о том, что снежные лавины при различных их типах и условиях схода способны вызывать на своем пути повреждения и разрушения деревянных, каменных, железобетонных сооружений и других менее устойчивых объектов и будут особо опасными для человека.

Таблица 3

Поражающее действие снежных лавин

Давление удара фронта лавины $\Delta P_{\text{фл}}, 10^5 \text{ Па}$	Характер поражающего действия
0,02	Разрушение стёкол и оконных рам
0,05	Разрушение дверей, изгороди, слом ветвей деревьев
0,3	Разрушение деревянных зданий, слом молодых деревьев
1,0	Повреждение легких каменных сооружений, слом стволов деревьев
2,5	Разрушение каменных сооружений, валка старого леса
10,0	Разрушение железобетонных сооружений

Литература

1. Лосев К.С. По следам лавин. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 290 с.
2. Охотники за лавинами. Издание 2-е, стереотипное. Перевод с английского Г.Н. Голубева под ред. Т.К. Тушинского. – М.: "Мир", 1980. – 250 с.
3. Баринов А.В. Чрезвычайные ситуации природного характера и защита от них. Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Владос-Пресс, 2003. – 496 с.
4. Залиханов М.Ч. Снежные лавины и перспективы освоения гор Северной Осетии. – Орджоникидзе.: Издательство ИР, 1974. – 295 с.