

АНТРОПОГЕННЫЕ И ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫЕ ЛАВИННЫЕ КОМПЛЕКСЫ (НА ПРИМЕРЕ о. САХАЛИН)

Anthropogenic and Natural-Anthropogenic Avalanche Complex (Sakhalin Island)

КАЗАКОВА Е.Н.

И.о. старшего научного сотрудника, ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН (Сахалинский филиал), к.г.-м.н.
kazakova-e-n@yandex.ru

БОБРОВА Д.А.

Научный сотрудник ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Сахалинский филиал, к.г.н., bobrova@fegi.ru

KAZAKOVA E.N.

Senior researcher, Sakhalin Department of Far East Geological Institute, Far East Branch of Russian Academy of Sciences, Ph.D.,
kazakova-e-n@yandex.ru

BOBROVA D.A.

Scientific researcher, Sakhalin Department of Far East Geological Institute, Far East Branch of Russian Academy of Sciences, Ph.D., bobrova@fegi.ru

Ключевые слова: лавина, лавинная опасность, антропогенный лавинный комплекс, природно-антропогенный лавинный комплекс, антропогенное воздействие, Сахалин.

Аннотация: активная хозяйственная деятельность в настоящее время приводит к изменению природных и созданию антропогенных лавинных комплексов, тем самым увеличивая степень лавинной опасности территории. В лавинах, сходящих с искусственных склонов в разных частях России, неоднократно погибали люди. Проблема формирования лавин на искусственно созданных склонах практически не изучена: в литературе встречается описание отдельных случаев формирования лавин на таких склонах, однако в общепринятой практике разработки карт лавинной опасности антропогенно измененные склоны не считают лавиноопасными. В настоящей работе рассматриваются природно-антропогенные лавинные комплексы (лавинные комплексы, в которых антропогенная деятельность приводит к повышению лавинной опасности за счет увеличения крутизны склона, уничтожения древесной растительности в лавиносборе, создания зоны сноса снега ветром и т.п.), а также антропогенные лавинные комплексы (полностью созданные человеком лавинные комплексы, например откосы железнодорожных и автомобильных насыпей, различных выемок, бермы карьеров, откосы отвалов снега, грунта, горных пород, мусора и т.д.).

Key words: avalanche, avalanche hazard, anthropogenic avalanche complex, natural-anthropogenic avalanche complex, anthropogenic influence, Sakhalin.

Abstract: at the present time active economic activity leads to changes in natural avalanche complex and creates anthropogenic avalanche complex. This caused to increase of avalanche hazard of territory. There are several cases of deaths in avalanches passed from artificial slopes in different regions of Russia. The problem of the avalanche formation on artificial slopes is poorly studied: there are only some facts about avalanches on artificial slopes in literature. However artificial slopes aren't usually considered as dangerous. Artificial slopes with relative elevation more than 5 m, slope from 30° to 50° and thickness of the snow cover more than 30 cm should be recognized avalanche-prone slopes because there are number of cases of deaths in avalanches passed from artificial slopes. The paper discusses natural-anthropogenic and anthropogenic avalanche complexes.

Введение

В настоящее время активная хозяйственная деятельность приводит к изменению природных лавинных комплексов, увеличивая лавинную опасность, а в некоторых случаях — к созданию новых, ранее не существовавших, антропогенных лавинных комплексов. Последние представляют собой искусственно созданные склоны — откосы различных насыпей и выемок, бермы карьеров и т.п. Создание антропогенных лавинных комплексов увеличивает площадную пораженность территории лавинными процессами, что затрудняет ведение хозяйства и повышает лавинную опасность для населения.

Несмотря на то что в большинстве случаев антропогенные лавиносборы имеют небольшие относительные высоты, а объемы лавин здесь редко превышают 1 тыс. м³,

лавины в таких лавиносборах неоднократно вызывали экономический ущерб, а также приводили к человеческим жертвам. Чаще всего в условиях урбанизации в небольшие лавины с антропогенных склонов падают дети.

Таким образом, для минимизации последствий от схода лавин необходимо расширять представления о формировании лавин на искусственных склонах, а также исследовать антропогенные факторы увеличения лавинной опасности в природных лавинных комплексах.

Постановка проблемы

Изучением лавин на искусственно созданных склонах занимались специалисты из Научно-исследовательской лаборатории снежных лавин и селей географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова [13, 14],

а также из Центра лавинной безопасности ОАО «Апатит» [4].

Первые исследования лавинных процессов на антропогенных территориях были начаты в 1967 году Кольским филиалом АН СССР [1]. Было выявлено, что на предохранительных и транспортных бермах карьеров комбината «Апатит» возможно накопление снега толщиной в 3–4 м, что может явиться причиной схода лавин с берм. Также были предложены рекомендации по защите карьеров от снежных лавин в Хибинских горах на комбинате «Апатит» [11].

На территории Российской Федерации зафиксирован ряд случаев попадания людей в лавины, сошедшие с искусственных склонов (табл. 1).

Кроме того, В.И. Якшин приводит несколько случаев гибели людей в лавинах, сошедших со склонов железнодорожных насыпей, отвалов и карьеров [15].

Таким образом, любые железнодорожные, автомобильные насыпи, выемки, карьеры, отвалы (снега, грунта, горных пород, мусора и т.д.) высотой более 5 метров и с уклоном от 30 до 50° при толщине снежного покрова более 30 см на склонах являются лавиноопасными [1, 4, 11] и представляют постоянную опасность для населения.

В целом проблеме формирования лавин на искусственно созданных склонах нельзя считать изученной. В литературе встречается описание отдельных случаев формирования лавин на таких склонах, однако в общепринятой практике разработки карт лавинной опасности территории антропогенно измененные склоны не считают лавиноопасными.

Антропогенные и природно-антропогенные лавинные комплексы

В связи с активной хозяйственной деятельностью в настоящее время необходимо становится выделение лавинных комплексов, созданных человеком. Такие лавинные комплексы можно разделить на два типа:

1. *Природно-антропогенные лавинные комплексы* — лавинные комплексы, в

которых антропогенная деятельность приводит к повышению лавинной опасности (за счет увеличения крутизны склона, уничтожения древесной растительности в лавиносборе, создания зоны сноса снега ветром).

2. **Антропогенные лавинные комплексы** — полностью созданные человеком лавинные комплексы (откосы железнодорожных и автомобильных насыпей, различных выемок, бермы карьеров, откосы отвалов снега, грунта, горных пород, мусора и т.д.).

Антропогенные и природно-антропогенные лавинные комплексы выделены по аналогии с природными лавинными комплексами [3] и включают в себя: участок земной поверхности, на котором зарождается, движется и останавливается лавина (лавиносбор); снежный покров в лавиносборе, из которого формируется лавина; саму лавину.

Рассмотрим более подробно каждый из этих двух типов лавинных комплексов.

Природно-антропогенные лавинные комплексы

Природно-антропогенные лавинные комплексы представляют собой природные лавинные комплексы, в которых антропогенная деятельность привела к повышению лавинной опасности за счет увеличения повторяемости, объемов, динамических характеристик лавин.

Основными видами антропогенного изменения природных лавинных комплексов, влияющими на характеристики лавинных процессов, являются изменение морфометрических и морфологических параметров рельефа, изменение характера древесной растительности и свойств подстилающей поверхности склона.

Рассмотрим подробно виды антропогенного воздействия на природные лавинные комплексы.

Антропогенное воздействие на рельеф

Характер рельефа обуславливает морфометрические и морфологические характеристики лавиносборов и формирующихся в них лавин. Антропогенное воздействие на рельеф может приводить к изменению динамических характеристик лавин (дальности выброса лавин, давления лавины на препятствие, скорости лавины), а также повторяемости и объемов лавин.

Антропогенное воздействие на рельеф заключается в следующем:

- изменение морфологического типа лавиносбора;
- изменение относительной высоты лавиносбора;
- изменение формы продольного профиля лавиносбора;
- создание или увеличение зоны сноса снега ветром.

К изменению морфологического типа лавиносбора приводят мероприятия, вследствие которых происходит изменение формы лавиносбора в плане, например, некоторые виды подрезок склонов, в результате которых небольшие лотковые лавиносборы в виде же-

лобов приобретают характер ровного осовного склона. Также морфологический тип лавиносбора может меняться вследствие косвенного воздействия на склон, при котором увеличивается скорость эрозионных процессов на склоне, что приводит к формированию лавиносборов лоткового типа.

В результате антропогенного воздействия может меняться относительная высота склона. Увеличение высоты склона происходит за счет создания насыпей и отвалов на его вершине, в свою очередь срезка склона приводит к уменьшению его относительной высоты, вплоть до его полного уничтожения.

Изменение формы продольного профиля лавиносбора в основном происходит за счет подрезки нижней части склона и формирования ступени или обрыва. За счет подрезки склонов, обычно при строительстве автомобильных или железных дорог, образуются также скальные обрывы. На о. Сахалин такие обрывы обычно имеют относительные высоты 20–100 м и крутизну 50–80°. Для них характерны карнизные и прыгающие лавины, формирующиеся в верхней, более пологой части склона. Объемы таких лавин обычно не превышают 200 м³. Повторяемость лавин не превышает 1 раза за зиму.

В некоторых случаях при строительстве автомобильных и железных дорог у подножия склона при выравнивании его профиля происходит увеличение его крутизны до 30–45°, что приводит к появлению лавиноопасного осовного склона.

На о. Сахалин относительные высоты таких лавиносборов имеют достаточно широкий диапазон и составляют от 20 до 100 м. Для них характерны большие уклоны (30–45°), а также поверхности скольжения лавин, представленные травянистой растительностью либо щебнем, что обуславливает низкие коэффициенты трения; это обеспечивает высокие значения динамических характеристик лавин данного типа лавинных комплексов. Средние объемы лавин здесь составляют 0,05–1,00 тыс. м³, а максимальные могут достигать 15 тыс. м³.

Такой лавиносбор, например, был создан к северу от г. Макаров. При выравнивании профиля склона были созданы условия для формирования лавин с большими значениями динамических характеристик: склоны относительной высотой 100 м имеют постоянный уклон 45° (рис. 1, 2). Непосредственно у подножия склона находится железная дорога Южно-Сахалинск–Оха, а также проходящая параллельно ей автодорога, в связи с чем лавины с данного осовного склона представляют большую опасность для железнодорожного и автомобильного транспорта.

Примером создания зоны сноса снега ветром в верхней части лавинного комплекса является выравнивание поверхности морской террасы под сельскохозяйственные нужды. Так, на западном побережье Южного Сахалина (между с. Шебунино и с. Ильинский) поверхности морских террас были выровнены, кроме того, там был вырублен лес при распахке для сельскохозяйственной деятельности (рис. 3).

Зона сноса снега ветром обеспечивает большую площадь снегосборного бассейна,



Рис. 1. Антропогенно измененный осовный склон уклоном 45° (граница показана красной линией), восточное побережье о. Сахалин. Фото Е.Н. Казаковой



Рис. 2. Антропогенно измененный осовный склон (граница показана красной линией), Южно-Камышевый хр. Фото Н.А. Казакова



Рис. 3. Зона сноса снега ветром (граница показана желтой линией), образованная вследствие распахки поверхности морской террасы под сельскохозяйственные нужды, западное побережье Южного Сахалина. Желтой стрелкой указано направление схода лавин. Фото Ю.В. Генсировского

что создает благоприятные условия для приноса большого объема снега, во-первых, в зону зарождения лавин, что приводит к увеличению объемов и повторяемости лавин; во-вторых, к бровке морской террасы, что приводит к формированию снежного карниза большого размера; обрушение же снежного карниза во многих случаях инициирует сход пластовой лавины большого объема. Необходимо отметить, что при наличии зоны сноса происходит фор-

Случаи попадания и гибели людей в лавинах на искусственных склонах (по [1, 8, 15])

Место схода	Дата схода	Относительная высота лавиноопасного склона, м	Форма рельефа	Число попавших в лавину	Число погибших в лавине
п. Киндери (Респ. Татарстан)	31.01.2008	10-20	карьерная насыпь	3	-
п. Бугульма (Респ. Татарстан)	28.01.2008	20	ж/д насыпь	9	4
Саамский карьер комбината «Апатит» (Мурманская обл.)	24.03.1983	-	берма карьера	1	1
Томаринский район (Сахалинская обл.)	1987	10	ж/д выемка	4	1
п. Ударный (Сахалинская обл.)	2004	-	шахтный отвал	2	2

мирование лавин во время низовых метелей даже при отсутствии снегопадов.

Таким образом, антропогенное воздействие на рельеф может приводить к образованию новых лавиноопасных участков, изменению динамических характеристик лавин, увеличению повторяемости лавин и их объемов, следовательно, к увеличению лавинной опасности для населения и хозяйства.

Антропогенное воздействие на древесную растительность

Древесная растительность в лавиносборе играет в лавинном процессе регулируемую роль, с одной стороны, способствуя удержанию снежного пласта на склоне, с другой стороны, увеличению скорости метаморфизма снежного покрова, что, в свою очередь, приводит к формированию неустойчивой снежной толщи и увеличению дальности выброса лавин.

Густой лес на склоне способствует снижению интенсивности проявления лавинных процессов (уменьшению повторяемости и объемов лавин) [16–18], но не способен полностью исключить развитие лавинных процессов на склонах крутизной более 35° [5].

Возникновение снежных лавин в местах, где их не наблюдали ранее, часто вызывается сведением леса на склонах. Так, истребление леса на горных склонах Южного Сахалина привело к возникновению многих лавиноопасных участков, например, в поселках, приуроченных к подножью склонов Южно-Камышевого хребта.

Воздействие на растительность в лавиносборе заключается обычно в изменении густоты древесной растительности (сведение леса или лесопосадки) либо состава пород и преобладающего возраста.

Изменение параметров лавин зависит от зоны лавиносбора, в которой осуществляются вырубки.

Вырубка леса в зоне сноса снега ветром и в зоне аккумуляции лавин оказывает влияние на распределение снежного покрова в лавиносборе. Деревья и кустарники выполняют функции снегозадерживающих сооружений, так как являются естественными препятствиями на пути ветра. Они оказывают сильное влияние на скорость приземного слоя воздуха — темновихорные древостои уменьшают ее среднеголовые значения в 5 раз, однако их сильное изреживание (до 50% запаса) несколько ее увеличивает [9]. Лес в зоне сноса предотвращает метелевый перенос снега с наветренных склонов на подветренные и препятствует образованию снежных карнизов в пригребневой зоне.

Вырубка леса на поверхности сноса снега ветром создает благоприятные условия для снегопереноса, что обеспечивает дополнительный принос снега в лавиносбор, тем самым приводя к увеличению объемов лавин, а также частоты их формирования, и к формированию в лавиносборе снежного карниза большого объема.

Вырубки в зонах зарождения и транзита лавин приводят к увеличению значений динамических характеристик лавин, повторяемости лавин и их объемов.

Отсутствие древесной растительности в зоне аккумуляции лавин влияет на распределение лавинных отложений, их форму и толщину. Кроме того, древесная растительность в зоне аккумуляции может играть тормозящую роль, что, в свою очередь, уменьшает дальность выброса лавины.

Таким образом, главную роль древесная растительность в лавиносборе играет в перераспределении снега и формировании снежных карнизов, поэтому полное или частичное сведение лесов со склонов часто приводит к увеличению объемов лавин и изменению лавинного режима.

Антропогенное воздействие на подстилающую поверхность

Изменение свойств подстилающей поверхности в лавиносборе происходит, например, при сведении растительности на склоне и его отсыпке щебнем. Изменение свойств подстилающей поверхности приводит к изменению динамических характеристик лавин, что связано с изменением коэффициентов трения. Кроме того, возможно увеличение частоты формирования лавин генетического класса перекристаллизации снежной толщи, что обусловлено влиянием свойств подстилающей поверхности на скорость и характер процесса метаморфизма снежной толщи. Лавины данного класса имеют значительно большие значения динамических характеристик, чем, к примеру, лавины нового снега [6].

Данный вид антропогенного воздействия на природные лавинные комплексы приводит к минимальным изменениям в характеристиках лавин и лавинного режима по сравнению с вышеописанными.

Антропогенные лавинные комплексы

Антропогенные лавинные комплексы представляют собой элементы рельефа, полностью созданные человеком. Это могут быть откосы железнодорожных и автомо-

бильных насыпей, различных выемок, бермы карьеров, откосы отвалов снега, грунта, горных пород, мусора и т.д. Лавиноопасными являются насыпи, бермы и откосы высотой более 5 м и уклоном от 30 до 50° при толщине снежного покрова на склонах более 30 см [1, 2, 4, 11].

При разработке среднес- и крупномасштабных карт лавинной опасности, а также на стадии инженерных изысканий при строительстве необходимо проводить исследование территории на наличие искусственно созданных склонов. Например, в г. Иркутске под искусственно созданным склоном автомобильной насыпи проходит автомобильная дорога, которая находится в лавиноопасной зоне. Очевидно, что объемы и динамические характеристики лавин с подобных склонов имеют небольшие значения, однако даже лавина объемом 200–300 м³ представляет опасность для человека. Так, на о. Сахалин за период с 1928 по 2014 г. в лавины объемами менее 300 м³ попали 32 человека, 10 из них погибли [7]. Неоднократно фиксировалось попадание людей в лавины объемом 10 м³.

Антропогенные лавинные комплексы в большинстве случаев отличаются рядом характерных особенностей:

- относительная высота лавиносборов редко превышает 50 м;
- морфологический тип лавиносбора — осовный склон;
- характерный продольный профиль лавиносбора с постоянным большим уклоном в зонах отрыва и транзита лавин и резким выполаживанием в зоне аккумуляции;
- отсутствие поворотов продольного профиля лавиносбора (это влияет на динамику лавины, форму тела лавины, размеры его головной части, дальность и направление выброса лавины).

В связи с этими особенностями антропогенные лавинные комплексы имеют типичную морфологию и морфометрию, благодаря чему лавины из таких лавинных комплексов, расположенных в одной климатической зоне, имеют сходные параметры (объем, повторяемость и значения динамических характеристик). Таким образом, для лавин из антропогенных лавинных комплексов, расположенных в одной климатической зоне, можно рассчитать примерные характеристики без проведения полевых исследований. Несмотря на то что эти значения отличаются значительной долей приближения, они вполне пригодны для первичной

Расчетные характеристики лавин в антропогенных лавинных комплексах на примере Южного Сахалина

Морфометрические параметры лавиносбора			Расчетные характеристики лавин			
			объем, тыс. м ³		пиковое давление на препятствие*, МПа	макс. дальность выброса**, м
относительная высота, м	уклон, град.	ширина, м	сред.	макс.		
5-10	30-45	10-50	0,1	1,0	0,018-0,040	15-35
		50-100	0,3	1,5		
		100-150	0,5	2,5		
10-30	30-45	10-50	0,4	3,0	0,025-0,069	35-100
		50-100	0,9	6,0		
		100-150	1,4	8,5		
30-50	30-45	10-50	0,7	6,0	0,044-0,089	100-170
		50-100	1,7	12,0		
		100-150	2,8	15,0		

Примечания: *по методике Лосева К.С., Божинского А.Н., Граковича В.Ф. [12]. **по методике Козика С.М. [10]

оценки лавинной опасности антропогенных лавинных комплексов и могут быть использованы на ранних стадиях проектно-изыскательских работ и при работах по территориальному планированию селитебных зон. В таблице 2 приведены расчетные характеристики лавин в антропогенных лавинных комплексах на примере Южного Сахалина.

Заключение

В заключение можно сделать следующие выводы:

- искусственные склоны относительной высотой более 5 м и уклоном более 30°

являются лавиноопасными, поскольку зафиксирован ряд случаев попадания и гибели людей в лавинах, сошедших с таких склонов;

- основными видами антропогенного изменения природных лавинных комплексов, влияющими на характеристики лавинных процессов, являются изменение морфометрических и морфологических параметров рельефа, изменение характера древесной растительности и свойств подстилающей поверхности лавиносбора;
- антропогенные лавинные комплексы в большинстве случаев отличаются ря-

дом характерных особенностей (относительная высота лавиносборов до 50 м; морфологический тип лавиносбора — осовный склон; продольный профиль лавиносбора с постоянным большим уклоном в зонах отрыва и транзита лавин и резким выполаживанием в зоне аккумуляции; отсутствие поворотов продольного профиля лавиносбора), в связи с чем лавины из таких лавинных комплексов, расположенных в одной климатической зоне, имеют сходные параметры, порядок значений которых можно рассчитать без проведения полевых исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арсеньев А.И. Инженерная гляциология в горном деле // Труды I Всесоюзного координационного совещания по инженерной гляциологии. Апатиты, 1973. С. 27–30.
2. Боброва Д.А. Лавинная опасность равнинных территорий о. Сахалин // Лед и снег. 2013. № 4. С. 60–66.
3. Божинский А.Н., Лосев К.С. Основы лавиноведения. Л.: ГИМИЗ, 1987. 280 с.
4. Зюзин Ю.Л. Суровый лик Хибин. Мурманск: Рекламная полиграфия, 2006. 236 с.
5. Казаков Н.А. О формировании снежных лавин в лесу // Материалы гляциологических исследований. 2006. № 102. С. 192–196.
6. Казакова Е.Н. Зависимость динамических характеристик лавин на Сахалине от их генетических типов // Геориск. 2009. № 4. С. 10–13.
7. Казакова Е.Н., Лобкина В.А. Лавинные катастрофы Сахалинской области // Материалы гляциологических исследований. 2007. № 103. С. 184–188.
8. Каталог лавин о. Сахалин и Курильских островов за период 1935–1989 гг. Южно-Сахалинск: Сахалинское УГМС, 1990. 233 с.
9. Клинецов А.П. Защитная роль лесов Сахалина. Южно-Сахалинск: Сахалинское отделение Дальневосточного книжного изд-ва, 1973. 232 с.
10. Козик С.М. Расчет движения снежных лавин. Л.: Гидрометиздат, 1962. 74 с.
11. Красносельский Э.Б. Возникновение снежных лавин в карьерах и защита от них // Исследования снега и лавин в Хибинах: сб. науч. ст. Л., 1975. С. 133–139.
12. Лосев К.С., Божинский А.Н., Гракович В.Ф. Прикладное лавиноведение. М.: ВИНТИ, серия «Гляциология», 1991. 172 с.
13. Селиверстов Ю.Г. Условия образования катастрофических лавин на равнинных территориях // Природные риски: анализ, оценка, картографирование // Материалы Международной научной конференции, посвященной 80-летию со дня рождения С.М. Мягкова. М., 2013. С. 173–178.
14. Сократов С.А., Селиверстов Ю.Г., Шнытарков А.Л., Колтерманн К.П. Антропогенное влияние на лавинную и селевую активность // Лед и снег. 2013. № 2 (122). С. 121–128.
15. Якишин В.И. На пути снежных драконов // [электронный ресурс] — <http://www.snowway.ru/> (дата обращения: 17.10.2013).
16. Germain D., Fillion L., Hétu B. Snow avalanche activity after fire and logging disturbances, northern Gaspé Peninsula, Quebec, Canada // Canadian Journal of Earth Sciences, 2005, 42(12), pp. 2103–2116.
17. Gray D.M. and Male D.H. Handbook of Snow: Principles, Processes, Management and Use, Pergamon Press, Toronto, Canada, 1981, 776 pp.
18. McClung D.M. Characteristics of terrain, snow supply and forest cover for avalanche initiation caused by logging // Annals of Glaciology, 2001, Volume 32, № 1, pp. 223–229(7).