

УДК 551.578.48

Вероятностное зонирование смежных лавиносборов методом физического моделирования

© 2012 г. Ю.Б. Андреев, А.Н. Божинский, Н.А. Володичева, Ж.Е. Молоткова, Н.М. Молотков

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

abozh@mail.ru

Статья принята к печати 12 января 2012 г.

Вероятностное зонирование, зона отложений, лавины, смежные лавиносборы, сыпучий материал, физическое моделирование.

Adjacent avalanche sites, avalanches, deposition zone, dry material, physical modeling, probabilistic zoning.

Вероятностное зонирование лавиносборов ведётся на основе натуральных наблюдений и методом математического или физического моделирования процессов динамики снежных лавин. Задачи настоящей работы – исследование взаимодействия и построение карт вероятностного зонирования двух смежных лавиносборов методом физического моделирования. Для исследований выбраны смежные лавиносборы № 9 и 10 на склоне северной экспозиции горы Чегет в Приэльбрусье. Разработана модель склона в масштабе 1 : 2500, её размер – 0,82 × 1,1 × 0,57 м. Модель выполнена из 4-миллиметровых листов фанеры, наложенных друг на друга. Горизонталы модели соответствуют 10 м – горизонталям карты. Сыпучим материалом, моделирующим снег, служили мелкодисперсные опилки (0,1 мм) с углом естественного трения 43°. Проведена серия экспериментов по спуску модельных лавин из двух лавиносборов, в ходе которых измерялись дальность, ширина и толщина выброса. Эксперименты велись с учётом критериев подобия. Установлены морфометрические особенности взаимодействия смежных лавиносборов, и построена карта вероятностного зонирования смежных лавиносборов № 9 и 10.

Введение

При освоении лавиноопасных территорий весьма важно оценить зону действия лавин. Мелко- и среднemasштабные карты дают лишь общее представление о лавинной опасности. Для размещения конкретных объектов в зонах возможной лавинной опасности необходимы крупномасштабные (1:5 000 и крупнее) топографические карты лавиносборов. Более того, желательна вероятностная оценка лавинной опасности, получить которую можно на основании статистического анализа многолетних натуральных наблюдений за сходом лавин в конкретном лавиносборе, а также методами моделирования [1, 4, 5]. Однако число лавиносборов, для которых имеются ряды натуральных наблюдений достаточной длины, весьма ограничено. Поэтому важную роль играет разработка методов математического или физического моделирования динамики лавин [2, 3, 7, 8].

В задачи настоящей работы входило исследование взаимодействия и построение карт вероятностного зонирования двух смежных лавиносборов методом физического моделирования. Стимулом для проведения подобных работ послужил сход 29 декабря 2001 г. с северного склона горы Чегет в Приэльбрусье из лавиносборов № 9 и 10 двух крупных лавин с необычной траекторией движения [6]. Лавина из лавиносбора № 9 отклонилась от традиционного пути, прошла вверх по долине, уничтожила древний лес на селевом конусе р. Гарабаши. По-

следствия схода лавины были катастрофические: общая площадь зоны поражения достигла 66,5 га. В результате снеговоздушной волны массовые повалы леса достигали противоположного склона долины. Толщина лавинных отложений на конусе выноса составляла 1–1,5 м при максимальных значениях 3–4 м [6]. Сочетание высокой энергии рельефа, наличия скальных уступов в зоне транзита, метелевого перераспределения снега на склоне, повышенного накопления снега в ледниковых карах приводит к особому типу движения лавин – прыгающему. Лавины из лавиносборов № 9–11 угрожают автодороге между поселками Азау и Терскол, а также строениям в верхней части посёлка. Весь северный склон г. Чегет в аномально снежные зимы срабатывает как единый лавиносбор, формируя гигантскую лавину. Именно изучение такого типа движения лавины и интересно для физического моделирования, поскольку математические модели такого сложного процесса пока не разработаны.

Методика моделирования. Критерии подобия

Физическое моделирование лавин сыпучими материалами проводилось на модели склонов малого масштаба. Методика выполнения подобных модельных экспериментов разработана в середине 1990-х годов [7]. Критерии подобия модельных и натуральных процессов движения лавин сформулированы в работах [3, 8]. Они включали в себя: 1) геометрическое

подобие (масштаб модели); 2) статистическое подобие гранулированных потоков и лавин, согласно которому средние размеры частиц модельного материала, как и в реальной снежной лавине, должны быть значительно меньше минимальных поперечных размеров потока; 3) критерий равенства углов внутреннего трения снега и гранулированного материала; 4) критерий Фруда, по которому определяются скорости и характерные времена процесса.

Использование простой динамической модели лавин показало, что углы склона и внутреннего трения сыпучего материала при физическом моделировании взаимосвязаны. Установлено, что малые приращения угла склона и угла внутреннего трения сыпучего материала практически равны [3, 7, 8]. Этот вывод позволяет учитывать изменения свойств сыпучего материала путём изменения угла склона. Иными словами: модельный эксперимент с изменённым углом склона и сыпучим материалом с за-

данными свойствами эквивалентен модельному эксперименту с начальным углом склона и сыпучим материалом с изменёнными свойствами.

Таким образом, при физическом моделировании варьировали двумя параметрами: объёмом сыпучего материала, вовлекаемого в движение, и коэффициентом (углом) внутреннего трения сыпучего материала, что обеспечивало получение статистических рядов характеристик и параметров модельных лавин.

Модель смежных лавиносборов

Исходным материалом для создания физической модели послужила карта масштаба 1:10 000 (рис. 1) лавиносборов № 9 и 10 на склоне северной экспозиции горы Чегет. Она приводилась к масштабу 1:2500. 120 форм горизонталей модели, вырезанных в натуральную величину из 4-миллиметровой фанеры, были последовательно склеены между собой. Шероховатую поверхность модели не-

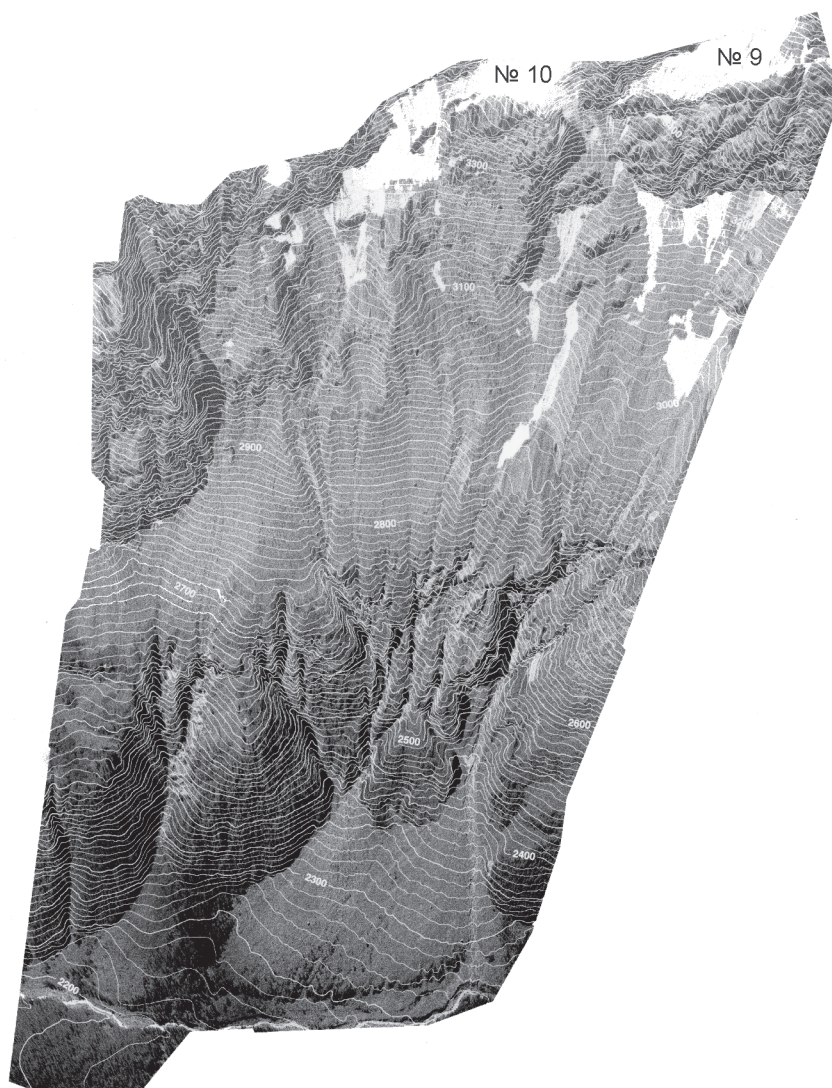


Рис. 1. Карта склона северной экспозиции горы Чегет со смежными лавиносборами № 9 и 10

Fig. 1. The map of the Northern exposition of Tcheget Mountain with adjacent avalanche sites № 9 and 10

однократно обрабатывали шпатлёвкой и лаком. В качестве материала, моделирующего снег, выбраны мелкодисперсные дубовые опилки (0,1 мм) с углом естественного трения 43°.

На тыльной стороне основания изготовленной модели склона шириной 0,82 м, длиной 1,1 м и высотой 0,57 м был установлен зубчатый поворотный механизм. Он необходим для плавного поворота модели вдоль продольной оси на заданный дополнительный угол трения (8–13°) до момента начала движения сыпучего материала вдоль склона. Для удобства снятия показаний непосредственно на модели маркером были выделены горизонтали, кратные 50 м, и начерчена масштабная сетка на предполагаемой зоне отложений.

Изучение взаимодействия лавин из смежных лавиносборов началось с серии опытов по выявлению основных русел и характера движения сыпучего материала по искусственному склону. Опилки распределялись через сито на модель склона в малом объёме (50–70 мл), что давало тонкий (до 0,3 мм) прозрачный слой материала. Модель наклоняли, и происходил срыв материала. Задаваемые условия (дополнительный угол наклона и высота отрыва) заносились в реестр. Велись также измерения параметров лавин (толщина и максимальная ширина отложений, наклонная и горизонтальная дальности выброса, высота верхнего и нижнего краёв отложений) по ранее разработанным таблицам регистрации параметров натуральных и модельных лавин для лавиносборов «Домашний» в Приэльбрусье и № 22 в Хибинах [4, 5]. После схода модельной лавины склон фотографировали. По снимку определяли контуры зоны отложения, которые становились одним из слоёв при составлении в дальнейшем карты вероятностного зонирования.

На первом этапе работы на модельной установке исследовался характер движения материала, устанавливались основные русла лавиносборов и траектории движения (рис. 2 и 3). Локальные траектории проявляются при незначительной толщине слоя спускаемого материала. По мере увеличения объёма насыпаемых опилок устанавливаются основные русла лавиносбора. При доведении объёма насыпаемых опилок до 250 мл обнаружена морфологическая ступень, которая аккумулирует материал и при максимальных углах наклона, что прямо пропорционально максимальному снегонакоплению [7], обеспечивает сход катастрофической модельной лавины.

Дальнейшее изучение взаимодействия смежных лавиносборов позволило определить условия для нестандартного движения лавинного тела в зоне отложений вверх по долине. Установлено, что первоначально материал должен сойти из лавиносбора № 10, перегородив русло реки и образовав заслон на пути

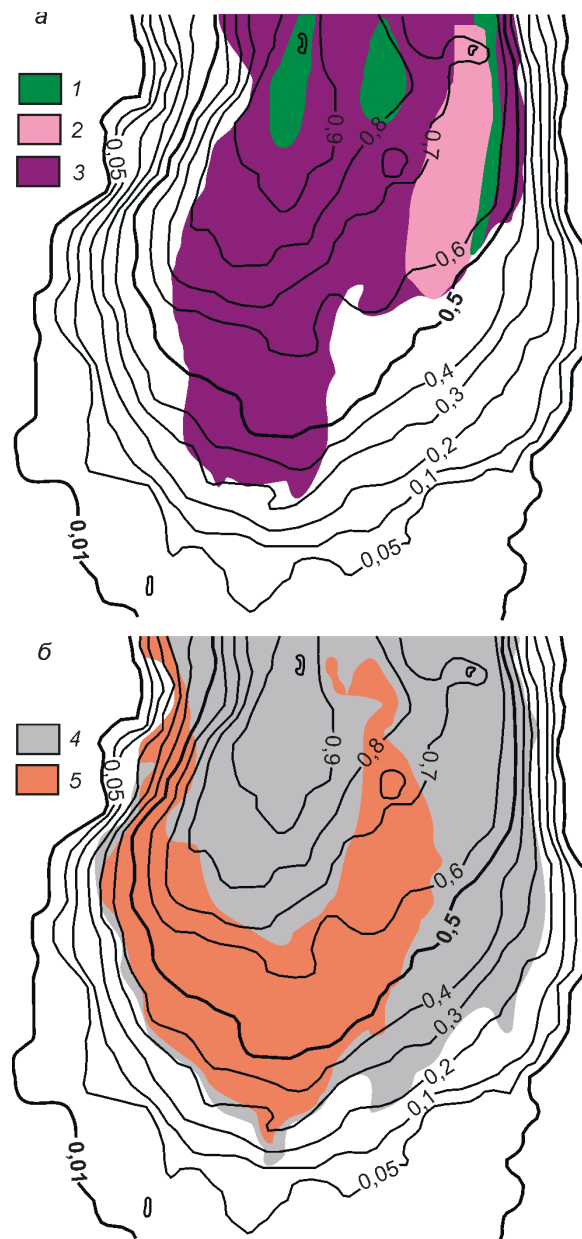


Рис. 2. Контуры отложений модельных лавин при вариации дополнительных углов наклона продольной оси склона модели (а) и при вариациях толщины сыпучего материала (б) от 1 до 5 мм:

1 – 8°; 2 – 10°; 3 – 13°; 4 – 5 мм; 5 – 3 мм; цифры на изолиниях показывают вероятность границ лавинных отложений

Fig. 2. The deposit contours of model avalanches with variation of additional model slope angle (a) and with variation of dry material thickness (b) from 1 to 5 mm:

1 – 8°; 2 – 10°; 3 – 13°; 4 – 5 mm; 5 – 3 mm; numbers on contours show the probability of avalanche deposit limits

последующей лавины, идущей по традиционному пути (рис. 4, а). В ходе движения по склону с изменённым рельефом модельная лавина отклоняется от обычного направления движения (см. рис. 4, б). На

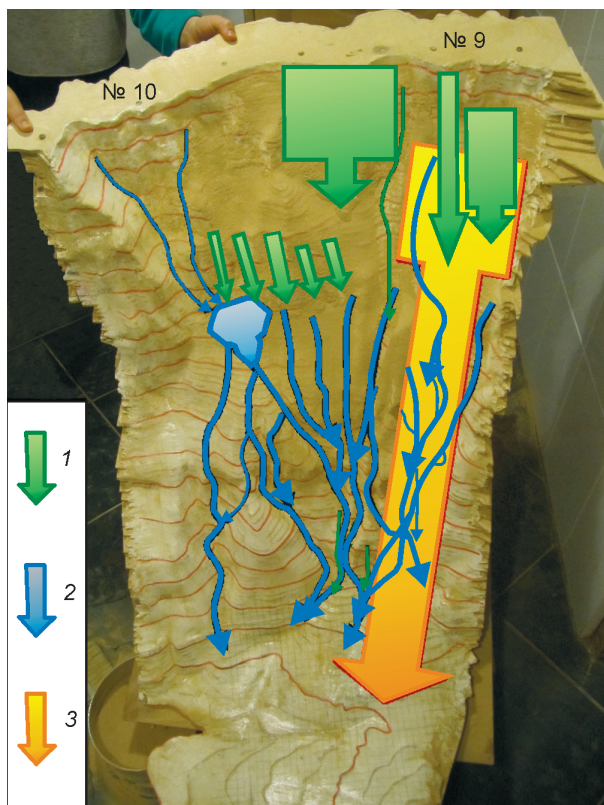


Рис. 3. Траектории модельных лавин в лавиносборах № 9 и 10: 1 – локальные сходы; 2 – пересекающиеся русла со сложными траекториями; 3 – катастрофический прорыв
Fig. 3. Trajectories of model avalanches in sites № 9 and 10: 1 – local events; 2 – intersecting complicated trajectories; 3 – catastrophic event

заключительном этапе происходят срыв материала с морфологической ступени склона, который аккумулируется поверх уже лежащего слоя, и продвижение его вверх по долине (см. рис. 4, в). Таким образом, была установлена последовательность схода материала из смежных лавиносборов и обнаружена морфологическая ступень, аккумулирующая материал и играющая основную роль в сходе катастрофических лавин. В дальнейшем была создана модельная катастрофическая лавина, достигающая противоположного склона долины.

Карта вероятностного зонирования смежных лавиносборов

Всего было выполнено и зафиксировано 36 спусков модельных лавин. Наложение контуров модельных лавин и применение метода статистического моделирования [4, 5] позволили составить карты вероятностного зонирования лавиносборов по дальности выброса. Методика составления карты, иллюстрирующей зоны лавинных отложений, и проверка параметров отложений лавин при физическом моделировании на согласованность с данными натурных наблюдений описывалась ранее [5]. Согласно полученной карте, вероятность схода катастрофических лавин с выходом, достигающим противоположного склона, в современных условиях несколько больше, чем считалось ранее (раз в 300 лет [6]), и примерно равна вероятности 0,01 (раз в 100 лет). На полученную карту вероятностного зонирования были наложены контуры катастрофической лавины, сошедшей 29 декабря 2001 г. (рис. 5).

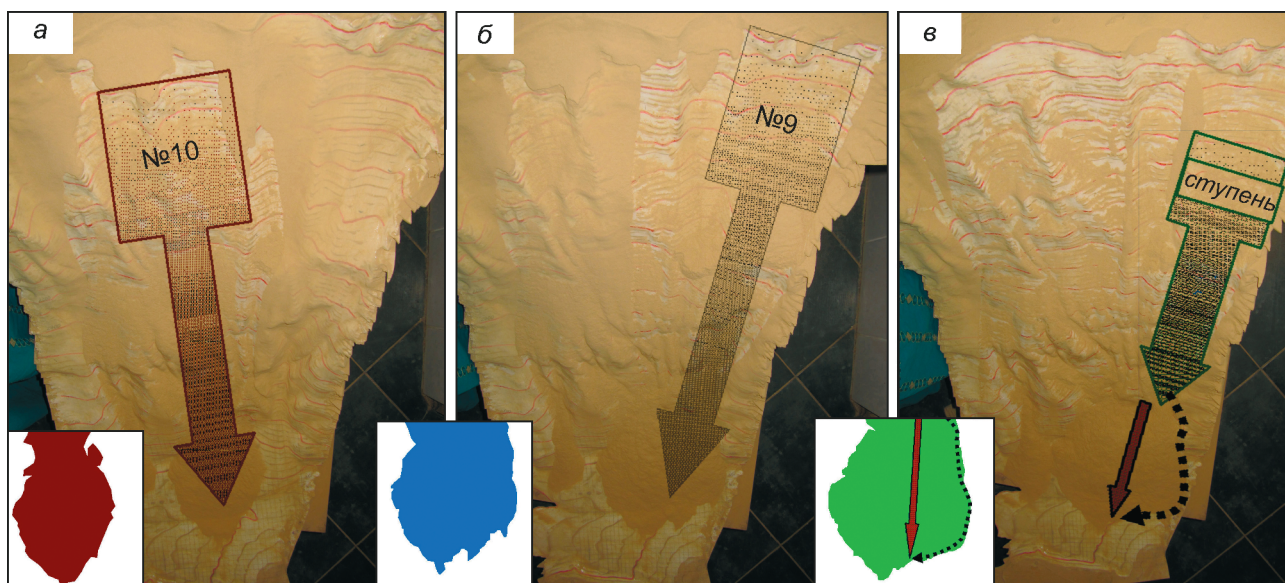


Рис. 4. Контуры лавинных отложений при модельном воспроизведении нестандартных случаев схода лавин (а–в). На врезках даны увеличивающиеся контуры площадей лавинных отложений
Fig. 4. The deposit contours of model avalanches with reproduction of no typical avalanche events (a–в). On inserts are given increased of contour of the areas of avalanche adjourment

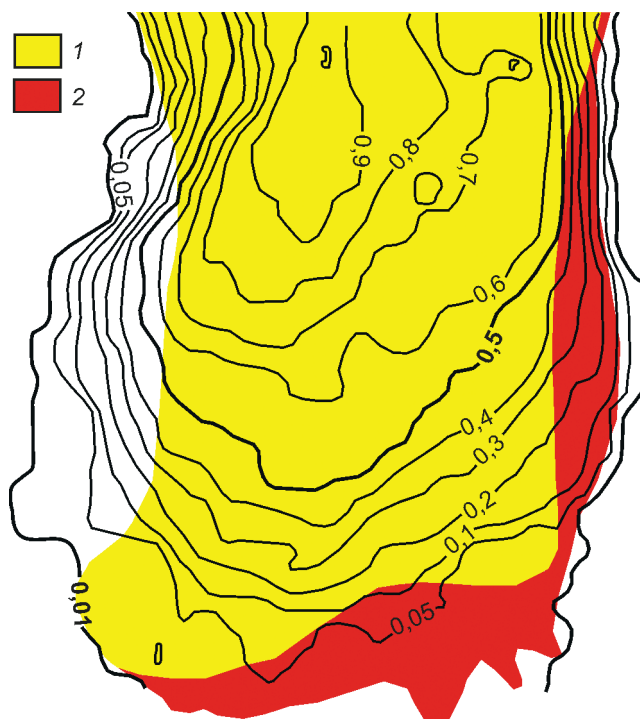


Рис. 5. Карта вероятностного зонирования лавиносборов № 9 и 10 и границы распространения лавинных отложений (1) и снеговоздушной волны (2) от лавины 20 декабря 2001 г. Цифры на изолиниях показывают вероятность границ лавинных отложений

Fig. 5. The probabilistic zoning map of avalanche sites № 9, 10 and the boundaries of spreading and deposit (1) and air blast (2) of real avalanche 20.12.2001.

Numbers on contours show the probability of avalanche deposit limits

Выводы

Создана установка для физического моделирования схода лавин из смежных лавиносборов № 9 и 10 в Приэльбрусье. Первые эксперименты позволили установить морфологические особенности взаимодействия лавин из смежных лавиносборов, которые могут способствовать формированию лавин особо крупных размеров. На основе статистического ряда модельных лавин построена карта вероятностного зонирования лавиносборов по дальности выброса. Контуры отложений модельных лавин вероятности 0,01 практически совпали с данными натурных наблюдений катастрофической лавины 29 декабря 2001 г. Предполагается продолжение модельных экспериментов для более детального исследования взаимодействия лавин и увеличения длины статистического ряда модельных лавин.

Литература

1. Андреев Ю.Б., Божинский А.Н., Сидорова Т.Л., Суханов Л.А. Вероятностное зонирование лавиносборов и оценка лавинного риска // МГИ. 2003. Вып. 93. С. 117–121.
2. Божинский А.Н., Лосев К.С. Основы лавиноведения. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 280 с.
3. Божинский А.Н., Суханов Л.А. Физическое моделирование лавин с воздушной волной // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. 1993. № 5. С. 69–79.
4. Божинский А.Н., Молоткова Ж.Е. О вероятностном крупномасштабном зонировании лавиноопасной территории // МГИ. 2007. Вып. 103. С. 87–90.
5. Божинский А.Н., Молоткова Ж.Е. Статистический анализ методов вероятностного крупномасштабного зонирования лавиносборов // Лёд и Снег. 2010. № 2 (110). С. 25–28.
6. Володичева Н.А., Олейников А.Д. Об увеличении лавинных катастроф в районах деградации горного оледенения // МГИ. 2005. Вып. 99. С. 89–93.
7. Суханов Л.А. Физическое моделирование снежных лавин гранулированными материалами // МГИ. 2003. Вып. 94. С. 77–86.
8. Bozhinskiy A.N., Sukhanov L.A. Physical modelling of avalanches using an aerosol cloud of powder materials // Annals of Glaciology. 1998. V. 26. P. 242–246.

Summary

Now the probabilistic zoning of avalanche sites is being made either on the basis of the available field data, or using the mathematical and physical modeling of avalanche dynamics processes. The work purpose consisted in research of interaction and compiling probabilistic zoning maps of two adjacent avalanche sites by a physical modeling method. For the two adjacent sites № 9 and 10 on the slope of northern exposition of Tcheget Mountain (Elbrus region, Caucasus) the model of this slope with the scale of 1 : 2500 was created. The model dimension is 0,82 × 1,1 × 0,57 m. This model was produced using the 4-mm plywood sheets imposed against each other. The model horizontals correspond to the 10 m natural ones. The model slope was also surfaced by thin gypsum lay and then varnished. The fine-grained sawdust (0.1 mm) with a natural friction angle of 43° has been chosen as the loose material modeling snow. A series of experiments on modeling avalanche releases from the two sites were carried out resulted in the measurements of avalanche deposit parameters such as run-out distance and length, width and thickness of deposits. The similarity criteria were used during the experiments. The morphometric features of adjacent sites interaction are revealed. The basic result of the carried out work will consist in the probabilistic zoning map of two adjacent sites № 9 and 10.