

Региональная составляющая при расчетах динамических параметров снежных лавин

© 2012 г. А.С. Турчанинова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

alla_wave87@mail.ru

ГИС, обеспеченность, параметры снежных лавин, региональная составляющая.

GIS, probability, regional component, snow avalanche parameters.

При проведении инженерных изысканий в лавиноопасных районах необходимым является выявление зон зарождения снежных лавин и расчет их динамических параметров. Действующие руководящие документы допускают использование различных методов расчета. В работе произведен анализ известных методик определения динамических параметров лавин, основанных как на математических и физических моделях движения лавин, так и на использовании эмпирических зависимостей. Собран и проанализирован многолетний ряд фактических данных о лавинах, результаты полевых и экспериментальных наблюдений для Хибин и Швейцарских Альп. Для оценки вероятности достижения значений дальности выброса, полученных по разным методикам, произведен расчет их обеспеченности. Результаты показали, что ни одна из предложенных методик расчета динамических параметров снежных лавин в настоящее время не может быть принята как универсальная и эффективно использована без проведения дополнительных исследований для учета региональной природной составляющей и определения обеспеченности расчетных значений.

Введение

При освоении новых территорий, проектировании зданий и сооружений в уже освоенных лавиноактивных районах необходим тщательный подход к выявлению границ опасных зон и определению динамических характеристик снежных лавин. Прямые и косвенные признаки лавинной деятельности, выраженные в ландшафте, не всегда позволяют получить исчерпывающую информацию о предшествующих событиях. Более того, могут сходить лавины, не имевшие аналогов в прошлом. К примеру, в последние годы такие случаи зарегистрированы в Блэе (Норвегия), Флатеири (Исландия), Гальтюре (Австрия) [13]. В связи с этим необходимо определение вероятных параметров лавин редкой повторяемости на основании статистической обработки результатов наблюдений и расчетов. В настоящее время разработаны различные методики расчета динамических параметров снежных лавин. К сожалению, они не являются универсальными для всех лавиноопасных районов. Для эффективного использования их в новых горных районах требуются дополнительные исследования. Для дальнейшего совершенствования предложенных методик, по мнению автора, становится актуальным поиск влияния региональных природных условий горных районов на расчет динамических характеристик лавин. В России активно разрабатывались, как теоретические, так и эмпирические методы. В Альпийских странах наибольшее распространение получило физическое и математическое моделирование лавин. Особый интерес представляет применение отечественных эмпирических методик в условиях Альп, где накоплен значительный массив фактических данных о лавинах, а признанных зарубежных моделей в условиях России. Это позволит на качественном, а впоследствии, и количественном уровне

выявить влияние региональной составляющей на расчет динамических параметров снежных лавин при использовании различных методов расчета, что и является основной целью настоящего исследования.

В последние годы резко возросли требования к темпам проведения изыскательских работ, которые уже не могут обеспечивать традиционные в нашей стране методы расчета и моделирования снежных лавин. Значительно облегчает и ускоряет решение многих задач применение ГИС-технологий и наличие у исполнителя цифровой модели рельефа (ЦМР) [7], которые были использованы в настоящей работе для анализа фактических данных и проведения расчетов динамических параметров снежных лавин.

Районы исследования

Расчет динамических параметров снежных лавин производился на примере нескольких лавиносборов, расположенных в Хибинах, в окрестностях города Кировска и в Швейцарских Альпах, в окрестностях города Давоса. Хибинские и Швейцарские Альпы имеют более чем 70-летнюю историю наблюдения за лавинами. Такие ряды являются уникальными в практике снеголавинных наблюдений. Они могут быть использованы для решения широкого круга задач современного лавиноведения.

При выполнении исследования был собран и обработан следующий материал:

- Ряды наблюдений за лавинной деятельностью и снегонакоплением в районе города Кировска, любезно предоставленные Центром лавинной безопасности (ЦЛБ) ОАО «Апатит»;
- крупномасштабные топографические карты Хибин, аэрофотоснимки (1958 г.), космические снимки сверхвысокого разрешения (за 2010 г.);

- материалы ежегодных отчетов Швейцарского государственного института по изучению снега и лавин за 1962–1998 гг. [12];
- крупномасштабная карта района Давоса (1:25 000) [10];
- данные, полученные автором в период полевых работ (с 2007 по 2011 гг. в Хиби́нах и 2009 г. в Швейцарских Альпах), которые включали: изучение действия лавин в ландшафте; маршрутные снегомерные наблюдения; описание снежных лавин и стратиграфии снежного покрова в шурфах и др.

В качестве экспериментальных были выбраны 1, 2 и 43 лавиносборы в Хиби́нах (по нумерации ЦЛБ). Регистрация снежных лавин для них началась с 1962 г. (лавиносборы 1 и 2) и с 1966 г. (лавиносбор 43). На их территории функционируют два горнолыжных комплекса, которые пользуются все большей популярностью среди туристов. Лавиносбор № 43 ранее уже рассматривал в своей работе [8] А.Н. Божинский. В Швейцарских Альпах в качестве экспериментального был выбран участок лавиноактивного склона (длиной около 2 км) северо-восточной и восточной экспозиции горы Брамабюэль, который обращен в сторону долины реки Дишма. Для проведения исследования обработаны материалы наблюдений, начиная с 1962 г. В пределах рассматриваемого участка было выделено 10 лавиносборов. Склон горы Брамабюэль весьма популярен в городе Давосе среди любителей катания вне трасс.

Для исследуемых лавиносборов была составлена серия крупномасштабных электронных карт. Привязка, как и вся остальная работа с картами, производилась в программном пакете ArcGIS. По электронным картам были построены ЦМР, а затем карты условий лавинообразования (карты углов наклона, экспозиции склонов, кривизны поверхности и распределения снежного покрова).

По фактическим многолетним данным в Хиби́нах (более 50 лет наблюдений) впервые была составлена ГИС, которая включает максимально подробную электронную базу данных для двух лавиносборов (2 и 43), содержащую общую информацию о зарегистрированных лавинах (более 120 лавин), их границы в векторном виде (в формате ESRI, .shp), ЦМР, электронные карты условий лавинообразования, ДДЗ, описания шурфов, фотографии лавиносборов и сошедших в них лавин и др. По фактическим многолетним данным в Швейцарских Альпах (36 лет наблюдений) была составлена база данных, содержащая информацию более чем о 90 снежных лавинах. Обобщенный материал был использован для проведения расчетов динамических параметров лавин и определения обеспеченности дальности выброса лавин.

Расчет динамических параметров снежных лавин в Хиби́нах

Расчеты динамических параметров снежных лавин в Хиби́нах производились с использованием ряда эмпирических методик [1, 2, 4, 6], графоаналитического метода С.М. Козика [5], по методике, представленной в ВСН 02-73. Также расчеты были выполнены с помощью, применяемых для снеголавинных расчетов за

рубежом, гидравлической модели Вельми–Зальма–Гублера [9] и двухпараметрической модели Перла–Ченга–МакКланга [11]. К сожалению, рассмотреть все предложенные когда-либо методики расчета на данном этапе исследования не представлялось возможным. Эмпирические зависимости несут в себе информацию о фактических лавинах, характеристики которых были положены в их основу. Анализ результатов расчетов с их использованием может быть полезен для достижения поставленной в работе цели. Рассматриваемые теоретические модели широко применяются для решения практических задач снеголавинных изысканий и входят или входили в состав нормативных документов, как в России, так и за рубежом. Именно поэтому было принято решение использовать на данном этапе работы такой комплекс методов.

Эмпирические методики расчета дальности выброса, рассмотренные в работе, как правило, основаны на получении минимального коэффициента эффективного трения ($r_{\min}$):

$$r_{\min} = H/L, \quad (1)$$

где H – превышение лавиносбора; L – горизонтальная проекция пути движения лавины. Минимальный коэффициент эффективного трения соответствует максимальной дальности выброса возможных лавин. Методики опираются на зависимости минимального коэффициента эффективного трения от природных факторов, которые строятся по материалам многолетних наблюдений за лавинами, а также путем изучения следов действия лавин по «видимым» границам. Безразмерность $r_{\min}$ позволяет использовать его для сравнения дальности выброса лавин в разных лавиносборах, а главное, анализировать данные, полученные в разных условиях [2]. Результаты расчетов дальности выброса лавин для 43 лавиносбора представлены на рис. 1.

Современные подходы моделирования снежных лавин в основном базируются на двух типах представления процесса: лавина приравнивается к материальной точке или к бесконечному потоку жидкости.

В соответствии с требованием методики из нормативного документа ВСН 02-73 продольный профиль склона разбивается на отдельные отрезки с постоянными уклонами. Скорость рассчитывается последовательно для каждого отрезка. В основе методики лежит модель «материальной точки», которая и определяет основные допущения. Результаты моделирования в Хиби́нах показали, что при использовании предложенного в ВСН 02-73 значения коэффициента трения (принимается равным 0,25 для скальных, снежноледяных и травяных гладких поверхностей и 0,3 для всех остальных поверхностей), методика дает заниженные результаты дальности выброса по отношению к фактическим. В связи с этим, возникла необходимость уточнения значений коэффициентов трения по фактическим данным, что и было сделано в работе. Установленные границы дальности выброса с использованием различных значений коэффициентов трения показаны на карте (рис. 2).

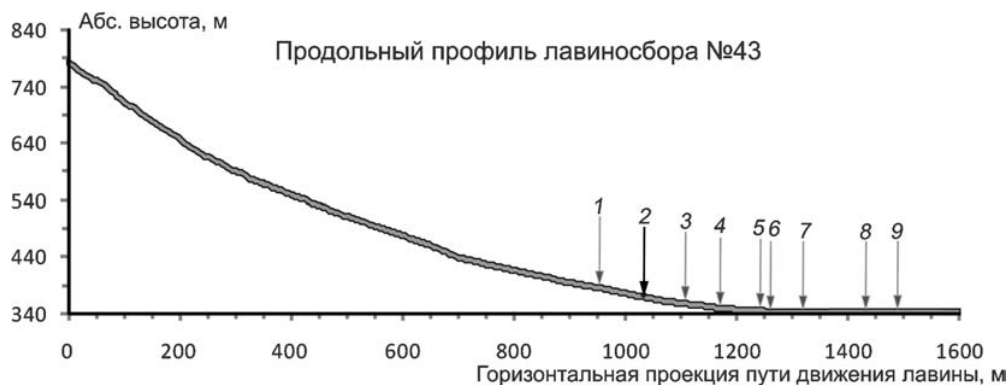


Рис. 1. Результаты расчетов дальности выброса лавин с использованием различных методик и максимальная зарегистрированная дальность.

Методики: 1 – Благовещенский, 1973 (зависимость получена для Кавказа); 2 – Максимальное фактическое значение; 3 – Москалев, Ефимов, 1972; 4 – Благовещенский, 1973 (зависимость получена для Хибин); 5 – Золотарев, 1979; 6 – Эбралидзе, 1990; 7 – Рунич, 1978; 8 – Козик, 1962; 9 – Аккуратов, 1961

Fig. 1. Avalanche runout distance calculated with different methods and the maximal recorded runout distance.

Methods: 1 – Blagoveshchensky, 1973 (relation the Western Caucasus); 2 – Maximal recorded actual runout distance; 3 – Moskalev, Efimov, 1972; 4 – Blagoveshchensky, 1973 (relation for the Khibini Mountains); 5 – Zolotarev, 1979; 6 – Ebraldidze, 1990; 7 – Runich, 1978; 8 – Kozik, 1962; 9 – Akkuratov, 1961

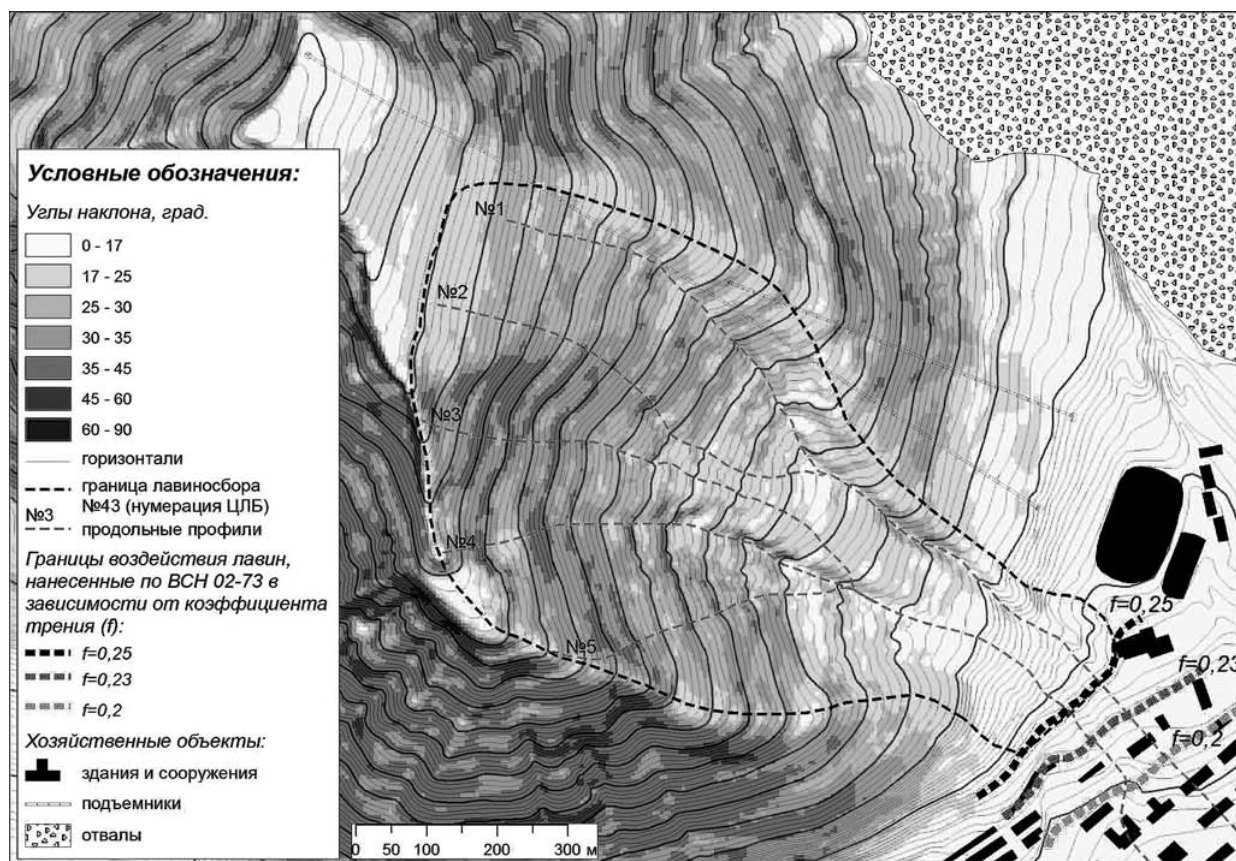


Рис. 2. Границы дальности выброса лавин, рассчитанные по методике ВСН 02-73 с различными значениями коэффициента трения (f)

Fig. 2. Avalanche runout distance boundaries calculated with the VSN 02-73 method with different values of friction coefficient (f)

В модели Вельми–Зальма–Гублера [9] лавина моделируется в виде бесконечного гидравлического потока несжимаемой жидкости. Модель позволяет рассчитать дальность выброса, максимальную скорость, объем лавины и некоторые другие характеристики. Путь движения лавины разделяется на зоны с постоянным уклоном: зарождения, транзита и выброса (аккумуляции), для которых последовательно выполняются необходимые расчеты. В уравнения модели входят коэффициенты: μ – коэффициент сухого (Кулонова) трения, ξ – коэффициент вязкого (турбулентного) трения. Коэффициент сухого трения μ о подстилающую поверхность определяется в соответствии с типом снега, высотой лавинного потока, формой траектории движения лавины и температурой воздуха. Коэффициент турбулентного трения ξ зависит от степени шероховатости поверхности. Значения коэффициентов μ и ξ до сих пор не были напрямую измерены. Они были рассчитаны по материалам многолетних фактических наблюдений за лавинами в Швейцарии [9]. Использование их для расчетов в Хибинах дало *противоречивые результаты*. На данном этапе работы, для расчетов в условиях Хибин (на примере 43 лавиносбора) были использованы различные значения коэффициентов μ (от 0,20 до 0,25) и ξ (от 500 до 1000 м/с²). Результаты расчетов показали, что *изменение значений коэффициентов оказывает наибольшее влияние из всех рассчитываемых параметров именно на дальность выброса*. Максимальная расчетная скорость изменялась в пределах от 22 до 35 м/с.

В модели Перла–Ченга–МакКланга [11] моделируется движение лавинного тела относительно его центра масс. Для проведения расчетов авторы предлагают разбить весь склон на множество небольших сегментов с постоянными уклонами и производить расчеты последовательно для каждого сегмента. В уравнениях присутствуют два параметра, значения которых могут варьироваться – это коэффициент сухого трения μ и отношение массы лавины к коэффициенту сопротивляющихся сил M/D . При использовании различных значений коэффициентов в интервале, предложенном авторами модели [11], максимальная скорость варьировала в пределах от 20 до 40 м/с, при максимальной дальности выброса от 892 до 1407 м соответственно.

В настоящее время продолжается работа по определению рассмотренных выше коэффициентов для Хибин с использованием фактических данных, которые позволят определить дальность выброса лавин заданной обеспеченности. Поставленная задача требует дальнейшего анализа и интерпретации результатов.

Расчет дальности выброса снежных лавин в Швейцарских Альпах

Расчет дальности выброса лавин для десяти лавиносборов в окрестностях Давоса был произведен по десяти различным эмпирическим методикам, созданным еще советскими специалистами [1, 2, 4, 6].

Наиболее близкие результаты к фактическим максимальным за период наблюдений для данного склона были получены по эмпирической методике В.Н. Аккуратова [1], основанной на зависимости коэффициента минимального эффективного трения от максимального объема лавин. Тем не менее, для большинства лавиносборов, значения, вычисленные по формуле В.Н. Аккуратова, завышены. Превышение составляет от первых десятков метров и, вплоть до тысячи метров. Но, в тоже время, для четвертого лавиносбора данная методика занижает почти на 90 м максимальную многолетнюю дальность выброса. Этот лавиносбор характеризуется минимальным значением средней крутизны зоны транзита. Можно предположить, что здесь «срабатывают» морфометрические особенности очага. Таким образом, можно прийти к выводу, что для определения дальности выброса на данном склоне, объем лавин, который зависит от площади лавинного очага и максимальных снеготопов, является приемлемым показателем. Максимальная дальность выброса, рассчитанная по формуле В.П. Благовещенского (зависимость для Западного Кавказа), оказалась немного больше, чем по формуле В.Н. Аккуратова. При этом зависимость В.П. Благовещенского основана на учете ряда морфометрических показателей рельефа. Среднее отклонение по двум методикам по десяти лавиносборам составило порядка ста пятидесяти метров. Результаты, полученные по всем остальным эмпирическим методикам, значительно превышают фактические многолетние значения. При этом результаты, полученные по разным методикам, для большинства лавиносборов ранжировались по степени превышения фактических многолетних значений – рассчитанные величины имеют практически одинаковое положение в возрастающем порядке для всех лавиносборов.

Определение обеспеченности расчетной дальности выброса лавин

Результаты работы показали, что значения динамических параметров лавин из одного лавиносбора, рассчитанные с использованием различных методик, в значительной мере отличаются (как в сторону завышения, так и в сторону занижения) от фактических максимальных значений за длительный период наблюдений. Для оценки вероятности достижения значений дальности выброса, полученных по разным методикам, был проведен расчет их обеспеченности. Для этого, по фактическим данным, были построены эмпирические кривые обеспеченности коэффициента сопротивления среды r для всех исследуемых лавиносборов. Для вычисления обеспеченности была использована формула Крицкого–Менкеля. Сглаживающая кривая по эмпирическим точкам строилась автоматически в программе StokStat, которая широко используется для определения обеспеченности гидрологических характеристик. На кривую

Таблица 1. Соответствия максимальных дальностей выброса лавин значениям обеспеченности, полученным по эмпирическим методикам различных авторов (Хибины, лавиносбор № 43)

Методика, год	Учитываемые в методике показатели	Обеспеченность, %
Москалев, Ефимов, 1972	• площадь лавинного очага, га.	5
Залиханов, Рунич, 1978	• средний угол наклона склона, град; • площадь лавинного очага, га.	< 0, 1
Золотарев, 1979	• средний угол наклона зоны зарождения и транзита, град.	0,1
Эбралидзе, 1990	• превышение лавиносбора, м; • площадь лавинного очага, га; • высота снежного покрова, м; • угол наклона лавиносбора, град.	0,02
Аккуратов, 1961	• превышение лавиносбора, м; • объем лавины, м ³ .	< 0,1
Благовещенский, 1973 (зависимость для Западного Кавказа)	• средний угол наклона лавинного очага, град; • средний угол наклона зоны транзита, град; • площадь лавинного очага, га;	50
Благовещенский, 1973 (зависимость для Хибин)	• средний угол наклона лавинного очага, град; • площадь лавинного очага, га;	0,8

Таблица 2. Зависимость результатов расчетов и их обеспеченности (по ВСН 02-73) от значения коэффициента трения (Хибины, лавиносбор № 43); P – обеспеченность

Коэффициент трения f	0,2	0,23	0,25
Максимальная скорость	26	23	22
Дальность выброса	1279 ($P=0,1\%$)	1191 ($P=1\%$)	1111 ($P=3,5\%$)

Таблица 3. Соответствия максимальных дальностей выброса лавин значениям обеспеченности, %, полученным по эмпирическим методикам различных авторов (Швейцарские Альпы)

№ лавиносбора	Авторы эмпирических методик*/Обеспеченность							
	М	Б	З	Р	Э	С (1)	А	С (2)
1	<0,1	3,5	0,1	0,3	<0,1	0,7	7	0,4
2	0,7	11	1,5	2,5	<0,1	3	20	4,5
3	<0,1	5	0,3	0,5	<0,1	5	2,5	1,4
4	<0,1	0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	10	<0,1
5	<0,1	98	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	18	<0,1

*М – Ю.Д. Москалев; Б – В.П. Благовещенский; З – Е.А. Золотарев; Р – А.В. Рунич; Э – З.Н. Эбралидзе; С (1) – И.В. Северский; А – В.Н. Аккуратов; С (2) – И.В. Северский.

обеспеченности накладывались рассчитанные по различным методикам значения $r_{\min}$. Таким образом, стало ясно, каким обеспеченностям соответствуют расчетные дальности выброса (табл. 1, 2, 3).

Выводы

Результаты работы подтверждают предположение, что ни одна из предложенных методик расчета динамических параметров снежных лавин в настоящее время не может быть принята как универсальная и эффективно использована без проведения дополнительных исследований для учета региональной природной составляющей и определения обеспеченности расчетных значений.

Использование признанных зарубежных моделей в условиях Хибин показало необходимость их дальнейшей верификации, которая продолжается в настоящее время. А.Н. Божинский и К.С. Лосев [3] замечают, что процесс схода лавин настолько сложен, что создать универсальную физическую модель это процесса, видимо, невозможно. Результаты, полученные в работе, подтверждают справедливость замечания для рассмотренных моделей, которые не являются совершенными в силу принятых допущений. В уравнениях продолжают оставаться, имеющие физический смысл, эмпирические коэффициенты. Для дальнейшего совершенствования моделей необходим поиск таких коэффициентов в

зависимости от региональных особенностей исследуемых районов, что и было предпринято в рамках исследования. Так, для лавиносбора № 43 и его аналогов в Хиби́нах в расчетных формулах скорости и дальности выброса лавин по методике ВСН 02-73 с обеспеченностью 0,1% может применяться коэффициент трения 0,2, а с обеспеченностью 1% – 0,23.

Степень влияния тех или иных региональных показателей на дальность выброса лавин косвенно можно оценить по результатам расчетов с использованием эмпирических формул и соответствующей им обеспеченности. Так, полученные в Швейцарских Альпах результаты позволяют сделать вывод, что при расчете дальности выброса лавин для лавиносборов северо-восточной и восточной экспозиции горы Брамабюэль целесообразно учитывать следующие показатели: площадь лавинного очага, средний угол наклона лавинного очага и толщину снега. Учет этих показателей используется в методиках, по которым мы получили значения, близкие к максимальным фактическим.

Выполненная работа носила, прежде всего, методический характер. Хотелось бы отметить, что рассмотренный подход не является завершенным, он представляет собой один из этапов исследования. Предполагаемый подход и полученные в работе результаты могут быть в перспективе полезны при проведении снеголавинных изысканий и усовершенствовании нормативной документации, регламентирующей освоение лавиноопасных районов.

Автор хотел бы поблагодарить сотрудников НИЛ снежных лавин и селей, ЦЛБ ОАО «Апатит» за предоставленные материалы, полезные консультации и заинтересованность в выполнении работы. Особую благодарность хотелось бы выразить Т.Г. Глазовой, Ю.Г. Селиверстову, П.А. Черноусу и Е.С. Клименко.

Литература

1. Аккуратов В.Н., Красносельский Э.Б., Иткин В.А. О расчете максимальной дальности выброса лавин. // В кн.: Снег и лавины Хибин. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1967. С. 349–356.
2. Благовещенский В.П. Определение лавинных нагрузок. Алма-Ата, Гылым, 1991, 115 с.
3. Божинский А.Н., Лосев К.С. Основы лавиноведения. Л.: ГИМИЗ, 1987. 280 с.
4. Золотарев Е.А. Исследование снежных лавин фотограмметрическим и картографическим методами с целью долгосрочного прогнозирования границ лавиноопасных зон. Автореф. дисс. на соиск. уч. степени канд. геогр. наук. М.: 1979. 23 с.
5. Козик С.М. Расчет движения снежных лавин. Л.: ГИМИЗ, 1962. 76 с.
6. Северский И.В., Благовещенский В.П. Оценка лавинной опасности горной территории. Алма-Ата: Изд-во «Наука», 1983. 220 с.
7. Седова А.С., Клименко Е.С., Воронина Е.А., Селиверстов Ю.Г. Цифровая модель рельефа как основа для исследования снежных лавин. Лёд и Снег. Вып. 2 (110). М.: 2010. С. 43–49.
8. Bozhinskiy A.N. Modelling of snow avalanche dynamics: influence of model parameters. International Symposium on snow science, 03–07 September 2007: p. 17.
9. Gubler H. Swiss avalanche-dynamics procedures for dense flow avalanches. — AlpuG Richtstattweg 2 CH-7270 Davos Platz, Switzerland, — 7.
10. Landeskarte der schweiz 1:25 000. Davos. Swisstopo, Ausgabe 2005.
11. Perla R., Cheng T.T., McClung D.M. A two-parameter model of snow-avalanche motion. «Journal of Glaciology» 26(94):197–207, (1980).
12. Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen. Winterberichte SLF. 1962–1998. SLF Davos.
13. URL: <http://www.geogr.msu.ru/avalanche/> — Научно-информационный сайт «Снежные лавины России»

Summary

The delineation of release zones and the calculation of the snow avalanches dynamics parameters is a must for the engineering survey in the avalanche hazardous regions. Russian snow avalanche guidelines accept the application of different calculation methods. The comparative research of well-known calculation snow avalanche dynamics procedures was made. These procedures are based on the mathematical and physical avalanche dynamics models as well as empirical relations. The accurate avalanche data, field and experimental work results were collected and analyzed for the Khibini and Swiss Alps Mountains. We have assessed the probability of the runout distances estimated with different procedures. Calculated values of the avalanche dynamics parameters from the same avalanche site with different procedures can differ more than twice. This is normal on the assumption of the absence of the well-defined guidelines, but unallowable for the engineering survey. None of them can be used efficiently without the additional research of the regional component and the probability assessment.