

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И СНЕЖНЫЕ ЛАВИНЫ

УДК 551.578.481

doi:10.15356/2076-6734-2015-2-53-59

Влияние характеристик снега на лавинообразование

© 2015 г. П.А. Черноус¹, Ю.Г. Селиверстов², В.Е. Сучков³¹Центр лавинной безопасности ОАО «Апатит», г. Кировск; ²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;³Противолавинная служба ГЛК «Роза-Хутор», пос. Эсто-Садок, Краснодарский край
pchernous48@gmail.com

Snow variability effect upon avalanching

P.A. Chernous¹, Yu.G. Seliverstov², V.E. Suchkov³¹Center for Avalanche Safety of «Apatit», Kirovsk; ²Lomonosov Moscow State University;³Avalanche Service of «Roza Khutor» Ski Resort, Esto-Sadok, Krasnodarskiy Kray

Статья принята к печати 7 августа 2014 г.

*Изменчивость снежного покрова, лавины, мониторинг, оценка устойчивости снега.**Avalanches, monitoring, snow cover variability, snow stability estimate.*

Толщина, плотность, прочность на сдвиг и температура снега на горных склонах рассматриваются как случайные поля или процессы. Параметры этих полей (процессов) оценены в нескольких географических районах. Показано, что ошибки оценки устойчивости снега зависят от этих параметров, числа точечных измерений, а также методов измерений. Рассматриваются ошибки различных методов пространственной и временной интерпретации измерений характеристик снега. Представлены результаты этих исследований для Хибин, Алтая, Байкальского хребта и Кавказа. Мониторинг устойчивости снега на склоне, как и прогнозирование лавин, труднее всего вести в районах с большой пространственной изменчивостью снега, к которым в первую очередь относятся Хибини.

Thickness, density, shearing strength, and temperature of snow on mountain slopes are considered as stochastic fields or processes. Parameters of these fields (processes) were estimated in several geographical regions. Errors of snow stability estimation are shown to be depending on the above parameters, quantity of point measurements, and the measurement technique. Errors of different methods of space and time interpretation of measurements of the snow characteristics are discussed. Results of these studies performed on slope of the Khibiny Mountains, the Altai, the Baikal Mountains, and the Caucasus are presented in the article. Monitoring of the snow cover stability on slopes and the avalanche forecasting are the most difficult actions to be carried out in areas with great spatial variability of snow. The Khibiny Mountains are first of all such area among other ones.

Введение

При оценке устойчивости снега на склоне и возможности образования лавины всегда возникает вопрос об интерпретации измерений характеристик снега, полученных в отдельных точках склона в определённые моменты времени. В большинстве методических руководств по оценке устойчивости снега рекомендуют вести измерения в репрезентативных точках. Однако никаких методов количественной оценки репрезентативности таких измерений не предлагается. Исследования пространственной изменчивости высоты¹ и плотности снега в горах обычно вы-

полняются в гидрологических целях. При этом размеры участков исследований существенно больше размеров лавинного очага. Что касается пространственной изменчивости такой важной для определения устойчивости снега на склоне характеристики, как временное сопротивление сдвигу, то авторам известна лишь одна² попытка её определения [4]. Исследований пространственной статистической структуры температуры снега на склоне авторам не известно. В работах [5, 6, 9] показано, что статистическая структура полей характеристик снега, контролирующих его устойчивость на склоне, сильно меняется в зависимости от условий формирования снежного покрова.

¹Под высотой снега в данном случае понимается толщина снежной толщи, измеряемая по вертикали, т.е. при значительном уклоне она не совпадает с истинной толщиной снега.

²Известны исследования, в которых приводятся качественные данные об изменчивости тех или иных параметров или некоторые параметры, характеризующие разброс измеряемой характеристики снега, но связь этих параметров не оценивается.



Рис. 1. Измерение характеристик снега вдоль горизонтального профиля на склоне горы Айкуайвенчорр (Хибины) 7 апреля 2009 г.

Fig. 1. An example of measurements of the snow characteristics along horizontal profile on the slope of Mt. Aikuaiventchorr (the Khibiny Mountains), April 7, 2009

Естественно предположить, что объёма измерений, проводимых для оценки устойчивости снега в районах с его невысокой пространственной изменчивостью, будет недостаточно для территорий, где эта изменчивость высока.

Всё это в полной мере относится и к временной изменчивости характеристик снега, контролирующей его устойчивость на склоне. Задача настоящей работы — сравнить параметры изменчивости характеристик снега, контролирующей его устойчивость на склоне, полученные авторами в различных географических районах, и проанализировать их влияние на оценку устойчивости снега на склоне. Сделана также попытка сформулировать рациональный подход к сбору данных о снеге для оценки его устойчивости.

Материалы и методика исследований

Пространственная статистическая структура характеристик снега исследовалась на основании измерений этих характеристик вдоль горизонтальных профилей и по профилям, направленным по линии падения склона (рис. 1). Шаг между измерениями в каждом профиле был постоянным. Шаг между измерениями в различных профилях менялся от 0,2 до 5 м. Общая толщина (глубина) снежного покрова или отдельных (верхних) его слоёв измерялась по нормали к склону с помощью щупов или линеек с ценой деления 1 см. Плотность снега определялась путём отбора проб снега в контейнеры фиксированного объёма с последующим их взвешиванием. Объёмы использовавшихся контейнеров — 100 и 500 см³. Взвешивание выполнялось с помощью

пружинных и электронных динамометров с точностью до 2 г. Временное сопротивление сдвигу определялось рамочными тестами [1]. Для этого использовалась квадратная в основании рамка размером 10 × 10 см² и высотой 5 см. Сдвигающие усилия измерялись электронными и пружинными динамометрами с ценой деления от 10 до 100 г. Продолжительность одного измерения — 1–2 с (быстрый сдвиг). Сопротивление сдвигу зависит от скорости приложения нагрузки. Так, минимальные значения сопротивления сдвигу получают при быстром сдвиге [1]. Температура снега измерялась малоинерционным электронным термометром с точностью до десятых долей градуса.

В настоящей работе использованы результаты измерений в Хибинах (1986–2009 гг.), на Алтае (Семинский хребет, 2008 г.), в Восточной Сибири (Байкальский хребет, 2009 г.) и на Кавказе (хр. Аибга, 2013 г.) (таблица). Наибольший объём измерений, в том числе толщины снежного покрова, проведён в Хибинах (горы Айкуайвенчорр и Ловчорр). В других районах измерения вели один зимний сезон. Измерения остальных параметров были не столь многочисленны из-за трудоёмкости их выполнения.

В течение рабочего дня два человека могут измерить толщину снежного покрова (или его слоёв) по профилям, содержащим до 400 точек. Как правило, число точек измерений в профиле варьировало от 100 до 200. Поля подобных характеристик снега рассматривались как случайные. Результаты измерений анализировались статистическими методами. В работе [6] это рассматривается подробнее. Влияние пространственной изменчивости характеристик снега на оценку его

Характеристика участков наблюдений

Район	Долгота/широта, градусы	Диапазон высот, м	Крутизна, градусы	Экспозиция	Подстилающая поверхность
Хибины	33,77/67,60	500—1100	10—30	ЮВ, Ю, ЮЗ, З, СЗ	Обломочный материал, старый снег
Семинский хребет (Алтай)	85,61/51,04	1700—1800	10	В, СВ	
Байкальский хребет	108,80/55,74	1000—1200	15—20	С	Старый снег
Хр. Аибга (Кавказ)	40.29/43.64	1500—2000	25—35		

устойчивости на склоне анализировалось в рамках точечной модели, учитывающей составляющую гравитационной силы, направленную вдоль склона $\rho g h \sin \alpha$ (сдвигающая сила), силу трения $f \rho g h \cos \alpha$ и сцепление c . При этом условие предельного равновесия выглядит следующим образом:

$$\rho g h \sin \alpha = c + f \rho g h \cos \alpha. \quad (1)$$

Анализ временной изменчивости высоты (измерения по вертикально установленным снегомерным рейкам) снежного покрова велся теми же методами, что и пространственной изменчивости, но только для отдельных снегомерных пунктов на Кавказе и в Хибинах. На Кавказе выполняли ежесуточные наблюдения за высотой снега в 14 снегомерных пунктах, расположенных в высотном диапазоне 920–2217 м над ур. моря на северном склоне хр. Аибга (горнолыжный комплекс «Роза Хутор»). В Хибинах для этой цели использовали данные ежесуточных наблюдений на горно-лавиной станции «Центральная» (1090 м над ур. моря). Для оценки временной изменчивости с более высоким временным разрешением использовались данные измерений высоты снега на этой же станции, которые ведутся там во время метелей каждые три часа (в эти периоды высота снега меняется быстрее всего).

Результаты исследований и их обсуждение

По данным измерений на стационарных пунктах наблюдений горнолыжного комплекса «Роза Хутор» (зима 2012/13 г.) оценена временная изменчивость высоты снежного покрова. За сутки в местах установки снегомерных реек она могла и уменьшаться, и увеличиваться, но не более чем на 0,4 м. Более 70% всех суточных изменений лежит в интервале $\pm 0,1$ м, а в пределах $\pm 0,2$ м находятся 90% всех суточных изменений. Максимальный суточный рост высоты снега на метеоплощадке горно-лавиной станции «Центральная»

в 1968–2011 гг. составил 0,6 м, а максимальное уменьшение – 0,8 м. Более 99% всех суточных изменений находятся в интервале $\pm 0,2$ м. Среднее абсолютное суточное изменение высоты снега равно 2,4 см. Анализируя временную изменчивость высоты снега на хр. Аибга, отметим, что явной зависимости средних абсолютных суточных изменений высоты снега от абсолютной высоты снегомерного пункта не наблюдается. Их величины находятся в диапазоне 6,2–9,5 см.

Таким образом, временная изменчивость высоты снега на хр. Аибга оказалась существенно выше, чем на плато Ловчорр. Объяснить это можно менее интенсивными твёрдыми осадками и более активной метелевой деятельностью в Хибинах, а также тем, что исходная высота снега на метеоплощадке горно-лавиной станции «Центральная» была получена осреднением измерений по трём снегомерным рейкам. Приведённые величины характерны для зимнего периода в целом. Основные изменения высоты снега происходят во время снегопадов и метелей и могут быть существенно больше. В дни со снегопадами и метелями средние абсолютные суточные изменения высоты снега на хр. Аибга составили 8–16 см, а в Хибинах – 4 см.

В Хибинах на основании измерений на метеоплощадке во время метелей, когда измерения проводились через каждые три часа, оценены стандартные отклонения высоты снега. Для полученных временных рядов они менялись от 0,1 до 8 см. Если в качестве минимальной толщины слоя снега, из которого может образоваться лавина, принять величину 0,2 м, то полученные характеристики временной изменчивости свидетельствуют о возможных существенных ошибках в оценке устойчивости снега при измерении его высоты один раз в сутки.

Большинство результатов исследований пространственной статистической структуры характеристик снега, контролирующих его устойчивость на склоне, для Хибин уже опубликованы [2, 5, 6,

9)]. Поэтому мы приведём здесь лишь некоторые количественные параметры, необходимые для их сравнения с результатами, полученными в других физико-географических условиях. На Алтае и Байкальском хребте стандартные отклонения толщины и плотности снежного покрова верхних его слоёв при измерениях по профилям оказались значительно меньше, чем по профилям с аналогичной средней толщиной снега в Хибинах. Если в Хибинах для слоя средней толщиной 0,5 м и больше они составляли 0,3–0,4 м, то на Алтае и Байкальском хребте их значение не превышало 7 см, а для верхних слоёв снега средней толщиной до 40 см оно находилось в пределах 2–4 см. Аналогичные показатели для Кавказа находятся в диапазоне 6–19 см. Коэффициенты вариации толщины снега на склонах в Хибинах (0,1–1,4 для верхнего слоя снега) также были значительно больше, чем в других районах: Алтай и Байкальский хребет – 0,06–0,17; Кавказ – 0,07–0,3. Это характерно и для плотности снега, измерения которой, кроме Хибин, проводились на Алтае и Байкальском хребте. Коэффициенты вариации плотности в Хибинах были в диапазоне 0,05–0,17, а на Алтае и Байкальском хребте – 0,04–0,12.

Что касается связи между характеристиками снега, контролирующими его устойчивость, то для Хибин отмечается очень быстрое падение пространственных связей между этими характеристиками. Так, размер радиусов автокорреляции (в качестве радиуса корреляции в настоящей статье принято расстояние, на котором автокорреляционная функция убывает на порядок) толщины, плотности и прочности снега находился в диапазоне 15–20 м. Эта величина для толщины и плотности снега на Алтае и Байкальском хребте оказалась несколько больше – 15–25 м. Возможно, полученная для данных районов относительно слабая пространственная корреляция связана с невысокой дисперсией толщины снега и существенной по сравнению с ней ошибкой выбранного метода измерений.

Для толщины снега на Кавказе радиус автокорреляции находился в диапазоне 20–50 м (рис. 2). Хотя радиусы корреляции толщины снежного покрова на Алтае и Байкальском хребте незначительно отличаются от полученных на Кавказе, ошибка интерполяции толщины снежного покрова на Кавказе будет значительно выше из-за гораздо большей её дисперсии в этом районе. Ещё

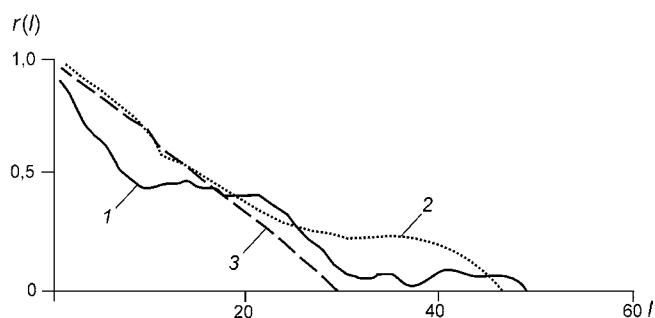


Рис. 2. Эмпирические автокорреляционные функции $r(l)$ толщины верхнего слоя снега от расстояния l . Хр. Аибга (Кавказ), 26 февраля 2013 г.

Измерения вдоль горизонтального профиля: 1, 3 – на южном склоне хребта, высота профиля 2220 м над ур. моря; 2 – на северном склоне хребта, высота профиля 1610 м над ур. моря

Fig. 2. Empirical autocorrelation functions $r(l)$ of the thickness of the upper snow layer of distance l . The Aibga Ridge (Caucasus), February 26, 2013.

1, 3 – measurements along a horizontal profile on southern slope of the ridge, the profile height – 2220 m a.s.l.; 2 – measurements along a horizontal profile on northern slope of the ridge, the profile height – 1610 m a.s.l.

меньшие дисперсии и большие радиусы автокорреляции получены по данным специальных маршрутных наблюдений за толщиной снега и его прочностью на сдвиг в Западном Тянь-Шане [4, 7].

Самая высокая пространственная изменчивость характеристик снега в лавинных очагах, безусловно, свойственна Хибинам (рис. 3). Как было показано в работе [6], для достижения точности интерполяции толщины снега в Хибинах, равной ошибке существующего метода измерений (0,2 м), расстояние между снегомерными рейками должно быть 1,5 м. Отметим, что, с точки зрения использования расчётных методов устойчивости снега на склоне, система снегомерных наблюдений Центра лавинной безопасности ОАО «Апатит» – бессмысленна (хотя даже поддержание её в рабочем состоянии – достаточно трудоёмкое и опасное дело). Существует она только потому, что для субъективных оценок устойчивости снега она полезна. Аналогичное замечание можно сделать и в отношении других систем мониторинга толщины снега в лавинных очагах.

Наименьшей пространственной изменчивостью характеризуется температура снега. По результатам наблюдений в Хибинах установлена довольно высокая отрицательная корреляция между температурой снега и его плотностью ($r = -0,63 \div -0,89$). Пространственная изменчи-

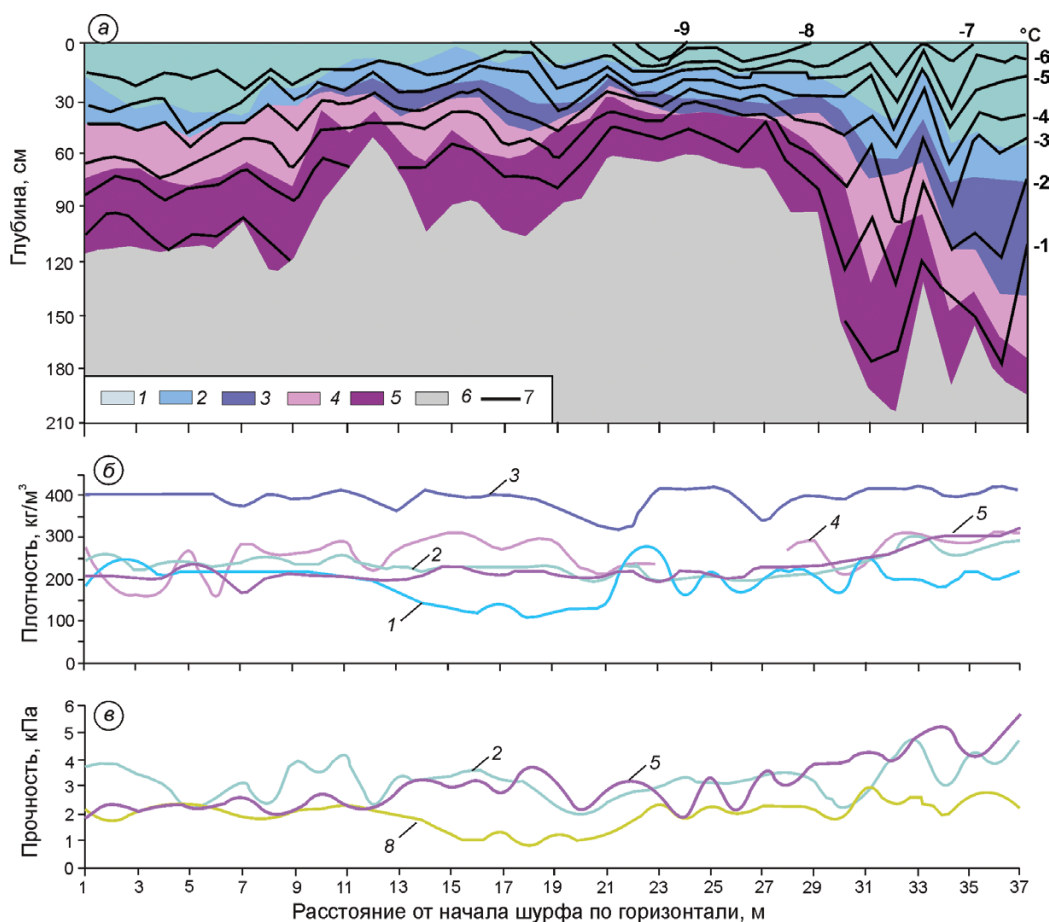


Рис. 3. Пример распределения глубины слоёв и температуры (а), плотности (б) и прочности на сдвиг (в) в снежном покрове по данным измерений вдоль горизонтального профиля (высота профиля 530 м над ур. моря). Измерения проведены 7 апреля 2009 г. с 10 до 16 ч на склоне горы Айкуайвенчорр юго-восточной экспозиции и крутизной 15°. 1 – метелевый снег; 2 – мелкозернистый ($d < 1,5$ мм) снег; 3 – мелкозернистый плотный снег; 4 – среднезернистый ($1,5 < d < 3,5$ мм) снег; 5 – крупнокристаллическая ($d > 0,5$ мм) глубинная изморозь; 6 – земля; 7 – изотермы; 8 – контакт метелевого и мелкозернистого снега. Изотермы построены по данным измерений в середине слоёв. Плотность – средняя в слое. Прочность на сдвиг измерялась внутри слоёв мелкозернистого снега (2), крупнокристаллической глубинной изморози (5) и на контакте метелевого и мелкозернистого снега (8)

Fig. 3. An example of snow thickness and temperature (a), density (б) and shear strength (в) distributions according to measurements along the horizontal profile (profile height 530 m. a.s.l. Measurements were carried out from 10 am to 16 pm, April 7, 2009 on a slope of Mt. Aikuaiventchorr of SE aspect and inclination of 15°. 1 – snowstorm snow; 2 – fine-grained snow ($d < 1,5$ mm); 3 – fine-grained dense snow; 4 – medium-grained snow ($1,5 < d < 3,5$ mm); 5 – coarse deep hoar ($d > 0,5$ mm); 6 – ground; 7 – isotherms; 8 – interface between snowstorm snow and fine-grained snow ($d < 1,5$ mm); 8 – isotherms. Isotherms have been obtained with measurements in the middle of the layers. Density – mean density for a layer. Snow shear strength was measured inside fine-grained snow (2), coarse deep hoar (5) and for interface between snowstorm snow and fine-grained snow (8)

вость свойств снега, определяющих его устойчивость на склоне, может влиять как на сам процесс лавинообразования, так и на качество интерпретации исходных данных для оценки устойчивости снега на склоне и возможности образования лавины. Примеры непосредственного влияния пространственной изменчивости характеристик снега на лавинообразование приведены в рабо-

те [2]. Если использовать условие устойчивости снега в произвольной точке (например 1), а в качестве входных данных для неё брать результаты пространственной интерполяции результатов измерений в других точках склона, то возможны весьма существенные ошибки. Ошибки сравнения какой-либо критической характеристики снега, полученной в некоторой точке склона с

помощью уравнения (1) на основании интерполяции в эту точку склона других характеристик снега, с её фактической характеристикой (также полученной с помощью интерполяции) могут достигать сотен процентов.

Согласно выполненным исследованиям, наибольшие ошибки характерны для Хибин, существенно меньшие — для Кавказа, ещё меньшие — для Алтая и Байкальского хребта и относительно небольшие — для Западного Тянь-Шаня. Для этого нами применялся метод оценки точности интерполяции в случайном поле. Помимо точности интерполяции, критериями построения сети мониторинга снежного покрова на склоне с целью оценки его устойчивости могут быть точность определения средних интегральных величин и точность определения математических ожиданий характеристик снега [5]. В Центре лавинной безопасности ОАО «Апатит» оценены ошибки замены средних интегральных величин по различным площадям единичными измерениями для Хибин. В некоторой степени эти оценки могут служить характеристиками репрезентативности измерений. Так, при средней толщине снега более 0,5 м для квадрата 10×10 м² стандартная ошибка замены средней интегральной толщины на этой площади толщиной снега, измеренной в его центре, составляет 0,32 м. При этом необходимо учитывать, что примерно в 30% случаев реальные ошибки превысят эту величину.

Анализ, проведённый в Хибинах, показал, что измерения всех рассматриваемых в статье характеристик снега (за исключением температуры), сделанные на расстоянии 5–10 м, можно рассматривать как статистически независимые и в соответствии с этим следует выбирать и места, и количество измерений для получения необходимой точности этих оценок. Стандартные ошибки толщины снега при интерполяции с помощью такой сети зависят от толщины снежного покрова и могут превышать 0,6 м. Относительные же ошибки могут превышать 100%, особенно для верхних слоёв снега. В то же время, согласно данным о пространственной изменчивости характеристик снега [4, 7], интерполяция в лавинных очагах Западного Тянь-Шаня будет достаточно точной и эффективной, а точность определения средних интегральных величин и точность определения математических ожиданий будет на порядок выше по сравнению с Хибинами.

Заключительные замечания

Одно из главных препятствий для детального прогноза лавин, наряду с отсутствием адекватных моделей поведения снега на склоне, — невозможность достаточно точно описать пространственно-временные характеристики снежного покрова, контролирующие его устойчивость на склоне. Исследования показывают, что существующая система мониторинга толщины снежного покрова не обеспечивает приемлемое качество данных о снеге в лавинных очагах для их однозначной интерпретации с целью оценки устойчивости снега на склоне и прогнозирования лавин. Кроме того, существует довольно высокая вероятность, что даже знак изменения величин характеристик снежного покрова в отдельные моменты времени на отдельных точках или на отдельных участках зоны зарождения лавин будет определён неправильно. Это общее замечание касается всех районов, где велись исследования.

В связи с большими различиями в пространственно-временной изменчивости характеристик снежного покрова на склонах в разных географических условиях нельзя дать общие рекомендации для построения сети точечных измерений на лавиноопасных склонах и периодичности проведения измерений. Для каждого горного района сеть мониторинга должна проектироваться с учётом собственной пространственно-временной статистической структуры характеристик снега. Данные о качестве существующих в противолавинных службах сетях мониторинга отсутствуют (за исключением сетей Центра лавинной безопасности ОАО «Апатит»), а само построение сетей не имеет рациональной основы. Отсутствуют и количественные оценки репрезентативности в пространстве и во времени единичных измерений (в Центре лавинной безопасности ОАО «Апатит» такие оценки выполнены для Хибин).

Согласно существующим представлениям, характерный размер ядер зарождения лавин из снежной доски составляет порядка 1 м. Методов для измерения характеристик снега в лавинных очагах с таким пространственным разрешением в настоящее время нет (за исключением измерений толщины снежного покрова). Наиболее эффективное решение задачи мониторинга толщины снежного покрова на склоне — использо-

вание современных специализированных систем лазерного сканирования [3, 8], которые уже применяются в ряде стран и позволяют оценить толщину снега с точностью до первых сантиметров с разрешением в пространстве в первые десятки сантиметров даже на большом удалении.

В случае остальных характеристик снега, контролирующих его устойчивость на склоне, необходимо определить хотя бы максимальное расстояние между измерениями, при котором интерполяция ещё имеет смысл, и для получения данных о снеге в произвольных точках использовать методы интерполяции в случайном поле. Критериями построения сети мониторинга снежного покрова на склоне для оценки его устойчивости могут быть также точность определения средних интегральных величин и точность определения математических ожиданий характеристик снега.

Для генерации входных данных в вероятностных моделях оценки устойчивости снега на склоне возможно и необходимо использование статистического моделирования³ полей характеристик снега в лавинных очагах. В этом случае неопределённость в исходных данных будет отражена в вероятностном заключении об устойчивости снега. В любом случае для каждого лавиноопасного района необходимы детальные исследования пространственной и временной статистической структуры характеристик снега на склонах.

Литература

1. Барашев Н.В., Подольский Е.А., Черноус П.А., Нишимура К. Сдвиговые испытания снега на прочность и методы их интерпретации для оценки устойчивости снега на склоне // МГИ. 2009. № 107. С. 115–119.
2. Божинский А.Н., Черноус П.А., Христов Ю.В. Статистическое моделирование неустойчивых состояний снежного покрова на склонах гор // Тр. Третьего всес. совещ. по лавинам. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. С. 67–68.
3. Бойко Е.С., Погорелов А.В. Применение лазерного сканирования в исследованиях рельефа и снежного покрова. Морфометрический аспект. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2012. 147 с.
4. Канаев Л.А. Об изменчивости свойств снега // Тр. САРНИГМИ. 1969. Вып. 44 (59). С. 25–42.
5. Черноус П.А., Христов Ю.В. Оценка точности данных о толщине снега в лавиносборах // МГИ. 1988. № 55. С. 201–206.
6. Черноус П.А., Барашев Н.В., Федоренко Ю.В. Изменчивость характеристик снега и образование лавин // Лёд и Снег. 2010. № 3 (111). С. 27–36.
7. Чиркова А.А. Статистический анализ распределения глубины снежного покрова на малых площадях в горах // Тр. САРНИГМИ. 1977. Вып. 37 (118). С. 43–50.
8. Adams M., Gleirscher E., Gigele T., Fromm R. Automated Terrestrial Laser Scanner measurements of small-scale snow avalanches // Proc. Intern. Snow Science Workshop Grenoble – Chamonix Mont-Blanc – 2013. P. 1060–1065.
9. Chernouss P. Spatial and temporal variability of avalanche predictors and accuracy of their estimation. Les apports de la recherche scientifique a la securite neige, glace et avalanche // Actes du colloque. Chamonix, 30 mai – 3 juin 1995. Cemagref editions, 1995. P. 123–128.

Summary

Results of comparison between parameters of time and space statistical structure of fields and processes controlling snow cover stability on mountain slopes in different geographical regions are considered. Spatial variability of the snow thickness, density, shearing strength, and temperature on small slopes together with temporal variability of snow depth were analyzed. Field investigations were carried out on slopes of the Khibiny Mountains, the Seminsky Ridge (Altai), the Baikal Mountains, and the Aibga Ridge (Caucasus). The most variable in space snow pack was recorded in the Khibiny Mountains (it is caused by intensive snow drift), and the Caucasus Mountains appeared to be the most variable in time (owing to intensive snowfalls and thaws). It was revealed that estimations of critical for snow stability characteristics, obtained on the basis of point measurements, may reach hundreds of percents. Errors of interpolation as well as errors of averaging and mathematical expectations are suggested to be used when estimating a quality of the monitoring network. Examples of such estimations are demonstrated. It is suggested to use statistical simulation for the snow stability estimation taking account of the snow variability.

³Представляется, что это — единственный перспективный путь оценки устойчивости снега на склоне, но для него требуются надёжные детерминированные модели, описывающие поведение снега на склоне, и данные о статистической структуре характеристик снега.