



СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛАВИНЫ

■ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И
ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛАВИНЫ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Коллективная монография



Владивосток
«Дальнаука»
2016

УДК 551.3+551.4+551.5+551.6
ББК 26.3+26.8

Снежный покров и лавины: теоретические и практические аспекты: коллективная монография / Н.А. Казаков, Ю.В. Генсировский, С.П. Жируев, Д.А. Боброва, Е.Н. Казакова, И.А. Кононов, В.А. Лобкина, А.А. Музыченко, С.В. Рыбальченко. – Владивосток: Дальнаука, 2016. – 174 с.

ISBN 978-5-8044-1571-7

Монография посвящена рассмотрению фундаментальных аспектов изучения снежного покрова и лавин. Приводится обширный фактический материал об исследовании процессов, протекающих в снежном покрове, условиях лавинообразования и динамических характеристиках лавин в Сахалинской области. Описаны процессы формирования и эволюции снежного покрова, приводятся методы измерения и обработки информации о его свойствах. Сделан обзор лавинной опасности территорий населенных пунктов и транспортных магистралей области. Затронуты вопросы прогноза и формирования лавин, решения прикладных задач проектирования и строительства сооружений в снежных регионах.

Публикуемые материалы представляют интерес для специалистов гляциологов, географов, строителей, изыскателей, краеведов.

Редакционная коллегия: Н.А. Казаков, Ю.В. Генсировский, С.П. Жируев, Д.А. Боброва, Е.Н. Казакова, И.А. Кононов, В.А. Лобкина, А.А. Музыченко, С.В. Рыбальченко.

Ответственный редактор: академик А.И. Ханчук.

Редакторы: к.г.-м.н. Ю.В. Генсировский, к.г.н. В.А. Лобкина, к.г.н. Е.Н. Казакова.

Рецензенты: О.Н. Соломина, *член-корр., зам. директора института географии РАН;*
С.А. Сократов, *PhD (Университет Хоккайдо), к.г.н., зам. директора по научной работе географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.*

Издание опубликовано при финансовой поддержке
научно-исследовательского центра «Геодинамика».

Утверждено к печати Ученым советом
Дальневосточного геологического института Дальневосточного отделения Российской академии наук.

© Коллектив авторов, 2016
© ДВГИ ДВО РАН, 2016

UDC 551.3+551.4+551.5+551.6
BBC 26.3+26.8

Snowpack and avalanches: theoretical and practical aspects: collective monograph / N.A. Kazakov, Yu.V. Gensirovsky, S.P. Zhiruev, D.A. Bobrova, E.N. Kazakova, I.A. Kononov, V.A. Lobkina, A.A. Muzychenko, S.V. Rybalchenko. – Vladivostok: Dalnauka, 2016. – 174 p.

ISBN 978-5-8044-1571-7

The monograph deals with the essential aspects in snow cover and avalanche study. It provides extensive factual evidence about the observation of processes in snow cover, conditions leading to the formation of snow avalanche and also avalanche dynamics in the Sakhalin region. It describes the process of formation and evolution of snow and also shows the practical methods of measurement and information processing about snow properties. Besides, it contains the information on avalanche hazard survey of settlements and traffic artery in the region. It covers the issues of avalanche formation and forecasting, handling of applied problems in engineering in snow areas.

This monograph is aimed at specialists in glaciology, geographers, builders, prospectors, local historians.

The edition was published with the financial support
Research Center «Geodynamics».

Approved for publication by the Scientific Council
Far East Geological Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences.

© Authors, 2016
© FEGI FEB RAS, 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
Глава I. Лавины.....	7
Лавинный фронт как уединенная волна – солитон (Казаков Н.А.).....	9
Прогноз лавин по 27-дневным циклам изменения солнечной активности (Казаков Н.А.)	17
Классификация береговых природных и антропогенных лавинных комплексов о. Сахалин (Казакова Е.Н.).....	27
Лавинная опасность на равнинных территориях о. Сахалин (Боброва Д.А.).....	39
Лавинные комплексы территорий населенных пунктов Сахалинской области (Рыбальченко С.В.).....	51
Лавинная опасность Сахалинской области (Казакова Е.Н., Лобкина В.А.).....	63
Лавины транспортных магистралей Сахалина и Курил (Жируев С.П., Окопный В.И., Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В.).....	71
Изучение фактических динамических характеристик лавин на о. Сахалин (1983-2015 гг.) (Казакова Е.Н., Боброва Д.А.)	85
Особенности формирования снежных лавин в лесу (Казаков Н.А.)	91
Глава II. Снег	99
Текстура снежной толщи как детерминированный фрактал (Казаков Н.А.)	101
Ландшафтно-индикационные свойства снежного покрова, как основа для расчета максимальных снегозапасов (Генсиоровский Ю.В.)	107
Снеговая нагрузка на поверхность земли: расчет, картирование, ущербы (Лобкина В.А.)	119
Автоматизация обработки данных стратиграфических наблюдений в снежном покрове (Кононов И.А.).....	131
Оценка снежности зим на юге Сахалина по данным наблюдений за снежным покровом на стационарной площадке (Музыченко А.А.)	145
Возможность формирования многолетних снежников в низкогорье о. Сахалин (Генсиоровский Ю.В.)	151
Литература.....	155
Фотоальбом.....	159

CONTENTS

Preface	5
Chapter I. Avalanches	7
Avalanche front as a solitary wave – soliton (Kazakov N.A.)	9
Prediction of avalanches on the basis of the 27-day solar activity variations (Kazakov N.A.)	17
Classification of coastal natural and anthropogenic avalanche systems of Sakhalin Island (Kazakova E.N.)	27
Avalanche hazard in plain area of Sakhalin Island (Bobrova D.A.)	39
Avalanche complexes of the territories of the Sakhalin Region settlements (Rybalchenko S.V.)	51
Avalanche hazard of the Sakhalin Region (Kazakova E.N., Lobkina V.A.)	63
The avalanche hazard on highways of Sakhalin and Kuril Islands (Zhiruev S.P., Okopny V.I., Kazakov N.A., Gensiorovsky Yu.V.)	71
Study of the actual dynamic characteristics of avalanches on Sakhalin Island (Kazakova E.N., Bobrova D.A.)	85
Formation of avalanches in forest area (Kazakov N.A.)	91
Chapter I. Snowpack	99
Texture of the snow layer as a deterministic fractal (Kazakov N.A.)	101
Landscape-indicator properties of snowpack as a basis for the calculation of the maximum snow storage (Gensiorovsky Yu.V.)	107
Snow load on the ground: the calculation, mapping, damages (Lobkina V.A.)	119
Automating data stratigraphic observations in the snow cover (Kononov I.A.)	131
Evaluation snowiness winters on southern Sakhalin from observational data snowpack on the stationary site (Muzychenko A.A.)	145
The possibility of forming perennial snow-patches on Sakhalin Island (Gensiorovsky Yu.V.)	151
References	155
Photo album	159

ПРЕДИСЛОВИЕ

Формирование устойчивого снежного покрова существенно влияет на процессы жизнеобеспечения значительной части территории России, что связано с большим количеством выпадающих твёрдых осадков и с длительным периодом залегания снежного покрова. Процессы, связанные с выпадением, пространственным перераспределением и трансформацией снега существенно влияют на безопасность и стоимость эксплуатации линейных и капитальных сооружений, негативно сказываются на социальной сфере, затрудняют передвижение транспорта, а также ежегодно причиняют значительный экономический ущерб и вызывают человеческие жертвы.

Сахалинская область является одним из самых опасных регионов России в отношении угрозы для населения и хозяйства от снега и лавин. Так, воздействию лавин подвержены территории почти 50% населенных пунктов, где проживает более 35% населения области. Над территорией Сахалинской области в зимний период проходит в среднем около 30 циклонов, которые приносят обильные снегопады и сильные метели со скоростью ветра более 15 м/с. В Сахалинской области неоднократно происходили чрезвычайные ситуации, связанные со значительным снегонакоплением и, как следствие, обрушением и повреждением кровель зданий и сооружений.

В связи с этим вопросы изучения снежного покрова и лавин в Сахалинской области являются особенно актуальными.

Началом снеголавинных исследований на острове Сахалин было создание в 1965 году снеголавинной группы речной гидрографической партии Сахалинского управления гидрометеослужбы (впоследствии - Снеголавинная служба). На этапе становления большой вклад в изучение снега и лавин на острове внесли В.В. Генсиоровский, И.В. Грепачевский, А.В. Иванов, И.Ф. Монастырский. В 1980-х годах XX в., после публикации трудов Э.Г. Коломыца, сахалинские снеговеды и лавинники вышли на новый уровень понимания процессов, происходящих в снежном покрове. В этот период были заложены основы сахалинской школы снего- и лавиноведения.

В 1990-е годы произошло катастрофическое сокращение объемов и снижение качества как снеголавинных наблюдений, так и научных исследований в этом направлении не только в Сахалинской области, но и во всей стране. В этих условиях идейно-методическая основа сахалинской школы оказалась весьма устойчивой, поскольку изначально была наиболее адаптирована к ситуации дефицита различных данных.

В 2002 г. при Дальневосточном геологическом институте ДВО РАН был создан Сахалинский филиал, в составе которого организована лаборатория лавинных и селевых процессов. Инициатором создания и руководителем лаборатории стал известный специалист в области изучения опасных экзогенных процессов, к.г.-м.н. Н.А. Казаков, сформировавший вокруг себя профессиональный коллектив, который на сегодняшний день является одной из наиболее активных научно-исследовательских групп в России, работающих в области изучения снега и лавин.

Данная книга содержит результаты исследований снежного покрова и лавин, проведенных за последние 13 лет в рамках развития сахалинской школы изучения снега и лавин.

Книга состоит из двух глав: «Лавины» и «Снег».

В главе «Лавины» освещаются теоретические и практические аспекты лавиноведения: от солитонного движения лавин до вопросов оценки лавинной опасности территорий населенных пунктов и линейных объектов в Сахалинской области. Некоторые теоретические работы имеют и прикладное значение: так, методика прогноза лавин по 27-дневным солнечным циклам, основанная на авторском материале, успешно применялась при обеспечении лавинной безопасности ряда объектов в Сахалинской области. Кроме того, в главе уделяется внимание лавинным процессам на невысоких склонах речных и морских террас, которые обычно не рассматривают при оценке лавинной опасности территории, а также особенностям формирования лавин в лесу.

Глава «Снег» освещает различные аспекты оригинального подхода авторов к проблеме изучения снежного покрова, развивающих разработанную Э.Г. Коломыцем теорию самоорганизации снежной толщи. Этот подход позволяет классифицировать нивальные комплексы слабоизученных территорий, а на их основе рассчитывать характеристики снежного покрова с позиции ландшафтно-индикационного снеговедения. Также предлагается способ автоматизации обработки стратиграфических данных, который позволяет в автоматическом режиме получать объективное экспертно-независимое описание снежной толщи. Авторами предлагается новый подход к нормированию снеговой нагрузки, который имеет серьезное прикладное значение и может быть использован при расчете снеговых нагрузок на малоизученной территории.

Несомненным достоинством данной книги является то, что теоретические аспекты изучения снега и лавин рассматриваются авторами совместно с практическими. Это позволяет использовать представленную монографию в качестве основы для решения актуальных прикладных задач.

Академик А.И. Ханчук,
директор ДВГИ ДВО РАН

ГЛАВА I ЛАВИНЫ



ЛАВИННЫЙ ФРОНТ КАК УЕДИНЕННАЯ ВОЛНА – СОЛИТОН

При описании лавинных процессов мы сталкиваемся с целым рядом феноменов, которые не получили достаточно убедительного объяснения в рамках классических представлений, сложившихся в гляциологии. Среди таких явлений можно отметить феномен формирования волн при движении лавин.

На сегодняшний день имеются все основания описывать геодинамические экзогенные процессы не как гидрологические или гравитационные явления, но как явления более сложного характера.

Мы полагаем, что указанные природные процессы достаточно хорошо могут быть описаны в рамках синергетических представлений, суть которых можно свести к тому, что в данной системе ни один из отдельно взятых факторов не может привести к ожидаемому результату без воздействия других факторов, в результате приводящих к феномену самоорганизации упорядоченных структур в открытых диссипативных системах.

подавляющее большинство геологических систем удовлетворяют определению синергетической системы [Летников, 1992].

Постановка задачи

Снежную лавину можно описать как нисходящую волну, движущуюся по лавиносбору как турбулентный поток и приводящую в движение снежную толщу в лавиносборе. Такая система удовлетворяет условиям возникновения диссипативных структур [Дородницын, Еленин, 1988; Кулаков, Румянцев, 1992; Ebeling, 1976]:

- является открытой неравновесной системой;
- процессы, протекающие в системе, нелинейны.

Представим первоначальный сдвиг снежного блока как импульс, дающий начало продольной волне сжатия, распространяющейся в снежной толще как перераспределение его плотности. Подобные явления наблюдаются в горных ледниках и на начальных стадиях движения оползней некоторых типов и грязекаменных селей и могут описываться как кинематическая волна. В этом отношении снежная толща в лавиносборе не является исключением из закономерностей, об-

щих для процессов, развивающихся в неустойчивых массивах рыхлообломочных пород, залегающих при уклонах более 15° .

Одновременно с первоначальным сдвигом снежного блока повышается давление на снежный блок со стороны залегающего выше по склону элемента объема δV части снежной толщи, начинающей двигаться вниз по лавиносбору. Давление на снежный блок со стороны элемента объема δV приводит к возникновению волны сжатия, распространяющейся в снежной толще как избыток массы. Возникшая продольная волна (волна сжатия) приводит к разрушению структурной связности снежной толщи, тем самым, упрощая возможность ее вовлечения в лавинный процесс.

Движущийся элемент объема снежного пласта δV начинает формировать фронт лавины, который может быть описан как поперечная волна. Скорость роста, размеры и форма волны определяются диссипативными процессами в ее подошве. Форма и время существования волны зависят от реологических свойств снежной толщи, обуславливающих изменение баланса скоростей в подошве и на гребне волны. Волна начинает разрушаться либо вследствие расплывания при $U_1 > U_2$, либо вследствие обрушения гребня $U_1 < U_2$, где U_1 – скорость подошвы волны, U_2 – скорость ее гребня.

Сама волна может рассматриваться как фронт возбуждения активной среды – снежной толщи, и может быть представлена как пространственно-временная периодическая структура.

Математически такая волна может быть описана как уединенная волна – солитон.

При движении лавины первая волна вследствие диссипативных процессов как избыток массы должна распадаться на серию волн – волновой пакет. Дисперсия волнового пакета в нелинейной среде – снежной лавине – должна приводить к возникновению нелинейных волн и их самоорганизации в периодические пространственно-временные структуры, визуально наблюдаемые как волновой цуг. В этом случае, периодическая структура лавины может быть описана как цуг периодических волн, на фронте которого формируется уединенная волна – кинк.

Такое утверждение позволяют сделать описания лавин сухого снега. Формы пиков на графиках распределения толщины лавинного тела, форма и характер движения фронта лавины соответствуют описаниям солитонов. В пользу приведенной точки зрения свидетельствуют кратковременность движения лавин, сохранение высокой скорости движения при малых уклонах зоны транзита лавин и волнообразный (пульсирующий) характер движения лавины.

В целом, лавина может быть описана в рамках солитонной модели движения лавины и селевого потока [Казаков, 2000г; Казаков, 2001а; Kazakov, Minervin, 2000; Kazakov, Minervin, 2001].

Решение

Определим условия, необходимые для описания движения лавинной волны в рамках предлагаемой модели.

Среда, в которой формируется и движется лавина – снежная толща с разрушенной структурной связностью. Для описания движения уединенной волны в рамках классической теории солитонов, представим снежную толщу в лавиносборе как квазижидкую сжимаемую среду, в которой формируется уединенная волна.

Дальнейшее развитие лавинного процесса можно представить в следующем виде.

Вслед за продольной волной, движущейся в снежной толще, в лавиносборе формируется собственно лавина – поперечная волна, движущаяся вдоль лавиносбора и распадающаяся на последовательность солитонов в соответствии с эволюцией решения уравнения Кортевега-де Фриза (КдФ) в нелинейной среде [Казаков, 2000г; Казаков, 2001а; Кулаков, Румянцев, 1992; Филиппов, 1990; Ablowitz, Segur, 1981; Kazakov, Minervin, 2000; Newell, 1985]:

$$\eta(x,t) = \eta_m / ch^2 \left\{ \sqrt{3\eta_m / 4h} \left[\sqrt{g(h + \eta_m)} t \right] \right\}, \quad (1)$$

где h – толщина снежного пласта;

η – высота фронта лавины (амплитуда солитона) в момент времени t ;

h_m – максимальная высота фронта лавины (амплитуда солитона);

t – время от начала движения лавины;

x – длина пути лавины на момент времени t ;

g – ускорение свободного падения;

ch – гиперболический косинус.

Можно предположить, что в системе «Снежная толща в лавиносборе» возникают два цуга периодических волн: продольный и поперечный. Первый движется в снежной толще и визуально не наблюдается. Отмечаются только его побочные эффекты: разрушение строений, перемещение крупных глыб горной породы и т.д. до подхода фронта лавины. Такие эффекты описаны в литературе [Flaig, 1936]. Второй волновой цуг – поперечная волна – представляет собой собственно лавину.

Временной интервал между двумя цугами волн, вероятно, не превышает нескольких десятков секунд.

При сужении лавинного русла возможна трансформация лавины в ударную волну типа бора. При этом высота фронта лавины и ее скорость должны резко возрасти, в соответствии с выражением [Дородницын, Еленин, 1988; Казаков, 2000г; Казаков, 2001а; Kazakov, Minervin, 2000]:

$$U_2 = \sqrt{g\eta_1(\eta_1 + \eta_2) / 2h}, \quad (2)$$

$$U_1 > U_2 = \sqrt{gh_2}, \quad (3)$$

где U_1 – скорость фронта лавины;

U_2 – скорость бора;

h_1 – высота фронта лавины;

h_2 – высота бора.

Вследствие резкого увеличения коррадирующей способности лавины, должна резко возрасти его насыщенность твердой составляющей (ледяные кристаллы) за счет вовлечения в лавинный поток снега с бортов и днища лавиносбора, что, в свою очередь, должно приводить к увеличению плотности лавинного тела.

Сформировавшаяся структура может существовать в течение всего времени существования лавины. Возникновение подобных структур возможно при достаточно высоких скоростях лавинного потока.

На развитой стадии процесса лавину можно представить состоящей из двух частей: головная часть (фронт) – солитон (кинк), хвостовая – периодическая волна (рис. 1).

Найдем дополнительное условие, определяющее периодическое решение для хвостовой части лавины [Дородницын, Еленин, 1988; Казаков, 2000г; Казаков, 2001a]:

$$D = U + \sqrt{g\eta_1}, \quad (4)$$

где D – групповая скорость волнового пакета.



Рис. 1. Пространственно-временная периодическая структура движущейся лавины. Кинк (1), солитон (2) и волновой пакет в хвостовой части лавины.

Фронт лавины любого типа, движущейся по лавинному лотку, представляет собой все тот же бор (кинк) и может быть описан однокинковым решением уравнения синус-Гордона [Ebeling, 1976]:

$$U = 4 \operatorname{arctg} \exp\left(2\eta x + \frac{1}{2\eta}t + x_0\right), \quad (5)$$

Причиной возникновения как периодической, так и уединенной волны служит развитие случайных возмущений в пространственно-однородном потоке – снежной лавине.

При определенных условиях возможно формирование уединенной электромагнитной волны – солитона, распространяющейся в активной среде – однородном снежном слое (диэлектрическом волноводе [Казаков, 1997]) и приводящем к разрушению его пространственно-неоднородной структуры. Процесс должен сопровождаться высвобождением энергии связи между кристаллами, которая

должна вносить существенный вклад в энергию лавины. Условия, необходимые для формирования такой волны – наличие в снежной толще гомогенного слоя, выполненного ледяными кристаллами полускелетного или скелетного класса форм.

Результаты

Сформировавшийся солитон должен двигаться практически не испытывая сопротивления среды.

Дальность пробега такой лавины может ограничиваться лишь протяженностью гомогенной снежной толщи или участками лавиносбора, на которых лавинный лоток резко расширяется. На таких участках фронт лавины начинает расплываться вследствие увеличения его ширины. Такой характер движения лавин автор наблюдал в троговых долинах Хибин.

Наблюдения за лавинами дают основание рассматривать волновой характер их движения как имманентную характеристику лавин. Такое утверждение представляется справедливым, по крайней мере, для лавин сухого снега. Характеристики волн обуславливаются морфометрическими характеристиками зоны транзита лавиносбора (уклонами днища) и стадией метаморфизма снежной толщи, залегающей в лавиносборе.

Наблюдения за лавинами, проведенные нами в 1979-2005 гг. в Хибинах, на Сахалине и Курильских островах, позволяют сделать вывод о том, что дальность выброса и скорость лавины недопустимо рассчитывать на основе только морфометрических характеристик лавиносбора и объема лавин и что дальность выброса и скорость лавины в значительной степени зависят от степени перекристаллизации снежной толщи, т.е. от степени ее упорядоченности.

При расчете энергии, скорости и дальности выброса лавины во все применяемые в изыскательской практике расчетные модели входят только морфометрические параметры лавиносборов и масса снежного пласта в лавиносборе. Сама лавина рассматривается либо как материальная точка, либо как гидравлический поток. При этом в существующих методиках расчета дальности выброса и скорости лавины не учитывается степень метаморфизма снежной толщи во время схода лавины и, соответственно, не учитывается тот вклад, который вносит в суммарную энергию лавины внутренняя энергия снежного пласта: энергия связи между ледяными кристаллами, высвобождающаяся при разрушении снежной толщи. Вклад такой энергии в энергию лавины весьма значителен, особенно для лавин перекристаллизации снежной толщи.

Обсуждение результатов

В большинстве существующих методиках расчета скорости и высоты фронта лавин [Божинский, Лосев, 1987; Методические разработки..., 1986; Москалев, 1977] характеристики метаморфизированной снежной толщи и волновой характер движения лавин не учитываются, что приводит к сильному занижению реальной дальности выброса лавин генетического класса перекристаллизации снежной толщи.

Так, обычно используемая в изыскательской практике методика расчета предельной дальности выброса и скорости лавин В.П. Благовещенского по нашим наблюдениям, проведенным на Сахалине и Курилах в 1979-2005 гг. занижает реальную дальность выброса лавин на 30-50%.

Значения дальности выброса катастрофических лавин, наиболее близкие к реальным, позволяет получить методика С.М. Козика [Козик, 1962].

Указанная методика завышает реальную дальность выброса лавин генетических классов «нового снега» и «весеннего снеготаяния», но позволяет достаточно хорошо определять характеристики лавин генетического класса перекристаллизации снежной толщи – наиболее опасных для населения, объектов и сооружений в силу их высокой скорости, энергии и трудности прогнозирования.

Эту точку зрения подтверждают данные полевых наблюдений, проводившихся нами на о. Сахалине, Курильских островах, в Хибинах и в Забайкалье в 1978-2005 гг.

Так, дальность выброса сухой лавины генетического класса перекристаллизации снежной толщи, сошедшей в апреле 1993 г. в Восточно-Сахалинских горах (Чамгинский перевал) составила 1300 м при объеме лавины всего 20000 м³. При этом половину пути (около 600 м) лавина двигалась при уклонах 3-5°. Обычная дальность выброса лавин такого объема в описываемом районе не превышает 600 м. С точки зрения классических моделей движения лавин, такой факт не наблюдаться не может.

Расчетная дальность выброса этой лавины должна была составить: по методике В.П. Благовещенского [Методические разработки..., 1986] – 700 м, по методике С.М. Козика [Козик, 1962] – 1100 м.

Дальность выброса такой же лавины, сошедшей с осового склона относительной высотой 70 м и крутизной в зоне отрыва 35° (г. Шахтерск, 28.01.1989 г.) составила 190 м при объеме 1500 м³. Дальность выброса этой лавины, рассчитанная по методике В.П. Благовещенского, должна была составить 85 м.

Подобные случаи отмечались нами неоднократно. Случаи формирования лавин с аномальной дальностью выброса и трудно объяснимыми явлениями, наблюдавшимися при их движении, описывались и другими авторами [Flaig, 1936]. В то же время, эти случаи хорошо объясняются в рамках солитонной модели движения лавины.

Необходимо отметить, что лавины генетических классов нового снега и весеннего снеготаяния как правило движутся в соответствии с классическими представлениями о динамике лавин [Божинский, Лосев, 1987; Москалев, 1977].

Следует отметить, что волновой характер движения лавин не учитывается и при оценке характера воздействия лавины на сооружение. Однако цуг периодических волн оказывает на сооружение периодическое воздействие, способное вызвать резонансные явления в конструкциях, приводящие к их повреждению.

Таким образом, расчет давления лавины на сооружение как разового давления сплошного тела в ряде случаев приводит к занижению степени лавинной опасности для объектов и сооружений.

В случае резкого торможения лавины о препятствие естественного или искусственного происхождения (противолавинная или иная дамба и т.д.), расположенное на ее пути, может происходить отрыв снеговоздушного облака от лавинного тела, сопровождающийся резким увеличением скорости и дальности выброса воздушной волны лавины. В этом случае дальность действия может превышать значение, рассчитанное по рекомендуемым формулам [Божинский, Лосев, 1987; Методические разработки..., 1986; Москалев, 1977]. Такие случаи наблюдались автором в Хибинах и на Сахалине.

Выводы

1. Волновой характер движения снежных лавин практически всех генетических и морфологических типов является их имманентной характеристикой и обусловлен развитием диссипативных процессов в лавинном потоке.

2. Снежную лавину необходимо рассматривать не в качестве объекта, а в как стадию состояния объекта (фазу развития процесса), в качестве которого должна рассматриваться литологическая компонента лавинного комплекса: снежная толща в лавиносборе.

3. Лавинный процесс может рассматриваться как процесс последовательной самоорганизации пространственно-неоднородных структур снежного слоя, временных периодических структур снежного пласта и периодических пространственно-временных структур движущейся лавины.

4. Дальность выброса и скорость лавины недопустимо рассчитывать на основе только морфометрических характеристик лавиносбора и объема снежного пласта в лавиносборе: эти характеристики в значительной степени определяются волновым характером движения лавины.

5. Вследствие волнового характера движения лавины ее дальность выброса может не зависеть от объема лавины, заложения и уклона лавиносбора. По этой причине при оценке степени лавинной опасности для объектов и сооружений необходимо использовать в расчетах значения дальности выброса катастрофических лавин, поскольку реальная повторяемость таких явлений должна быть выше, чем рассчитанная традиционными методами.

6. При оценке воздействия, оказываемого на инженерные сооружения лавинами генетического класса перекристаллизации снежной толщи необходимо учитывать, что сооружение может испытывать не просто однократное давление фронта лавины, а многократное (пульсирующее) давление серии волн волнового пакета. Такой характер воздействия усиливает воздействие лавины на препятствие и способен вызвать резонансные явления в конструкциях, приводящие к их повреждению. По этой причине расчете величины давления лавины на препятствие необходимо вводить величину количество волн и частоту волн волнового пакета - для оценки вероятности возникновения резонанса в конструкциях.

7. Образование периодических структур и формирование солитонов широко распространены в природе и при определенных условиях характерны для динамических стадий состояния многих геодинамических процессов: таких, как

снежные лавины, гляциальные прорывные сели и селевые потоки иного генезиса, водоснежные потоки, дождевые паводки на горных реках, пульсирующие ледники, некоторые типы оползней и т.д. Эти явления можно выделить в отдельный класс, объединяющий геосистемы различного генезиса на основе признака, общего для таких систем - самоорганизации периодических пространственно-временных структур на динамической стадии их развития и развивающихся по одним и тем же инвариантам.

ПРОГНОЗ ЛАВИН ПО 27-ДНЕВНЫМ ЦИКЛАМ ИЗМЕНЕНИЯ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

Одна из важнейших задач, решение которой необходимо при защите от снежных лавин и обеспечении экономически целесообразного функционирования хозяйственных объектов, – долгосрочный фоновый прогноз лавин на ограниченной территории (речной бассейн; участок морского побережья; макросклон горного хребта и т.д.) и для группы лавиносборов. Необходимость долгосрочного фонового прогноза изменения интенсивности проявления лавинных процессов для таких территорий очевидна. Так, в бассейне р. Мзымта, где размещены объекты Олимпийского комплекса (Красная Поляна), такой прогноз позволил бы с заблаговременностью 1-3 месяца планировать проведение массовых спортивных мероприятий с минимальным риском их срыва из-за массового схода лавин или выхода глубоких циклонов.

В настоящее время фоновый прогноз лавин может составляться как вероятностный с заблаговременностью не более 5-15 суток на основе синоптического прогноза или на основе прогноза формирования в снежной толще лавиноопасных слоев в результате сублимационной перекристаллизации снежной толщи. Однако прогнозирование лавин возможно и на базе закономерностей изменения физических характеристик снежного покрова в результате геофизических процессов в системе «атмосфера-литосфера». Многие геофизические процессы в этой системе тесно связаны с аналогичными процессами на Солнце, которые оказывают определяющее влияние на геофизические процессы, происходящие на Земле [Вительс, 1977; Данилов, 1926; Тушинский, 1966; Физика космоса, 1966; Чижевский, 1924; Чижевский, 1976; Швердфегер, 1987; Шеко, 1980]. Именно поэтому лавинные процессы не составляют исключение и должны носить циклический характер.

Методы долгосрочного прогноза экзогенных геологических процессов на основе многолетних циклов солнечной активности разрабатывались еще А.И. Шеко [Шеко, 1980; Шеко и др., 1999]. На связь изменения солнечной активности с лавинообразованием обратил внимание Г.К. Тушинский [Тушинский, 1966]. Однако в своих работах он, как и А.И. Шеко, рассматривал только многолетние циклы солнечной активности и соответственно многолетние циклы изменения активности лавинных процессов. Вместе с тем для решения прикладных задач

по защите от лавин необходимы методы их прогноза на период 15-90 суток. Такой прогноз можно попытаться разработать на основе эмпирических данных о лавинах и осадках как прогноз циклического изменения интенсивности лавинных процессов в соответствии с 27-дневным циклом изменения солнечной активности [Катков, 2011].

Постановка задачи

Многие природные процессы относятся к циклическим и самоподдерживающимся в системе солнечно-земных связей. Примером могут служить волны погоды – колебания атмосферного давления с периодом 18-25 суток. Стационарные потоки солнечного ветра, вращаясь вместе с Солнцем, вызывают геомагнитные возмущения, которые повторяются каждые 27 суток в соответствии с периодом вращения Солнца [Физика космоса, 1966]. Многие исследователи отмечали соответствие цикличности процессов, происходящих в магнито- и атмосфере Земли, циклам солнечной активности. Так, Л.Г. Данилов [Данилов, 1926] обратил внимание на самопроизвольные колебания атмосферного давления с периодом 18-25 суток. Автоколебания в атмосфере возникали после прохождения группы пятен через центральный солнечный меридиан. С таким же периодом возникают и максимумы солнечных пятен, т.е. происходит циклическое изменение активности солнечного магнитного поля и соответственно изменение интенсивности геомагнитного поля. О существовании таких волн, как собственных затухающих колебаний атмосферного давления, писал В. Швердфегер [Швердфегер, 1987]. Л.А. Вительс [Вительс, 1977] указывал, что наблюдается соответствие минимумов и максимумов интенсивности циклонов определенным дням месяца. А.В. Дьяков [Дьяков, 1972] на основе данных многолетних наблюдений обнаружил, что экстремумы энергии атмосферной циркуляции (энергетический цикл атмосферы), связанные с солнечными циклами, повторяются в среднем через 8,6 суток, увеличиваясь в периоды высокой солнечной активности до 12 суток. Существует статистически доказанная связь повторяемости изменений температуры внутри 27-дневного цикла оборота Солнца. Наиболее полно циклические связи между солнечными и земными процессами освещаются в работах А.Л. Чижевского [Чижевский, 1924; Чижевский, 1976], который обращает внимание на повторяемость пертурбаций солнечного магнитного поля средней силы через 27 дней (период вращения Солнца), а сильных – примерно через 30 дней.

Изменение интенсивности солнечного магнитного поля приводит к колебаниям градиента атмосферного электрического поля Земли и связанных с ним теллурических, геомагнитных и других видов полей. В свою очередь, изменения этих полей периодически действуют на все геофизические процессы, протекающие в атмосфере и литосфере Земли. Снежный покров и лавины в этом отношении – не исключения из общей закономерности. Для обоснования взаимосвязи между лавинообразованием и циклическими процессами в системе солнечно-земных связей необходимо определить феноменологию лавинных процессов. Отметим, что лавины разных генетических типов не только имеют разные динамические

характеристиками, но и формируются под влиянием разных факторов, в том числе и геофизических (табл. 1).

Лавины следует описывать не как гидрологические или гравитационные явления, а как более сложный процесс, именно геофизический, начинающийся с момента образования снежного покрова в лавиносборе и заканчивающийся формированием лавинных отложений. На этапе развития снежной толщи в лавиносборе, как в самоорганизующейся системе (на стадии сублимационной перекристаллизации снежной толщи), именно геофизические процессы начинают играть ведущую роль в изменении несущей прочности и связанности снежного пласта, что, в конечном итоге, определяет характер лавинообразования как процесса, происходящего в триггерной геосистеме - лавинном комплексе [Казаков, 2003]. Таким образом, при прогнозе лавин важнейшим вопросом становится их классификация. В настоящее время для решения многих задач лавиноведения наиболее продуктивен подход к классификации лавин, предложенный В.В. Дзюбой [Дзюба, 1983]. Этот прогноз наиболее полно отражает феноменологию лавинного процесса и основан на разделении лавин на три генетических класса: син-, эпи- и полигенетические.

Однако для решения задачи, рассматриваемой в настоящей статье, в классе эпигенетических лавин необходима более развернутая классификация лавин, связанных с перекристаллизацией снежной толщи [Казаков, Боброва, 2013], а лавины снеготаяния должны рассматриваться как лавины сингенетические. Лавины полигенетического класса целесообразно не выделять в отдельный класс, а рассматривать как эпигенетические, так как в их образовании доминируют процессы метаморфизма снежной толщи (триггерный механизм лавинообразования). С каждым генетическим типом лавин мы можем соотнести ряд процессов, которыми определяются ведущие факторы лавинообразования для данного типа лавин (см. табл. 1). Так, в образовании сингенетических лавин преобладают синоптические и метеорологические факторы, а эпигенетических лавин – геофизические факторы, которые вызывают изменение физических характеристик снежной толщи, определяющих ее связность и несущую прочность, в частности изменение электрических сил внутри снежной толщи [Казаков, 2011]. Возможно также сочетание геофизических факторов с синоптическими и метеорологическими.

Таким образом, связь между образованием лавин сингенетического класса и суммой выпадающих осадков должна быть выражена достаточно четко, поэтому для долгосрочного прогноза таких лавин на незначительной территории (речной бассейн, макросклон горного хребта и т.д.) можно ограничиться только циклическим прогнозом осадков или, что несколько шире, прогнозом изменения синоптической ситуации. Для лавин эпигенетического класса такая связь выражена не столь четко, поэтому при их долгосрочном прогнозе должны в явном или неявном виде учитываться циклические изменения геофизических процессов, в частности, происходящие в системе солнечно-земных связей.

Таблица №1

Генетические типы лавин и их средние характеристики (о. Сахалин, 1978-2013 гг.).

Генетический тип лавины	Плотность лавинообразующего снега, г/см ³	Характер движения лавины	Максимальные характеристики лавины			Преобладающие процессы, определяющие генезис лавин	Критерий фонового прогноза лавин как циклического процесса в системе солнечно-земных связей
			объем, тыс. м ³	дальность выброса, м	скорость, м/с		
Сингенетические лавины							
Метелевого снега (снежная доска)	0,20-0,50	Ламинарный, скольжение	5,0	400	30	Синоптические и гидрометеорологические	Циклическое изменение синоптических процессов
Снеготаяния	0,15-0,50	Ламинарный, вязкое течение	5,0	300	15		
Свежевыпавшего снега	0,05-0,15	Турбулентный	10,0	500	40		
Эпигенетические лавины							
Перекристаллизованного снега	0,22-0,38	Турбулентный, волновой процесс	> 50	> 1000	>80	Геофизические в снежной толще	Циклическое изменение геофизических процессов
Смешанного перекристаллизованного и сухого свежевыпавшего снега	0,25-0,35					> 80	Геофизические в снежной толще в сочетании с гидрометеорологическими
Смешанного перекристаллизованного и сухого метелевого снега	0,25-0,45				> 80	> 2000	> 80
Смешанного перекристаллизованного и мокрого снега	0,35-0,50				100	1200	50

Методы решения

Для проверки гипотезы о цикличности лавинных процессов, их связи с циклами геомагнитной активности и оценки возможности прогноза лавин как циклического процесса проанализированы данные о лавинных и метеорологических процессах за длительные периоды. По методу 27-дневных солнечных календарей А.Л. Чижевского [Чижевский, 1924] эмпирические ряды данных о лавинах и осадках были разбиты на 27 групп (в соответствии с 27-дневным никлом изменения солнечной активности) и внесены в таблицу с 27 графами с началом от произвольно выбранной даты. В таблицу вносили эмпирические данные о числе лавин за сутки, их суммарном и максимальном объемах, объемах лавин по градациям и о генетических типах лавин (табл. 2). Аналогичные таблицы составлялись на основе эмпирических данных об осадках, куда вносили суточные суммы осадков по градациям осадков (табл. 3). За вероятность образования лавин V в каждый день цикла принималось среднее значение числа лавин за день цикла (за период наблюдений). Среднее число случаев в 1 – n день цикла образования лавин (частота) в процентах для каждого дня 27-дневного никла оценивалось по формуле:

$$V = (n/N) 100,$$

где V – среднее значение числа лавин за день никла, %; n – суммарное число лавин за день цикла за все циклы за период выборки; N – число циклов.

Аналогичным образом рассчитывались вероятности формирования лавин разных объемов, разных генетических классов и осадков по градациям (см. табл. 2 и 3). По результатам полученных обобщенных данных составлялись графики связи числа, объема, типов лавин и суточных сумм осадков с 27-дневным солнечным циклом (рис. 1, 2).

Таблица №2

Алгоритм набора эмпирических данных о случаях схода лавин в 27-дневном цикле изменения солнечной активности по району исследования для построения графиков прогноза лавин (пример заполнения таблицы).

Характеристика	День цикла				
	1	2	3	...	27
Дата:					
01.01.1900 г.	0	0	0	...	0
...	...	...	...	...	...
03.01.1935 г.	3*/10,5	0	1/1,5	...	1/1,2
04.01.1935 г.	0	0	1/0,5	...	2/1,9
...	...	...	...	...	...
23.03.2011 г.	1/15,2	1	2/0,8	...	0
24.03.2011 г.	4/8,8	0	0	...	1/1,0
Число дней с лапинами n	45	3	140	...	60
Число циклов N	200	200	200	...	200
Вероятность n/N , %	22,5	0	70,0	...	30,0

Продолжение таблицы №2

Характеристика	День цикла				
	1	2	3	...	27
Суммарный объем лавин, тыс. м ³	102,9	1,7	630,3	...	210,8
Число лавин с объемом, тыс. м ³ :					
более 100	0	0	5	...	2
50-100	0	0	15	...	5
10-50	7	0	35	...	12
5-10	29	0	45	...	8
1-5	10	1	15	...	14
менее 1	0	2	25	...	19
Максимальный объем лавин, тыс. м ³	49,0	1,0	230,0	...	300,0
Генетические типы лавин (число лавин):					
сингенетические:	22	5	54	...	39
нового снега	22	0	35	...	27
мокрого снега	31	0	65	...	41
эпигенетические					

Примечание: *Число лавин/объем лавин, тыс. м³.

Таблица №3

Алгоритм набора эмпирических данных о сумме осадков в 27-дневном цикле изменение солнечной активности по району исследования для построения графиков прогноза осадков (пример заполнения таблицы).

Характеристика	Сумма осадков (мм) по дням цикла				
	1	2	3	...	27
Дата					
01.01.1900 г.	1,5	22,5	0,5	...	32,5
...	...	...	...	...	...
03.01.1935 г.	10,2	1,0	15,7	...	0
04.01.1935 г.	0	3,0	30,0		3,2
...	...	...	...	...	...
23.03.2011 г.	0	8,3	0,3	...	0,7
24.03.2011 г.	0	1,6	1,0	...	42,9
Число дней с осадками n	35	90	54	...	23
Число циклов N	100	100	100	...	100
Вероятность n/N , %	35	90	54	...	32
Число случаев с суточной суммой осадков, мм:					
без осадков	30	20	11	...	12
1-5	27	67	22	...	58
5-10	20	13	22	...	12
10-15	3	0	15	...	10
12-20	15	0	14	...	0
20-30	0	0	9	...	1
более 30	5	0	7	...	2
максимальное	32,8	0,5	23,0	...	43,0

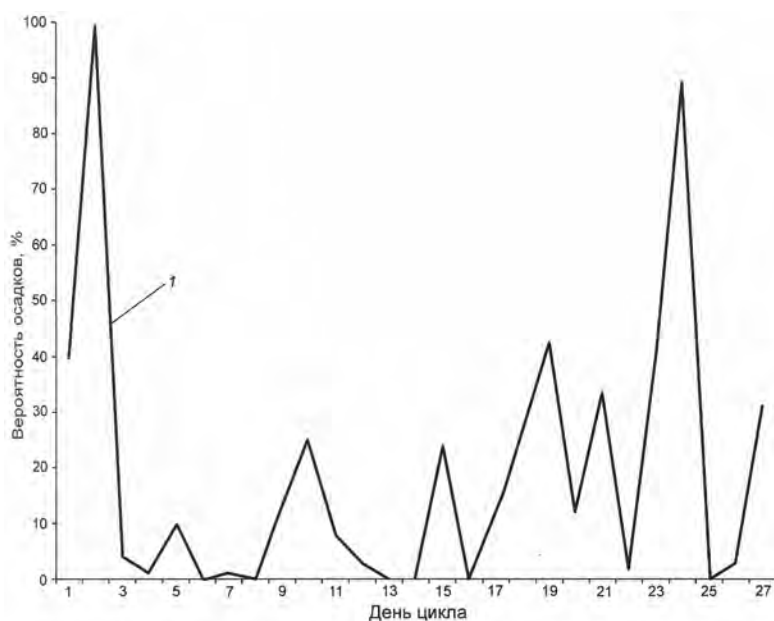


Рис. 1. Долгосрочный прогноз лавин по 27-дневному циклу изменения солнечной активности (Чамгинский перевал, Восточно-Сахалинские горы, о. Сахалин). Цифрами обозначено: 1 – дни с лавинами.

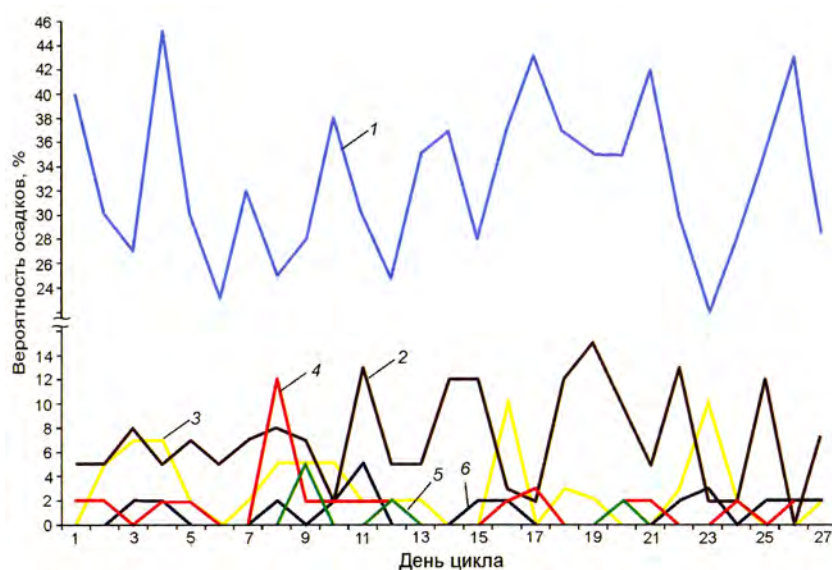


Рис. 2. Долгосрочный прогноз осадков по 27-дневному циклу изменения солнечной активности (г. Томари, о. Сахалин). Цифрами обозначено: 1 – менее 5; 2 – 5-10; 3 – 10-15; 4 – 15-20; 5 – 20-30; 6 – более 30.

Полученные графики использовались для прогноза лавин и осадков. Поскольку ритмы погоды имеют выраженное несовпадение даже в близких районах со сложным рельефом, где на атмосферные процессы сильно влияют орографические факторы, прогноз лавин и осадков на основе солнечных циклов необходимо разрабатывать как прогноз по точке (для речного бассейна, участка морского побережья, макросклона горного хребта и т.д. или группы однотипных лавинных комплексов).

Для проверки гипотезы построены таблицы повторяемости явлений на основе эмпирических данных о лавинах и осадках. Ряды данных имели разную длительность:

1) для Хибин (Кольский полуостров) – выборка данных о случаях схода лавин за 1935-1986 гг. и суточных суммах осадков за 1983-1986 гг.;

2) для Чамгинского перевала (о. Сахалин, Восточно-Сахалинские горы) – выборка данных о случаях схода лавин за 1979-1992 гг. и суточных суммах осадков за 1982-1992 гг.;

3) для г. Южно-Сахалинск – выборка данных о суточных суммах осадков за 1945-1990 гг.;

4) для г. Томари (юго-западное побережье о. Сахалин) – о суточных суммах осадков за 1988-1992 гг.

Анализ результатов наблюдений за лавинами и осадками в Хибинах и на Чамгинском перевале показал, что активность лавинных процессов и атмосферных осадков имеет выраженный 27-дневный цикл, в соответствии с которым изменяются суточные число, объем лавин и сумма осадков. На основе графиков связи числа, объема, генетического класса лавин и суточных сумм осадков с солнечным и лунным циклами построены прогностические графики для прогноза лавин и осадков по районам перевала Кукисвум (Хибины), Чамгинского перевала, городов Южно-Сахалинска и Томари (осадки). Дополнение эмпирических данных о повторяемости явлений в соответствии с 27-дневным циклом изменения солнечной активности аналогично построенной эмпирической выборке повторяемости явлений в соответствии с 29-дневным лунным циклом (синодическим месяцем) заметно повысило точность прогноза.

Результаты

Методика фоновое долгосрочного прогноза лавин и осадков по 27-дневному циклу изменения солнечной активности в 1987-1988 гг. была проверена в долинах рек Куньок и Кукисйок (перевал Кукисвум), а в 1993-1995 гг. – на Чамгинском перевале. Методика фоновое долгосрочного прогноза осадков проверена в 1991-1999 гг. для городов Южно-Сахалинск и Томари. В качестве критерия оправдываемости прогноза лавин принимался факт схода хотя бы одной лавины на территории, по которой составлялся прогноз; в качестве критерия оправдываемости прогноза осадков – факт выпадения осадков с суточной суммой, соответствующей количественной градации, указанной в прогнозе.

Анализ результатов показал, что имеют выраженную цикличность:

1) повторяемость и объемы лавин нового снега (свежевыпавшего и метелевого) и лавин смешанного снега (свежевыпавшего и перекристаллизованного), т.е. лавин, формирующихся во время метелей и снегопадов при выходе циклонов;

2) повторяемость снегопадов и суммы осадков по количественным градациям с шагом 10 мм (т.е. периодичность атмосферных процессов, в том числе циклонов);

3) повторяемость лавин, связанных с перекристаллизацией снежной толщи и формирующихся при ясной погоде; эти случаи, вероятно, следует связывать с изменением геофизических (в частности, геомагнитных) полей, вызывающих изменение физических процессов внутри снежной толщи.

Оценка оправдываемости прогноза лавин и осадков выполнялась как расчет частотного критерия эффективности прогноза [Шеко и др., 1999]:

$$K=(p/P)100,$$

где K – оправдываемость прогноза, %; p – число оправдавшихся прогнозов; P – общее число проверяемых прогнозов.

Прогноз лавин и осадков по разработанной методике позволил получить следующие результаты:

1) при заблаговременности до 60 суток оправдываемость прогноза составила: осадков – 85-90%; лавин нового снега – 90-95%; лавин перекристаллизованного снега – 75-80%;

2) при заблаговременности до 10 суток оправдываемость прогноза составила: осадков 90-95%; лавин нового снега 95%; лавин перекристаллизованного снега 75-80%.

Обсуждение результатов

Недостаток предлагаемой методики – необходимость набора длинных рядов эмпирических данных об осадках и лавинах, которые для многих районов отсутствуют. Однако, как показал опыт построения прогностических графиков, на начальном этапе работ в неизученном районе можно выделить циклы на основе собственных наблюдений за 6-12 месяцев. Точность прогноза на основе таких коротких рядов существенно ниже, но по мере набора данных при корректировке прогностических графиков точность прогноза постепенно повысится.

Требуется также подготовка данных для выборки о лавинах разных генетических типов. Большинство исследователей относили и относят к лавинам свежеснеговому или метелевому снегу лавины смешанного генезиса (эпигенетический класс), которые сошли во время сильных снегопадов и метелей; эпигенетические лавины смешанного сухого перекристаллизованного и мокрого снега, сошедшие во время оттепелей, обычно описываются как инсоляционные или адвекционные. Однако в большинстве случаев лавины смешанного снега – лавины больших объемов – относятся к лавинам эпигенетического класса (см. табл. 1). Причина ошибочности отнесения таких лавин к сингенетическим состоит в том, что при описании сошедших лавин, согласно генетической классификации В.Н. Аккуратова [Казаков, Боброва, 2013; Руководство по снеголавинным..., 1964; Тушинский, 1966], все лавины, сошедшие во время снегопадов и метелей, описываются как лавины свежеснеговому или метелевому снегу, а лавины, сошедшие во время оттепелей, – как инсоляционные или адвекционные. При этом не учитывается такой важнейший фактор лавинообразования, как перестройка структуры и текстуры снежной толщи в результате ее метаморфизма. Тем не менее, при наличии данных наблюдений за осадками, метелевым переносом снега и срочной температурой воздуха можно рассчитать объем свежеснеговому, метелевому и мокрому снегу, определить его долю в общем объеме лавины и таким образом установить принадлежность лавины к эпигенетическому или сингенетическому классу.

Случаи схода сингенетических лавин, как и должно быть, совпадают с периодами циклического изменения синоптической ситуации: с периодами выпадения осадков и периодами повышения температуры воздуха до 0 °С или до положительных значений. Случаи схода лавин эпигенетического класса во время снегопадов или оттепелей также объяснимы. А достаточно редкие случаи схода лавин эпигенетического класса в дни с ясной морозной погодой можно отнести именно к воздействию геофизических процессов. Два таких случая наблюдались на перевале Кукисвум зимой 1987/88 г.: сходили лавины старого снега объемом 200-1000 м³. Дни с ожидаемым сходом лавин этого типа, прогнозируемые по рассматриваемой в настоящей статье методике прогноза, были предсказаны с заблаговременностью 58 суток. В 1993-1995 гг. на Чамгинском перевале произошло три случая схода лавин старого снега объемом 800-6000 м³ в дни с ясной морозной погодой. Дни с ожидаемым сходом лавин этого типа были предсказаны с заблаговременностью 45 суток.

Повторяемость осадков с разными значениями суточных сумм осадков носит четко выраженную цикличность, связанную с цикличностью атмосферных процессов и может достаточно надежно прогнозироваться даже при наличии сравнительно коротких рядов наблюдений (10-15 лет). Наиболее успешно прогнозируются сильные осадки, связанные с выходом глубоких циклонов, что хорошо объясняется циклами атмосферной циркуляции. Тем не менее, отметим, что редкие случаи не оправдавшихся прогнозов осадков (1-2%) связаны именно с выпадением очень сильных осадков (более 50 мм за сутки) на общем фоне хорошей оправдываемости прогнозов именно сильных осадков. Видимо, эти факты вызваны флуктуациями явлений вероятностно-стохастического характера, возникающими как локальные возмущения в нелинейной системе – атмосфере Земли.

Долгосрочный фоновый прогноз лавин и осадков на основе 27-дневного цикла изменения солнечной активности успешно использовался при обеспечении противолавинной безопасности автолесовозной дороги Верхне-Тымского лес-промхоза с. Ясное – Чамгинский перевал – пос. Загорный в 1992-1995 гг. и позволил заблаговременно планировать массовую вывозку заготовленного леса и перевозку большого числа работников леспромхоза, что способствовало максимальному снижению лавинных рисков для персонала и времени простоя лесовозной техники.

Выводы

Активность лавинных процессов и периодов выпадения атмосферных осадков имеет выраженный 27-дневный цикл, в соответствии с которым изменяются суточное число и объем лавин, генетические типы лавин и суточная сумма осадков. Методика долгосрочного фонового прогноза лавин и осадков как циклических процессов на основе 27-дневного цикла изменения солнечной активности может успешно применяться при обеспечении лавинной безопасности объектов и территорий. Поскольку ритмы погоды не совпадают даже в близких районах со сложным рельефом, где сильное влияние на атмосферные процессы оказывают орографические факторы, прогноз лавин и осадков на основе солнечно-лунных циклов необходимо разрабатывать как прогноз по точке.

КЛАССИФИКАЦИЯ БЕРЕГОВЫХ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ЛАВИННЫХ КОМПЛЕКСОВ о. САХАЛИН

Лавинные процессы на морских берегах имеют широкое распространение на Дальнем Востоке (о. Сахалин, п-ов Камчатка, п-ов Чукотка, Курильские о-ва). На о. Сахалин протяженность лавиноопасных морских берегов составляет около 1 500 км (60% береговой линии острова).

Опасность лавин, формирующихся на морских берегах, часто недооценивается в связи с небольшими относительными высотами лавиносборов (в большинстве случаев не более 100 м), а также с небольшими объемами лавин частой повторяемости (50-500 м³). Однако, в связи с широким распространением и высокой повторяемостью лавин на морских берегах эти лавины оказывают значительное влияние на население и хозяйство приморских территорий.

Лавины, формирующиеся на морских берегах, представляют опасность для территорий 33 населенных пунктов о. Сахалин, а также для важнейших транспортных магистралей острова на значительном протяжении (более 500 км). Помимо экономического ущерба за счет повреждения и разрушения зданий и сооружений, а также завалов транспортных магистралей, в лавинах с морских террас на о. Сахалин погибают люди. За последние 85 лет в лавины, сошедшие с уступов морских террас, попали 82 человека, 48 из них погибли.

Поскольку значительная часть населения острова проживает в населенных пунктах, приуроченных к побережью, а основные транспортные магистрали острова также проходят вдоль береговой линии, при оценке лавинной опасности о. Сахалин необходимо уделить значительное внимание лавинным процессам на морских берегах.

Постановка проблемы

Природный лавинный комплекс включает в себя следующие компоненты: лавиносбор (участок земной поверхности, на котором зарождается, движется и останавливается лавина); снежный покров в лавиносборе, из которого формируются лавины; сама лавина [Божинский, Лосев, 1987].

Под береговыми лавинными комплексами в настоящей работе понимаются лавинные комплексы, расположенные на:

- уступах аккумулятивных, цокольных и абразионных морских террас, а также приморских пологонаклонных равнин уклоном 30-45°;
- скальных абразионных уступах, уклоном 50-80°, для которых характерны карнизные и прыгающие лавины;
- обращенных к морю склонах приморских горных хребтов, таких, например, как хр. Жданко; эти лавиносборы практически не отличаются от хорошо изученных лавиносборов горных территорий, поэтому в настоящей работе не рассматриваются.

Наиболее важными с точки зрения лавинной опасности для населения и хозяйства являются морские террасы. Лавиноопасные морские террасы широко распространены на о. Сахалин и занимают более 45% протяженности его берегов. Террасированное побережье окаймляет обращенные к морю склоны Западно- и Восточно-Сахалинских гор, Сусунайского, Тонино-Анивского, Западного хребтов, Корсаковского плато на юге Сахалине. Морские террасы занимают значительные площади Муравьевской низменности и полуострова Терпения, на участках перехода от горных хребтов к прибрежным низменностям в северной части Сахалина; на берегах залива Терпения [Александров, 1973; Атлас береговой зоны..., 2002; Микишин, 1991].

Природные лавинные комплексы морских берегов о. Сахалин мало изучены. Существует ряд работ, в которых встречаются упоминания о лавинных процессах на морских берегах острова [Иванов, 1971; Исаенко, Марин, 1971; Володичева, 1971б; Мягков, Канаев, 1992; Казаков, 2000а; Жируев и др., 2011; Podolskiy et al., 2013], однако в них не приводятся конкретные данные о характеристиках лавин. На о. Хоккайдо широко распространены береговые лавинные комплексы, аналогичные комплексам Южного Сахалина, о которых есть отдельные упоминания [Nishimura et al., 2013].

В то же время, за период наблюдения за лавинными процессами о. Сахалин, которые эпизодически проводились с 1920-х гг., регулярно – с 1965 г., накоплен значительный фактический материал о лавинах, формировавшихся в береговых лавинных комплексах о. Сахалин (морфологические типы лавин, генезис лавин, влажность снега, форма площади отрыва лавин, объемы лавин и т.п.), а также о лавинных катастрофах на морских берегах острова [Кадастр лавин..., 1986; Каталог лавин..., 1990]. Однако, обобщения этого материала не проводилось.

В связи с активной хозяйственной деятельностью, проводимой на морских берегах о. Сахалин в лавиноопасных зонах, в настоящее время возникла необходимость в получении более подробных и полных данных о лавинных процессах на морских берегах. В том числе, наиболее важными характеристиками, определяемыми при решении прикладных задач при оценке лавинной опасности территории, являются объемы лавин, повторяемость лавин, а также такие динамические характеристики лавины, как дальность выброса, определяющая границы лавиноопасных зон, и давление лавины на препятствие, определяющее уязвимость объектов и сооружений при воздействии на них лавинного тела.

Для определения характеристик лавинных процессов на морских берегах в малоизученных районах по аналогии с изученными районами может быть

использована классификация береговых природных и антропогенных лавинных комплексов, основанная на типизации лавиносборов в зависимости от формирующих их экзогенных геологических процессов.

Особенности береговых природных лавинных комплексов о. Сахалин

Береговые природные и антропогенные лавинные комплексы Южного Сахалина имеют ряд характерных особенностей, позволяющих рассматривать их как специфический класс:

- абсолютная высота склонов не превышает 200 м (что позволяет не учитывать вертикальный градиент осадков при расчете лавинообразующих сумм осадков);
- высокая степень перекристаллизации снежной толщи (коэффициенты перекристаллизации достигают значений 0,85-1,00), что связано с относительно небольшой высотой снежного покрова и повышенной влажностью воздуха;
- активный метелевый перенос снега на морских берегах и наличие в большинстве лавинных комплексов зоны сноса снега ветром, роль которой исполняет поверхность морской террасы (что создает благоприятные условия для приноса большого объема снега в лавиносбор);
- растительный покров обычно представлен травянистой растительностью (это обеспечивает благоприятные условия для перекристаллизации снежного покрова и формирует поверхность скольжения лавины с низкими значениями коэффициентов трения 0,15-0,17);
- характерный продольный профиль лавиносбора с постоянным большим уклоном в зонах отрыва и транзита лавин и резким выполаживанием в зоне аккумуляции и отсутствием поворотов (что влияет на динамику лавины, форму тела лавины, размеры его головной части, дальность и направление выброса лавины).

Высокая лавинная опасность береговых природных и антропогенных лавинных комплексов о. Сахалин обеспечивается следующими факторами:

- расположение территорий жилой застройки и транспортных магистралей у подножия берегового уступа;
- высокая частота формирования лавин в береговых природных лавинных комплексах;
- большие уклоны зон зарождения и транзита лавин, обуславливающие высокие значения динамических характеристик лавин даже при небольших относительных высотах лавиносборов;
- наличие в верхней части лавинного комплекса значительной по площади зоны сноса снега ветром, обеспечивающей дополнительное поступление снега в лавиносбор, что приводит к увеличению объемов и повторяемости лавин.

Классификация береговых природных и антропогенных лавинных комплексов

Морфологическое строение лавиносбора, от которого зависят особенности снегонакопления и метаморфизма снежного покрова в лавиносборе и параметры лавин (объем, значения динамических характеристик, ширина лавиноопасной зоны), обуславливается преобладающим типом экзогенного геологического процесса, воздействующего на уступы морских террас и формирующих лавиносборы. Очевидно, что преобладание типа экзогенного геологического процесса обусловлено геологическим строением территории. Однако в малоизученных районах определение типа экзогенного геологического процесса является значительно более простой задачей, чем определение геологического строения.

Классификация береговых природных и антропогенных лавинных комплексов (на примере Южного Сахалина) выполнена на основе геоморфологических факторов, влияющих на характеристики лавинного режима, объем лавин, динамические характеристики лавин, наиболее значимыми из которых являются дальность выброса лавины и давление лавины на препятствие. Определение этих характеристик является приоритетным при решении прикладных задач по разработке мероприятий противолавинной защиты, поскольку дальность выброса лавины определяет нижнюю границу лавиноопасной зоны, а давление лавины на препятствие определяет уязвимость сооружения.

В зависимости от типа экзогенных геологических процессов, формирующих лавиносборы, в классе лавинных комплексов морских террас выделено пять подклассов, каждый из которых представляет собой участок морской террасы, где лавиносборы сформированы: 1) эрозионными процессами; 2) оползневыми процессами; 3) абразией; 4) антропогенной деятельностью; 5) без выраженного воздействия этих процессов (рис. 1).

Последний подкласс включает осовные склоны, т.е. лавиносборы, не выраженные в рельефе, ровные склоны [Божинский, Лосев, 1987].

В связи с активной хозяйственной деятельностью на морских берегах о. Сахалин береговые лавинные комплексы подвержены сильной антропогенной нагрузке, увеличивающей степень лавинной опасности для населения и хозяйства острова. Необходимость выделения в отдельный подкласс лавинных комплексов, сформированных при антропогенной деятельности, обуславливается тем, что антропогенно измененные природные лавинные комплексы имеют ряд отличий. Обычно они представляют собой либо образующиеся при подрезке склонов уступы, создающие условия для формирования прыгающих лавин, либо ровные крутые осовные склоны.

Внутри подкласса выделены типы лавинных комплексов, которые представляют собой ряд соседних лавиносбор, а не отдельный лавиносбор, поскольку:

- лавиносборы имеют одинаковую экспозицию;
- на многих лавиноопасных участках морских террас лавиносборы разных типов чередуются (например, узкие эрозионные врезы и осовные склоны);

- в некоторых типах террасовых лавинных комплексов при значительной высоте снежного покрова возможен сход лавины с линией отрыва, охватывающей несколько смежных лавиносборов;
- зона сноса снега ветром обычно общая для ряда соседних лавиносборов.



Рис. 1. Природные лавинные комплексы, где лавиносборы сформированы преимущественно: а – эрозионными процессами; б – оползневыми процессами; в – абразией; г – антропогенной деятельностью; д – без выраженного воздействия этих процессов

Типы лавинных комплексов разделены на подтипы в зависимости от морфологического строения отдельного лавиносбора [Божинский, Лосев, 1987]:

- 1) лавиносборы, четко выраженные в рельефе с надежно выделяемыми зонами зарождения, транзита и отложения (воронки);
- 2) лавиносборы, выраженные в рельефе, но не имеющие хорошо определяемых зон зарождения и транзита (врезы и мульды);
- 3) лавиносборы, не выраженные в рельефе (осовные склоны).

Далее идет дифференциация лавинных комплексов на виды, выделенные в соответствии с морфометрическими характеристиками лавиносбора – относительной высотой и уклоном зон зарождения и транзита лавин:

1. Относительная высота лавиносбора:

- очень низкие: <20 м.
- низкие: 20-50 м.
- средние: 50-100 м.
- высокие: 100-200 м.

2. Уклон зон зарождения и транзита лавин:

- крутые: 30-45°.
- пологие: 25-30°.

Вид лавинного комплекса определяется этими двумя величинами, т.е. лавиносбор относительной высотой 30 м и уклоном 35° будет отнесен к виду лавинных комплексов – «низкие крутые».

Полный вид классификации береговых лавинных комплексов Южного Сахалина представлен в таблице 1.

Классификация разработана на примере Южного Сахалина, вся территория которого относится к Южно-Сахалинской климатической области. Метеорологические факторы лавинообразования здесь относительно близки, поэтому не учитываются в приведенной в данной работе классификации.

Для каждого вида лавинных комплексов Южного Сахалина определены морфометрические параметры лавиносборов (ширина, площадь, средний уклон), средние и максимальные объемы лавин, их повторяемость и преобладающие генетические классы лавин (табл. 1). Эти характеристики определялись на основе полевых наблюдений, проводившихся сотрудниками Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института ДВО РАН, а также картографических данных и архивных материалов.

На морских берегах о. Сахалин формируются лавины следующих генетических классов: лавины нового снега (свежевыпавшего и метелевого); лавины смешанного снега (перекристаллизованного и свежевыпавшего, метелевого либо мокрого снега); лавины весеннего снеготаяния (инсоляционные и адвекционные) [Казаков, 2009]. В большинстве видов лавинных комплексов преобладают лавины смешанного снега.

Для каждого вида лавинных комплексов рассчитаны значения пикового давления лавины на препятствие, которое является одной из основных характеристик, определяемых при решении прикладных задач, поскольку именно давление лавины определяет уязвимость объектов и сооружений (табл. 1).

Пиковое давление лавины на препятствие рассчитывалось по методике К.С. Лосева, А.Н. Божинского и В.Ф. Граковича [Лосев и др., 1991]. Значения расчетного пикового давления лавины на препятствие для береговых лавиносборов о. Сахалин колеблются в пределах 0,020-0,297 МПа. Такие большие величины обусловлены, главным образом, большими уклонами береговых лавиносборов (30-45°). Такие давления приводят к разрушению каменных и шлакоблочных сооружений, разрушению линейных сооружений наземной и надземной прокладки, повреждению железобетонных сооружений. По этой причине лавины из береговых лавинных комплексов представляют большую опасность для населения и хозяйства, несмотря на небольшие относительные высоты лавиносборов.

Помимо давления лавины на препятствие важнейшей характеристикой, определяемой при решении прикладных задач по разработке мероприятий противолавинной защиты, является максимальная дальность выброса лавины, определяющая границы лавиноопасной зоны. В таблице 1 приведены расчетные значения максимальной дальности выброса лавины (по методике С.М. Козика [Козик, 1962]). Расчетные максимальные дальности выброса лавин в лавинных комплексах морских террас не превышают 500 м, что обусловлено небольшими относительными высотами лавиносборов. Однако, в связи с расположением территорий жилой застройки населенных пунктов, промышленных объектов и объектов инфраструктуры на о. Сахалин непосредственно у подножия уступа морской террасы, даже лавины с маленькой дальностью выброса причиняют ущерб населению и хозяйству.

Результаты и их обсуждение

На основе разработанной классификации была составлена карта-схема береговых природных и антропогенных лавинных комплексов Южного Сахалина в масштабе 1:1000000 (рис. 2). К карте-схеме составлена карта-врезка для наиболее лавиноопасного участка западного побережья Южного Сахалина, расположенного между с. Шебунино и г. Невельск в масштабе 1:100000 (рис. 3). Этот участок является одним из наиболее лавиноопасных участков морских берегов Южного Сахалина: протяженность лавиноопасной зоны составляет 83% протяженности берега.

Карта позволяет оценить степень лавинной опасности для населения и хозяйства на ранних стадиях проектирования и при работах по территориальному планированию селитебных зон без проведения полевых работ, поскольку тип лавинного комплекса определяет характер воздействия на объекты и сооружения). Параметры лавин для каждого вида лавинных комплексов приведены в таблице 1.

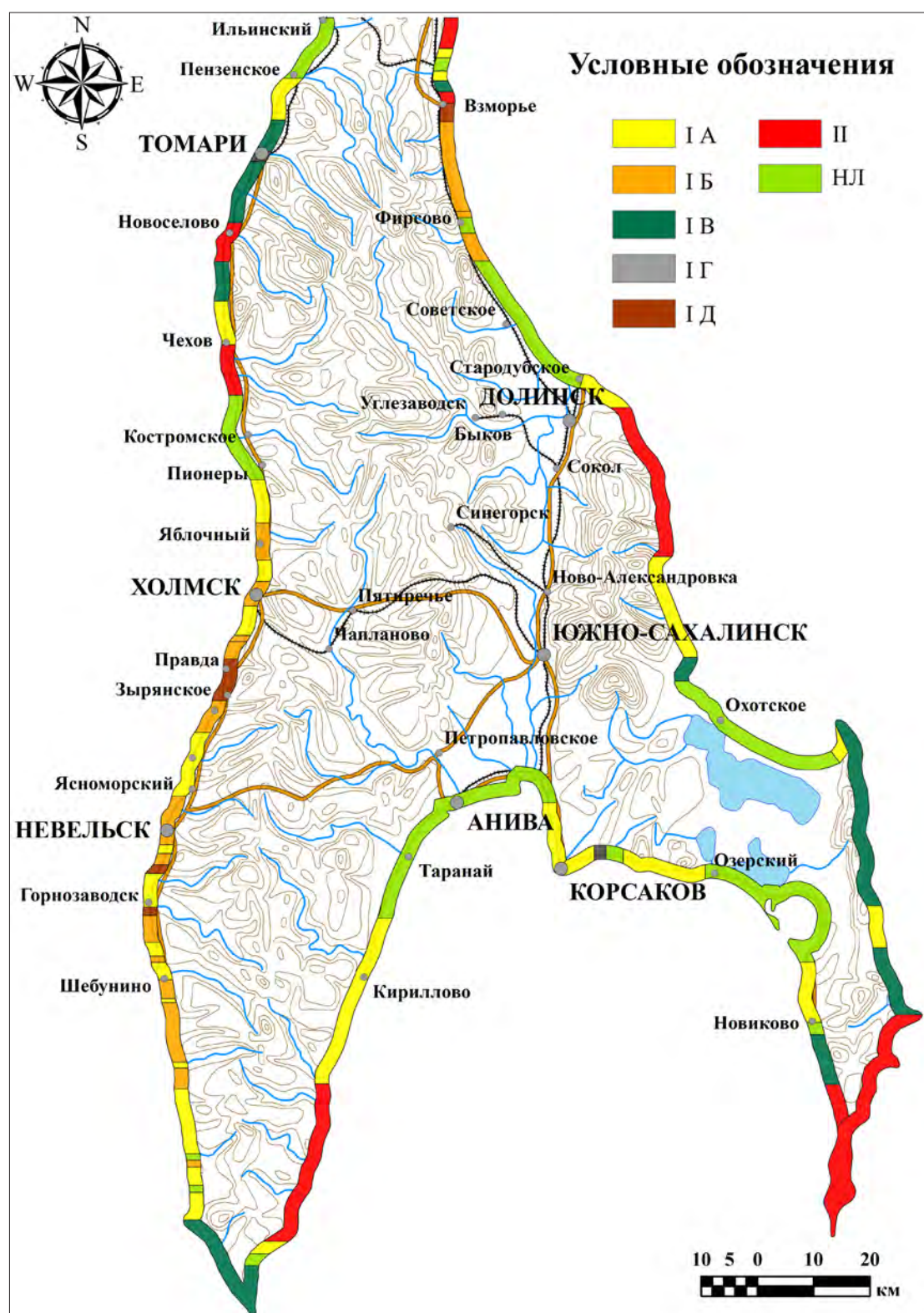


Рис. 2. Карта-схема береговых лавинных комплексов Южного Сахалина в масштабе 1:1000000. Цифрами и буквами обозначено: I – класс лавинных комплексов морских террас. Подклассы: I A – участок морской террасы, где лавиносборы сформированы эрозийными процессами; I Б – оползевыми процессами; I В – абразией; I Г – антропогенной деятельностью; I Д – без выраженного воздействия этих процессов. II – класс лавинных комплексов гористых берегов. НЛ – нелавиноопасные берега.

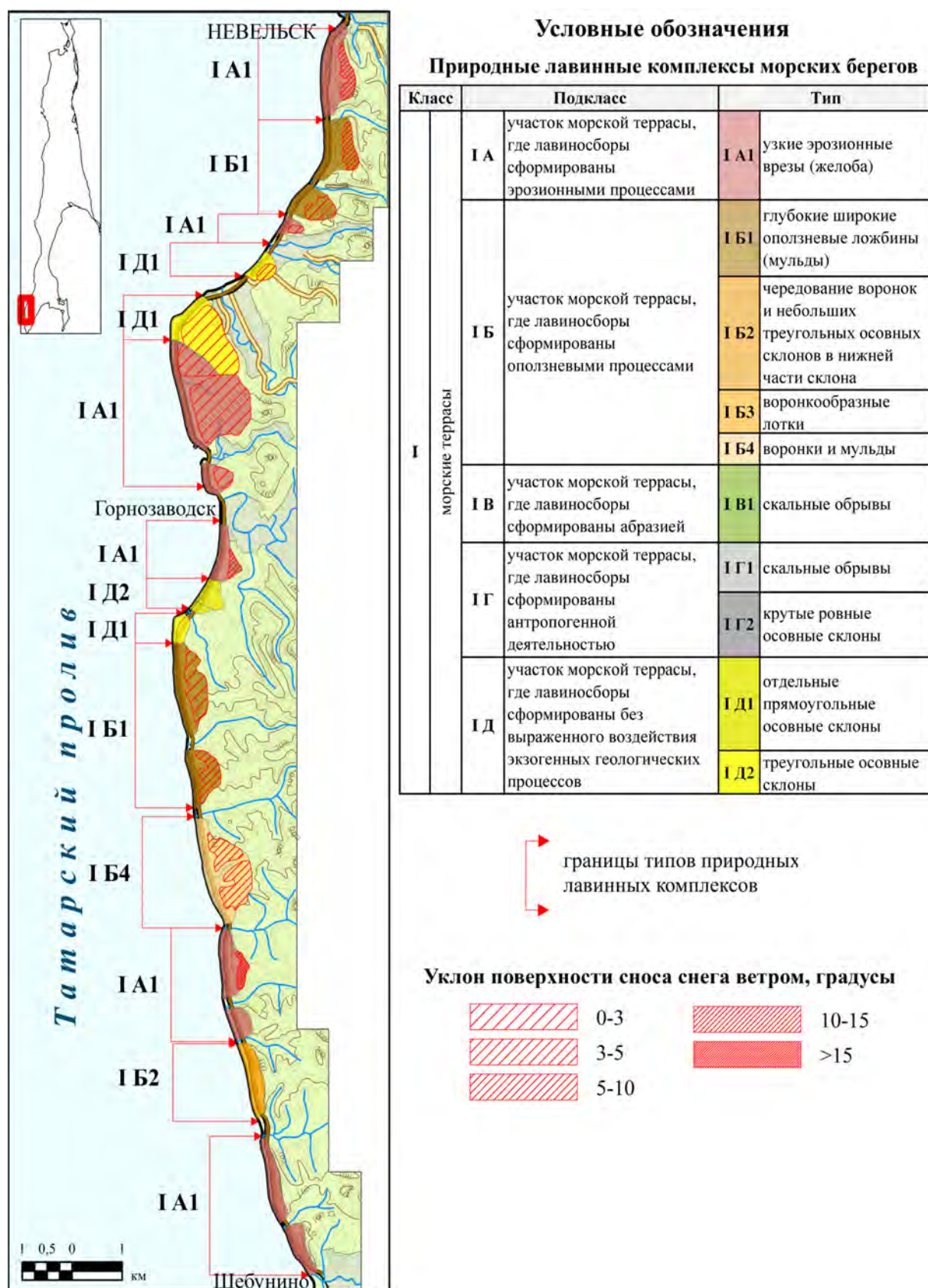


Рис. 3. Карта-схема береговых лавинных комплексов юго-западного побережья Южного Сахалина в масштабе 1:100000.

Таблица №1

Природные и антропогенные лавинные комплексы морских террас (на примере Южного Сахалина).

Таксономический уровень															
Класс	Подкласс	Тип	Подтип	Вид	Морфометрические параметры лавиносбора				Объем лавин, тыс.м ³		Преобладающий генетический класс лавин*	Повторяемость лавин, раз в год	Расчетное пиковое давление лавины на препятствие, МПа	Расчетная дальность выброса лавин, м	
					Относительная высота, м	Уклон зон зарождения и транзита лавин, град.	Ширина, м	Площадь, га	Сред.	Макс.					
Лавинные комплексы морских террас	участок морской террасы, где лавиносборы сформированы эрозийными процессами	узкие эрозийные врез	врез	низкие крутые	<50	30-45	15-30	0,1-0,2	0,05-0,10	0,50	H	1-10	0,042-0,148	35-170	
					50-100	30-45	15-30	0,1-0,4	0,05-0,30	2,00	H	1-10	0,095-0,210	170-335	
					100-150	30-45	15-30	0,1-0,6	0,05-0,30	10,00	H	1-10	0,134-0,258	335-500	
		глубокие широкие оползневые ложбины (мульды)	мульда	низкие крутые	30-50	30-45	30-50	0,2-0,5	0,05-0,50	5,00	C	1-5	0,073-0,148	100-170	
					50-100	30-45	30-100	0,5-1,0	0,05-1,00	15,00	C	1-5	0,095-0,210	170-335	
					100-150	30-45	50-130	0,7-1,5	0,05-1,50	20,00	C	1-5	0,134-0,258	335-500	
	участок морской террасы, где лавиносборы сформированы оползневыми процессами	чередование воронок и небольших треугольных осыпей склонов в нижней части склона	воронка осыпей склона	высокие крутые	100-150	30-35	80-120	0,7-1,5	0,05-0,10	25,00	H	1-5	0,134-0,197	335-500	
					30-50	35-40	40-80	0,2-0,5	0,05-0,5	6,00	H	1-5	0,053-0,079	100-170	
					150-200	30-45	-	2,0-5,0	0,10-1,00	30,00	C	1-5	0,164-0,297	500-700	
		воронки в центральной части лавиноопасного склона и мульды по боковым частям	воронка мульда	высокие крутые	100-150	30-45	30-70	0,8-1,5	0,05-1,00	15,00	C	1-5	0,134-0,285	335-500	
					100-150	30-45	20-40	0,5-1,0	0,05-0,50	10,00	C	1-5	0,134-0,285	335-500	
					50-100	50-80	-	-	0,05-0,10	0,30	-	<1	-	-	
		скальные обрывы	-	-	низкие крутые	20-100	50-80	-	-	0,05-0,10	0,20	-	<1	-	-
						20-50	30-45	50-200	0,5-3,0	0,05-0,30	8,00	C	1-5	0,036-0,089	70-170
						50-100	30-45	50-200	1,0-6,0	0,10-1,00	15,00	C	1-5	0,057-0,126	170-335

Продолжение таблицы №1

Класс	Подкласс	Таксономический уровень		Морфометрические параметры лавиносбора				Объем лавин, тыс. м ³		Преобладающий генетический класс лавин*	Повторяемость лавин, раз в год	Расчетное пиковое давление лавины на препятствие, МПа	Расчетная максимальная дальность выброса лавин, м
		Тип	Подтип	Вид	Относительная высота, м	Уклон зон зарожжения и транзита лавин, град.	Ширина, м	Площадь, га	Сред.	Макс.			
Лавинные комплексы морских террас	участок морской террасы, где лавиносборы сформированы без выраженного воздействия экзогенных геологических процессов	отдельные прямоугольные осовые склоны	осовый склон	очень низкие пологие	<20	25-30	50-200	0,1-1,5	1,00	2,00	0,5-1	0,020-0,036	35-70
				очень низкие крутые	<20	30-45	80-300	0,2-1,2	0,10-0,50	3,00	1-5	0,025-0,056	35-70
				низкие пологие	20-50	25-30	50-200	0,3-2,5	0,50-1,00	10,00	0,5-1	0,029-0,057	70-170
				низкие крутые	20-50	30-45	80-300	0,5-3,0	0,10-0,80	8,00	1-5	0,036-0,089	70-170
				средние крутые	50-100	30-45	80-300	1,0-6,0	0,10-1,00	15,00	1-5	0,057-0,126	170-270
		отдельные треугольные осовые склоны	осовый склон	средние крутые	50-80	30-45	200	0,4-0,6	0,10-1,00	10,00	1-5	0,057-0,113	170-270

Примечание. Буквами обозначен генетический класс лавин: Н – лавины нового снега (свежевыпавшего и метелевого); С – лавины смешанного снега (перекристаллизованного и свежевыпавшего, метелевого либо мокрого снега).

На карте-схеме отмечены зоны сноса снега ветром, входящие в лавинный комплекс, что позволяет определить участки с повышенной опасностью обрушения снежных карнизов и повышенной частотой схода лавин.

Карта-схема имеет масштаб, достаточный для того, чтобы оценить наличие и протяженность лавиноопасных участков для линейных объектов, населенных пунктов, крупных промышленных объектов, а также рекреационных зон.

Предлагаемый подход позволяет определять характеристики лавинных процессов на морских берегах в малоизученных районах по аналогии с изученными районами, что может быть использовано на ранних стадиях проектно-изыскательских работ и при работах по территориальному планированию селитебных зон.

Выводы

1. На морских берегах морфологический тип лавиносбора и его морфометрические характеристики обуславливаются преобладающим типом экзогенного геологического процесса, формирующего мезо- и микрорельеф склона.

2. Классификация береговых лавинных комплексов, основанная на типизации лавиносборов в зависимости от формирующих их экзогенных геологических процессов, позволяет определить характеристики лавинных процессов на морских берегах в малоизученных районах и может быть использована на ранних стадиях проектно-изыскательских работ и при работах по территориальному планированию селитебных зон.

3. Карта-схема береговых лавинных комплексов Южного Сахалина в масштабе 1:1 000 000 с картой-врезкой в масштабе 1:100 000 для наиболее лавиноопасного участка западного побережья от с. Шебунино до г. Невельск позволяет выполнить оценку лавинной опасности в малоизученных районах на ранних стадиях проектно-изыскательских работ.

ЛАВИННАЯ ОПАСНОСТЬ НА РАВНИННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ о. САХАЛИН

Традиционно в лавиноведении лавиноопасными принято считать только горные территории. Так, например, низкие склоны речных террас часто не считают лавиноопасными, и при оценке лавинной опасности эти зоны выделяют как территории, не представляющие угрозы для населения. Однако в некоторых районах Российской Федерации, в т.ч. на о. Сахалин, на равнинных территориях, отмеченных на картах как нелавиноопасные, были зарегистрированы случаи попадания и гибели людей в лавинах со склонов относительной высотой всего 5 метров (табл. 1) [Атлас природных и техногенных опасностей..., 2005]. Ежегодно в России в лавинах погибает в среднем более 20 человек. При этом 1-2 человека гибнут в снежных обвалах на равнинных территориях [Селиверстов (сайт)].

Таким образом, можно говорить о том, что лавинные процессы, характерные для горных территорий, накладывают заметный отпечаток на хозяйственное развитие также на равнинах.

В 1965 году впервые была составлена карта лавинной опасности территории о. Сахалин, однако в результате исследований лавинных процессов возникала необходимость расширения границ лавиноопасных территорий. Так, за 45-летний период было составлено более 7 карт лавинной опасности территории о. Сахалин, самой полной из которых является карта «Природные лавинные комплексы Сахалинской области» в масштабе 1:1000000, составленная группой авторов из лаборатории лавинных и селевых процессов ДВГИ ДВО РАН [Жируев и др., 2011; Казаков и др., 2008; Атлас Сахалинской области, 1967]. Впервые на карте лавинной опасности был выделен равнинный класс природных лавинных комплексов (площадная пораженность территории лавинными процессами <10%, максимальный объем лавин не превышает 500 м³).

На некоторых участках территории, выделенной как нелавиноопасная, были зарегистрированы случаи попадания людей в лавины со склонов относительной высотой более 5 метров. Эти участки также необходимо выделять на карте и обозначать как территории с низкой площадной пораженностью лавинными процессами (<10%). Формами рельефа, представляющими собой лавиноопасные склоны, являются дюны, просадочные впадины, речные террасы разных уровней,

овраги, также лавины формируются на антропогенно измененных территориях, а именно: авто- и железнодорожные насыпи, отвалы, выемки, карьеры. Преобладающим типом лавин, формирующихся на равнинных территориях, являются лавины нового снега.

Таблица №1

Случаи попадания и гибели людей в лавинах на равнинных территориях.

Место схода	Дата схода	Относительная высота лавиноопасного склона, м	Форма рельефа	Попало людей	Погибло людей
г. Александровск-Сахалинский (Сахалинская обл.)	21.12.1986	10	речная терраса	2	-
п. Медвежье (Сахалинская обл.)	05.02.1988	15	речная терраса	2	2
г. Углегорск (Сахалинская обл.)	06.02.1988	5	речная терраса	2	-
пгт. Ноглики (Сахалинская обл.)	02.1993	4-5	речной берег	1	-
с. Быков (Сахалинская обл.)	30.12.2007	27	речная терраса	1	1
Мензелинский р-н (респ. Татарстан)	27.01.2008	20	овраг	1	1
п. Киндери (респ. Татарстан)	31.01.2008	10-20	карьерная насыпь	3	-
п. Бутульма (респ. Татарстан)	28.01.2008	20	ж/д насыпь	9	4
с. Рамазаново (Оренбургская обл.)	21.02.2008	15	-	2	2
Ивдельский район (Свердловская обл.)	2009	30	-	3	3
п. Набережный (Пермский край)	29.01.2009	-	речной берег	5	2
с. Актуганово (респ. Башкирия)	05.01.2011	-	овраг	2	2
г. Магадан (Магаданская обл.)	03.03.2010	-	овраг	1	-
с. Вурмеры (Чувашская респ.)	24.02.2010	-	овраг	3	2
с. Подгорное Канаково (респ. Мордовия)	23.02.2010	-	овраг	2	1
г. Саратов (Саратовская обл.)	24.02.2010	-	овраг	2	-

В связи с малой изученностью некоторых обширных равнинных регионов страны и невозможностью полного обследования данной территории следует отмечать эти регионы как потенциально лавиноопасные, а в случаях проектирования сооружений на потенциально лавиноопасной территории на стадии инженерного изыскания проводить более детальную оценку степени лавинной опасности.

Целью данной работы является оценка лавинной опасности равнинных территорий о. Сахалин. Для этого нужно определить условия формирования и характеристики лавин и лавинного режима на равнинных территориях о. Сахалин и построить карту природных лавинных комплексов равнинных территорий о. Сахалин.

Основные факторы лавинообразования на территории равнинного класса природных лавинных комплексов (ПЛК) о. Сахалин

Наиболее часто в методических пособиях для снеголавинных станций лавиноопасный склон определяется как склон превышением (относительной высотой) 10 м. Однако накопленный ряд данных о случаях формирования лавин на склонах относительной высотой уже от 5 метров дает основания говорить о том, что лавиноопасными являются склоны превышением более 5 метров (рис. 1). Лавина, сошедшая со склона относительной высотой 5 м при уклоне 30° , по расчетным данным может иметь пиковое давление до 0,08 МПа, дальность выброса – 20 м, объем 50 м^3 . Лавины со склонов 5-10 метров ежегодно формируются на территории о. Сахалин (рис. 1).



Рис. 1. Лавина, сошедшая со склона речной террасы высотой 5 м. Юго-Восточное побережье о. Сахалин, Макаровский район, с. Туманово, р. Горная – 13.02.2013 г.

Таким образом, при проведении инженерных изысканий в строительстве также необходимо исследовать равнинные территории как потенциально лавиноопасные, и отмечать возвышенности с относительной высотой >5 метров и уклоном $>30^\circ$.

Исследование лавинных процессов на равнинных территориях о. Сахалин показало наличие лавиноопасных склонов высотой 5-50 м. [Боброва, 2013]. Преобладающим генетическим классом лавин, формирующихся на низких склонах равнинных территорий о. Сахалин, являются лавины нового снега.

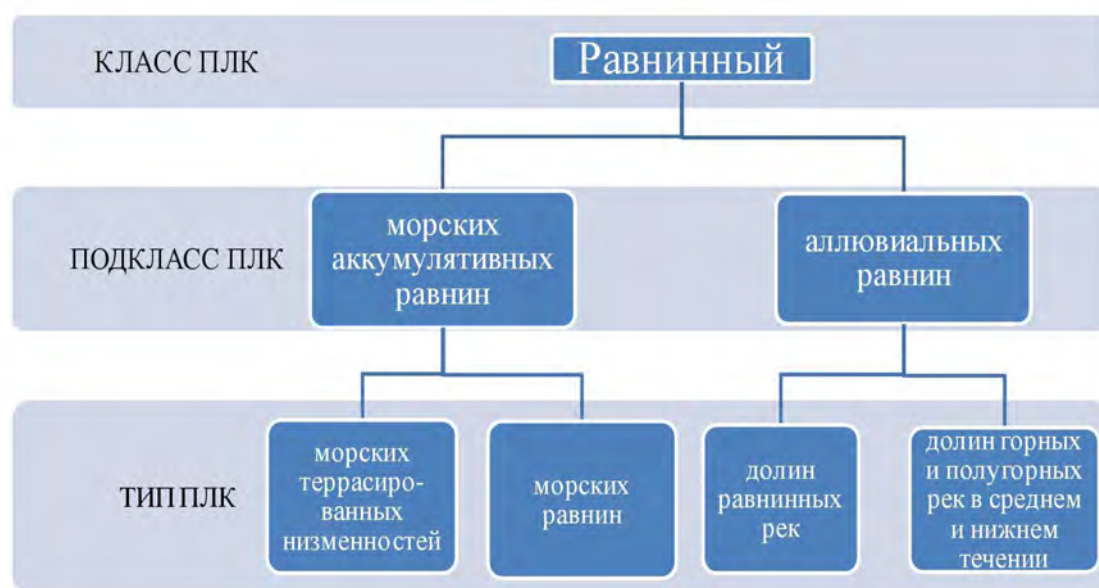


Рис. 2. Типы природных лавинных комплексов (ПЛК) равнинных территорий о. Сахалин.

Выделен 1 класс, 2 подкласса и 4 типа природных лавинных комплексов равнинных территорий о. Сахалин (рис. 2). Типы природных лавинных комплексов равнинных территорий были выделены на основе геоморфологической карты о. Сахалин [Атлас Сахалинской области, 1967].

ПЛК морских террасированных низменностей

Морские террасированные низменности на о. Сахалин относятся к морским аккумулятивным равнинам и расположены практически вдоль всей прибрежной зоны Северо-Сахалинской равнины, полуострова Терпения, Айнской низменности (юго-западная часть полуострова Ламанон), северо-восточного побережья полуострова Крильон, а также в центральной части Муравьевской низменности. Высота низких морских террас в центральной и южной части острова достигает до 15-30 м, на севере – 8-15 м. Все перечисленные районы относятся к морским аккумулятивным равнинам.

На территории морских террасированных низменностей широко развиты эоловые процессы, которые проявляются в образовании дюн, высота которых в среднем составляет 3-5 м. Высота отдельных дюн по разным источникам [Александров, 1973; Полунин, 1984; Полунин, 1989] достигает 15-30 м, протяженность до 90 м. Размыв водными потоками дюн приводит к образованию крутых и обрывистых речных берегов.

На западном и северном побережье низменности встречаются отдельно стоящие возвышенности, высотой до нескольких метров. По мнению С.М. Александрова эти возвышенности образовались в результате мерзлотных процессов, и являются буграми пучения [Александров, 1973].

Также на западном побережье низменности часто встречаются озера с обрывистыми берегами, которые, как считает С.М. Александров, заполняют просадочные впадины, образованные термокарстом [Александров, 1973].

Таблица №2

Климатические характеристики района природных лавинных комплексов
равнинных территорий о. Сахалин.

Станция	Высота метеостанции абс.,м	Число дней со снежным покровом	Среднее количество твердых осадков за сезон, мм	Средняя толщина снежного покрова по снегосъемкам, см	Максимальная толщина снежного покрова по снегосъемкам, см	Среднее число дней с метелью	Средняя месячная температура воздуха (°С)					
							XI	XII	I	II	III	IV
Оха	13	197	217	78	167	61	-6,3	-15,1	-19,7	-17,7	-12,5	-4,0
Погиби	6	171	174	62	135	43	-7,3	-16,7	-20,7	-18,7	-12,6	-3,6
Ноглики	29	186	178	105	129	40	-7,6	-16,3	-19,7	-17,0	-10,9	-2,4
Александровск-Сахалинский	29	178	234	60	102	47	-4,9	-13,3	-18,0	-15,4	-8,9	-0,2
Поронайск	7	164	236	-	-	19	-4,8	-13,5	-17,3	-14,4	-0,8	-0,3
Углегорск	39	156	232	20	44	63	-3,1	-9,9	-14,0	-12,1	-6,2	0,8
Ильинский	17	156	322	19	61	50	-1,6	-8,3	-12,3	-11,0	-5,6	1,1
Корсаков	34	144	226	57	135	33	-0,4	-6,8	-10,7	-10,1	-5,3	1,2
Холмск	90	148	300	112	236	69	-0,0	-6,1	-9,7	-8,7	-4,2	2,3
Долинск	42	167	382	35	73	41	-1,9	-8,6	-13,5	-12,4	-6,5	0,9
Адо-Тымово	65	189	273	112	160	13	-9,5	-19,3	-24,4	-20,5	-12,4	-1,1
Онор	180	172	164	70	96	25	-7,7	-16,3	-19,8	-16,8	-9,9	-0,9
Поронайск	7	164	236	-	-	19	-4,8	-13,5	-17,3	-14,4	-0,8	-0,3
Тымовское	94	190	181	87	138	21	-9,1	-19,3	-23,6	-19,7	-12,0	-1,7

В настоящей работе климатические характеристики и сведения о снежном покрове на территории морских террасированных низменностей приводятся по данным метеостанций (табл. 2) [Научно-прикладной справочник по климату СССР (Сахалинская область), 1990]. В целом климатические условия на территории морских террасированных низменностей благоприятны для лавинообразования.

ПЛК морских равнин о. Сахалин

К морским аккумулятивным равнинам о. Сахалин относятся морские равнины высотой до 5 метров. Высота дюн на морских равнинах достигает 25 метров.

К типу природных лавинных комплексов морских равнин относятся территории побережья заливов Байкал и Пильтун (северная часть о. Сахалин); северное побережье залива Терпения в южной части Тымь-Поронайской низменности (центральная часть о. Сахалин); северная и южная часть Сусунайской долины в приустьевых частях рек Найбы и Сусуя, побережье залива Мордвинова и северо-западная часть залива Анива, полуостров Слепиковского (юго-западное побережье о. Сахалин).

На территории морских равнин развиты эоловые процессы. Лавины здесь формируются на склонах дюн. На полуострове Слепиковского лавинообразование происходит на склонах дюн высотой 5-10 м (рис. 3). На гребне склонов большой крутизны образуются карнизы. Кроме того, дюны, закрепленные растительностью, представляют собой лавиноопасные склоны высотой до 25 м.

Побережье залива Терпения представляет собой плоскую заболоченную равнину, на которой встречаются дюны высотой до 25 метров. Такие же дюны встречаются и в северной части острова на территории морских равнин.

В южной части острова дюны чаще всего не превышают 15 метров. Дюны часто задернованы растительностью, которая формирует поверхность скольжения лавин, обладающую низким коэффициентом трения.



Рис. 3. Полуостров Слепиковского, юго-западное побережье о. Сахалин. Лавиноопасный склон относительной высотой 6 метров.

Реки на морских равнинах прорезают склоны дюн, в результате чего образуются обрывистые берега высотой до 15 метров.

Климат территорий морских равнин обладает практически теми же чертами, что и климат морских террасированных низменностей и характеризуется данными метеостанций, расположенными на побережьях острова (табл. 2).

ПЛК долин равнинных рек о. Сахалин

На о. Сахалин лавины формируются на территории аллювиальных равнин. Долинами рек, имеющими преимущественно равнинный характер течения, являются реки Тымь и Поронай (протекают на территории Тымь-Поронайской низменности), реки Сусуя и Большой Такой (протекают на территории Сусунайской низменности), р. Углегорка, реки Северо-Сахалинской равнины. Также к долинам рек, имеющим равнинный характер течения в средней и нижней части долин, отнесены реки Айнская и Красногорка (Айнская низменность) (Атлас Сахалинской области, 1967). В долинах рек лавины формируются на склонах речных террас высотой от 5 до 25 метров.

В долинах рек встречаются участки с террасами высотой 5-25 м. Уступы их крутые (20-40°). Длина некоторых террасированных участков составляет 100-200 м. Участки рек с высокими обрывистыми берегами высотой 5-10 м встречаются практически на всем протяжении рек.

В долинах рек Северо-Сахалинской равнины, лавиноопасными склонами являются речные террасы высотой до 20 м.

Высота берегов рек на участках, где реки подмывают склоны долины, достигает 5-10 м. Высота отдельных склонов достигает 15-20 м. Склоны чаще всего крутые, с уклоном 45-60°.

Климат речных долин характеризуется выраженными континентальными чертами, которые особенно проявляются в долине р. Тымь, где самая холодная в пределах острова зима и относительно теплое и солнечное лето. Долина р. Поронай в отличие от р. Тымь имеет более теплую зиму, но более холодное и пасмурное лето. Климатические характеристики Тымь-Поронайской низменности приводятся по данным четырех метеостанций, расположенным в долинах рек Тымь и Поронай, которые характеризуют климат Тымь-Поронайской низменности (табл. 2).

ПЛК долин горных и полугорных рек о. Сахалин

Горные и полугорные реки острова протекают в Западно-Сахалинских и Восточно-Сахалинских горах, а также по долинам Сусунайского хребта. Большая часть территории речных долин горных и полугорных рек относится к горному классу природных лавинных комплексов и лавинные процессы в долинах этих рек имеют черты, присущие горному классу ПЛК. Тем не менее, большинство горных и полугорных рек в основном в нижнем течении имеют равнинный характер и протекают по долинам, сложенным аллювиальными отложениями. Речные долины горных и полугорных рек острова имеют узкую V-образную форму в верхней и в средней части долины и U-образную или корытообразную долину – в нижней части [Ресурсы поверхностных вод СССР, 1964]. Ширина долин отдельных рек достигает 2-3 км (реки Лютога, Найба), но чаще всего ширина долин горных и полугорных рек в нижнем течении составляет 0,5-1 км (реки Формирование лавин в верхней части долин происходит на склонах хребтов и часто лавина, сошедшая со склона хребта, пересекает узкое дно долины и ударяет в противоположный борт. Таким образом, территория долин горных и полугорных рек лавиноопасна, однако часть долины

в нижнем и иногда в среднем течении рек, которая расположена не у подножия склонов, считается нелавиноопасной. Но лавины формируются также на склонах речных террас и речных обрывов высотой более 5 м, поэтому при характеристике факторов лавинообразования и оценке лавинной опасности необходимо учитывать параметры лавин формирующихся на низких склонах (рис. 4, 5).



Рис. 4. Схема формирования лавин на территории речной долины горной реки в ее нижней части.



Рис. 5. Речная терраса, р. Рудановского, с. Чехов (юго-западное побережье о. Сахалин. Относительная высота – 20 м, средний уклон – 37°.

Высота речных террас в долинах горных и полугорных рек о. Сахалин достигает 50 метров.

Уклоны террас – 20-50°, уклоны речных обрывов чаще превышают 35°. Преобладающим генетическим классом лавин, формирующихся на склонах речных террас и обрывов, являются лавины нового снега.

Часто на гребне речных террас формируются снежные карнизы, обрушение которых вызывает сход лавины. Кроме того, обрушение самого карниза является потенциальной опасностью для человека.

В целом климат речных долин отличается от климата побережий, но в нижней части долин, т.е. в приустьевой части рек, климат обладает общими чертами. В долинах рек температуры более низкие, ветра здесь также имеют более низкие скорости и наблюдаются реже. За счет этого снегонакопление в речных долинах происходит более равномерно, в то время как на побережьях за счет частых ветров происходит

переотложение снега. Кроме того, при увеличении абсолютной высоты местности в средних частях речных долин за счет вертикального градиента осадков, снега выпадает больше.

Характеристики природных лавинных комплексов равнинных территорий о. Сахалин приведены в табл. 3.

Таблица №3

Характеристики природных лавинных комплексов
равнинных территорий о. Сахалин.

Класс ПЛК	Подкласс ПЛК	Тип ПЛК	Лавиноопасные формы рельефа	Морфометрические характеристики лавиносборов		Преобладающий морфологический тип лавиносборов	Площадная пораженность территории лавинными процессами, %	Максимальный объем лавин, м ³	Повторяемость, раз в год
				Относительная высота лавиносборов, м	Средний уклон лавиносборов, град				
Равнинный	морских аккумулятивных равнин	морских террасированных низменностей	– дюны – бугры пучения – просадочные впадины, образованные термокарстом – низкие морские террасы	5-30	30-50	осовный склон	3%	100	1-3
		морских равнин	– дюны	5-25	30-45	осовный склон	1%	100	1-3
	аллювиальных равнин	долин равнинных рек	– речные террасы	5-25	30-50	осовный склон	5%	250	1-3
		долин горных и полугорных рек в среднем и нижнем течении	– речные террасы	5-50	30-50	осовный склон	10%	500	1-3

По результатам исследований равнинных территорий о. Сахалин была составлена карта «Природные лавинные комплексы равнинных территорий о. Сахалин» в масштабе 1:1000000, на которой был выделен 1 класс, 2 подкласса и 4 типа природных лавинных комплексов о. Сахалин (рис. 6).

Таким образом, лавиноопасными являются склоны с относительной высотой более 5 метров. На склонах с относительной высотой 5 метров и уклоном более 30° происходит формирование лавин объемом 50 м³.

Лавины на равнинной территории о. Сахалин формируются на склонах речных обрывов и террас, низких морских террас, бугров пучения, дюн, просадочных впадин, образованных термокарстом. Относительная высота лавиносборов 5-50 м, площадная пораженность лавинными процессами – 1-10%, максимальные объемы лавин – 100-500 м³, повторяемость – 1-3 раза в год. Преобладающим генетическим классом лавин являются лавины нового снега (метелевого и свежевыпавшего).

Природные лавинные комплексы (ПЛК) равнинных территорий о.Сахалин

Характеристики природных лавинных комплексов (ПЛК)
равнинных территорий о. Сахалин

Класс ПЛК	Подкласс ПЛК	Тип ПЛК	Лавиноопасные формы рельефа	Морфометрические характеристики лавиносборов		Преобладающий морфологический тип лавиносборов	Площадная пораженность территории лавинными процессами, %	Максимальный объем лавин, м³	Повторяемость, раз в год
				Относительная высота лавиносборов, м	Средний уклон лавиносборов, град				
Равнинный	морских аккумулятивных равнин	морских террасированных низменностей	– дюны – бугры пучения – просадочные впадины, образованные термокарстом – низкие морские террасы	5 – 30	30 – 50	осовный склон	3%	100	1–3
		морских равнин	– дюны	5 – 25	30 – 45	осовный склон	1%	100	1–3
	аллювиальных равнин	долин равнинных рек	– речные террасы	5 – 25	30 – 50	осовный склон	5%	250	1–3
		долин горных и полугорных рек в среднем и нижнем течении	– речные террасы	5 – 50	30 – 50	осовный склон	10%	500	1–3

Площадная пораженность территории: $S=(S1/S2)*100$, где
S1 - суммарная площадь всех лавиносборов,
S2 - площадь территории выделенного типа природных лавинных комплексов

Условные обозначения

Класс ПЛК	Равнинный	
	морских аккумулятивных равнин	аллювиальных равнин
Подкласс ПЛК	морских террасированных низменностей	морских равнин
Тип ПЛК	долин равнинных рек	долин горных и полугорных рек в среднем и нижнем течении

Южно-Сахалинск

Масштаб: 1:1 000 000

Рис. 6. Природные лавинные комплексы равнинных территорий о. Сахалин.

Выводы

1. Лавиноопасными являются склоны с относительной высотой более 5 метров. На склонах с относительной высотой 5 метров и уклоном более 30° происходит формирование лавин объемом 50 м³. Сход лавины такого объема представляет угрозу главным образом для человека. Несмотря на то, что серьезную опасность для зданий и сооружений лавины с этих склонов не представляют, нужно оценивать потенциальную опасность для человека и выделять эти территории как лавиноопасные. Сход лавин с таких склонов может вызвать ущерб в виде завалов.

2. Выделены территории равнин о. Сахалин, на которых формируются лавины: морские террасированные низменности, морские равнины, долины равнинных рек, долины горных и полугорных рек в среднем и нижнем течении. На равнинах есть положительные формы рельефа, представляющие собой лавиносоры. К ним относятся речные террасы, низкие морские террасы, бугры пучения, дюны, просадочные впадины, образованные термокарстом.

3. Преобладающим генетическим классом лавин являются лавины нового снега (метелевого и свежеснежного). Преобладающий морфологический тип лавиносор на территориях равнин – осыпные склоны, но часто встречаются речные террасы и речные обрывы, осложненные эрозионными врезами.

4. Выделен равнинный класс природных лавинных комплексов (ПЛК) о. Сахалин, 2 подкласса природных равнинных комплексов о. Сахалин: 1) подкласс морских аккумулятивных равнин, в который входит два типа: ПЛК морских террасированных низменностей и ПЛК морских равнин; 2) подкласс аллювиальных равнин, в который входит два типа: ПЛК долин равнинных рек и ПЛК долин горных и полугорных рек в среднем и нижнем течении. Проведена оценка климатических и геоморфологических факторов лавинообразования на территориях равнин о. Сахалин.

5. На территории ПЛК морских террасированных низменностей относительная высота лавиносор 5-30 м. Средний уклон лавиноопасных склонов 30-50°, площадная пораженность лавинными процессами – 3%. Лавины формируются на склонах дюн, бугров пучения, просадочных впадин, образованных термокарстом, низких морских террас.

6. На территории ПЛК морских равнин относительная высота лавиносор 5-25 м. Средний уклон лавиноопасных склонов 30-45°, площадная пораженность лавинными процессами – 1%. Лавины формируются на склонах дюн.

7. На территории ПЛК долин равнинных рек относительная высота лавиносор 5-25 м. Средний уклон лавиноопасных склонов 30-50°, площадная пораженность лавинными процессами – 5%. Лавины формируются на склонах речных террас.

8. На территории ПЛК долин горных и полугорных рек в их среднем и нижнем течении относительная высота лавиносор 5-30 м. Средний уклон лавиноопасных склонов 30-50°, площадная пораженность лавинными процессами – 10%. Лавины формируются на склонах речных террас.

9. Перечисленные выше формы рельефа, являющиеся лавиносорами,

распространены и в других регионах. На территории Российской Федерации широко распространены формы рельефа, образованные в результате геологических процессов в районах с многолетнемерзлыми породами (булгунняхи, просядочные впадины, образованные термокарстом). В результате деятельности поверхностных вод образуются овраги, достигающие глубины 80 м, речные террасы и обрывы.

Таким образом, необходимо расширять границы лавиноопасных территорий не только для Сахалинской области, но и для других регионов страны. Лавиноопасные участки для таких районов будут иметь точечный характер распространения и низкую площадную пораженность территории лавинными процессами. В связи с малой изученностью некоторых обширных равнинных регионов страны и невозможностью полного обследования данной территории следует отмечать эти регионы как потенциально лавиноопасные, а в случаях проектирования сооружений на потенциально лавиноопасной территории на стадии инженерного изыскания проводить более детальную оценку степени лавинной опасности. При этом важно учитывать геологический фактор лавинообразования, а именно, геологические процессы, происходящие на данном участке, что может позволить оценивать потенциал лавинообразования на исследуемой территории.

ЛАВИННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Сахалинская область входит в ряд регионов Российской Федерации, в которых лавинные процессы представляют большую опасность для населения и хозяйства.

Территории 63 населенных пунктов области лавиноопасны. В лавиноопасных зонах Сахалинской области проживает более 183 тыс. человек (по данным на 01.01.2007 год).

В Сахалинской области лавины пересекают всю производственно-селитебную зону от горных вершин до морских побережий. Практически нет ни одной отрасли хозяйства, в которой не сказывались бы отрицательные воздействия снежных лавин.

Отсутствие карт лавинной опасности территорий населенных пунктов не позволяет эффективно управлять территориями, способствовать их устойчивому развитию, а также обеспечить безопасные и благоприятные условия для жизнедеятельности населения.

Наличие крупномасштабных схем (карт, планов) лавиноопасных зон на территории населенных пунктов позволит наиболее полно проработать мероприятия, способствующие защите населения и хозяйственных объектов Сахалинской области от лавинных процессов, производить выбор площадок для размещения объектов капитального строительства, отвечающих требованиям надежности и безопасности.

Постановка задачи и пути ее решения

Морфологические и морфометрические характеристики лавиносборов определяют лавинные процессы, динамические характеристики и уровень воздействия лавин [Боброва, 2009; Казакова, 2009].

Для разработки алгоритма оценки территории целесообразно классифицировать лавиносборы по принадлежности к тому или иному классу природного лавинного комплекса.

В разных классах природных лавинных комплексов лавиносборы отличаются устойчивыми морфологическими и морфометрическими характеристиками.

Лавиносборы на территории всех населенных пунктов Сахалинской области были классифицированы по классам природных лавинных комплексов (табл. 1, 2).

Таблица №1

Классы природных лавинных комплексов на территории населенных пунктов Сахалинской области.

[illegible]

Продолжение таблицы №1

Населенный пункт	Классы природных лавинных комплексов													
	Горный						Предгорный				Морские террасы			
	Береговой						Речные террасы							
	Численность населения, чел. *	Общая площадь лавиносборов, га**	Кол-во лавиносборов	из них потенциально опасных	осовы	Морфологический тип лавиносборов	Ср. относительная высота лавиносборов, м	Общая площадь лавиносборов, га**	Кол-во лавиносборов	из них потенциально опасных	осовы	Морфологический тип лавиносборов	Ср. относительная высота лавиносборов, м	Общая площадь лавиносборов, га**
с. Прудное	50		4	2	3	1	150							
с. Лесогорское	481	72,7	10		4	6	139							
с. Надеждино	14								1	1	1			
с. Тельновское	101	113,5	39	16	24	15	97							
с. Ударное	235							2,5	30	28	12	28	44	
с. Бошняково	1400	373,2	34		26	8	218	32,1	9	6	3	31	44	75
г. Макаров	6758							18,1	65	37	33	47	74,1	47
с. Восточное	514													
г. Томари	4843							63,9	38	7	31	67	38	29,3
с. Неводское	3													
с. Быков	4465	117,3	54		28	26	105							
с. Взморье	755	49,8	2		1	1	160	57,9	6		2	4	100	

Классы природных лавинных комплексов

Классы природных лавинных комплексов															
Населенный пункт	Горный						Предгорный						Береговой		
	Горный				Предгорный				Морские террасы			Речные террасы			
	Численность населения, чел.*	Общая площадь лавиносборов, га**	Кол-во лавиносборов	Морфологический тип лавиносборов	Ср. относительная высота лавиносборов, м	Общая площадь лавиносборов, га**	Кол-во лавиносборов	Морфологический тип лавиносборов	Ср. относительная высота лавиносборов, м	Общая площадь лавиносборов, га**	Кол-во лавиносборов	Морфологический тип лавиносборов	Ср. относительная высота лавиносборов, м		
			всего	из них потенциально опасных	осовы	лотки	Кол-во лавиносборов	Морфологический тип лавиносборов	Ср. относительная высота лавиносборов, м		всего	из них потенциально опасных	осовы	лотки	Ср. относительная высота лавиносборов, м
г. Холмск	32277	756,3	403	109	272	131	66				211		142	69	39
с. Байково	2									25,3	47		25	22	65
с. Зырянское	13		14	14	11	3				92,6	104		24	80	21,7
с. Калинино	75	102,2	11		4	7	176			43,7	71		14	57	44,4
с. Красноярское	42	65,9	14		8	6	89			1,5	1		1		37
с. Люблино	57										4		4		
с. Правда	2432	56,0	28	10	17	11	85			106,3	36	10	25	11	69,0
с. Чехов	4588	149,9	283	128	181	102	41			18,9	33		8	25	55
с. Яблочное	2241	115,5	113	67	54	59	46			64,1	15		12	3	86
с. Костромское	1631		23	23	12	11				55,3	35	2	18	17	39
с. Пионеры	648		10	10	5	5				25,2	19	5	15	4	25
с. Павино	12	110,1	32		9	23	73								

Продолжение таблицы №1

Населенный пункт	Классы природных лавинных комплексов																
	Горный						Предгорный				Береговой						
	Горный						Предгорный				Морские террасы		Речные террасы				
	Численность населения, чел.*	Общая площадь лавиносборов, га**	Кол-во лавиносборов	Морфологический тип лавиносборов	Ср. относительная высота лавиносборов, м	Общая площадь лавиносборов, га**	Кол-во лавиносборов	Морфологический тип лавиносборов	Ср. относительная высота лавиносборов, м	Общая площадь лавиносборов, га**	Кол-во лавиносборов	Морфологический тип лавиносборов	Ср. относительная высота лавиносборов, м	Общая площадь лавиносборов, га**	Кол-во лавиносборов	Морфологический тип лавиносборов	Ср. относительная высота лавиносборов, м
		всего	из них потенциально опасных	осовы	лотки		всего	из них потенциально опасных	осовы	лотки		всего	из них потенциально опасных	осовы	лотки		
с. Новосибирское	246										111,6	25		15	10		162
с. Чапаново	853	2		2													
с. Бамбучек	15					1	1		1								
с. Ожидаево	8	17,0	13	10	8	5											
с. Пожарское	110		3		2	1											
с. Пятиречье	485	58,7	12		8	4											
с. Чистоводное	180	39,0	11		10	1											
с. Санаторное	614	59,9	8		2	6											
с. Синегорск	2609	62,6	88	30	62	24											
г. Невельск	17094	91,5	137	102	58	79					310,9	184	6	87	97		88,6
с. Колхозное	411		13	13													
с. Горнозаводск	5419	120,2	92	51	66	26					9,0	5		5			74,8

Продолжение таблицы №1

Классы природных лавинных комплексов														
Населенный пункт	Горный					Предгорный					Береговой			
	Горный					Предгорный					Морские террасы			
											Речные террасы			
Численность населения, чел.*	Общая площадь лавиносборов, га**	Кол-во лавиносборов	из них потенциально опасных	Морфологический тип лавиносборов		Ср. относительная высота лавиносборов, м	Общая площадь лавиносборов, га**				Ср. относительная высота лавиносборов, м			
				осовы	лютки		всего	из них потенциально опасных	Кол-во лавиносборов	из них потенциально опасных	осовы	лютки	Морфологический тип лавиносборов	Ср. относительная высота лавиносборов, м
с. Шербуно	1196	16,4	6	2	4	82			3	7,4	3		3	96,7
с. Ясноморское	159	167,4	55	15	40	184			5	42,2	5	4	1	122
с. Раздольное	62	70,5	18			84								
с. Светляки									6		6		6	66,7
с. Сокольники (с. Заветы Ильича)		201,0	32	12	22	171			7	23,5	7	6	1	100
с. Огоньки	462						2,0	1						
г. Корсаков	35134						46,7	40	20	31	9	33	53,9	42
с. Новиково	787						4,7	9		6	3	44		
г. Северо-Курильск	2422						0,6	2		2			29	27,5
г. Курильск	1911												12	45,5
с. Китовое	576												3	22
с. Рыбаки	20								1	0,5	1		1	36

Классы природных лавинных комплексов

Классы природных лавинных комплексов															
Населенный пункт	Горный				Предгорный				Береговой						
									Морские террасы			Речные террасы			
	Численность населения, чел.*	Общая площадь лавинооборв, га**	Кот-во лавинооборв	из них потенциально опасных	осовы	лотки	Ср. относительная высота лавинооборв**, м	Общая площадь лавинооборв, га**	Кот-во лавинооборв	из них потенциально опасных	осовы	лотки	Ср. относительная высота лавинооборв**, м	Общая площадь лавинооборв, га**	
															Морфологический тип лавинооборв
с. Рейдово	971								3	4	3	15,3			
пгт. Южно-Курильск	6166								4	27,5	4				
с. Крабовоздское	922								1		8	1	47		
с. Малокурильское	2204								56	14	43	13	40		

*Постоянное население на 01.01.2007 г.

****Без потенциально опасных лавиносборов.**

Таблица №2

Классы природных лавинных комплексов на территории населенных пунктов
Сахалинской области.

Класс лавинного комплекса	Подкласс лавинного комплекса	Кол-во лавиносборов			Общая площадь лавиносборов, га**	Морфологический тип лавиносборов	
		всего	%	из них потенциально опасных		осовы	лотки
Горный		1617	44	617	3170	941	643
Предгорный		771	21	151	646	462	318
Береговой	морские террасы	1238	34	41	1628	753	494
	речные террасы	31	1	9	10	29	2

Таким образом, классификация лавиносборов по принадлежности к природным лавинным комплексам, позволяет определить характеристики лавин на стадии камеральной обработки.

Оценка лавинных процессов позволила определить степень опасности территории населенных пунктов лавинными процессами, посчитать общее количество лавиносборов на территории населенных пунктов, классифицировать лавиносборы по классам природных лавинных комплексов.

В 2008-2009 гг. лабораторией лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала ДВГИ ДВО РАН впервые в Сахалинской области выполнена оценка лавинной опасности территорий всех населенных пунктов Сахалинской области.

Природный лавинный комплекс включает в себя лавиносбор, снежный покров в лавиносборе, из которого формируется лавина, лавину, лавинные отложения, а также часть прилегающей к лавиносбору территории, которая влияет на лавинные процессы. [Божинский, Лосев, 1987].

На основании анализа группы факторов лавинных процессов (геологических, геоморфологических, ландшафтных, гидрометеорологических) в Сахалинской области выделено 3 класса природных лавинных комплексов: горный, предгорный и береговой [Казаков, 2003; Казаков и др., 2006].

Решение и результаты

В 2008-2009 гг. лабораторией лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала ДВГИ ДВО РАН были разработаны схемы планировочных ограничений к генпланам населенных пунктов Сахалинской области (лавиноопасные зоны) в масштабе 1:2000, 1:5000, 1:10000, 1:25000 для территорий всех лавиноопасных населенных пунктов Сахалинской области.

На территории населенных пунктов Сахалинской области можно выделить 3 класса природных лавинных комплексов (ПЛК).

1. Горный класс ПЛК. Абсолютные отметки рельефа на территории населенных пунктов не превышают 400 м (в среднем, 200-300 м), глубина расчленения рельефа – 50-300 м. Лавинные процессы носят характер, присущий лавинным процессам в высокогорье [Генсиоровский, 2008; Казаков и др., 2006] (рис. 1).



Рис. 1. Горный класс лавинного комплекса, с. Бошняково.

В Сахалинской области на территориях населенных пунктов к горному классу лавинных комплексов относится 1617 лавиносборов (44%), из них 617 относятся к потенциально опасным, то есть в настоящее время проявления лавинных процессов нет, и угрозы для сооружений данные лавиносборы не представляют, однако при антропогенном воздействии (например, уничтожение лесов), возможен сход лавин.

Общая площадь лавиносборов данного типа – 3417 га.

Преобладающий тип лавиносборов – осовный – 941; лавиносборов лоткового типа – 643.

Средние объемы лавин – до 2000 м³, максимальные – до 30000 м³.

Частота формирования лавин максимальных объемов – 1 раз в 5-10 лет.

Высокая степень интенсивности проявления лавинных процессов в лавинных комплексах горного класса на территории населенных пунктов Сахалинской области и формирование лавин больших объемов обусловлено сочетанием следующих факторов лавинообразования:

- большая глубина расчленения рельефа, достигающая на территории населенных пунктов 50–300 м;
- большое количество твердых осадков (зарегистрированные максимумы осадков за снегопад – 350 мм; суточный – 127 мм, часовой – 43 мм);
- сильная перекристаллизация снежной толщи, которая играет ведущую роль в формировании катастрофических лавин [Казаков, 2006].

2. Предгорный класс ПЛК. Межгорные тектонические впадины, холмисто-волнистые предгорные равнины и предгорные шлейфы с пологими склонами. Лавинные комплексы формируются на склонах речных долин и оврагов. Абсолютные высоты и глубина расчленения рельефа на территории населенных пунктов – 100-200 м (рис. 2).



Рис. 2. Предгорный класс лавинного комплекса, осовный склон г. Корсаков.

Общее количество лавиносборов предгорного класса ПЛК в населенных пунктах Сахалинской области – 761, из них потенциально опасных – 151.

Общая площадь лавиносборов 610 га.

Преобладающий тип лавиносборов – осовы – 456; лавиносборы лоткового типа – 315. Средние объемы лавин горного класса до 500 м^3 , максимальные объемы до 15000 м^3 . Частота схода лавин максимальных объемов – 1 раз в 5-10 лет.

3. Береговой класс ПЛК. Лавинные комплексы формируются на склонах морских аккумулятивных и аккумулятивно-денудационных террас, абсолютные высоты рельефа на территории населенных пунктов – 0-200 м, глубина расчленения – от 20 до 200 м (рис. 3).



Рис. 3. Морская терраса. Осовный склон, осложненный мелкими эрозионными врезками, автомобильная дорога Холмск-Ильинский. Фото В.И. Окопного.

Общее количество лавиносборов на склонах морских террас в населенных пунктах Сахалинской области – 1246, из них потенциально опасных – 41.

Общая площадь лавиносборов 1650 га.

Преобладающий тип лавиносборов - лотковый – 941; лавиносборов осовного типа – 643.

Средние объемы лавин до 3000 м³, максимальные – до 45000 м³ [Казаков, Генсиоровский, 2006; Казаков и др., 2008].

Частота формирования лавин максимальных объемов – 1 раз в 3 года.

Основной ущерб от лавин данного класса в населенных пунктах – завалы автомобильных и железных дорог, разрушение и повреждение частных жилых домов, завалы улиц.

В ходе работ позволили выделить в береговом классе ПЛК подкласс лавинных комплексов, формирующийся на склонах речных террас.

Абсолютные высоты рельефа – 0-25 м (рис. 4). На территориях населенных пунктов Сахалинской области выделен 31 лавиносбор данного класса ПЛК.

Объемы лавин, сходящих со склонов речных террас, достигают 500 м³. В Сахалинской области достаточно часты случаи попадания людей в лавины, сходящие со склонов речных террас.



Рис. 4. Речная терраса. Осовный склон с. Чехов.

В Сахалинской области доминирующим фактором лавинного процесса, определяющим режим и параметры лавин, опасных для социально-экономических объектов, является сублимационная перекристаллизация снежного покрова.

Как показывают наблюдения за лавинным режимом на территории всех населенных пунктов Сахалинской области, интенсивность лавинных процессов, объемы и энергия лавин зависят в большей степени от стадии метаморфизма снежного покрова, чем от морфометрических характеристик лавиносборов.

Выводы

В ходе работы были классифицированы лавиносборы на территории всех населенных пунктов Сахалинской области по классам лавинных комплексов.

Выделен подкласс лавинных комплексов, формирующийся на склонах речных террас.

По результатам исследований на территории населенных пунктов Сахалинской области преобладают лавиносборы горного класса лавинных комплексов – 44%, лавиносборы предгорного класса – 21%, лавиносборов с морских террас – 34%, с речных террас – 1%.

Определяющий фактором лавинного процесса в Сахалинской области, определяющим режим и параметры лавин, опасных для социально-экономических объектов, является перекристаллизация снежной толщи.

ЛАВИННАЯ ОПАСНОСТЬ САХАЛИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Сложные орографические условия Сахалинской области ограничивают выбор площадей для размещения хозяйственных объектов, в связи с чем многие населенные пункты южной и центральной частей Сахалина расположены в лавиноопасных зонах. Воздействию лавин подвержены территории почти 50% населенных пунктов Сахалинской области. В лавиноопасных зонах проживает более 180 тыс. чел., что составляет 36% населения области. Большая часть территории области подвержена лавинным процессам, что является серьезной проблемой для региональных и муниципальных властей, ответственных за обеспечение безопасности жителей области.

Условия лавинообразования в Сахалинской области

Сахалинская область характеризуется низкогорным и среднегорным рельефом, тем не менее лавинная опасность здесь велика в связи с благоприятным сочетанием следующих условий: большая глубина расчленения рельефа (200-700 м); оптимальные для лавинообразования уклоны (30-45°); обильные зимние осадки; большая продолжительность зимнего сезона (5-8 месяцев). За холодный период (ноябрь-март) количество осадков колеблется от 160-200 мм на севере до 200-300 мм на юге и 400 мм в горах. В отдельные годы сумма зимних осадков может превышать норму, достигая в горах юга острова 800-1000 мм.

Снежный покров на острове появляется в конце октября – начале ноября, а устойчивым становится в первой декаде декабря в северных и центральных районах острова и в третьей декаде декабря в южных районах, однако в горах снежный покров устойчив уже в конце октября – начале ноября. Максимальных значений высота снежного покрова достигает во второй – третьей декаде марта. Снежный покров исчезает в начале – середине мая на юге острова и в конце мая на севере [Земцова, 1968]. Лавиноопасный период в Сахалинской области длится от пяти месяцев в прибрежной части южного Сахалина и на Курильских островах до восьми месяцев в горной части Сахалина.

Лавинные катастрофы

За весь период наблюдения за лавинами в Сахалинской области (с 1928 по 2015 гг.) было зарегистрировано 143 случая попадания людей в лавины: 760

чел. попало в лавины, из них 359 погибло (рис. 1) [Кадастр лавин СССР, 1986; Казаков, Генсиоровский, 2008; Каталог лавин..., 1990], причем 62% случаев произошло на территории населенных пунктов, а 23% – на транспортных магистралях (рис. 2). Следует заметить, что реальное число жертв лавинных катастроф значительно больше, так как в работе анализировались только достоверно известные случаи.

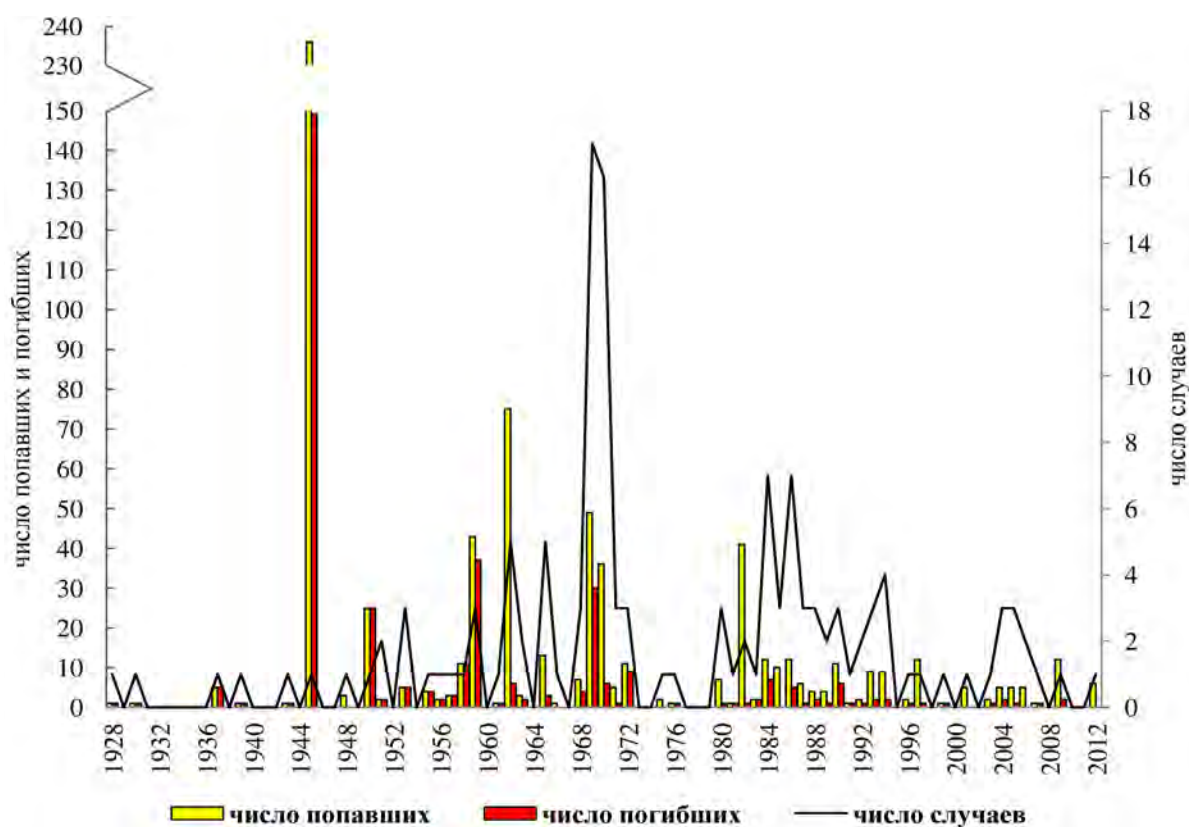


Рис. 1. Распределение по годам числа случаев и числа жертв катастрофических лавин (Сахалинская область, 1928-2015 гг.)

Самая крупная из зарегистрированных лавинных катастроф Сахалинской области произошла в пос. Средняя Медвежка (Александровский район, рудник «Октябрьский») 9 февраля 1945 г. В 23 ч 25 мин со склона горы Маяк сошла лавина объемом 170 тыс. м³, разрушившая шесть жилых домов и три объекта социально-бытового значения; в лавину попали 236 чел., из них 149 чел. погибло. Лавина сошла из лавиносбора лоткового типа, расположенного на склоне южной экспозиции. Поселок Средняя Медвежка находился в днище V-образной долины в зоне аккумуляции лавин с обеих ее бортов. Ранее (1937 г.) на поселок сошла лавина, в которой погибло 5 чел.

В марте 1950 г. в порту поселка Неводское Томаринского района со склона морской террасы сошла лавина, в которой погибло 20 человек; кроме того, было разрушено 2 барака. Абсолютная высота линии отрыва составила 30-40 м, абсолютная высота нижней границы конуса выноса – 3-5 м. Лавина сошла с основного склона западной экспозиции во время общей метели.



Рис. 2. Схема размещения лавиноопасных населенных пунктов и наиболее лавиноопасных участков транспортных магистралей Сахалинской области.

16 января 1958 г. на железнодорожном перегоне Пятиречье – Камышово, у входа в тоннель при расчистке лавинного завала железной дороги во время снегопада сошла повторная лавина, в которой погибло 11 человек.

25 декабря 1959 г. на о. Парамушир, в г. Северо-Курильск со склона сопки Аэродромной сошла крупная лавина (осов), разрушившая несколько домов. Погибло 36 человек.

Во время массового схода лавин 22-25 декабря 1990 г. на лесовозной дороге с. Ясное – Чамгинский перевал – пос. Загорный (Набильский хребет) было зарегистрировано более 200 лавин объемом до 100 тыс. м³. Лавины причинили серьезный материальный ущерб Верхнетымскому леспромхозу, засыпав семь лесовозов, один бензовоз и два бульдозера. В двух лавинах объемом 5 и 15 тыс. м³ погибло три человека. 25 декабря 1959 г. на о. Парамушир, в г. Северо-Курильске со склона сопки Аэродромной сошла крупная лавина (осов), разрушившая несколько домов. Погибло 36 человек.

Преобладающее количество катастрофических лавин, т.е. лавин, вызвавших значительный материальный ущерб и/или человеческие жертвы, сошли со склонов, абсолютные высоты которых колебались в пределах 50-100 м, а также со склонов морских террас, абсолютные высоты которых составляют 30-40 м. Большинство катастрофических лавин сошло в феврале, что связано с высокой степенью перекристаллизации снежной толщи в этом месяце. 49% катастрофических лавин сошло из лавиносборов лоткового типа, 24% – с осовных склонов. Антропогенные лавины составили 13% (10 случаев).

Лавинная опасность в населенных пунктах Сахалинской области

На территории населенных пунктов Сахалинской области расположено более 3600 лавиносборов, из них более 850 потенциально опасны: это лавиносборы, где в настоящее время лавинные процессы либо отсутствуют, либо не представляют угрозы, однако при антропогенном воздействии на ландшафты (строительство объектов и сооружений, уничтожение растительного покрова и т.д.) вероятна активизация лавинных процессов. В основном это лавиносборы, покрытые густым лесом, где возможен только сход маленьких лавин (через лес), которые могут представлять угрозу для человека, вышедшего на склон. Общая площадь лавиносборов на территории населенных пунктов области составляет более 5400 га.

По морфологическому типу на территории населенных пунктов области преобладают осовы (58%), что обусловлено множеством населенных пунктов (города Невельск, Холмск, Углегорск, Шахтерск, Томари, Курильск и т.д.) у подножия уступов морских и речных террас, на склонах которых преобладают именно осовы.

Относительная высота большинства (63%) лавиносборов от 25 до 100 м, 20% лавиносборов имеют высоту от 10 до 25 м. Это связано с расположением застройки у подножия уступов морских и речных террас, высота которых в большинстве случаев не превышает 100 м. Относительную высоту более 100 м имеет только 16% лавиносборов – главным образом в населенных пунктах, расположенных в долинах рек Камышового и Южно-Камышового хребтов.

Максимальная расчетная дальность выброса лавин в населенных пунктах Сахалинской области в основном не превышает 250 м (75%), что связано с небольшими относительными высотами лавиносборов. В связи с тем, что на территории населенных пунктов преобладают небольшие лавиносборы с отно-

сительной высотой в пределах 100 м и площадью менее 2 га, объемы лавин в среднем не превосходят первых тысяч кубических метров. Однако максимальные объемы лавин могут превышать 50 тыс. м³.

Несмотря на небольшие объемы, лавины в населенных пунктах наносят значительный ущерб, обусловленный высокой повторяемостью схода лавин. Большому риску подвергаются дети, катающиеся со склонов морских и речных террас, приуроченных к территориям населенных пунктов (например, города Углегорск, Невельск, Холмск и др.). Так, на территории области зарегистрировано более 10 случаев гибели детей в лавинах, спущенных ими же при катании. 14% катастрофических лавин в Сахалинской области имели антропогенный генезис.

Площадная пораженность территории населенных пунктов Сахалинской области лавинными процессами варьируется от 1% до 45%. Самым лавиноопасным городом Сахалинской области считается г. Невельск, площадная пораженность которого лавинными процессами составляет 45%. Территории города угрожает более 300 лавиносборов общей площадью более 400 га. В городе было зарегистрировано 15 случаев попадания людей в лавины (42 человека попали в лавины, из них 23 погибли). Высокий процент попадания в лавины людей можно объяснить расположением населенных пунктов в узких долинах рек и у подножия уступов морских террас, так как эти участки являются наиболее подходящими для застройки. Особенно это характерно для побережий южного и центрального Сахалина и Курильских островов.

Лавинная опасность на транспортных магистралях Сахалинской области

Поскольку 70% территории Сахалинской области подвержено воздействию лавинных процессов [Казаков, Генсиоровский, 2008], значительная часть транспортных магистралей проложена по лавиноопасным зонам [Жируев и др., 2010]. Так, основные транспортные магистрали, соединяющие южную и центральную части Сахалина, проложены у подножия уступов морских террас и приморских пологонаклонных равнин как на западном, так и на восточном побережьях.

В Сахалинской области лавинным процессам подвержены 180 км железных и около 200 км автомобильных дорог. Наиболее опасны участки следующих автодорог: с. Первомайское – нефтеперерабатывающий завод ЗАО «Петросах»; пгт. Тымовское – г. Александровск-Сахалинский; с. Ильинский – с. Бошняково; г. Южно-Сахалинск – г. Холмск; г. Южно-Сахалинск – г. Невельск; г. Корсаков – с. Новиково; г. Курильск – с. Буревестник; пгт. Южно-Курильск – с. Головнино [Жируев и др., 2010].

Лавиносборы, угрожающие транспортным магистралям Сахалинской области, в горных районах представлены большими по площади (до 10 га и более) эрозионными врезами и денудационными воронками, а на побережье – склонами абразионных уступов, осложненных небольшими эрозионными врезами и оползневыми ложбинами (площадь эрозионных врез обычно не превышает

гектар, оползневых ложбин – до трех гектаров) [Жируев и др., 2010]. Значительные ущербы от лавин на транспортных магистралях во многом связаны с большим числом лавиносборов на погонный километр дороги. Например, на самой лавиноопасной автодороге в СССР с. Ясное – Чамгинский перевал – п. Загорный, пересекающей Восточно-Сахалинские горы, число лотковых лавиносборов достигало 7 на погонный километр.

Однако, в Сахалинской области есть участки с еще большим количеством лавиносборов на погонный километр: до 56 лотковых лавиносборов (эрозионные врезы) шириной 10-15 м (участок к северу от с. Ясноморское, автодорога г. Невельск – г. Холмск), что определяет значительный ущерб в периоды массового лавинообразования, несмотря на небольшие объемы лавин и небольшие их дальности выброса (менее 500 м).

В большинстве случаев железные дороги сопутствуют автомобильным и обычно расположены между автодорогой и подножием лавиноопасного склона, в связи с чем более подвержена воздействию лавин небольшой дальности выброса, не достигающих автодороги.

Защита от лавин в Сахалинской области

Вынужденное размещение населенных пунктов, хозяйственных объектов и транспортных магистралей в лавиноопасных зонах требует принятия мер по их защите от лавин. Однако ввиду очень большого количества объектов, строительство инженерной защиты для всех них невозможно, так как возведение противолавинных сооружений является технически сложным и экономически затратным мероприятием. За весь период существования Сахалинской области на ее территории было возведено шесть противолавинных галерей, один лавинорез. Кроме того существовали снеговыводящие и снегозадерживающие сооружения на лавиноопасных склонах (санаторий «Сахалин», железная дорога г. Южно-Сахалинск – г. Холмск, автодорога г. Шахтерск – с. Тельновский, г. Невельск).

До настоящего времени в области сохранились две противолавинные галереи, которые находятся при въезде в с. Горнозаводск в устьях рек Сточной и Лопатинки (западное побережье о. Сахалин) и защищают железную дорогу, но при этом является трамплином, перепрыгивая через который лавина накрывает полотно автомобильной дороги.

Помимо этого в некоторых населенных пунктах, а также на отдельных участках транспортных магистралей существовали снегозадерживающие сооружения на лавиноопасных склонах и снеговыводящие сооружения. Однако снегозадерживающие сооружения практически разрушены, а существующие снеговыводящие сооружения установлены без необходимых расчетов, в связи с чем не выполняют своей роли. В настоящее время ведутся работы по установлению снегоудерживающих сооружений в лавиносборе на 219 км железной дороги г. Южно-Сахалинск – пгт. Ноглики, но на соседние лавиносборы защита не распространяется.

В 1970-1990-х гг. в Сахалинской области регулярно проводился профилактический спуск лавин. В последние годы он проводится так же достаточно регулярно на некоторых участках транспортных магистралей (автодороги с. Ильинский – г. Томари, г. Невельск – с. Горнозаводск, авто- и железная дороги г. Южно-Сахалинск – г. Макаров и др.).

Руководителями области практикуется закрытие автомобильных и железных дорог для проезда во время сильных метелей, когда вероятность схода лавин особенно высока; это приводит к определенным экономическим ущербам за счет простоя транспорта, прекращения пассажиро- и товарооборота, но позволяет обеспечить безопасность транспорта и населения.

В 2009-2011 гг. лабораторией лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института ДВО РАН были разработаны схемы планировочных ограничений к генпланам всех населенных пунктов Сахалинской области, территории которых подвержены воздействию лавинных процессов [Боброва, 2010]. Эти схемы помогут в будущем решить проблему размещения населения в лавиноопасных зонах области. Кроме того, были разработаны проекты комплексной противолавинной защиты некоторых участков автодорог, включающие снегозадерживающие и снеговыдувающие сооружения и изменения профиля лавиносбора.

Заключение

Обеспечение лавинной безопасности для населения и хозяйства Сахалинской области является сложной задачей, однако существует ряд мер, позволяющих минимизировать ущербы от лавин.

При разработке проектов противолавинной защиты следует учитывать следующие аспекты:

- в связи с очень большим количеством объектов, находящихся в лавиноопасных зонах, строительство инженерной защиты для них всех невозможно;
- проведение профилактического спуска лавин удобно для транспортных магистралей, а для территорий населенных пунктов осложнено из-за расположения зданий и сооружений в зонах транзита и аккумуляции лавин;
- переселение населения из лавиноопасных зон затруднено как из-за большого числа жителей, проживающих в зоне риска, так и из-за их нежелания переселяться;
- при обеспечении лавинной безопасности промышленных объектов целесообразнее строительство сооружений инженерной защиты, чем перенос объекта в безопасную зону;
- для территорий населенных пунктов целесообразно террасирование лавиноопасных склонов, которое уменьшит объемы лавин и вероятность образования и обрушения снежных карнизов;
- одной из мер по защите от лавин, сходящих со склонов морских террас, может быть высадка леса на поверхности террасы: это блокирует дополнительный принос снега в лавиносбор с поверхности террасы и образование снежных карнизов на бровке террасы.

Наибольшая результативность при обеспечении лавинной безопасности в Сахалинской области может быть достигнута за счет разработки проектов комплексной защиты, включающей совокупность организационных и инженерных мероприятий.

В будущем решить проблему размещения населения в лавиноопасных зонах области помогут схемы планировочных ограничений к генпланам всех населенных пунктов Сахалинской области, территории которых подвержены воздействию лавинных процессов.

Наибольшая результативность при обеспечении лавинной безопасности в Сахалинской области может быть достигнута за счет разработки проектов комплексной защиты, включающей совокупность организационных и инженерных мероприятий. В будущем решить проблему размещения населения в лавиноопасных зонах области помогут схемы планировочных ограничений к генпланам всех населенных пунктов Сахалинской области, территории которых подвержены воздействию лавинных процессов.

ЛАВИНЫ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ САХАЛИНА И КУРИЛ

Сахалинская область по степени воздействия снежных лавин на населенные пункты и объекты хозяйственной деятельности является одним из самых опасных регионов России. Площадная пораженность лавинными процессами достигает 70% [Казаков, Генсиоровский, 2008].

Широкое развитие снежных лавин определяется преимущественно горным рельефом, продолжительным залеганием и большими высотами снежного покрова. Под воздействием опасных природных процессов находится весь высотный диапазон от уровня моря до водоразделов.

Лавинные процессы в пределах Сахалинской области активно проявляют себя и в зоне хозяйственного освоения, их воздействию подвержены территории 62 населенных пунктов, промышленные объекты, автомобильные и железные дороги.

Расположение лавиноопасных участков автомобильных и железных дорог показано на схематической карте (рис. 1).

Факторы, создающие условия для активного развития лавинных процессов в Сахалинской области

- Глубина расчленения рельефа. При абсолютных высотах до 1600 м на о. Сахалин и 2300 м на Курильских островах глубина расчленения рельефа достигает 200-1000 м (альпинотипный рельеф).
- Большое количество твердых осадков. Зарегистрированные максимумы осадков: за снегопад – 350 мм; суточный – 127 мм, часовой – 43 мм.
- Сильная сублимационная перекристаллизация снежной толщи: в январе – апреле коэффициенты перекристаллизации – 0,80-0,95; коэффициенты вторичного расслоения – 0,50-1,0 [Древило, 2001].

Морфология лавиносборов вдоль автомобильных и железных дорог

В горных районах лавиносборы представлены большими по площади (до 10 га и более) эрозионными врезами и денудационными воронками. Наиболее

показательны из них – прилегающие к автомобильной дороге Первомайское – месторождение «Окружное» в Восточно-Сахалинских горах (участок 3, рис. 2).

На побережье склоны абразионных уступов осложнены небольшими эрозионными врезами и оползневыми ложбинами (мульдами). Площади эрозионных врезов редко превышают 1 га, оползневые формы – 3 га (рис. 3).

Для перевальных участков Камышового и Южно-Камышового хребтов характерны преимущественно осовские склоны площадью до 3 га (рис. 4).

Лавинная опасность на транспортных магистралях

Низкогорный, сильно расчлененный (альпинотипный) рельеф предопределяет строительство автомобильных и железных дорог вдоль морских побережий либо в горных долинах, где дороги проложены у подножия крутых склонов (до 50°) древних абразионных уступов и речных долин или непосредственно пересекают лавиноопасные склоны.

В пределах Сахалинской области лавинным процессам подвержены 180 км железных и около 200 км автомобильных дорог. Лавиноопасные участки (далее участок) вдоль транспортных магистралей показаны на рис. 1.

Основной грузооборот приходится на автомобильные и железные дороги, соединяющие областной центр с основными морскими портами и центральными районами Сахалина. Транспортные артерии проложены преимущественно вдоль побережья Татарского пролива, заливов Анива и Терпения по поверхностям низких морских террас вдоль подножий склонов древних абразионных уступов (отмершие клифы) высотой от 30-40 до 200 м.

Лавиноопасными здесь являются:

- с декабря до середины апреля многочисленные участки автомобильной и железной дорог вдоль юго-западного побережья на протяжении 160 км от с. Шебунино до п. Ильинский (участок 7);
- с декабря по апрель на побережье Анивского залива участки железной дороги Южно-Сахалинск – Корсаков общей протяженностью до 5 км на перегоне между п. Дачное и г. Корсаков (участок 10);
- на юго-восточном побережье со второй половины ноября до конца апреля железная и автомобильная дороги перегоне Восточное – Туманово протяженностью около 50 км, а также отдельные участки от п. Взморье (р. Баклановка) до п. Восточный (участок 5).

Помимо вышеприведенных участков – на коротких отрезках (до 2-км) вдоль побережья у подножия склонов абразионных уступов проходят автомобильные дороги Александровск-Сахалинский – Дуэ и Корсаков – Новиково (участки 2, 11).

Краткая характеристика лавинного режима по лавиноопасным участкам приводятся в табл. 1, подробно лавинные процессы Сахалина и Курил рассматриваются в опубликованных литературных источниках [Володичева, 1971; Генсиоровский, 2008; Древило (Варганова), Казаков, 1997; Жируев, Окопный, 1997; Казаков, Генсиоровский, 2006; Казаков и др., 1999; Мягков, Трошкина, 1984; Окопный, 2008].

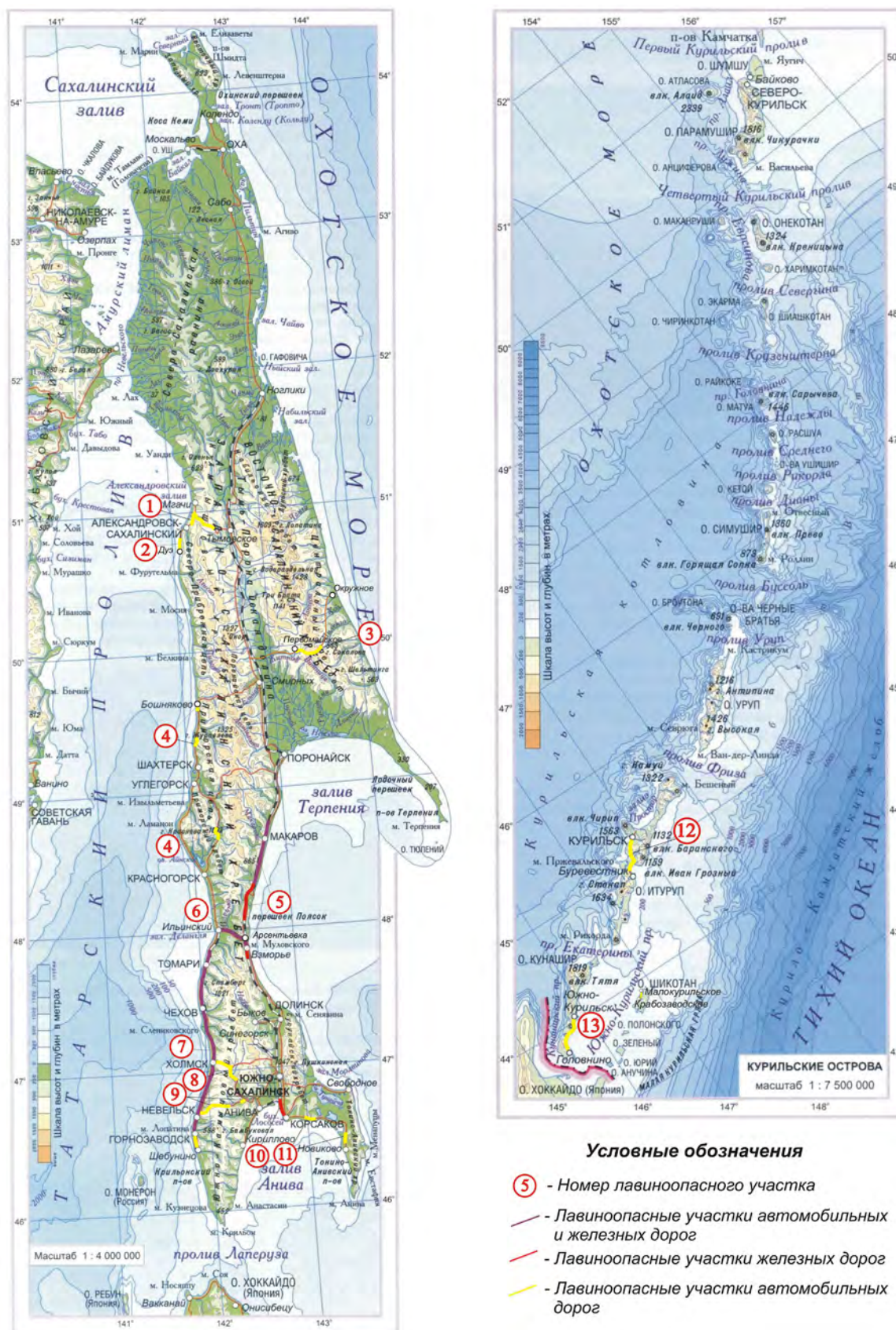


Рис. 1. Схематическая карта лавиноопасных участков транспортных магистралей Сахалинской области.



Рис. 2. Лавинный рельеф Восточно-Сахалинских гор, вид с Пиленгского перевала, автодорога Первомайское – месторождение «Окружное». Фото Б.В. Черемисина.



Рис. 3. Рельеф юго-восточного побережья и место лавинной катастрофы на железной дороге в ночь на 01.01.2010 г.



Рис. 4. Осовые склоны на автодороге Южно-Сахалинск – Невельск.

Особенности лавинообразования на побережье

Склоны абразионных уступов, как правило, осложнены мелкими эрозионными врезами и оползневыми ступенями, в связи с чем, имеют присущие им характерные особенности лавинообразования:

- в подавляющем большинстве случаев лотковые лавины сходят по слабовыраженным эрозионным врезам, их объемы редко превышают 1000 м^3 ;
- при сильных снегопадах и благоприятном ветровом режиме линия отрыва лавин захватывает несколько лавиносборов (эрозионных врезов), в таких случаях ее протяженность нередко составляет 100 и более метров, а максимальные объемы лавин (осовы) могут превышать 10000 м^3 ;
- на участках, осложненных оползневыми процессами, при сильных продолжительных снегопадах первые лавины небольшого объема довольно часто формируются в нижней части склонов на крутых головных частях оползней, а затем по оползневым ложбинам (мульдам) сходят лавины с верхней части склона объемом до 5000 м^3 .

Из действующих автомобильных дорог самой лавиноопасной является магистраль, соединяющая с. Первомайское и нефтяное месторождение «Окружное» с нефтеперерабатывающим заводом ЗАО «Петросах», пересекающая Центральный хребет Восточно-Сахалинских гор (участок 3). Абсолютные отметки рельефа вдоль дороги местами превышают 900 м, относительные превышения гребней водоразделов над днищем долины р. Пиленга – 500 м. Сход первых лавин возможен в конце октября, последних – в третьей декаде мая [Научно-прикладной справочник по климату СССР (Сахалинская область), 1990].

Таблица №1

Краткая характеристика лавинного режима по участкам транспортных магистралей.

№ п.п., соответствует № участка на схематической карте (рис. 1)	Участок транспортной магистрали	Транспортные магистрали	Число дней с устойчивым снежным покровом	Продолжительность периода потенциальной лавинной опасности, дней	Максимальный объем лавин, тыс.м ³	Максимальная толщина лавинных завалов, м
1	2	3	4	5	6	7
1.	пгт. Тымовское – г. Александровск-Сахалинский	автомобильная	195-205	180-190	10,0	5
2.	г. Александровск-Сахалинский – п. Дуэ	автомобильная	195-205	180-190	3,0	3
3	с. Первомайское – месторождение нефти «Окружное» (Восточно- Сахалинские горы)	автомобильная	220-230	205-215	200,0	более 15
4.	п. Ильинский – п. Бошняково (западное побережье)	автомобильная	156-172	110-130	5,0	4
5.	п. Взморье – п. Туманово (юго-восточное побережье)	железная, автомобильная	155-165	145-150	10,0	5
6.	п. Ильинский – п. Арсентьевка	железная, автомобильная	150-156	110-130	3,0	3
7.	п. Шебунино – п. Ильинский (юго-западное побережье)	железная, автомобильная	150-156	110-130	20,0	5
8.	г. Южно-Сахалинск – г. Холмск	автомобильная	160-165	140-150	5,0	3
9.	г. Южно-Сахалинск – г. Невельск	автомобильная	160	135-145	2,0	3
10.	г. Южно-Сахалинск – г. Корсаков	железная	144	110-130	3,0	3
11.	г. Корсаков – п. Новиково	автомобильная	144	110-130	3,0	3
12	г. Курильск – п. Буревестник (о. Итуруп)	автомобильная	140	100-120	5,0	3
13.	г. Южно-Курильск – п. Головинно (о. Кунашир)	автомобильная	135	90-110	5,0	3

Вдоль 16-ти километрового участка дороги выделено более 60 лавинных очагов различных морфологических типов (рис. 2). Здесь ежегодно отмечаются массовые сходы лавин, когда при прохождении глубоких циклонов на автомобильную дорогу обрушаются по нескольку десятков лавин, а их максимальные объемы могут достигать 200000 м³ и более.

Автомобильная дорога между пгт. Тымовское, г. Александровск-Сахалинский подвержена лавинным процессам на перевале через Камышовый хребет, в районе поселка Арково, двух основных склонах на подъезде к г. Александровску-Сахалинскому (участок 1). Лавины в данном районе сходят с начала ноября до начала мая, их объемы могут достигать первые тысячи м³.

Опасными в лавинном отношении в период с декабря до конца апреля являются участки автодороги Ильинский-Бошняково в районах перевалов Озадачливый и Тельновский, расположенных на некотором удалении от побережья Татарского пролива, а также по левому борту долины р. Августовки на спуске в с. Бошняково (участок 4). Лавиносборы здесь представлены основными склонами и лотками. Наибольший из зарегистрированных объемов лавин на данном участке составляет 5000 м³.

На автодорогах, соединяющих областной центр с городами Холмск и Невельск (участки 8 и 9), лавиноопасны Холмский и Ловецкий перевалы. Лавинная опасность здесь возросла в процессе реконструкции автомобильных дорог, когда при формировании полувыемок были образованы крутые склоны высотой до 40-60 м, на которых сходят снежные лавины объемом от 50-100 до 1500-3000 м³. Помимо перевалов, на Холмской трассе лавиноопасны склоны общей протяженностью до 500 м у сел Чапланово, Бамбучек и Пожарское, на автодороге в г. Невельск – крутой склон на въезде в поселок Огоньки с севера длиной до 150 м, на котором сход лавин наблюдается в зимний сезон по нескольку раз. Период потенциальной лавинной опасности длится здесь с середины ноября до конца апреля.

Лавиноопасные склоны вдоль автомобильной дороги г. Корсаков – п. Новиково (участок 11) приурочены к склонам массива г. Юноны на протяжении до 2,5 километров, водоразделу рек Игровая и Островская и уступу морской террасы на 2-х километровом отрезке Корсаков – Пригородное; о чем было сказано выше. На участке с декабря по апрель возможно формирование лавин объемом до 3000 м³.

Ущерб от воздействия лавинных процессов на автомобильных и железных дорогах

С начала эксплуатации транспортных магистралей южной части Сахалина советскими специалистами на вышеуказанных участках дорог в послевоенное время неоднократно фиксировались лавинные катастрофы с попаданием в лавинные завалы техники и с гибелью людей. В табл. 2 приводятся сведения о достоверно известных катастрофах. Прилагаемый перечень далеко не полный ввиду засекреченности данной информации до 1990 г.

Таблица №2

Сведения об ущербах на автомобильных и железных дорогах Сахалинской области.

№ п.п.	Номер лавиноопасного участка на схематической карте (рис. 1)	Участок дороги	Дата	Объем лавин, тыс. м ³	Ущерб		
					Число попавших в лавину людей	Число погибших	Прочий ущерб
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	7	с. Шебунино – п. Ильинский (юго-западное побережье)	05-06.02.1969	1,0	-	-	Засыпан снегоочиститель, опрокинуты 2 жилых вагона
			06-07.02.1969	0,4	1	-	Повредило железнодорожную будку
			20.01.1970	0,5-	-	-	Сошел с рельсов дизель-поезд
			16-18.03.1970	5,0-10,0 0,5-1,0	1	1	Сброшена с рельсов дрезина, повреждена линия связи
			17-18.12.1992	-	1	-	Присыпан автобус. р. Черенок (Чирай), автодорога
2	10	г. Южно-Сахалинск – г. Корсаков	1994	1,0	-	-	Разрушена противополавиная галерея
			30-31.01.2005		-	-	Сошли с рельсов два тепловоза (п. Байково)
			31.01-01.02.1970	1,8	-	-	Сдвинут с рельсов и засыпан тепловоз
3	5	п. Взморье – п. Туманово (юго-восточное побережье)	январь 1965	0,1-1,0	-	-	Завал железной и автомобильной дорог, повреждена линия связи
			22-23.01.1970	-	-	-	Завал железной и автомобильной дорог, повреждена линия связи
			22-23.1985	0,6-0,8-	-	-	Завал железной и автомобильной дорог, повреждена линия связи
			31.12.2009 -01.01.2010	3,0	12	2	Сошел с рельсов снегоочиститель, при восстановительных работах погибло 2 человека
4.	3	с. Первомайское – месторождение нефти «Окружное» (Восточно-Сахалинские горы)	13.02.1987	0,6-	1	-	Завален бульдозер с людьми
			1992	-	1	1	Засыпан и поврежден бензовоз
			4-6.01.1996	23,0	2	-	Массовый сход лавин, завалено 1470 м дорожного полотна, высота завалов на дороге до 5 м. В лавины попало 2 бензовоза
			09-12.01.1996	93,3	4	1	Массовый сход лавин, завалено 1173 м автодороги, высота завалов до 8 м. На дороге находилось 15 единиц техники, полностью засыпаны легкой автомобиль, лесовоз и экскаватор.
			1996	-	2	1	Засыпан и поврежден бульдозер

Продолжение таблицы №2

№ п.п.	Номер лавиноопасного участка на схематической карте (рис. 1)	Участок дороги	Дата	Объем лавин, тыс. м ³	Ущербы		
					Число попавших в лавину людей	Число погибших	Прочий ущерб
1	2	3	4	5	6	7	8
5.	1	пгт. Тымовское – г. Александровск-Сахалинский	1992	-	-	-	Завал автомобильной дороги 80 м. засыпана автомашина (район п. Арково)
6.	4	п. Ильинский – п. Бошняково (западное побережье)	01.12.1970	1,6	-	-	Завал автомобильной дороги, опрокинуло трактор
			10.01.1975	5,0	-	-	Завал автомобильной дороги, перевернуло автомашину
			18.01.1984	0,5	-	-	Засыпаны роторный снегоочиститель и грейдер
7.	8	г. Южно-Сахалинск – г. Холмск	06-07.02.1969	-	2	2	Завалена автомашина
			22.03.1983	0,4	-	-	Лавиной сбросило бульдозер в реку
			21-22.12.1985	3,0	-	-	Засыпан роторный снегоочиститель
			1994	-	-	-	Завалено 3 автомашины

Наряду с прямыми материальными и людскими потерями от снежных лавин, значительно больший экономический урон приносят простои автомобильных и железных дорог от лавинных завалов (косвенный ущерб). Статистика косвенного ущерба, к сожалению, не ведется и оценить его реальные масштабы не представляется возможным.

Следует отметить, что во многих случаях к катастрофам приводят попытки преодоления лавинных завалов неспециализированными транспортными средствами. По нашему мнению сход с рельсов двух тепловозов у северного портала железнодорожного тоннеля у поселка Байково на юго-западном побережье 30-31 января 2005 года как раз и был обусловлен такого рода причиной.

Перед аварией на железную дорогу сошла лавина объемом до 1000 м³ из твердой снежной доски, объем лавинного завала на полотне железной дороги при плотности снега 400-450 кг/м³ не превышал 500 м³. Грузовой состав на скорости врезался в плотный лавинный конус и локомотивы по инерции сместились с рельсов под откос по лавинному снегу.

На железной дороге Южно-Сахалинск – Корсаков помимо косвенного ущерба, выраженного в завалах железной дороги, неоднократно отмечались повреждения линий связи, а при массовом сходе лавин 31 января – 1 февраля 1970, когда на железную дорогу сошла 61 лавина, одной из них объемом 1800 м³ был сбит с рельсов и завален тепловоз.

Ущерб от лавин на юго-восточном побережье до 2010 г. выражались в лавинных завалах, продолжительных простоях автомобильной и железной дорог и повреждениях линий связи.

31 декабря 2009 года 09:45 по местному времени в сильный снегопад с метелью при расчистке лавинных завалов на 219 км железной дороги Южно-Сахалинск – Ноглики сошел с рельсов снегоочиститель и тепловоз, во время аварии машинисты тепловоза не пострадали и самостоятельно добрались до ближайшего населенного пункта. В тот же день из городов Южно-Сахалинск и Поронайск к месту аварии были направлены снегоочистительная техника и восстановительные поезда с бригадами путейцев.

В ходе восстановительных работ, выполнявшихся в лавиноопасной зоне при продолжающейся общей метели (скорость ветра достигала 20-25 м/сек), необходимые меры безопасности обеспечены не были. В ночь на 01.01.2010 г. в результате повторного схода лавины с оползневой ложбины было завалено 12 человек. Не обошлось без жертв, два человека погибли. Также были засыпаны лавиной кран, бульдозер и секция аварийного тепловоза.

По нашим оценкам объем сошедшей лавины составил 3000 м³. На рис. 3 иллюстрируется характер рельефа на участке лавинной катастрофы и общий вид лавиносбора, сход лавины с которого привел к гибели людей.

За период регулярных наблюдений с 1980 года на автомобильной дороге Первомайское – месторождение «Окружное» в снежные лавины неоднократно попадала техника с людьми, в лавинных катастрофах погибло 3 человека.

Суммарная протяженность завалов на автодороге в многоснежные годы

доходит до 1500 м при их высоте 10 и более м. На рис. 5 показаны масштабы лавинных завалов.

В 1992 году на автодороге Тымовское – Александровск-Сахалинский в окрестностях п. Арково лавиной был завален автомобиль с людьми, протяженность завала на автомобильной дороге составляла около 80 м. К счастью, обошлось без человеческих жертв.



Рис. 5. Лавинный завал на автодороге с. Первомайское – месторождение «Окружное».

При незначительной протяженности лавиноопасных участков на автомобильной дороге Ильинский – Бошняково в лавинные завалы в разные периоды попадали 4 единицы техники.

На автодороге Южно-Сахалинск – Холмск лавинные катастрофы отмечались четыре раза, из них дважды у с. Бамбучек, где погибло 2 человека (см. табл. 2).

Курильские острова

Лавинному воздействию на о-ве Итуруп подвержена автодорога Курильск-Буревестник (участок 12), где нами выделено 6 лавиноопасных участков общей протяженностью 1100 м. На полотне этой автодороги лавины сходят с крутых уступов средних морских террас вдоль берегов озер Малое (с. Пионеры, рис. 6) и Благодатное; в устьевых частях рек Куйбышевка и Рыбацкая со склонов левого и правого бортов указанных рек соответственно; также со склонов г. Перевальная в районе перевала Упорный. Относительная высота склонов на указанных участках не превышает 50 м, однако, при благоприятных условиях здесь могут формироваться лавины объемом до 5000 м³.



Рис. 6. Осовный склон морской аккумулятивной террасы на берегу оз. Малого (о. Итуруп).



Рис. 7. Осовный склон морской аккумулятивной террасы севернее р. Белкина на берегу Южно-Курильского пролива (о. Кунашир). Фото В.И. Окопного.

На о-ве Кунашир автодорога Южно-Курильск-Головнино (участок 13) лавиноопасна на 3 участках. Здесь на полотне автодороги лавины сходят с крутых уступов морских террас на побережье бухты Южно-Курильской (севернее устья р. Лесной) и Южно-Курильского пролива (севернее устья р. Белкина, рис. 7), на третьем участке – со склонов г. Отдельной по левому борту р. Лесной. Общая протяженность лавиноопасных участков составляет около 700 м, а максимальный объем лавин может достигать 5000 м³.

Автомобильные дороги на островах Итуруп и Кунашир подвержены лавинным процессам с конца декабря до середины апреля.

Ввиду отсутствия регулярных наблюдений на островах сведения об ущербах отсутствуют.

Высокая лавинная опасность территории Сахалинской области никак не соотносится с современным состоянием снеголавинной службы Сахалингидромета.

Если до середины девяностых годов прошлого столетия только при Сахалингидромете, в отдельные периоды снеголавинные наблюдения осуществлялись на 8 станциях (Александровск-Сахалинский, Северо-Курильск, Первомайск, Углегорск, Сахалин, Перевал, Холмск, Невельск), а также «Чамгинской снеголавинной экспедицией». Помимо подразделений гидрометеослужбы изучением лавин занимались лавинно-обвальная группа (ЛОГ) Сахалинского отделения ДВЖД и научно-исследовательская лаборатория лавин Новосибирского института инженеров железнодорожного транспорта. До середины девяностых годов на лавиноопасных участках производился профилактический спуск лавин, с середины шестидесятых до середины семидесятых годов на Сахалине активно строились противолавинные сооружения для защиты от лавин населенных пунктов, лечебно-профилактических учреждений, автомобильных и железных дорог.

То в настоящее время снеголавинное обслуживание на территории области осуществляет единственное специализированное подразделение при Сахалингидромете, базирующееся в областном центре и, естественно, исполнить возложенные на нее функции в полном объеме не в состоянии.

Построенные ранее защитные сооружения практически повсеместно разрушены.

При таком состоянии дел в одном из самых лавиноопасных регионов России неминуема череда крупных лавинных катастроф.

Выводы

1. Лавинному воздействию подвержены железные дороги на протяжении 180 км и автомобильные дороги на протяжении до 200 км.
2. Наиболее лавиноопасными являются транспортные магистрали, проходящие вдоль побережья Татарского пролива и залива Терпения и пересекающие Восточно-Сахалинские горы.
3. Лавинообразование вдоль транспортных магистралей, пролегающих вдоль побережья Сахалина, приурочено преимущественно к древним абразионным уступам и имеет следующие особенности:

- в подавляющем большинстве случаев лавины со склонов абразионных уступов сходят по слабовыраженным эрозионным врезам, их объем, как правило, не превышает 1000 м^3 ;
 - при сильных снегопадах и благоприятном ветровом режиме линия отрыва захватывает несколько лавиносборов, ее протяженность нередко составляет 100 и более метров, максимальные же объемы лавин в таких случаях могут достигать 10000 м^3 ;
 - на участках, осложненных оползневыми процессами, при сильных продолжительных снегопадах первые лавины небольшого объема довольно часто формируются в нижней части склонов на крутых головных частях оползней, а затем по оползневым ложбинам (мульдам) сходят лавины с верхней части склона объемом до 5000 м^3 .
4. На транспортных магистралях лавинные процессы приводят к катастрофам с человеческими жертвами. Снежными лавинами наносится существенный материальный ущерб.

ИЗУЧЕНИЕ ФАКТИЧЕСКИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАВИН НА о. САХАЛИН (1983-2015 гг.)

При решении прикладных задач по разработке мероприятий противолавинной защиты одной из важнейших задач является определение динамических характеристик лавин, от которых зависит воздействие лавины на объекты и сооружения. Так, давление лавины на препятствие определяет уязвимость объекта, а дальность выброса лавины ограничивает нижнюю часть лавиноопасной зоны. Таким образом, изучение динамических характеристик лавин является одной из важнейших задач лавиноведения.

Фактических данных о динамических характеристиках лавин на о. Сахалин немного, что обусловлено главным образом сложностью их определения (например, измерение скорости и давления лавины на препятствие). В большинстве случаев описание лавин производилось уже после их схода, поэтому из динамических характеристик фиксировалась только их дальность выброса.

Большая часть наблюдений за динамическими характеристиками лавин проводилась в районе Чамгинского перевала (Восточно-Сахалинские горы). Также наблюдения проводились на г. Джамбул (Мицульский хребет), Сусунайском хребте, а также на морских террасах западного и восточного побережий острова.

В работе приводятся фактические значения динамических характеристик лавин разных генетических классов, сходявших на о. Сахалин за период с 1983 по 2014 гг. В период с 1983 по 1996 гг. динамические характеристики лавин фиксировались специалистами Сахалинского управления гидрометеослужбы (Казаков Н.А., Древило Н.И., Древило М.С., Лалетин О.В. и др.), с 1996 по 2002 гг. лабораторией экзогенных процессов СО МАНПО (Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В., Жируев С.П., Древило М.С., Окопный В.И.), а начиная с 2002 г. и по настоящее время – сотрудниками Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института ДВО РАН и АНО НИЦ «Геодинамика».

Генетические классы лавин

Значения динамических характеристик лавин разных генетических классов существенно различаются, что необходимо учитывать при оценке лавинной опасности территории.

Скорости и дальности выброса лавин смешанного снега достигают гораздо больших значений, чем, к примеру, мокрых лавин (класса весеннего снеготаяния) или нового снега.

Лавины о. Сахалин по генезису разделяют на три класса [Казаков и др., 2008]:

- **лавины нового снега** (свежевыпавшего и метелевого): образуются из сухого снега при его быстром накоплении за счет большой скорости прироста массы снега во время снегопада или метели при незначительном пределе прочности на сдвиг в основании свежееотложенного снега; как правило, движутся по слою старого снега;
- **лавины смешанного снега** образуются из сухого снега (старого снега) или смешанного снега (сухого старого и нового снега; сухого и влажного снега; сухого и мокрого снега), в котором вследствие процессов метаморфизма произошли преобразования структуры и текстуры снежных слоев и сформировались лавиноопасные слои; обычно формируются под воздействием дополнительных причин, в роли которых выступают снегопады, метели, оттепели и антропогенные причины; обладают наибольшими скоростями, объемом и разрушительной силой и наиболее опасны для объектов капитального строительства;
- **лавины весеннего снеготаяния** (инсоляционные и адвекционные): образуются при ослаблении связей между кристаллами снега в верхней части снежной толщи в результате воздействия на снежный покров солнечной радиации и (или) адвективных масс воздуха в период весеннего снеготаяния или при оттепели.

Скорость лавины

Фактические данные о скоростях лавин, сходявших из лотковых лавиносборов, расположенных в Восточно-Сахалинских горах (бассейн руч. Хребтовый) приведены в таблице 1. Очевидно, что скорости лавин смешанного снега превосходят скорости лавин мокрого снега (класса весеннего снеготаяния).

Таблица №1

Фактическая средняя скорость движения лотковых лавин.

Лавиносбор	Превышение лавиносбора м	Средний уклон лавиносбора, град.	Генетический класс лавины	Проложение лавиносбора, м	Объем лавины, тыс. куб. м	Фактическая скорость лавины, м/с
№109	280	38	весеннего снеготаяния (мокрого снега)	357	0,22	9,0
№108	290	35	смешанного снега (перекристаллизованного и мокрого снега)	417	0,30	22,0-25,0
№109	320	38		410	0,35	22,0-25,0
№112	130	42		155	0,12	17,0-19,0
№118	100	31		165	1,90	11,8
№125	210	38	смешанного снега (с преобладанием перекристаллизованного снега)	308	1,20	21,0

Дальность выброса лавины

Дальность выброса лавин определена для более чем 300 лавин, из которых 250 лавин сошло в Восточно-Сахалинских горах.

Некоторые данные о дальностях выброса лавин о. Сахалин приведены в таблице №2.

Таблица №2

Фактическая дальность выброса лотковых лавин разных генетических классов.

Лавиносбор	Превышение, м	Уклон, град.		Генетический класс лавины	Объем лавины, тыс. куб. м	Фактическая дальность выброса лавины, м
		Средний	В зоне отложений			
Восточно-Сахалинские горы, бассейны руч. Хребтовый, р. Скалистая						
№108-1	250	33	6	весеннего снеготаяния (мокрого снега)	0,1	390
№109	220	36	5		0,3	300
№213	104	40	-		0,15	110
№109	320	38	5	смешанного снега (перекристаллизованного и мокрого снега)	0,3	406
№112	130	37	4		0,1	170
№118	100	31	6		1,9	165
№204	490	35	-		1,7	290
№207	430	40	-		6	505
№96	215	36	5	смешанного снега (перекристаллизованного и свежевыпавшего снега)	3,5	500
№59	400	25	16		61	570
№108	250	33	6		0,03	40
№108	850	33	8		1400	3800
№174	536	25	14		205	1150
№55	230	34	1	нового снега (свежевыпавшего)	-	482
№106	130	41	7		0,04	150
№106-2	130	41	7		0,05	150
№106-3	131	41	7		0,025	180
№108-3	430	37	6		-	570
№109	220	36	5		0,1	300
№111	210	38	7		0,6	270
№128-1	200	37	3		0,4	270
№182	150	31	-		0,2	270
Сусунайский хребет						
бассейн р. Скальная	460	16	10	смешанного снега (перекристаллизованного и свежевыпавшего снега)	160	1330
бассейн р. Уюновка	670	15	6		500	2500
бассейн р. Перевальная	440	23	13		75	1050
Мицульский хребет, г. Джамбул						
№2	205	33	8	смешанного снега (перекристаллизованного и свежевыпавшего)	1,5	320

Наибольшие дальности выброса наблюдаются у лавин смешанного снега. Так, например, зарегистрированная дальность выброса лавины смешанного снега (перекристаллизованного и мокрого) на 1/3 больше дальности выброса лавины мокрого снега, сошедшей в том же лавиносборе (Восточно-Сахалинские горы, бассейн руч. Хребтовый, лавиносбор №109) (табл. 3).

Таблица №3

Дальность выброса лавин разных генетических классов
(Восточно-Сахалинские горы, бассейн руч. Хребтовый, лавиносбор №109).

Генетический класс лавины	Объем лавины, тыс. м ³	Дальность выброса лавины, м
весеннего снеготаяния (мокрого снега)	0,30	300
смешанного снега (перекристаллизованного и мокрого снега)	0,30	406
нового снега (свежевыпавшего)	0,10	300

Дальность выброса самой большой лавины из зарегистрированных на о. Сахалин (объем 1,4 млн. м³ составила 3800 м, причем более 3100 м лавина прошла по руслу ручья с уклоном менее 16° (Чамгинский перевал, руч. Хребтовый). Эта лавина относится к генетическому классу лавин смешанного снега.

Влияние объема лавины на значение дальности выброса у лавин нового снега не существенно. На о. Сахалин при разных значениях объемов лавин нового снега значения дальности выброса были одинаковыми. Зафиксирован ряд случаев схода лавин в одних и тех же лавиносборах, когда при значениях объемов, отличающихся на порядок, дальность выброса была одинакова (табл. 4). Дальность выброса лавин нового снега в большей степени зависит от уклонов лавиносбора на разных отрезках пути.

Таблица №4

Фактические значения объемов и дальности выброса лавин нового снега в одних и тех же лавиносборах (Восточно-Сахалинские горы, Чамгинский перевал).

№№ лавиносбора	Объем лавины, м ³	Дальность выброса лавины, м
49	800	187
	3000	187
	7800	187
63	250	190
	900	190
	3000	190
112	420	255
	1500	255
	4000	255
114	300	182
	1000	182
	4000	182

В 2012 г. сотрудниками лаборатории лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института ДВО РАН под руководством к.г.-м.н. Н.А. Казакова проводились измерения динамических характеристик лавин в лавиносборе, представленном оползневой мульдой шириной 135 м, осложненной уступом в нижней трети склона (восточное побережье о. Сахалин, 178 км автодороги Южно-Сахалинск – Оха, Макаровский район). Скорость лавины, сошедшей из верхней части лавиносбора (относительная высота линии отрыва 124 м), составила 16,8 м/с; скорость лавины, сошедшей с нижней ступени этого же лавиносбора (относительная высота 46 м), составляла 11,7 м/с (табл. 5). Лавины относились к генетическому классу лавин смешанного снега (перекристаллизованного и свежавыпавшего снега).

Таблица №5

Динамические характеристики лавин, сошедших на 178 км автодороги
Южно-Сахалинск – Оха.

Превышение линии отрыва лавины, м	Средний уклон лавиносбора, град.	Дальность выброса лавины, м	Скорость лавины, м/с	Макс. высота фронта лавины, м
124	39	265	16.8	8.0
46	39	70	11.7	2.0

Динамические характеристики осовов, вызванных обрушением снежных карнизов

В феврале 2012 г. были проведены работы по измерению скорости движения обломков снежных карнизов, а также лавин, вызванных их обрушением (табл. 6).

Таблица №6

Характеристики движения обломков снежных карнизов, а также вызванных их обрушением лавин (морская терраса, 153 км автодороги Невельск – Томари – аэропорт Шахтерский, западное побережье Южного Сахалина).

Относительная высота склона, м	Фактическая дальность выброса, м	Фактическая скорость, м/с	Фактическая макс. высота фронта лавины, м	Фактический объем лавины, м ³
<i>Характеристики движения обломков снежных карнизов</i>				
80	150	8,1	-	-
80	150	9,2	-	-
80	150	11,5	-	-
<i>Характеристики движения лавин, вызванных обрушением карниза</i>				
79	151	8,2	2,0	75,0
79	151	11,6	2,0	200,0
61	117	9,6	4,5	800,0
71	136	12,5	4,0	400,0
46	70	11,7	2,0	-

Работы проводились на морской террасе, расположенной на 153 км автодороги Невельск – Томари - аэропорт Шахтерский, в 17 км к югу от п. Ильинский (западное побережье Южного Сахалина). Средний уклон зоны транзита лавин составляет здесь 38° , относительная высота склона – 100 м.

Средние скорости движения обломков снежных карнизов составляли от 8,1 до 11,5 м/с. В четырех случаях обрушение обломка карниза вызывало сход небольших лавин объемом от 75 до 800 м³. Средние скорости лавин составляли от 8,2 до 12,5 м/с при относительной высоте склона 80 м, длине пути лавины менее 100 м и небольших объемах лавин. Фактическая дальность выброса обломков составляла 150 м (достигли автодорожного полотна).

Выводы

За период с 1983 по 2015 г. зафиксированы динамические характеристики более чем 300 лавин, сходявших в Восточно-Сахалинских горах, Сусунайском хребте, Мицульском хребте, а также с уступов морских террас на западном и восточном побережьях острова.

Наибольших скоростей достигают лавины смешанного снега и лавины перекристаллизованного снега, а наибольших дальностей выброса – лавины смешанного снега и лавины перекристаллизованного снега, наименьших – лавины мокрого снега.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СНЕЖНЫХ ЛАВИН В ЛЕСУ

Лес традиционно считается фактором, препятствующим развитию лавинных процессов, и рассматривается как один из лучших способов защиты от лавин [Holer, 2003]. Безусловно, наличие леса на крутых склонах существенно снижает интенсивность лавинообразования, но не может полностью предотвратить его вероятность. Влияние леса на лавинные процессы и условия схода лавин редкой повторяемости, сформировавшихся выше границы леса, достаточно хорошо изучены [Божинский, Лосев, 1987; Власов и др., 1980; Володичева, 1971a]. В то же время практически не исследована проблема отрыва лавин среди леса. Ее изучение представляется особенно важным при разработке противолавинных мероприятий для лесистых низкогорий и среднегорий, в частности, на территории Сахалинской области.

Условия отрыва лавин среди леса

Условия формирования и динамику лавин мы рассматриваем как единый процесс формирования снежной толщи в лавиносборе, прохождения ею цикла метаморфических преобразований, отрыва лавины под воздействием эндогенных и экзогенных факторов, ее движение, остановку и образование лавинного снежника. Интервал абсолютных высот, в котором развиваются лавинные процессы на Сахалине, начинается от уровня моря и достигает гребней водоразделов (0-1600 м). В зонах отрыва лавин лавиносборы часто покрыты густым каменноберезовым лесом с примесью пихты и мелколистного клена (до отметок 800-850 м), площадь проективного покрытия которого достигает 80% (рис. 1), а расстояние между древесными стволами составляет 1-3 м. Высотную зону 800-1100 м занимают каменноберезовые леса, а выше (1000-1100 м) – кедровый стланик. Подлесок повсюду представлен кедровым стлаником и ягодными кустарниками. На Южном Сахалине ниже 800 м в подлеске почти повсеместно преобладает Курильский бамбук.

В период формирования снежной толщи (декабрь-апрель) на Сахалине сходят лавины смешанного генезиса объемом более 50000 м³ из лавиносборов, в которых зоны отрыва лавин покрыты смешанным или каменноберезовым лесом с подлеском из кедрового стланика, курильского бамбука, ягодных кустарников или

высокотравья (см. рис. 1). В зонах транзита таких лавиносборов лес отсутствует, а подстилающая поверхность представлена кедровым стлаником, курильским бамбуком или высокотравьем.



Рис. 1. Восточно-Сахалинские горы, Чамгинский перевал: а – линия отрыва лавины в каменно-березовом лесу, высота стволов 6-12 м, расстояние между стволами 1-3 м. Фото В.И. Окопного; б – лес (береза лже-Эрмана) в зонах отрыва лавин.

В этот же период при сильных снегопадах (сумма осадков более 50 мм за двое суток) начинается массовое формирование лавин смешанного генезиса на крутых склонах (рис. 2), покрытых густым пихтово-еловым лесом. Отрыв таких лавин происходит на склонах крутизной 40-45° среди этого леса (площадь проективного покрытия 100%, расстояние между древесными стволами 1-2 м).

Относительная высота отрыва лавин от 20 до 100 м, дальность их выброса – от 50 до 200 м, объем – 100-500 м³. Скорости лавин невелики, что в сочетании с малыми объемами и незначительной длиной пути не приводит к уничтожению или к серьезным повреждениям леса в зоне их транзита. Лавинные отложения формируются в днищах речных долин и распадков. Отрыв лавин большого объема (более 100 тыс. м³) происходит, как правило, в гольцовой зоне на отметках выше 900-1000 м (верхняя граница леса), где подстилающая поверхность покрыта кедровым стлаником.



Рис. 2. Южный Сахалин. Пихтово-еловый лес на склоне крутизной 42°. На таких склонах происходит отрыв лавин небольшого объема.

Таким образом, очевидно, что представление о лесе как об одном из лучших способов противолавинной защиты [Holer, 2003] не бесспорно. На Сахалине лес на

склонах способствует только уменьшению частоты схода и объемов лавин, но не препятствует в полной мере их формированию.

Роль метаморфизма снежной толщи в отрыве лавин среди леса

Причина активного развития лавинных процессов в сильно залесенных (площадь проективного покрытия 70-100%) среднегорьях и низкогорьях Сахалина и, напротив, снижения частоты формирования лавин в гольцовых зонах заключается в преобладающей роли в лавинных процессах метаморфизма снежной толщи [Древило, 1988; Древило, 1999; Древило, 2001; Древило и др., 2000; Казаков, 2000в; Казаков, 2000а; Казаков, 2003; Казаков и др., 1999; Drevilo, 1996]. Решающее значение в образовании лавин имеют слои, состоящие из кристаллов гранной, полускелетной и скелетной форм.

При отсутствии оттепелей слой свежеснегавшего снега достигает полускелетной-скелетной стадии через 25-35 суток. Радиус ребра основания кристалла к этому времени увеличивается до 1,5-2,2 мм. В слое формируется волокнистая текстура. Через 40-50 суток коэффициент вторичного расслоения снежной толщи [Древило, 2001; Казаков, 2000а; Казаков и др., 1999] составляет 0,92-0,97, коэффициент перекристаллизации – 0,34-0,75. Такие характеристики снежная толща имеет в лавиносборах до высот 900-1050 м (верхняя граница каменноберезового леса с кедровым стлаником в подлеске). В высотной зоне 1000-1200 м (кедровый стланик) в результате ветрового воздействия формируется толща плотного (до 0,4-0,5 г/см³) метелевого снега. Скорость процессов метаморфизма в ней сильно замедлена. Как правило, скелетные формы здесь образуются редко (обычно к марту-апрелю). В гольцовой зоне (выше 1200 м) снежная толща в ноябре-марте представлена метелевым и гранным снегом (радиус ребра основания кристалла не более 1,5 см). Эта толща устойчива. В указанной высотной зоне формируются лавины сравнительно небольшого объема из первично-идиоморфного снега во время снегопадов и метелей и лавины редкой повторяемости большого объема (до 1 млн. м³ и более).

Полевые исследования строения снежного покрова и лавин, проводившиеся на Сахалине в 1976-2005 гг. показывают, что 96% лавин объемом более 10000 м³ – это лавины генетического класса перекристаллизации снежной толщи [Древило, 2001; Казаков, 2000б]. Объемы лавин из свежеснегавшего снега в 83% случаев не превышают 5000 м³ [Казаков, 2000в; Казаков, 2003; Казаков и др., 1999].

При наличии в снежной толще слоев, сложенных ледяными кристаллами стадии конструктивного метаморфизма, лавины сходят под влиянием незначительных внешних причин. В Восточно-Сахалинских горах, в Мицульском хребте и на юго-западном побережье Татарского пролива отмечались случаи массового схода лавин генетического класса перекристаллизации снежной толщи, внешней причиной которых служили слабые снегопады (5-10 мм осадков за сутки) во время низовой метели средней интенсивности (скорость ветра 10-15 м/с). Объем лавин достигал 6-10 тыс. м³. В то же время, при отсутствии в снежном покрове толщиной 70-180 см слоев снега, достигших стадии конструктивного метаморфизма, были ситуации, когда толща старого снега не вовлекалась в

лавинный процесс при выпадении 25-30 мм осадков за сутки: даже если плотность старого снега составляла 0,25-0,27 г/см³.

Результаты

Отрыв лавин среди леса можно квалифицировать как частое (постоянное) явление на всей территории Сахалина. Мы выделяем три типа условий отрыва таких лавин.

1. Отрыв лавин происходит в лавиносборах и лоткового типа, и на нерасчлененных склонах, где формируются осовы, среди каменноберезового и елово-каменноберезового леса (степень проективного покрытия 30-90%, высота деревьев 4-20 м, расстояние между стволами 2-5 м). В интервале абсолютных высот до 800-850 м такие лавиносборы в зоне отрыва лавин покрыты лесом, и только в 100-300 м ниже нее (в зоне высоких скоростей лавин) лавинный лоток (или склон с осовами) лишен древесной растительности (см. рис. 1а и 2). В таких лавиносборах лавины объемом от 1000 до 300 тыс. м³ формируются ежегодно, до 5 раз в течение зимы. В Восточно-Сахалинских и Западно-Сахалинских горах (Средний Сахалин) количество лавиносборов, в которых зоны отрыва лавин покрыты лесом, достигает 50% их общего числа. Характерная для района стратиграфическая колонка линии отрыва такой лавины приведена на рис. 3.

2. Отрыв лавин объемом от 100 до 500 м³ с дальностью выброса до 200 м происходит на склонах крутизной 35-45° среди пихтово-елового леса (площадь проективного покрытия 100%, расстояние между древесными стволами 1-2 м). Средняя частота формирования лавин в густом хвойном лесу на склонах, крутизна которых превышает 35° (см. рис. 1 б), составляет в Восточно-Сахалинских горах 1 раз в 3-5 лет, в Южной Части Сахалина 1 раз в 5-7 лет. На рис. 4 приведена характерная для района стратиграфическая колонка линии отрыва лавины, сошедшей со склона, покрытого пихтово-еловым лесом (площадь проективного покрытия 80-100%, расстояние между древесными стволами 0.5-2 м, высота стволов 12-18 м). Эти лавины представляют опасность для человека, находящегося вне помещения или транспортного средства.

3. Отрыв лавин объемом от 100 до 1000 м³ с дальностью выброса до 300 м происходит на склонах крутизной до 45° среди смешанного елово-березового леса (площадь проективного покрытия 100%, расстояние между древесными стволами 0.5-1.5 м). Такие лавины формируются в случае значительной перекристаллизации снежной толщи (если 30-50% ее сложены полускелетным и скелетным снегом) в сочетании с сильным снегопадом (более 50 мм осадков за сутки), обладают большими скоростями и способны причинить серьезный ущерб. Так, в январе 1985 г. лавина из метаморфизированного и свежевывавшего снега объемом 400 м³, сошедшая со склона горы Джамбул, поросшего густым смешанным лесом, разрушила шлакоблочное здание с бетонными перекрытиями, расположенное у подножия склона. В январе 1996 г. на автомобильной дороге с. Первомайское – Пиленгский перевал – п. Пограничное (Восточно-Сахалинские горы) в такой лавине погиб человек, вышедший из автомобиля на дорожное полотно.

Высота контакта, см	Структура и текстура слоя	Диаметр кристалла, мм	Плотность снега, г/см ³
			0,35
60		3,0	0,26
20		5,0	
0			
↑			
Дата схода: 22.04.1984			
Уклон в зоне отрыва лавины, град.: 43		Адрес: Восточно-Сахалинские горы, бассейн р. Чамгу	
Экспозиция: ВСВ		Абсолютная высота линии отрыва, м: 720	
Длина линии отрыва, м: 220		Объем лавины, м ³ : 40000	
Дальность выброса лавины, м: 1100		Морфологический тип лавины: лотковая	
Тип леса: каменноберезовый (береза лже-Эрмана) с примесью ели мелкосеменной		Генетический тип лавины: трансформации снежной толщи	
Расстояние между деревьями, м: 2-6		Сомкнутость крон: 0,8	
Высота стволов, м: 12-18		Диаметр древесного ствола, м: 0,15-0,30	
		Погода: ясно, температура воздуха 2°C	
Условные обозначения			
1. Тип и класс форм ледяного кристалла (по Коломыву)		2. Текстура вторично-идиоморфного снега	
● ●	1.1. Тип снега: первично-идиоморфный		столбчатая
	режационно-полиэдрический		волокнистая
1.2. Тип снега: вторично-идиоморфный		3. Состояние снега	
	скелетный плоский		Влажный снег
	скелетный столбчатый	4. Подстилающая поверхность	
			кедровый стланик
			поверхность скопления лавины

Рис. 3. Стратиграфическая колонка линии отрыва лавины, характерная для Восточно-Сахалинских и Западно-Сахалинских гор.

Высота контакта, см	Структура и текстура слоя	Диаметр кристалла, мм	Плотность снега, г/см ³
98	X		0,17
62	■	1,3	0,18
61	■	0,7	0,30
60	□	2,0	0,22
0	~		

↑

Дата схода: 13.02.1990		Адрес: Восточно-Сахалинские горы, бассейн р. Чамгу	
Уклон в зоне отрыва лавины, град.: 44		Абсолютная высота линии отрыва, м 500	
Экспозиция: З		Объем лавины, м ³ : 200	
Длина линии отрыва, м: 15		Морфологический тип лавины: ОСОБ	
Дальность выброса лавины, м: 75		Генетический тип лавины: трансформации снежной толщи	
Тип леса: пихтово-еловый		Сомкнутость крон: 1,0	
Расстояние между деревьями, м: 0,5-1,0		Диаметр древесного ствола, м: 0,20	
Высота стволов, м: 12-18		Погода: снегопад (сумма осадков - 60 мм), температура воздуха - 6 °С	
1.1. Первично-идиоморфный			
X	свежевыпавший	///	твердый
1.2. Вторично-идиоморфный			
■	гранный столбчатый	~	мягкий
3. Текстура вторично-идиоморфного снега			
■	полускелетный столбчатый	///	монокристаллическая
□	скелетный столбчатый	~	столбчатая
4. Подстилающая поверхность			
волнистая			
4. Подстилающая поверхность			
кедровый стланик			
поверхность скольжения лавины			
↑			

Рис. 4. Стратиграфическая колонка линии отрыва лавины, сошедшей со склона, покрытого пихтово-еловым лесом.

Выводы

1. Вопреки существующему мнению о защитной роли древесной растительности [Holer, 2003] лес (даже густой хвойный) играет в лавинном процессе регулирующую роль: с одной стороны, удерживает снежные массы на склоне, с другой стороны, способствует увеличению скорости метаморфизма снежного покрова [Древило, 1988; Древило, 1999; Древило, 2001; Древило и др., 2000; Казаков, 2000а; Казаков, 2003; Казаков и др., 1999; Коломыц, 1976; Drevilo, 1996], что в свою очередь приводит к формированию неустойчивой снежной толщи и увеличению дальности выброса и энергии лавин.

2. Густой лес на склоне не всегда служит препятствием для отрыва лавин. Лес в зонах отрыва лавин способствует снижению частоты формирования и уменьшению объемов, но не способен полностью исключить возможность отрыва на склонах крутизной более 35° . Такие лавины имеют небольшие объемы, но представляют серьезную опасность для людей и сооружений легкого типа.

3. Отрыв лавин на склонах крутизной более 35° (как правило, более 40°), покрытых густым лесом, возможен при достижении снежной толщей (или слоем) стадии конструктивного метаморфизма в сочетании со снегопадом, при повышении температуры до положительных значений и при формировании в верхней части разреза слоя влажного (мокрого) снега, при антропогенном воздействии на снежный пласт на склоне, при работе тяжелой техники у подножия склона, вызывающей его вибрацию.

4. При разработке мероприятий противолавинной защиты необходимо учитывать тот факт, что даже густой хвойный лес, высаженный в лавиносборе, где уклоны превышают 35° , не всегда может служить абсолютной защитой от лавин.

ГЛАВА II СНЕГ



ТЕКСТУРА СНЕЖНОЙ ТОЛЩИ КАК ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ ФРАКТАЛ

Одно из интереснейших явлений, наблюдающихся в снежной толще, достигшей стадии конструктивного метаморфизма ледяных кристаллов, – это возникновение упорядоченной пространственно-неоднородной структуры снежного слоя, отображаемой в его текстуре [Казаков, 2000б] и образованной ее вертикальными элементами (кластерами ледяных кристаллов, достигшими стадии конструктивного метаморфизма) и системой пор. Процесс, приводящий к образованию пространственно-неоднородной структуры снежной толщи, направлен на переход системы из хаотического состояния в упорядоченное, и в итоге приводит к изменению физических характеристик снежной толщи.

Среди важнейших задач, которые необходимо решать при прогнозе снежных лавин, их искусственном спуске и расчетах несущей прочности снежной толщи, следует назвать определение ее устойчивости по отношению к внешнему воздействию. При этом для оценки состояния снежного слоя недостаточно знать только такие его характеристики, как структура, плотность [Болов, 1984] и твердость, поскольку устойчивость снежной толщи к внешнему воздействию в значительной мере определяется пространственной организацией сообщества ледяных кристаллов (т.е. текстурой), а слои с одинаковой плотностью и структурой, но разной текстурой (рис. 1 и 2) могут иметь разную степень устойчивости по отношению к внешнему воздействию. Уровень пространственной организации снежного слоя (т.е. его текстура в количественном выражении) может выступать в роли одного из параметров, определяющих степень устойчивости снежной толщи – как параметра, обуславливающего единое информационное поле внутри снежного слоя.

Отсутствие методологии количественного описания текстуры снежного слоя позволяет использовать характеристики текстуры только при качественном описании состояния снежной толщи, не давая возможности перейти к методам расчета параметров текстуры снежной толщи и использованию характеристик текстуры при математическом моделировании снежной толщи.

Однако даже проблеме качественного описания текстуры снежного покрова уделяется малое внимание. Так, попытка качественного описания текстуры снежной толщи, основанная на выделении визуально определяемых трех типов

текстуры, предпринята в [Древило, 1981]. В [Болов, 1984] текстура косвенно учтена через соотношение таких параметров, как диаметр ледяного кристалла и плотность снежного слоя (производная от структуры и текстуры). В [Войтковский, 1989] текстура в сущности учитывается через показатель рыхлости структуры снежного покрова. Однако, в этой работе (так же, как и в [Божинский, Лосев, 1987]) понятие текстура снежной толщи подменяется понятием структура снега. Но указанные характеристики снежной толщи (при всей их взаимосвязанности) имеют разный физический смысл [Гляциологический словарь, 1984]. Наиболее близко к разработке методов количественной оценки текстуры снежной толщи подошел автор работ [Коломыц, 1976; Коломыц, 1977].

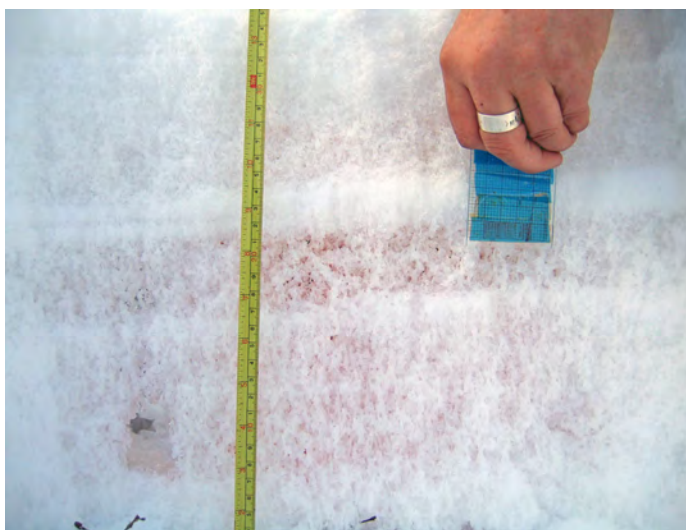


Рис. 1. Текстура снежных слоев, выполненных ледяными кристаллами стадии конструктивного метаморфизма.

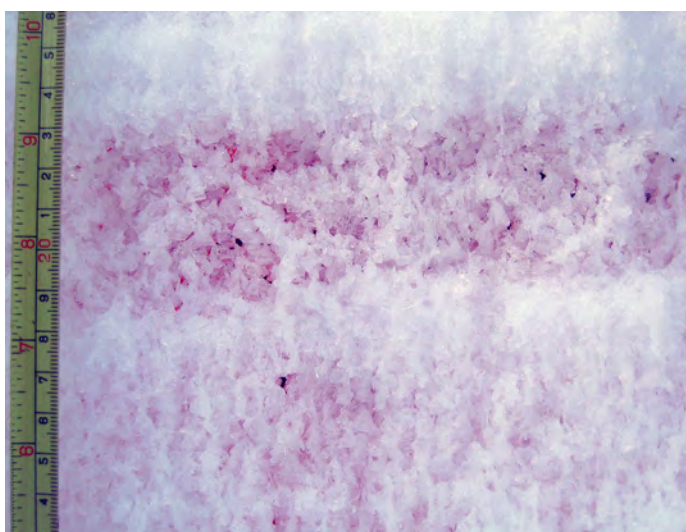


Рис. 2. Текстура снежной толщи. Пространственная решетка, составленная группами кластеров I - III порядков, выполненных кристаллами полускелетного и скелетного классов форм (может быть описана как губка Серпинского). В целом приходится констатировать, что количественные методы описания текстуры снежной толщи не разработаны.

Постановка задачи

Текстуру снежного слоя можно количественно описать, представляя ее как пространственно-неоднородную упорядоченную структуру, образованную вертикальными элементами текстуры [Казаков, 1998; Казаков, 2000г] – кластерами ледяных кристаллов (рис. 1-4), достигших стадии конструктивного метаморфизма [Коломыц, 1976; Коломыц, 1977] и имеющих дендритовую текстуру.

Результаты полевых исследований снежного покрова показывают, что в процессе его метаморфизма происходит как усложнение структуры снежного слоя, так и упорядочивание текстуры последнего: хаотичное расположение ледяных кристаллов в нем сменяется упорядоченным. При этом хаотическая ориентировка осей кристаллов в снежном слое становится преимущественно вертикальной.

Состояние и степень упорядоченности подсистемы снежная толща (отображаемое в текстуре) на разных стадиях ее развития можно описать, применяя синергетический подход к описанию сложных систем. В качестве критерия, определяющего степень упорядоченности такой системы, может быть использовано понятие синергетической информации [Накен, 1983].

Эта часть информации относится к параметрам порядка и отображает коллективные свойства системы.

Для расчета количества информации, необходимого и достаточного для формирования упорядоченной структуры снежной толщи, мы предлагаем использовать модификации теоремы Т. Бейеса [Казаков, 2000б; Мандельброт, 2002], на основе которой рассчитывается вероятность вертикальной ориентировки кластера ледяных кристаллов в снежном слое:

$$P_{(\mu/Y)} = K P_{(Y/\mu)} P_{(\mu)}, \quad (1)$$



Рис. 3. Вертикальный элемент текстуры снежного слоя, выполненный ледяными кристаллами полускелетного и скелетного классов форм.



Рис. 4. Кластер ледяных кристаллов (вертикальный элемент текстуры снежного слоя), выполненный кристаллами скелетного (кластер I порядка) и полускелетного (кластер II порядка) классов форм.

где μ – измеряемая величина; k – константа, получаемая из условий нормировки; Y – число измерений; $P_{(\mu/Y)}$ – параметр вероятности вертикальной ориентировки кластеров ледяных кристаллов: апостериорная вероятность вертикальной ориентировки кластеров ледяных кристаллов в слое; $P_{(\mu)}$ – априорная вероятность вертикальной ориентировки кластеров ледяных кристаллов в слое; $P_{(Y/\mu)}$ – заданная вероятность вертикальной ориентировки кластеров ледяных кристаллов в слое.

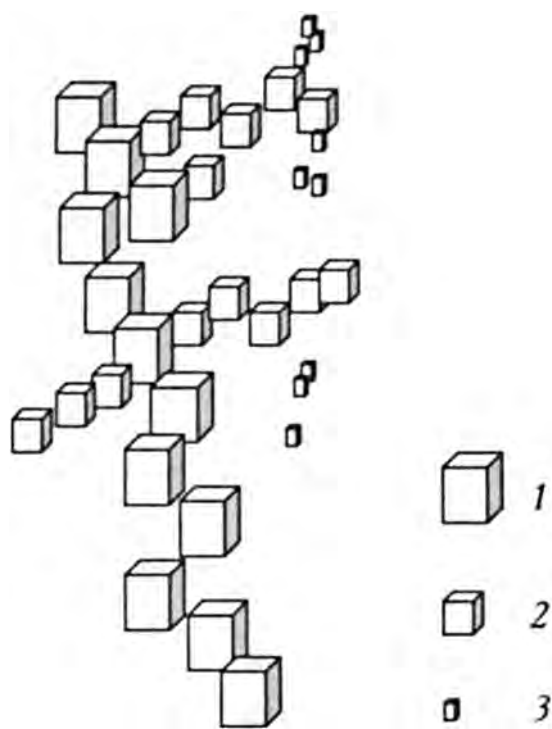


Рис. 5. Идеальный кластер ледяных кристаллов в снежной толще: 1 – кристалл I порядка; 2 – кристалл II порядка; 3 – кристалл III порядка).

того, эти зоны термодинамически неустойчивы [Федер, 1991]. В результате кластеры I порядка соединяются между собой кластерами II и III порядка, образуя пространственную решетку (рис. 5). Эта пространственная решетка также может быть описана как детерминированный фрактал [Казаков, 2001б].

Решение: расчет параметров текстуры снежного слоя

Количественно степень упорядоченности текстуры снежной толщи автор предлагает выражать через фрактальную размерность D [Мандельброт, 2002; Федер, 1991] множества ледяных кристаллов в слое, используя модификацию известного выражения [Федер, 1991]:

$$D = \ln n(\mathcal{E}) / \ln \mathcal{E}, \quad (2)$$

где $n(\mathcal{E})$ – размер кластера ледяных кристаллов n -порядка, $n = 1, 2, 3$; $\mathcal{E}$ – минимальное число кластеров ледяных кристаллов в N -объеме снежного слоя.

В реальном снежном покрове идеальный цикл метаморфических преобразований структуры ледяных кристаллов и текстуры слоя отличается достаточной вариабельностью (вследствие стохастичности внешних факторов). Однако совокупность вероятных состояний снежного слоя (фазовая траектория системы) в определенной степени детерминирована и может рассматриваться как аттрактор. Детерминированность вероятных состояний снежного слоя позволяет математически описать текстуру снежного слоя на разных стадиях его метаморфизма, используя понятие фрактальной размерности [Вишик, 1998; Налимов, 1979]. Ледяные кристаллы в кластерах соединяются вершинами и ребрами, на которых максимальны напряжение электрического поля кристалла [Вернадский, 1988; Казаков, 1997; Федер, 1991; Шаскольская, 1983] и концентрация водяного пара [Древило, 1981; Налимов, 1979; Федер, 1991]. Кроме

Использование понятия фрактальной размерности снежного слоя позволяет рассчитать параметры его текстуры для разных типов снега (табл. 1). В снежном слое, в котором кластеры III порядка выполнены столбчатыми кристаллами гранной стадии роста, чаще всего имеющими тригональную сингонию (ромбическая подгруппа) [Коломыц, 1977], кластер III порядка может быть описан как кривая Коха с фрактальной размерностью $D = \ln 4 / \ln 3 = 1,2618$. Фрактальная размерность кластеров II и I порядков, выполненных полускелетными кристаллами тригональной подгруппы и кластеров I порядка, выполненных скелетными столбчатыми кристаллами тригональной подгруппы, также может быть описана как кривая Коха (см. рис. 3 и 4) с фрактальной размерностью 1,2618. Кластер I порядка, выполненный скелетными столбчатыми кристаллами моноклинной подгруппы, может иметь размерность Звезды Давида $D = \ln 6 / \ln 3 = 1,6309$. Пространственную решетку, составленную из групп кластеров I-III порядков в снежном слое можно описать как губку Серпинского (см. рис. 2) с фрактальной размерностью $D = \ln 3 / \ln 2 = 1,5850$.

Таблица №1

Фрактальная размерность текстуры снежного слоя.

Генерация кластера ледяных кристаллов (порядок)	Класс форм ледяных кристаллов (по [Коломыц, 1976; Коломыц, 1977])	Подгруппа симметрии ледяных кристаллов (по [Коломыц, 1976; Коломыц, 1977])	Радиус ребра базисного основания ледяного кристалла, мм	Фрактальная размерность кластера ледяных кристаллов D
III	гранный, столбчатый	ромбическая	1,0	1,2618
III	гранный, столбчатый	тригональная	0,8	1,2618
I	полускелетный, столбчатый	тригональная	1,2	1,2618
II	полускелетный, столбчатый	моноклинная	1,1	1,6309
I	скелетный, столбчатый	триклинная	2,5	1,5850

Обсуждение результатов

Результаты проводившихся автором полевых наблюдений за стратиграфией снежной толщи в естественном залегании (Хибины, 1985-1988 гг.; Сахалин, 1978-1985 и 1989-1999 гг.) показывают, что определенные типы текстуры снежного слоя соответствуют определенным классам форм ледяных кристаллов, преобладающим в снежном слое на данной стадии его метаморфизма. Так, текстура столбчатого и волокнистого типов формируется в слоях, выполненных кристаллами полускелетного и скелетного классов форм. В слоях, выполненных кристаллами гранного класса форм, формируется монолитная и (реже) столбчатая текстура.

Значение параметра вероятности вертикальной ориентировки кластеров ледяных кристаллов $P_{(\mu/Y)}$, рассчитанное по выражению (1), составляет 0,7-0,9. В слоях, выполненных кристаллами гранного класса форм (при монолитной текстуре),

этот параметр не превышает 0,65. Расчеты параметров упорядоченности текстуры снежного слоя проводились на основе выражения (1).

Любой снежный слой, достигший стадии конструктивного метаморфизма, выполнен ледяными кристаллами разных стадий роста. Однако, как показывают наблюдения, вертикальные элементы текстуры выполнены кристаллами наиболее высокой в слое стадии развития. Кроме того, эти кристаллы имеют максимальные в слое размеры. Боковые ветви кластера (имеющего дендритовую структуру) представлены кристаллами низших стадий роста и с меньшим радиусом ребра базисного основания (см. рис. 3 и 4).

По мере развития снежного слоя и увеличения числа кристаллов наиболее высокой для слоя стадии их развития текстура слоя меняется в результате перераспределения в снежном горизонте вещества – без изменения массы слоя. По этой причине слой с большими размерами пор и более рыхлой текстурой может иметь такую же плотность, как и слой с более массивной текстурой.

В Восточно-Сахалинских горах в подошве снежной толщи мы неоднократно наблюдали слои с волокнистой текстурой, выполненные кристаллами скелетного класса форм (радиус базисного основания кристалла 3,5-4,8 мм) плотностью 0,28-0,30 г/см³. При этом значение монокристинного коэффициента [Коломыц, 1977] составляло 0,8-0,9 г/см³. Такую же плотность имели вышележащие слои полускелетного снега со столбчатой текстурой (радиус базисного основания кристалла 2,0-2,2 мм) при значении монокристинного коэффициента 0,6-0,7. Однако существенно различались значения временного сопротивления разрыву, которое в слое скелетного снега составляло 10-50 кг/м², а в слое полускелетного снега – 300-500 кг/м². В то же время слой скелетных кристаллов с волокнистой текстурой (радиус базисного основания кристалла 3,0-3,5 мм) может иметь плотность 0,35 г/см³ и сопротивление разрыву 200-400 кг/м². Приведенный пример показывает определенную взаимосвязь между физико-механическими характеристиками снежного слоя и его текстурой.

По нашим наблюдениям, в слое с более развитой текстурой число и размер кристаллов в кластере I порядка больше, чем в слое, выполненном кристаллами низших стадий роста (см. рис. 2-4). Как отмечено в [Коломыц, 1976; Коломыц, 1977] и как показывают результаты наших наблюдений, на ребрах кристаллов и на боковых ребрах кластеров происходит рост вторичных кристаллов низших стадий развития (гранных), образующих кластеры II и затем III порядка.

Выводы

Подход к описанию текстуры снежной толщи через понятие фрактальной размерности позволяет на основе математического моделирования кластеров ледяных кристаллов количественно описывать текстуру снежной толщи, дополняя тем самым методы кристалломорфологического анализа структуры снежной толщи. В свою очередь количественное описание текстуры снежной толщи дополняет методы исследования динамики физико-механических характеристик снежной толщи в различных ландшафтах.

ЛАНДШАФТНО-ИНДИКАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА КАК ОСНОВА ДЛЯ РАСЧЕТА МАКСИМАЛЬНЫХ СНЕГОЗАПАСОВ

Снежный покров является одним из основных источников питания рек Сахалина. Однако, несмотря на важнейшую роль снега в питании рек острова, закономерности его распределения на Сахалине изучены недостаточно. Большая меридиональная протяженность острова, развитая гидрографическая сеть, значительная глубина расчленения рельефа, отсутствие регулярных наблюдений в горах затрудняют оценку снегонакопления.

Постановка проблемы

Вопросами формирования и распределения снежного покрова и максимальных снегозапасов на Сахалине занимался ряд исследователей [Грепачевский, 1975; Древило, 1988; Древило, 1999; Древило, 2001]. Существует карта распределения средних максимальных снегозапасов на Сахалине [Грепачевский, 1975]. Разработана карта снежности о. Сахалин [Древило, 2001]. В настоящее время оценка максимальных снегозапасов производится методами, указанными в работах [Грепачевский, 1975; Руководство по гидрологическим..., 1989].

Для низкогорий Сахалина с его резко расчлененным рельефом, мозаичными ландшафтами применение вышеприведенных методов для расчетов запаса воды в снежном покрове дает существенную погрешность, которая сказывается на качестве гидрологических прогнозов. Изменчивость высоты и плотности снежного покрова в пределах одного речного бассейна может достигать 50% и более процентов. Недоучет данных факторов существенно влияет на точность расчетов объемов снегонакопления. На характеристики половодья помимо суммарного запаса воды в снежном покрове значительную роль оказывает скорость снеготаяния, которая зависит не только от погодных условий, но и от структуры и текстуры снежного покрова. Поэтому необходимы ландшафтные снегосъемки с определением структуры и текстуры снежной толщи, которая зависит от вмещающего ее ландшафта. В опубликованных в последние годы работах [Древило, 1988; Древило, 1999; Древило, 2001; Древило и др., 2000.], предложен подход к рассмотрению снежного покрова с позиций ландшафтного снеговедения. Взгляд на снежный покров и вмещающий его

ландшафт как на целостную систему, позволяет подойти к рассмотрению проблемы учета и распределения, максимальных снегозапасов комплексно.

Методологические принципы построения карт интенсивности проявления нивальных процессов

Проблема оценки распределения снежного покрова в горах является достаточно сложной [Дальний Восток..., 1961; Древило, 2001; Лазарева, 1975; Руководство по гидрологическим..., 1989]. Наиболее объективным методом для оценки объемов снегонакопления является детальная снегомерная съемка, но она может быть выполнена только на небольших участках, поскольку требует значительных трудозатрат непосредственно в полевых условиях. Методика расчетов снегозапасов, основанная на использовании данных метеорологических станций, не может дать реальной картины распределения снегозапасов, так как, сеть станций охватывает, в основном, равнинную территорию. В горных районах острова наблюдательная сеть отсутствует. Согласно теории ландшафтно-индикационного снеговедения, структура снежного покрова является сезонным эквивалентом ландшафта. Следовательно, при создании карты максимальных снегозапасов необходимо учитывать ландшафтную структуру территории. Для решения задачи по расчету характеристик запасов воды в снежном покрове аналитическим способом нами были разработаны методологические принципы построения среднемасштабных карт природных нивальных комплексов для малоизученных районов среднегорья и низкогорья [Древило и др., 2000; Коломыц, 1976]. При расчете количественных характеристик нивальных комплексов в горах использовались значения величины твердых осадков и характеристики снежного покрова, рассчитанные на основе анализа материалов наблюдений за осадками и снежным покровом, проводившихся в горах Сахалинской области в 1961-1970 гг. и в 1980-2003 гг. [Монастырский, 1971; Научно-прикладной справочник..., 1990]. Методика определения максимальных снегозапасов, основана на ландшафтно-индикационных свойствах снежного покрова, что позволяет оценить запас воды в снежном покрове по данным пространственного распределения типов нивальных комплексов в ландшафтах, как горных, так и равнинных территорий.

Общий методологический принцип, изложенный выше, положен в основу методики построения и разработки содержания карт нивальных комплексов. Нивальный процесс, в нашем понимании, включает совокупность факторов, способствующих развитию процесса формирования, накопления и метаморфизма снежного покрова, в результате которых формируется снежная толща, обладающая определенными структурно-прочностными свойствами. Таким образом, нивальный комплекс – природный комплекс, в котором развиваются нивальные процессы; включает в себя снежный покров и вмещающий ландшафт, характеристики которого оказывают воздействие на нивальные процессы и формируют снежный покров присущий данному нивальному комплексу.

Алгоритм выделения нивальных комплексов низкого ранга выглядит следующим образом:

1. Выделяются виды нивальных комплексов;

2. Строятся типовые стратиграфические разрезы снежной толщи для каждого вида нивального комплекса;

3. Разрезы снежной толщи строятся для трех типов зим: средне-, много- и малоснежной;

4. Определение запаса воды в снежном покрове для неизученной территории проводится по сопоставлению нивального комплекса с эталонным комплексом-аналогом, для которого характеристики снежного покрова рассчитаны и подтверждены.

Региональные факторы – определяют принадлежность исследуемой территории как к одной физико-географической стране, так и нахождение ее в одном климатическом поясе и как следствие воздействия совокупности этих факторов – ежегодное формирование снежного покрова и принадлежность его к одному типу и варианту мегаструктуры [Коломыц, 1976]. На основании воздействия этих факторов мы выделяем КЛАСС нивального комплекса.

Геоморфологические и климатические факторы, учитывающие морфологическую структуру. Особенности радиационного баланса распределения температуры и осадков позволяют выделить территории, на которых воздействие этих факторов различно. На этом таксономическом уровне мы выделяем ПОДКЛАСС нивального комплекса.

Метеорологические факторы в одном климатического района определяют условия развития нивальных процессов в горах, на равнинах и в долинах рек. На этом таксономическом уровне мы выделяем ТИП нивального комплекса по средней температуре января и преобладающему направлению ветра и рассчитываем сумму твердых осадков.

На уровне ПОДТИПа нивального комплекса нами выделяются морфоскульптурные и почвенно-геологические характеристики рельефа, генетические типы подстилающих пород, типы почв, определяются продолжительность залегания, даты установления и разрушения снежного покрова.

Ландшафтные факторы являются определяющими в создании условий развития нивальных комплексов в пределах участков территории, занятых одним типом растительных сообществ (ландшафтных единиц), что позволяет выделить ВИД нивального комплекса [Древило, 2001]. В каждом типе ландшафта (растительного сообщества), формируется снежная толща с определенными свойствами, которые зависят от ее кристалломорфологического состояния (структуры и текстуры) снежной толщи. В пределах исследуемой территории, нами выделено 10 видов нивальных комплексов. Для характеристики структуры снега используется комплекс коэффициентов – перекристаллизации (K_{Π}), вторичного расслоения ($K_{\text{вп}}$) и вводимый нами коэффициент стратиграфии ($K_{\text{с}}$).

Сумма осадков за зимний сезон определялась по данным метеостанции, которая была выбрана нами, как репрезентативная для участка, а также с использованием материалов наблюдений над снежным покровом в горах.

Тип растительного сообщества (ландшафта) влияет и такую характеристику, как коэффициент снегопереноса [Лазарева, 1975; Шарапов, 1984].

Коэффициенты снегопереноса для снегосборных бассейнов различных по характеру растительности, нами определялись по методике С.Н. Шарапова [Шарапов, 1984]. Для нивальных комплексов, темнохвойных лесов, введен коэффициент снегопереноса равный 0.20.

Используя положения теории кристалломорфологических преобразований снежной толщи для определенных ландшафтов в зависимости от степени их гидроморфности, можно прогнозировать скорость формирования слоев с вторично-идиоморфной структурой в течение зимнего сезона, зная распространение характерных ландшафтов в бассейне реки.

Таким образом, последовательный анализ факторов развития нивальных процессов, позволяет рассчитать запас воды в снежном покрове без проведения значительных полевых работ, необходимых для расчета водозапаса по стандартным методикам.

Результаты

Для апробации методики был выбран бассейн р. Рогатка, как характерный для Южного Сахалина. По бассейну имеется ряд наблюдений за снежным покровом, позволяющий сравнить точность определения снегозапасов по различным методикам. В исследуемом районе в течение зимнего сезона проводились стратиграфические наблюдения за изменением состояния и процессами, происходящими в снежной толще, мощностью снежного покрова, запасом воды в снегу. Пункты наблюдений за снежным покровом закладывались в основных типах местоположений природных комплексов (долинных, склоновых, приводораздельных, водораздельных), в пределах западных склонов Сусунайского хребта. Количество стационарных пунктов наблюдений – 9. Каждой площадке бралось 20 измерений высоты снега, измерялся снегозапас, проводились стратиграфические наблюдения. Были составлены описания стационарных площадок. В период максимальных снегозапасов были выполнены снегомерные работы в различных нивальных комплексах в долине р. Рогатка (табл. 1). Количество снегопунктов – 24, там же обозначены снегомерные площадки Сахалинского УГМС (рис. 1).

Рельеф в бассейне сильно расчлененный, с острыми гребнями, глубоко врезанными долинами ручьев, с наличием эрозионно-нивальных борозд. Крутизна склонов изменяется от 10-15° в нижней части бассейна, до 25-45° в средней и верхней частях. В распределении растительности и почвенного покрова на горных склонах четко проявляется высотная поясность. Залесенность бассейна составляет 75%. Зима характеризуется длительным и устойчивым снежным покровом, продолжительность залегания которого – 180-190 дней. Наибольших значений средняя толщина снежного покрова обычно достигает в третьей декаде марта и колеблется пределах 100-250 см. На ее величину существенное влияние оказывают следующие факторы: тип ландшафта, экспозиция и крутизна склона.

Расчет максимальных снегозапасов в бассейне реки проводился несколькими способами.

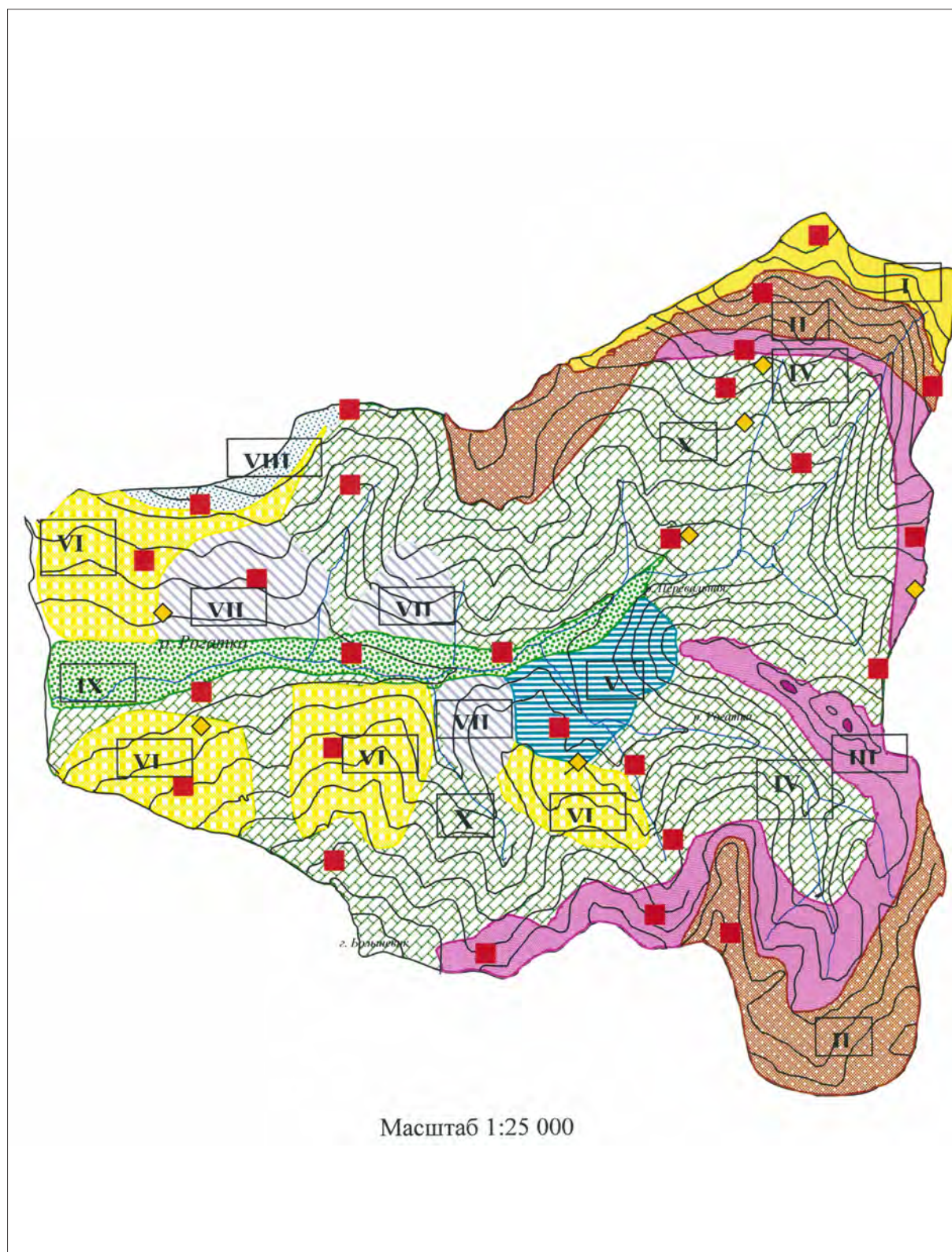


Рис. 1. Карта нивальных комплексов в бассейне р. Рогатка.
Условные обозначения в табл. 1.

Таблица №1

Характеристики снежного покрова в нивальных комплексах бассейна р. Рогатка.

Вид нивального комплекса	Индекс	Интервал высот, м	Средняя за зиму толщина снежного покрова, см	Максимальная толщина, см	Средняя плотность снежного покрова, в период максимальных снегозапасов г/см ³	Коэффициент переэкстатизации, K_n снежного покрова	Коэффициент вторичного расчленения, $K_{вп}$ снежного покрова	Коэффициент стратиграфии, K_c снежного покрова	Средний максимальный водоизнос снежного покрова, мм
Среднеметаморфизованная сильно уплотненная снежная толща гольцовой зоны	I	800-1000	100	250	0,40	0,70	0,50	0,10	400,0
Умеренно метаморфизованная сильно уплотненная снежная толща приводораздельных разреженных каменнообрезовых лесов на крутых склонах	II	600-800	150	350	0,35	0,53	0,70	0,25	525,0
Среднеметаморфизованная среднеуплотненная снежная толща разреженных смешанных лесов на крутых склонах	III	400-600	150	300	0,32	0,66	0,70	0,25	480,0
Умеренно метаморфизованная среднеуплотненная снежная толща смешанных редколесий на водоразделах	IV	300-400	120	250	0,32	0,66	0,30	0,60	384,0
Сильно метаморфизованная слабо уплотненная снежная толща темнохвойных лесов на крутых склонах	V	200-400	120	250	0,29	1,00	0,30	0,60	348,0
Умеренно метаморфизованная среднеуплотненная снежная толща вторичных лиственных лесов на крутых склонах	VI	200-400	110	250	0,32	0,82	0,70	0,50	352,0
Слабо метаморфизованная сильно уплотненная снежная толща молодых посадок по вырубкам и гарям	VII	200-400	100	250	0,32	0,80	0,30	0,60	320,0

Продолжение таблицы №1

Вид нивального комплекса	Индекс	Интервал высот, м	Средняя за зиму толщина снежного покрова, см	Максимальная толщина, см	Средняя плотность снежного покрова, в период максимальных снегозапасов г/см³	Коэффициент перекристаллизации, K _n	Коэффициент вторичного распыления, K _{вп} снежного покрова	Коэффициент стратиграфии, K _c снежного покрова	Средний максимальный водозапас снежного покрова, мм
Умеренно метаморфизированная средне уплотненная снежная толща смешанных редколесий на водоразделах	VIII	200-400	120	250	0,34	0,67	0,80	0,50	408,0
Сильно метаморфизированная слабо уплотненная снежная толща темнохвойных лесов в днище речных долин	IX	100-300	100	200	0,28	1,00	0,70	0,60	280,0
Умеренно метаморфизированная средне уплотненная снежная толща широколиственных пойменных лесов	X	100-200	120	250	0,32	0,75	0,50	0,30	384,0
		Снегомерные площадки СахУГМС							
		Ландшафтно-стратиграфические площадки СФ ДВГИ ДВО РАН							

Были использованы стандартные методики расчета снеготоплив [Руководство по гидрологическим..., 1989] и методика предлагаемая нами. Ввиду отсутствия наблюдений за снежным покровом и осадками на высотах более 700 м, для расчета был использован вертикальный градиент снеготоплив принятый 60 мм/100 м согласно [Грепачевский, 1975]. При этом использовались среднесезонные данные наблюдений за осадками и снежным покровом в горах. Расчет, проведенный по данным среднесезонных наблюдений за осадками и снежным покровом в горах, дал наименьшие значения запаса воды в снежном покрове. Среднее рассчитанное значение запас воды в снежном покрове в бассейне реки Рогатка, составило 349 мм. Во втором случае в расчетах были использован вертикальный градиент снеготоплив. Были вычислены значения снеготоплив в конкретных высотных зонах, после чего по тем же формулам (1) и (2), рассчитан средний снеготоплив по бассейну. Расчет запасов воды в снежном покрове на основе вертикального градиента снеготоплив, дал наибольшие значения. Средний запас воды в снежном покрове составил 437 мм. При расчете снеготоплива по предлагаемой методике были выделены нивальные комплексы в бассейне реки, рассчитана их площадь. Построена карта «Нивальные комплексы в бассейне р. Рогатка» (рис. 1), по принципам изложенным выше. Получены величины снеготоплив в каждом нивальном комплексе и в целом по бассейну. Величина снеготоплива по бассейну составила 393 мм.

Для сравнения рассчитанных значений в марте 2003 года были проведены снеготопливки и стратиграфические наблюдения в снежной толще в бассейне р. Рогатка во всех видах нивальных комплексов. Анализ полученного материала и материалов наблюдений прошлых лет позволили выделить типичные колонки снежной толщи (рис. 2) в период максимального снеготоплива (март) для среднеснежной зимы. Реальное многообразие спектров стратиграфических колонок снежной толщи вызывается как сложностью зимних условий, так и мозаичностью ландшафтной структуры территории о. Сахалин.

Для каждого вида нивального комплекса были определены: ρ ср. плотность (объемный вес) снежного покрова, средняя толщина снежного покрова на снеготопливке h ср. Для вычисления среднего запаса воды в снежном покрове в нивальном комплексе применялась формула [Руководство по гидрологическим..., 1989]:

$$W_{ср.} = W * f_1, \quad (1)$$

где W – средний снеготоплив по снеготопливной площадке. мм;

f_1 – площадь нивального комплекса, км²;

$W_{ср.}$ – средний снеготоплив в нивальном комплексе.

Средний запас воды по бассейну реки был рассчитан как среднее взвешенное из запасов в отдельных нивальных комплексах с учетом площади занятой этими комплексами по формуле [Руководство по гидрологическим..., 1989]:

$$W_{ср} = (W_1 f_1 + W_2 f_2 + W_3 f_3 + \dots + W_n f_n) / F, \quad (2)$$

где $W_{ср}$ – средний запас воды в бассейне, мм;

f_1, f_2 – площади отдельных комплексов, км²;

W_1, W_2 – средние запасы воды в соответствующих комплексах.

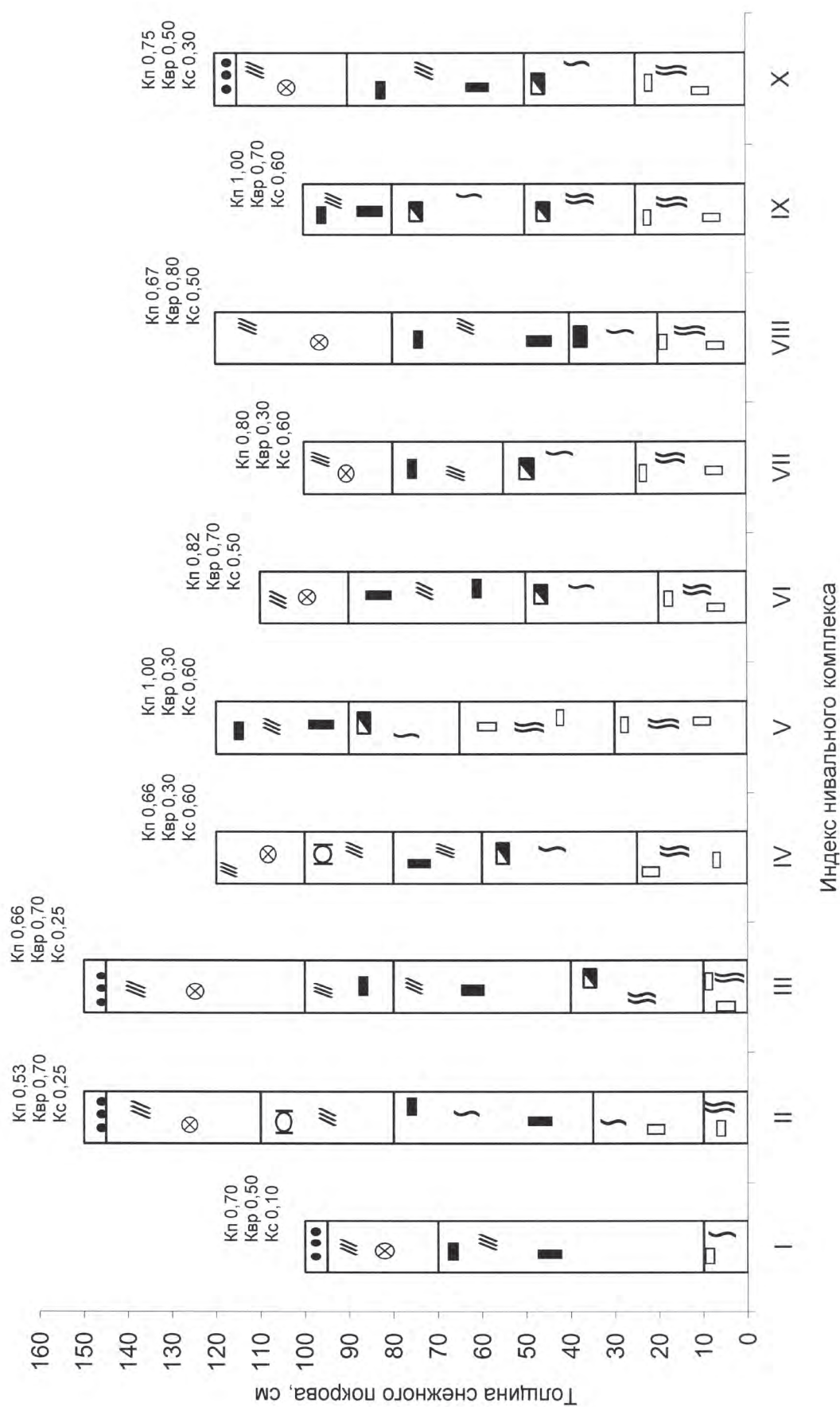


Рис. 2. Типовые стратиграфические колонки снежной толщи для среднеснежной зимы в период максимальных снегозапасов.

Условные обозначения к рис. 2. Тип снега и класс формы ледяного кристалла (по Э.Г. Коломыцу).

Первично-идиоморфный снег		Текстура вторично-идиоморфного снега	
	сублимационно-полиэдрический		монолитная
	корразионно-полиэдрический		
	режеляционно-полиэдрический		столбчатая
Вторично-идиоморфный снег			
	гранный плоский		волокнистая
	гранный столбчатый		
	полускелетный плоский	Коэффициенты снежной толщи	
	полускелетный столбчатый	K_n	коэффициент перекристаллизации
	скелетный плоский	$K_{вр}$	коэффициент вторичного расслоения
	скелетный столбчатый	K_c	коэффициент структуры

Расчетные данные и типовые стратиграфические разрезы снежной толщи для каждого из выделенных нивальных комплексов позволили получить характеристики запасов воды в снежном покрове для среднеснежной зимы. Характеристики приведены в легенде карты «Нивальные комплексы в бассейне р. Рогатка». Анализ полевых материалов показывает, что ландшафтная пестрота территории существенно влияет на характер распределения снежного покрова. Выявлено, что основные снегозапасы формируются не в высотной зоне наибольшего выпадения твердых осадков, а в зоне, где тип ландшафта способствует их накоплению – это зона средних частей склонов с уклонами до 15°, поросших каменной березой с незначительной сомкнутостью крон. Небольшая сомкнутость крон способствует отложению наибольшего количества твердых осадков, а значительное количество деревьев ослабляет снегоперенос, который в более открытых местах, особенно на пригребневых участках склонов существенно перераспределяет снежный покров. В этих нивальных комплексах средний водозапас достигает 540 мм. Следующая зона максимального снегонакопления находится на подветренных склонах, на их вогнутых формах. Наибольшее его количество по натурным наблюдениям отлагается в эрозионных врезках.

Наименьший снегозапас отмечен на крутых (крутизна более 35°) склонах северной экспозиции в пригребневой части, покрытых пихтово-еловыми зеленомошными лесами. Разница между запасом воды в снежном покрове в одной высотной зоне между каменно-березовым лесом и запасом воды в пихтово-еловом лесу может составлять 50%. Полученные расчетные и наблюдаемые данные сведены в таблицу №1.

Обсуждение результатов

Сравнение результатов расчетов максимальных снегозапасов, проведенных по различным методикам показало что, наименьший снегозапас, был получен при

использовании среднесноголетних данных. В связи с отсутствием наблюдений в высотных зонах более 700 м, ряд был продолжен с использованием вертикального градиента снегозапасов – 60 мм/100 м согласно [Трепачевский, 1975]. Расхождение с фактическими снегозапасами составило 11%. Отчасти это объясняется, тем, что снегомерные площадки располагали без учета ландшафтного строения территории.

Наибольшее значения снегозапаса было получено при расчете с использованием вертикального градиента снегозапасов – 60 мм/100 м 437 мм. Разница между наблюдаемым снегозапасом и расчетным составила 12%.

Таким образом, при расчетах с использованием вертикального градиента снегозапасов происходит линейное увеличение расчетных значений снегозапасов с высотой. Такая зависимость не подтверждается фактическими наблюдениями. Более того, даже маршрутная снегосъемка с постепенным набором высоты дает значительный разброс значений снегозапаса. Следует отметить и тот факт, что, при расчетах с использованием вертикальным градиента снегозапасов на высотах более 600 м значительно завышаются значения снегозапаса по сравнению с фактически наблюдаемым. Это вызвано тем, что в этих высотных зонах происходит перераспределение снегозапасов, вызванное метелевым переносом снега.

Наименьшие расхождения между расчетным и наблюдаемым снегозапасом получены при расчете с применением ландшафтно-индикационных свойств снежного покрова. По расчетным данным снегозапас составил 393 мм. Расхождения в величинах составили 7 мм или 2%.

Для уменьшения величины погрешности необходимо увеличение числа снегомерных площадок в бассейне изучаемой реки. Площадки должны охватывать весь высотный диапазон. Например, в бассейне реки Рогатка необходимо закладывать не менее 20 снегомерных площадок, что весьма трудоемкое и затратное мероприятие.

Таким образом, наиболее рациональным способом расчета снегозапасов представляется методика, основанная на ландшафтно-индикационных свойствах снежного покрова, предложенная автором.

Заключение

На распределение снежного покрова в низкогорье и среднегорье основное влияние оказывает ландшафтная неоднородность (полиморфность) строения территории. Ландшафт накладывает свои черты на характер залегания снежного покрова и его внутренние свойства. Основные снегозапасы формируются не в зоне наибольшего выпадения твердых осадков, а в той зоне, где тип вмещающего снежный покров ландшафта способствует их накоплению. Так, на Южном и Центральном Сахалине, наибольших значений запасы воды в снежном покрове достигают в зоне средних частей склонов (высотная зона 600-800 м) с уклонами до 15°, поросших каменной березой. Следующая зона максимального снегонакопления находится на подветренных склонах, на их вогнутых формах. Наименьшие значения снегозапасов – на склонах северной экспозиции крутизной 35° и более градусов, в водораздельной их части покрытых пихтово-еловым зеленомошным лесом. Разница в снегозапасе между каменно-березовым лесом и пихтово-еловым лесом, находящимся в одной высотной зоне достигает 50%. Процессы

перекристаллизации снежного покрова влияют на динамику процессов весеннего снеготаяния. Наличие в снежной толще в период накопления максимальных снегозапасов слоев, выполненных скелетными классами форм кристаллов, и имеющих волокнистую текстуру приводит, к тому, что при дружной весне его разрушение будет проходить быстро, с интенсивным проникновением воды в грунт по крупным порам между кристаллами. Водоотдача такой снежной толщи будет максимальной, что приведет к подъему воды уже в начале половодья.

Если же в период накопления максимальных снегозапасов снежный покров состоит из кристаллов гранного и полускелетно класса форм с незначительной толщиной слоев, выполненных скелетными кристаллами, и имеет преимущественно монолитную текстуру, процесс снеготаяния при равных прочих условиях будет равномерным и не приведет к резкому подъему уровня воды в реках.

Предложенная методика позволяет рассчитывать характеристики снегозапасов в бассейнах малых рек для разных типов зим, что позволяет рассчитывать параметры весеннего половодья при минимальных полевых работах.

СНЕГОВАЯ НАГРУЗКА НА ПОВЕРХНОСТЬ ЗЕМЛИ: РАСЧЕТ, КАРТИРОВАНИЕ, УЩЕРБЫ

За длительный период своего развития (с 1933 г.) нормирование в области определения снеговых нагрузок в нашей стране претерпело существенные изменения. В настоящее время нормативные снеговые нагрузки в России определяются по представленной в [СП 20.13330.2011, 2011] (СП) карте снеговых нагрузок на 1 м² горизонтальной поверхности, рассчитанных по средним многолетним значениям максимальной толщины снежного покрова и средним значениям плотности.

Карта районирования территории по весу снегового покрова, представленная в СП имеет масштаб 1:17000000, который является недостаточным для определения конкретных значений снеговых нагрузок в населенных пунктах субъектов РФ.

СП в новой редакции представляет собой совокупность СНиПа в редакции от 2003 года и «Изменений» вышедших к нему. В СП сохранилось восемь снеговых районов, а так же значение величины снеговой нагрузки в них. Границы снеговых районов в картах СП, за небольшим исключением, совпадают с районами, выделенными в СНиП 2.01.07-85*.

Несмотря на то, что значения величины снеговых нагрузок в СП (повторяют значения нагрузок СНиП 2.01.07-85*) больше, чем в предыдущих, они все равно являются недостаточными, т.к. коэффициенты прочности, закладываемые в конструкцию, значительно уменьшились и не были компенсированы выросшими величинами снеговой нагрузки.

Стремление к упрощению нормативных параметров привело к тому, что при нормировании снеговых нагрузок в один снеговой район включены территории с весьма большим разбросом значений, что может быть оправдано лишь в случае широкого использования типовых строительных проектов. Однако при строительстве по индивидуальным проектам, что в последнее время получило широкое распространение, целесообразным представляется более индивидуальный подход к определению снеговых нагрузок, учитывающий конкретные условия региона, и создание региональных норм.

Для корректировки и дополнению положений СНиПа (СП) в некоторых субъектах РФ начаты работы по разработке и внедрению территориальных строительных норм (ТСН) по снеговым нагрузкам. Такие ТСН были разработаны,

для Республики Саха (Якутии) (1998 г.), Краснодарского Края (2002 г.), г. Москвы (2005 г.) и Удмуртской Республики (2006 г.), Сахалинской области (2009 г.).

Особое внимание в ТСН уделено не только составлению карт районирования территории по величине снеговой нагрузки, но и дополнению нормативных документов таблицами с расчетной величиной снеговой нагрузки для населенных пунктов, входящих в состав указанных республик и территорий, что отражает тенденции мировой практики. Повторяемость снеговых нагрузок принята в среднем один раз в 25 лет.

В связи с уменьшением сети гидрометеорологических станций и постов в России введение в нормативные документы конкретных значений расчетных снеговых нагрузок для населенных пунктов, где проводятся регулярные снегомерные наблюдения, помогает избежать возможной недооценки снеговой нагрузки при проектировании объектов строительства.

Мировая практика нормирования снеговых нагрузок

Развитие нормирования снеговых нагрузок в мире, так же, как и в нашей стране, происходило на основе материалов натурных наблюдений, метеоданных, анализа обрушений строительных конструкции, вызванных чрезмерными снегопадами, а также по мере исследований и развития методов расчета строительных конструкций [Филиппов и др., 2000].

Наиболее подробно вопрос расчета снеговых нагрузок за пределами нашей страны изучался в Канаде.

В настоящее время в Канаде нормирование снеговых нагрузок происходит по NBCC-2005 [National building code of Canada, 2008], за нормируемые снеговые нагрузки приняты значения годовых максимумов веса снегового покрова земли с интервалом повторяемости один раз в 50 лет. Перерасчет снеговой нагрузки на грунт из максимальной толщины снежного покрова осуществляется с использованием единой плотности снега на земле 12 lb/ft^3 ($\approx 200 \text{ кг/м}^3$) независимо от условий формирования снежного покрова. Окончательное значение снеговой нагрузки получается путем умножения нагрузки на коэффициенты, описывающие переход к нагрузке на кровлю, уклон кровли, воздействие ветра. Умножение на данные коэффициенты приводит к уменьшению величины нагрузки, однако если в районе строительства отмечались обрушения кровель, причиной которых являлось накопление снега, снижение нагрузки не допускается.

Расчет полного значения снеговой нагрузки на кровлю осуществляется путем умножения коэффициента влажности снега (табличное значение, изменяющееся в пределах от 1 до 1,25 в зависимости от категории) на сумму окончательного значения снеговой нагрузки (см. выше) и значения нагрузки от дождя, оцениваемое за период в 50 лет. Согласно NBCC значение нагрузки от дождя не должно превышать значение снеговой нагрузки.

Стандарт американского общества инженеров-строителей по нормированию снеговых нагрузок ASCE 7-10 [Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 2010] разработан на основе результатов исследований восьми уни-

верситетов, армейского инженерного корпуса исследования холодных районов, инженерной лаборатории и корпуса Аляски. Были использованы основные положения канадских норм.

В статистических анализах использованы годовые максимальные значения веса снегового покрова на поверхности земли. Для установления теоретического закона распределения годовых максимумов нагрузок был проведен подробный анализ информации по 204 станциям национальной метеослужбы, которые имели данные по высоте снежного покрова. Так же была проанализирована информация о высоте снега на 3300 дополнительных постах [O'Rourke M., 2007]. Для получения величины снеговой нагрузки на грунт высота снега умножается на коэффициент 0,279, который, по-существу, эквивалентен средней плотности снега. Вероятность повторения нагрузки принята один раз в 50 лет. Деление на снеговые районы на карте, представленной в стандарте ASCE 7-10, выполнено с градацией 5 lb/ft² (0,24 кПа).

Методика определения снеговой нагрузки на кровлю, принятая в этих нормах, принципиально не отличается от российской. Формула расчета полного значения снеговой нагрузки на кровлю в российском СП совпадает с представленной в ASCE 7-10.

В 1995 г. впервые для ряда европейских государств (Италия, Германия, Франция и др.) разработан Еврокод №1 по определению снеговых нагрузок [EN 1991-1-3, 2003].

Вес снегового покрова земли определяется по ежегодным значениям максимумов высоты и плотности снега с вероятностью превышения один раз в 50 лет. Для горных районов вводятся специальные поправки на высоту местности над уровнем моря. С целью повышения точности определения прогнозируемых значений, особенно редкой повторяемости, предлагается количество лет наблюдений принимать не менее 20. Для каждого из государств-членов европейского сообщества в Еврокоде даны карты значений веса снегового покрова на поверхность земли. В настоящее время в этих странах ведется работа по разработке единого районирования по весу снегового покрова. Для ряда стран снеговая нагрузка зависит от высоты рассматриваемой местности над уровнем моря. При определении веса снегового покрова на поверхность земли у большинства европейских стран плотность снега принята постоянной для всей территории. Имеются случаи (Франция) проведения границ снеговых районов по административному расположению округов. Уровень снеговой нагрузки имеет очень широкий диапазон – от 0,45 кПа во Франции до 14,2 кПа в Германии.

Расчет снеговой нагрузки в строительных нормах Японии – AIJ Recommendations for Loads on Buildings [<http://www.aij.or.jp/jpn/symposium/2006/loads/loads.htm>] мало отличается от описанного выше. Значение высоты снега на земле берется как максимально наблюдаемое за период в 100 лет, оцененное по метеорологическим данным.

Общие принципы получения величины снеговой нагрузки на грунт в мировой практике схожи с российскими. Основное отличие заключается в количестве ана-

лизируемых данных и периоде повторяемости максимальных значений снеговых нагрузок. Методика расчета снеговой нагрузки на кровлю имеет более серьезные различия, особенно в области расчета коэффициента перехода от нагрузки на грунт к нагрузке на горизонтальную проекцию покрытия.

Анализ разрушения кровель от недоучета величины снеговой нагрузки в Российской Федерации

Большая часть урбанизированной территории страны не рассчитана под реальную снеговую нагрузку. За последние пять лет было зафиксировано 129 случаев обрушения кровель, в том числе 45 случаев – кровель жилых домов. При обрушении кровель пострадало 43 человека, 10 человек погибло [Лобкина, 2012].

Зимой 2008-2009 года в Московской области (г. Старая Купавна) под весом снега обрушилась крыша строящегося корпуса чулочно-носочной фабрики на площади свыше 600 м². Обрушение кровли привело к разрушению строительных лесов, в результате чего погибло двое строителей.

В д. Федорово (Тверская область) в марте 2010 года произошло разрушение кровли заброшенного здания пристройки к автомобильной весовой. Погибло два человека. Кровля не выдержала тяжести накопившегося снега.

10.01.11 в Санкт-Петербурге в результате неправильно проводимых работ по расчистке плоской крыши от снега произошло обрушение 100 м² кровли спортивного комплекса им. Алексеева, два человека госпитализированы.

03.02.11 в г. Новосибирске в результате скопления снега произошло обрушение кровли арматурного цеха строительной компании «Дискус Плюс», площадь обрушения составила 300 м². В результате двое рабочих погибло, семь получило травмы различной степени тяжести.

3 февраля 2011 на складе стекла ОАО «Татстрой» (г. Казань, республика Татарстан) произошло обрушение металлической крыши на площади 700 м², в результате обрушения погиб один человек. На момент обрушения высота снега, скопившегося на крыше, составляла 60-80 см.

Обрушение навеса над крышей в начальной школе с. Мошенское (Новгородская область) произошло в конце февраля 2010 года. Навес был возведен над основной крышей здания послевоенной постройки для защиты ее от протекания, в результате накопления снега навес сложился на основную крышу.

Большое количество повреждений и разрушений кровель произошло в Сахалинской области в марте 2009 г.

В результате прохождения мощного циклона 13-17.03.09 за сутки (14.02.09) выпало 19 мм осадков и произошло частичное обрушение крыши здания общежития в с. Синегорск (юг Сахалина).

В этот же день обрушилась часть кровли слухового окна Синегорской участковой больницы. 19 марта из-за скопившегося снега обрушилась крыша общеобразовательной школы с. Пятиречье (рис. 1) Холмского района Сахалинской области.



Рис. 1. Обрушение крыши здания общеобразовательной школы в селе Пятиречье Сахалинской области. Фото с сайта <http://sakhvesti.ru/>.

Следом за первым подошел следующий циклон. 20-22.03.09 за сутки выпало более 20 мм осадков и произошло еще 2 обрушения кровель. Под тяжестью мокрого снега в поселке Вахрушев Поронайского района (центральная часть о. Сахалин) просела крыша жилого 18-квартирного дома, площадь проседания крыши составила 30 м². А в селе Синегорск частично обрушилась крыша дома сестринского ухода.

Последовавшие одно за другим обрушение кровель зданий на Сахалине говорит о том, что при нормировании снеговой нагрузки необходимо учитывать не только максимально возможное разовое значение веса снегового покрова, но и совокупную нагрузку, вызванную постепенным нагружением кровли при снегопадах, идущих друг за другом в короткий период времени.

Несколько обрушений кровель в г. Южно-Сахалинске (Сахалинская область), произошло в 2012 г., так, феврале был разрушен производственный ангар (рис. 2), площадь обрушения составила 312 м². Объем снега на кровле разрушенного участка был равен 219 м³. Нагрузка на кровлю составила – 2,9 кПа, при возможной нагрузке, рассчитанной для города в 6,0 кПа. Величина возможной снеговой нагрузки в [СП 20.13330.2011, 2011] для района города обозначена как 4,0 кПа. В марте произошло обрушение гаража правительства Сахалинской области, в результате которого были сильно повреждены 6 автомобилей. В обоих случаях снегопад, предшествующий обрушению, послужил триггерным механизмом.



Рис. 2. Обрушение крыши ангара в г. Южно-Сахалинск (Сахалинская область).

Большую ненадежность в отношении безопасности эксплуатации в зимнее время показали купольно-надувные конструкции, под которыми размещаются крытые катки, аттракционы и стадионы. Помимо того, что они не рассчитаны на длительное воздействие снеговых нагрузок (предполагается, что снег из-за формы конструкции должен сползать по полотну), они никак не защищены от возможного прорезания материала крыши снего-ледовой массой.

Частичное разрушение воздухоопорной конструкции ледового дворца «Кварц» произошло в г. Бор Нижегородской области (30.01.09). Причиной разрушения стало накопление льда и снега на кровле, в результате чего произошел разрыв внешней, а затем и внутренней оболочек кровли, и снежная масса обрушилась на лед дворца. Здание было построено в 2007 году.

Обрушение купола спортивно-оздоровительного комплекса произошло 20.12.2010 г. в Липецкой области (г. Липецк). Воздухоопорная конструкция не выдержала тяжести снега и льда. Жертв удалось избежать. Год постройки – 2007.

В г. Владикавказе из-за не прекращающихся в течение двух дней (12-13.04.11 г.) осадков (мокрый снег с дождем) обрушился купол городского Ледового дворца.

Возможность использования, в субъектах России, в зимнее время легко возводимых конструкций подобного плана должна быть дополнительно проверена, ведь в данном случае влияние снеговой нагрузки и соответственно ее величина будут значительно превышать все другие нагрузки, действующие на подобное сооружение.

Методика и результаты: расчет снеговой нагрузки на грунт

Анализ данных снегомерных работ, производимых на стационарных площадках наблюдений в течение длительного периода времени, позволяет увидеть изменение величины снеговой нагрузки на грунт, как в пространстве, так и во времени.

Построенные по результатам снегомерных работ графики изменения величины водозапаса иллюстрируют процесс постепенного накопления снега в течение зимнего сезона и процесс его стаивания весной. Реализация процесса изменения веса снегового покрова на поверхности земли в течение зимнего сезона, имеет вид несимметричных выпуклых кривых, весьма близких одна к другой.

Несмотря на то, что процесс накопления снега на поверхность земли происходит случайным образом, а изменение его веса происходит как в течение зимы, так и от зимы к зиме и во многом зависит от сложного комплекса климатических факторов, можно выделить основные закономерности процесса изменения величины водозапаса и определить период наибольших величин снеговых нагрузок.

В качестве примера рассчитаем величину снеговой нагрузки для одной площадки.

Имея ежегодные фактические данные о величине водозапаса, и используя гипотезу о равноправности или о независимости опытных данных, возможно рассчитать максимальную величину нагрузки на грунт [Грудев и др., 2007]. Для этого разложим ежегодные максимумы величины снеговой нагрузки в возрастающем порядке внутри интегральной вероятности ($0 \leq P \leq 1$), получим вероятностное распределение нагрузки по фактическим данным, где каждой опытной точке ΔP будет соответствовать полоса, а опытное значение будет относиться к середине этой полосы (рис. 3).

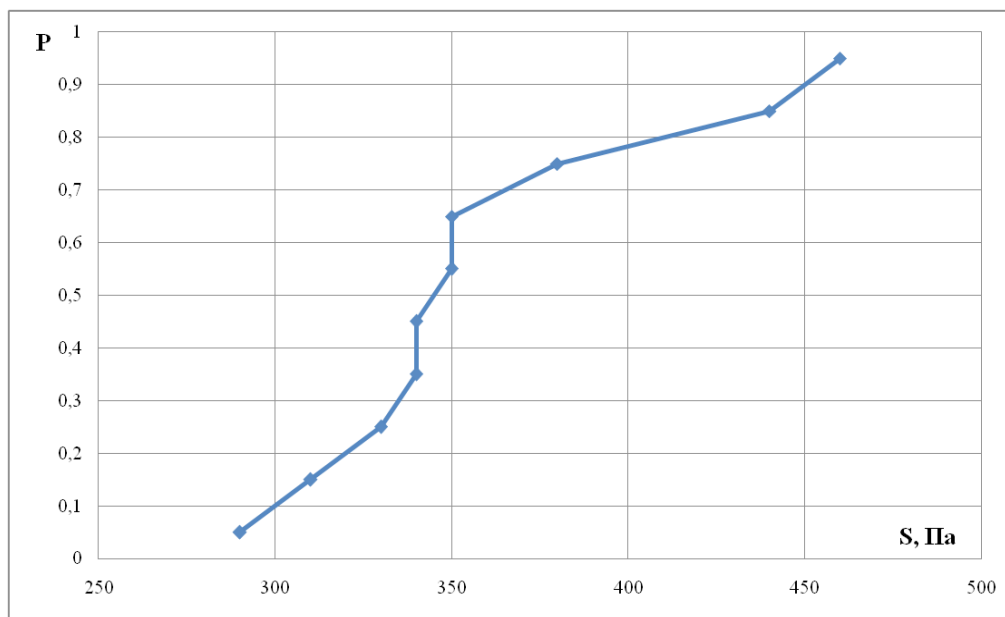


Рис. 3. Вероятностное распределение нагрузки на площадке рассмотренной в качестве примера, период наблюдения 10 лет.

Количество лет наблюдения на местности, для которой необходимо произвести расчет величины снеговой нагрузки должно быть не менее 20-25 лет.

При расчете снеговых нагрузок необходимо учитывать два основных принципа: конечность снеговой нагрузки и величина нормативного значения не должна зависеть от статистики малоснежных зим [Филиппов и др., 2000; Грудев и др., 2007]. В связи с этим для экстраполяции необходимо рассматривать только последние (максимальные) точки, в количестве не более 10. В большинстве случаев искомый результат можно получить по двум последним точкам. Так как интервал экстраполяции небольшой, можно воспользоваться линейной экстраполяцией.

На рассматриваемой площадке будет произведен расчет величины снеговой нагрузки (S) по последним четырем точкам, т.к. представленный период наблюдения составляет всего 10 лет ($K=4$).

Существует несколько способов линейной экстраполяции, автор воспользуется предложенной в [Грудев и др., 2007].

Через каждую пару отобранных точек (ij) проводим прямую до пересечения с $P=1$, точка пересечения дает значение:

$$S_{ij} = \frac{(j + 0,5) \cdot S_{N-i} - (i + 0,5) \cdot S_{N-j}}{j - i}, (j > i), (i = 0, \dots, K - 1; j = 1, \dots, K),$$

Из получившихся величин (табл. 1) выбираем наибольшую, это и будет значение снеговой нагрузки (S). Данный способ линейной экстраполяции, достаточно надежен, т.к. дает небольшой запас. На получившееся значение снеговой нагрузки необходимо ввести поправку, величина которой зависит от степени достоверности исходных опытных данных.

Таблица №1

Нормативное значение снеговой нагрузки
по рассматриваемой площадке, кПа (кгс/м²).

i	j			
	N-1	N-2	N-3	N-4
N	4,7 (470)	4,65 (465)	4,62 (462)	4,59 (459)
N-1	–	4,4 (440)	4,33 (433)	4,25 (425)
N-2	–	–	4,15 (415)	4,03 (403)
N-3	–	–	–	3,8 (380)

Принцип расчета кратковременной и длительной снеговой нагрузки мало отличается. При расчете кратковременной нагрузки берется максимум прироста величины водозапаса за снегопад, а не максимальный водозапас за зимний сезон.

В СП 20.13330.2011 не нормируется разделение снеговой нагрузки на две составляющие: длительную и кратковременную. Деление временных нагрузок на длительные и кратковременные характеризуется согласно п. 5.1 СП только продолжительностью их действия. Согласно п. 4.1 СП для снеговых нагрузок

устанавливаются два нормативных значения: пониженное, определяемое по п. 5.4 (з) и полное, согласно п. 5.5 (е).

Поскольку расчет по прочности ведется с учетом кратковременных нагрузок, то в основное сочетание в соответствии с п. 6.2 СП 20.13330.2011 снеговую нагрузку следует включать с полным нормативным значением.

В [Гляциологический словарь, 1984] говорится, что снеговые нагрузки могут быть длительными (в течение всей зимы) и кратковременными (после сильных метелей и интенсивных снегопадов). Однако, область использования данного разделения снеговых нагрузок не указывается.

По мнению автора, разделение снеговых нагрузок на две составляющие, имеет большое практическое значение, особенно при определении нагрузки на кровлю.

При длительной снеговой нагрузке происходит постепенное накопление снега на кровле. На количество снега накопленного на кровле здания или сооружения существенно влияют внешние факторы [Гордеев и др., 2007], которые не воздействуют на снеговую нагрузку на поверхности земли, прежде всего это:

- ссыпание снега с наклонных поверхностей;
- таяние снега на тепловыделяющих покрытиях отапливаемых зданий;
- перенос и распределение снега по кровле с образованием снежных козырьков (обрушение которых представляет серьезную опасность для населения, транспорта и примыкающих зданий меньшей этажности);
- механическая расчистка кровель.

Данные факторы приводят к уменьшению веса снега на кровле. Так величина длительной снеговой нагрузки, накопленной за зимний сезон, на поверхности земли может в разы превышать величину снеговой нагрузки на кровле.

При кратковременных снеговых нагрузках происходит резкое увеличение массы снега на кровле за короткий промежуток времени, при этом влияние внешних факторов на величину снеговой нагрузки незначительно либо вообще отсутствует.

Помимо этого при кратковременных снеговых нагрузках может происходить накопление снега на тепловыделяющих покрытиях зданий и сооружений, где накопление снега в течение всей зимы не представляется возможным, поскольку теплотехнические свойства такого покрытия приводят к подтаиванию и скатыванию снега с кровли. Накопление снега на таких покрытиях может происходить лишь тогда, когда интенсивность снегопада будет превышать скорость таяния снега.

Для сахалинских условий характерны периоды, когда метели, сопровождаемые обильными снегопадами, следуют друг за другом с интервалом в несколько дней. При этом может выпасть месячная или несколько месячных норм твердых осадков.

В случае кратковременных снеговых нагрузок происходит интенсивное нагружение кровли, вследствие чего может произойти ее обрушение.

Для примера, максимальные значения прироста величины снеговой нагрузки за 1 снегопад для центров муниципальных образований о. Сахалин составляет от 1,0 кПа (пгт. Смирных, г. Корсаков, г. Анива) до 2,5 кПа (г. Томари, г. Долинск, г. Южно-Сахалинск).

Анализируя вышесказанное, автор считает, что при разработке региональных нормативов по снеговым нагрузкам необходимо указывать не только величину

длительной снеговой нагрузки в населенных пунктах, для которых имеется длительный ряд наблюдений, но и максимальное приращение веса снегового покрова за один снегопад, что было сделано при разработке рекомендаций по расчету снеговых нагрузок на сооружения для Сахалинской области.

Районирование территории по величине снеговой нагрузки

При разработке карт районирования территории по какому-либо опасному процессу используются различные концепции.

Концепция, представленная в работе, была использована при построении карты «Районирования территории Сахалинской области по расчетному значению веса снегового покрова» [Генсиоровский и др., 2011], и может быть применена для разработки подобных карт и для других субъектов РФ. Алгоритм предлагаемой концепции представлен на рис. 4.

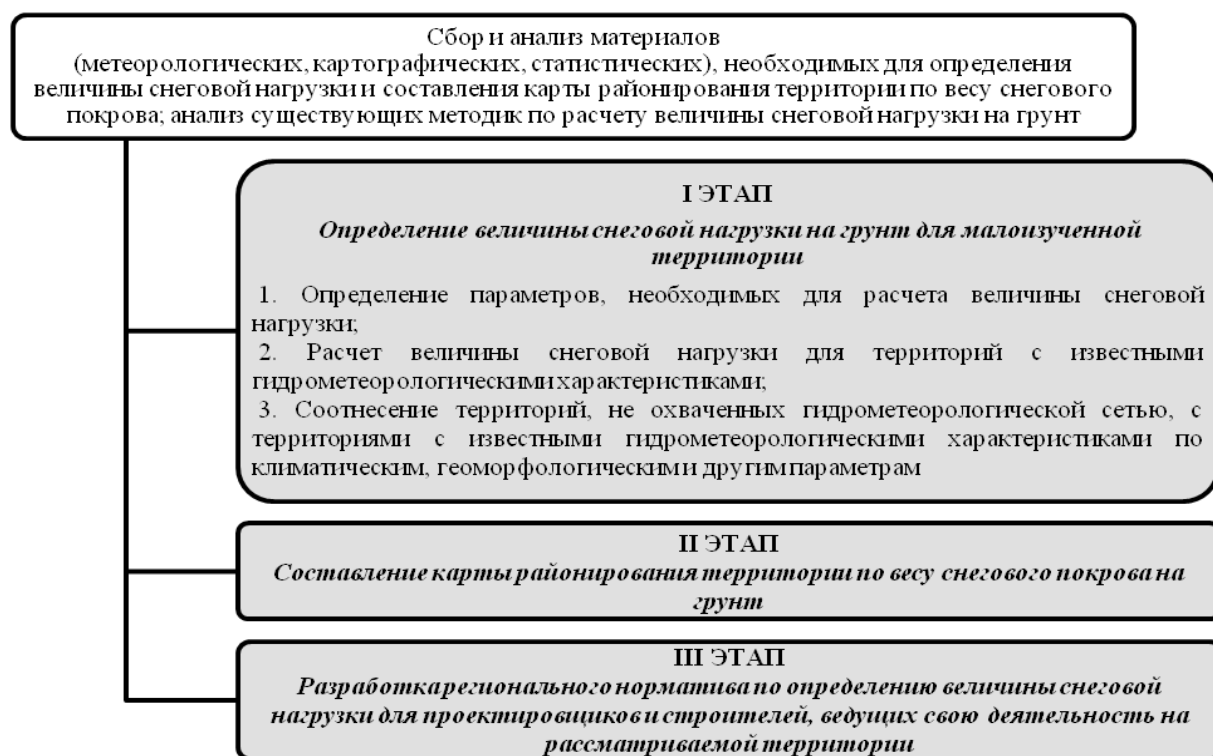


Рис. 4. Алгоритм районирования малоизученной территории по весу снегового покрова.

Для расчета величины снеговой нагрузки для равнинных и прибрежных снеговых районов данные о характеристиках снега были получены по данным сети гидрометеорологических станций, для горных снеговых районов использованы материалы полевых наблюдений с экстраполяцией для тех участков, где натурных наблюдений не проводилось. При расчете величины твердых осадков и снежного покрова в горах использовались значения, рассчитанные на основе анализа материалов наблюдений за осадками и снежным покровом, проводившихся в горах о. Сахалин в 1961-2012 гг.

Отличительной особенностью предлагаемой концепции по созданию карты районирования территории по весу снегового покрова от карт той же тематики, разработанных для других территорий, является отделение горных подрайонов от равнинных и прибрежных подрайонов внутри снеговых областей.

Всего на территории Сахалина выделено 3 снеговые области, внутри снеговых областей выделены 3 горных и 3 равнинных, прибрежных снеговых района, которые разделяются на снеговые подрайоны.

Выделено 24 снеговых подрайона – 13 равнинных и прибрежных снеговых подрайонов и 11 горных снеговых подрайонов. Величина снеговой нагрузки для Сахалина находится в пределах от 3,2 до 6,5 кПа, без учета вертикального градиента приращения веса снегового покрова в горных снеговых подрайонах.

Проведенное районирование существенно отличается от представленного для о. Сахалин на карте СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействие». В СП на о. Сахалин выделено 4 снеговых района, которые представлены 9 участками, значения снеговой нагрузки изменяются в пределах от 2,4 до 4,8 кПа.

Представленные значения снеговых нагрузок сильно занижены, что во многом связано с тем, что согласно СП, данные о плотности и высоте снежной толщи необходимо брать по ближайшим гидрометеорологическим станциям, имеющим длительный ряд наблюдений. Однако 99% всех гидрометеорологических станции острова расположены в долинах и на морском побережье на абсолютных отметках менее 200 м, а большая часть территории о. Сахалин – это низкогорье.

Максимальная снеговая нагрузка на территории острова, согласно СП, наблюдается на севере Тымь-Поронайской низменности, в районе пгт. Тымовское и составляет 4,8 кПа, а согласно эмпирическим данным значение снеговой нагрузки на данной территории может достигать до 6,0 кПа.

Более того, горные районы о. Сахалин на карте СП не отнесены к районам с максимальными снеговыми нагрузками. В частности, район Восточно-Сахалинских гор отнесен к VI снеговому району с величиной нагрузки 4,0 кПа, однако именно в горах данного района максимальное количество твердых осадков может превышать 1300 мм (13,0 кПа) при средней величине 800 мм (8,0 кПа), что в два раза превышает значение снеговой нагрузки, установленное для этого района в СП. То же самое можно сказать и о других снеговых районах о. Сахалин, которые обозначены в вышеприведенном СП.

Таким образом, применение карт снеговых районов, разработанных только на основе данных о снежном покрове и твердых осадках, полученных на прибрежных и долинных гидрометеорологических станциях, приводит к сильному занижению реальных величин снеговых нагрузок, что не позволяет в долгосрочной перспективе эффективно обеспечивать безопасные и благоприятные условия для жизнедеятельности населения.

Выводы

Расчет величины снеговой нагрузки, по предлагаемой схеме, основанный на максимальных значениях величины водозапаса, позволяет минимизировать риск

недооценки реальной снеговой нагрузки, получаемый при использовании среднего значения отклонения выборки.

Предлагаемый метод может быть применен не только для расчета длительной снеговой нагрузки, но и для получения величины кратковременной нагрузки.

При расчете величины снеговых нагрузок на территорию о. Сахалин использованы не только данные гидрометеорологических станций, расположенных на равнинных территориях, но и многолетние данные о количестве осадков в горных районах, полученные по результатам многолетних маршрутных и авиадесантных наблюдений. Для определения расчетной снеговой нагрузки в горных районах введены градиенты приращения веса снегового покрова.

Полученная карта районирования территории о. Сахалин позволяет определять величины снеговых нагрузок, необходимые для проектирования и возведение зданий и сооружений. Карта дополняет СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия» и рекомендована Министерством строительства Сахалинской области в качестве регионального норматива.

Составленный алгоритм районирования малоизученной территории по весу снегового покрова, может быть использован для разработки карт снеговых нагрузок для других субъектов РФ.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ

К настоящему моменту в снеговедении и лавиноведении назрел ряд проблем, связанных со стратиграфическими наблюдениями в снежном покрове.

Процесс обработки данных стратиграфических наблюдений сопряжен со значительными временными затратами. На обработку одного снежного шурфа уходит до двух рабочих дней. Данное обстоятельство является серьезным препятствием к накоплению фактического материала о состоянии снежной толщи, и, как следствие, ведет к ухудшению качества прогнозов лавин перекристаллизованного снега. Очевидно также, что данная проблема затрудняет экспресс-анализ лавинной опасности непосредственно в снежном шурфе.

Другая проблема – это проблема экспертной оценки в определении параметров снежной толщи. Необходимость непосредственного участия специалиста в оценке устойчивости снежной толщи на склоне затрудняет прогноз лавинной опасности в тех районах, где не осуществляют деятельность снеголавинные организации.

Решением обозначенных проблем могла бы стать методика автоматизированного определения параметров снежной толщи по данным стратиграфических наблюдений.

Некоторые результаты по автоматизации определения структуры снежной толщи получены в работе [Bartlett S.J. et al., 2008]. Эта работа посвящена определению особенностей формы ледяных кристаллов на основе анализа их контура на цифровых фотоснимках. Однако следует отметить, что решений по поиску и выделению отдельных кристаллов, определению их размеров и классов формы, а также определению типа текстуры отдельных слоев предложено не было. Между тем при стратиграфических наблюдениях в снежном покрове размер и класс формы ледяных кристаллов, слагающих слои снежной толщи, а также текстура отдельных слоев являются наряду с плотностью основными фиксируемыми параметрами снежной толщи.

В настоящее время зарубежные исследователи и ряд отечественных используют так называемую международную классификацию отложенного снега, описание которой дано в атласе отложенного снега, который выпускается ЮНЕСКО. Однако в данной работе определение класса формы кристаллов снега проводится

согласно классификации Э.Г. Коломыца [Коломыц, 1976; Коломыц, 1977], в соответствии с которой классу формы кристалла соответствует определенный этап в его развитии. Это позволяет прогнозировать состояние снежной толщи в будущем на основе данных стратиграфических наблюдений. Нужно отметить, что классификация Э.Г. Коломыца также считается всемирно признанной. Так последняя редакция атласа отложенного снега содержит ее описание, а также таблицы соответствия ледяных кристаллов отложенного снега в международной классификации и кристаллов в классификации Э.Г. Коломыца.

Определение таких параметров снежной толщи как текстура, размер и класс формы кристаллов льда проводится по фотографиям стенок снежных шурфов и проб кристаллов в камеральных условиях. И поскольку основная часть информации о состоянии снежной толщи хранится в виде фотографий, в данной работе предлагается решать поставленные задачи автоматизации с помощью методов компьютерного зрения, распознавания образов и анализа данных.

Автоматизация определения типа текстуры снежного горизонта

Всего выделяют три типа текстуры вторично-идиоморфного снега: монолитная, столбчатая и волокнистая. Основными визуальными признаками текстуры снежного слоя является наличие или отсутствие упорядоченных квазивертикальных образований (волокон из кластеров кристаллов), а также степень пористости.

Требуется по предоставленной фотографии определить тип текстуры участка снежного шурфа.

Информацию об объекте можно получить, анализируя бинарный препарат исходного изображения. Для бинарных изображений наиболее просто решаются задачи определения геометрических и метрических характеристик объектов (в том числе и относительных). Эти характеристики в дальнейшем используются как числовые признаки. Очевидно, что точность данных характеристик зависит от точности вычисления порога бинаризации, которая в свою очередь зависит от качества исходного изображения.

Часто бинарные изображения перед вычислением признаков подвергаются обработке морфологическими операциями для выделения некоторых важных деталей, или устранения шумов и прочих неинформативных деталей объекта. В ряде случаев эти методы позволяют компенсировать неточности, вносимые погрешностью в вычислении порога бинаризации.

Следует отметить, что качество фотографий стенки снежного шурфа существенно зависит от погодных условий, при которых производится съемка. Как результат, данные полевых наблюдений за снежной толщей содержат материал различного качества. Кроме того некоторые параметры изображений (масштаб, освещенность, контрастность и т.д.) не одинаковы для различных образцов. Соответственно нет оснований для выбора того или иного морфологического преобразования.

Учитывая эти неопределенности, предлагается общая методика вычисления признаков по бинарным изображениям на основе статистического анализа изображений исходной выборки.

Рассмотрим множество бинаризаций исходного изображения при варьировании порога бинаризации в окрестности ε с шагом t относительно исходного порога T . Значения отсчетов полутонового изображения могут быть заданы действительными числами, также как и параметры T, ε, t . Т.е., можно обеспечить достаточное количество незначительно различающихся бинаризаций.

Также рассмотрим некоторые преобразования f_i бинарного изображения, которые возвращают числовые ряды, представимые в виде случайных величин (например, множество значений площадей связных компонент). В качестве числовых признаков рассматриваются статистические характеристики этих величин (среднее, стандартное отклонение и моментные характеристики). Информативность указанных признаков напрямую зависит от того, насколько близко распределение величины f_i к нормальному для заданных параметров T, ε, t . Т.е., необходимо для каждого f_i найти такие параметры T, ε, t по всей исходной выборке изображений, при которых распределение f_i наиболее близко к нормальному.

Рассмотрим данную задачу в рамках следующей оптимизационной модели:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(e(f_i) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e(f_i) \right)^2 \rightarrow \min$$

$$P = \sum_i^n |p_i| \leq P_{\max}$$

$$e(f_i) \leq e_{\max}$$

Здесь $e(f_i)$ – функция близости распределения f_i к нормальному, вычисленная по всей выборке изображений; p_i – обобщенный параметр преобразования f_i , отражающий совместные значения параметров T, ε, t ; $|p_i|$ – число вариантов параметра затраченных на проверку оптимальности функции $e(f_i)$; $P_{\max}$ – порог, ограничивающий общее число вариантов значений p_i ($\forall i = 1..n$); $e_{\max}$ – верхний порог значений для функций $e(f_i)$.

При достаточно больших значениях P – данная задача исключает решение прямым перебором всех возможных.

Для численного решения данной задачи применяется метод динамического программирования. Значения $|p_i|$ рассматриваются как управляющие воздействия, и задают число узлов интерполяционной решетки при восстановлении функций $e(f_i)$ по различным значениям параметра p_i . Чем больше значение $|p_i|$, тем точнее значения $e(f_i)$. $P_{\max}$ представляет собой наперед заданную сложность алгоритма оптимизации. Преобразования f_i рассматриваются как этапы оптимизации в модели динамического программирования. На каждом этапе выбирается оптимальное управляющее воздействие $|p_i|_{\text{opt}}$ для оптимизации функционала E .

Признаковое пространство построим по следующей схеме. Сформируем библиотеку преобразований изображения, включающую четыре множества: мно-

жество A , состоящее из одного алгоритма выравнивания освещения MSR (Multi-Scale Retinex), множество B алгоритмов изменения контрастности, множество C шумоподавляющих фильтров, множество F преобразований изображения, результатом которых будут векторы числовых характеристик (метод синтеза данных преобразований описан выше). Рассмотрим композиции следующего вида: $F_k(I)$, $F_k(A(I))$, $F_k(B_i(I))$, $F_k(C_j(I))$, $F_k(A(B_i(I)))$, $F_k(A(C_j(I)))$, где I – изображение. Для того, чтобы оценить эффективность преобразования, необходимо проверить информативность признаков на выходе. Наиболее надежный способ проверки информативности признаков – это проверка на скользящем контроле. Однако даже при небольшом числе преобразований и базовых признаков из F полный перебор различных признаковых подмножеств становится вычислительно невыполнимой задачей.

Для выявления преобразований, повышающих информативность отдельных признаков, применим алгоритм на базе известного алгоритма СПА (случайный поиск с адаптацией). Метод СПА предназначен для селекции информативных признаков из всего множества исходных признаков. В СПА существенным образом используется критерий информативности набора признаков. Существует ряд методов оценки информативности признакового пространства, однако, наиболее надежным все же является непосредственная проверка на классификаторе (с обучением и проверкой на отложенном контроле). Очевидно, такой критерий проверки информативности сопряжен со значительными вычислительными затратами. Поэтому будем анализировать только слабо скоррелированные с исходным признаки.

Для этого признаки предварительно группируются: каждая группа включает одинаковые признаки F_k для всех композиций (в т.ч. и для исходного изображения). Поскольку преобразования применяются к одному изображению, можно предположить, что именно в таких группах будут наблюдаться наибольшие корреляции между признаками. Поскольку признаки с высокой корреляцией в одной группе одинаково информативны, то далее такие признаки можно не рассматривать. Если же в группе какие-то признаки оказываются слабо скоррелированными с исходным признаком (т.е. некоторое преобразование существенно меняет значение признака для всей выборки изображений), то необходимо проверить их информативность на контроле, добавив к признаковому пространству.

Критерий Q информативности набора признаков на каждой итерации алгоритма СПА определяется следующим образом. Пусть F – все множество признаков, $f \subseteq F$ – некоторое подмножество признаков, K_1, K_2, K_3 – классификаторы на основе известных алгоритмов SVM, GBT, RTF, $Q(K_i, f)$ – средняя ошибка на скользящем контроле классификатора K_i на множестве признаков f . Тогда $Q(f) = \max_{i=1..3} Q(K_i, f)$. Т.е., на каждой итерации алгоритма СПА для каждого

множества f будем обучать классификаторы K_i с применением метода скользящего контроля, и выбирать классификатор с наибольшей ошибкой на контроле (минимаксный критерий).

Алгоритм на псевдокоде:

Ввод: множество F , выборка, критерий Q , параметр d

j_0 – минимальное число признаков в наборе

T – число итераций

r – число генерируемых выборов на каждой итерации

h – скорость адаптации

1: установить равные вероятности включения признаков:

$p_1 = p_2 = \dots = p_n := 1/n$;

2: **для всех** $j = j_0, \dots, n$, где j – сложность наборов:

3: **для всех** $t = 1, \dots, T$, где t – номер итерации:

4: сгенерировать r наборов признаков согласно распределению $\{p_1, \dots, p_n\}$:

$$R_{jt} := \{f_{jt}^1, \dots, f_{jt}^r\}, |f_{jt}^1| = \dots = |f_{jt}^r| = j$$

5: $f_{jt}^{\min} := \arg \min_{f \in R_{jt}} Q(f)$; – лучший из наборов

6: $f_{jt}^{\max} := \arg \max_{f \in R_{jt}} Q(f)$; – худший из наборов

7: $H := 0$; – суммарное наказание худших признаков;

8: все признаки $f_s \in f_{jt}^{\max}$ наказать уменьшением вероятности p_s :

$$\Delta p_s := \min\{p_s, h\}; p_s := p_s - \Delta p_s; H := H + \Delta p_s;$$

9: все признаки $f_s \in f_{jt}^{\min}$ поощрить увеличением вероятности p_s :

$$p_s := p_s + H/j;$$

10: найти лучший набор сложности j : $f_j := \arg \max_{t=1..T} Q(f_{jt}^{\min})$;

11: запомнить, какую сложность имел самый лучший набор:

$$j^* := \arg \max_{s: s \leq j} Q(f_s);$$

12: **если** $j - j^* \geq d$ **то вернуть** f_{j^*}

Основные параметры алгоритма взяты в соответствии с рекомендациями из

[Лбов, 1981]: $r=19$, $T=30$, $h = \frac{1 - p_{\min}}{rn}$, при $p_{\min} = \frac{1}{10n}$ $h = 8.3333 \cdot 10^{-5}$.

Сложность алгоритма оценивается как $O(Tr(j^*+d))$, т.е. при заданных T , r , d зависит от искомого значения оптимальной сложности модели. В худшем случае (при $j^*=n$) трудоемкость составляет $O(Tr(n+d))$ без учета сложности алгоритма вычисления критерия Q .

Автоматизация поиска отдельных кристаллов на фотографии

Основная сложность в детектировании кристаллов на фотографии – разнообразие их форм. Даже внутри отдельных классов форм кристаллы могут значительно отличаться друг от друга. На рис. 1 изображены столбчатые кристаллы скелетного класса форм. При этом кристалл слева имеет форму призмы, а кристалл справа – форму пирамиды (т.н. «бокал»).

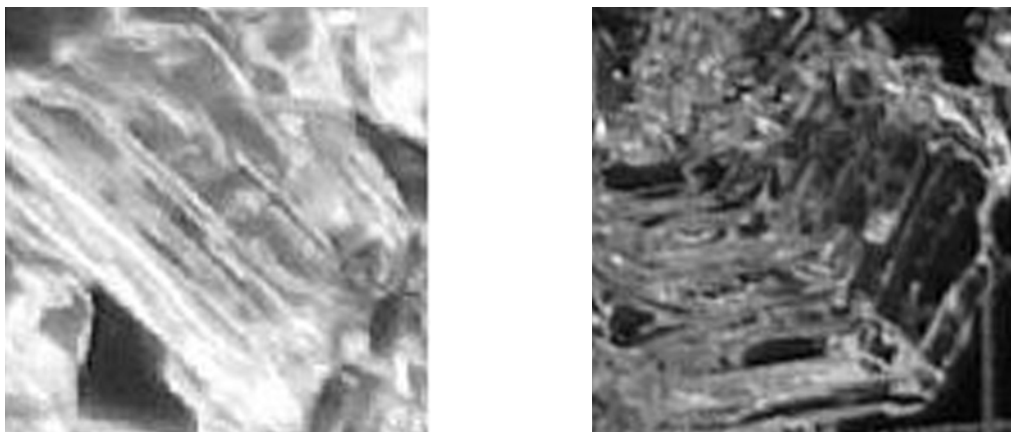


Рис. 1. Столчатые кристаллы скелетного класса формы. Слева – призма, справа – пирамида.

Различия могут быть обусловлены принадлежностью к разным группам симметрий, формой оснований призм и пирамид и т.д. Кроме того планарный вид «сверху» может скрывать или искажать некоторые объемные геометрические свойства кристаллов. Также следует отметить различия в фоновом окружении отдельных кристаллов. Таким образом, приходится говорить не о бинарной классификации «объект/не объект», а о многоклассовой классификации, где только один класс представлен кадрами, не содержащими кристалл. Кроме того, учитывая разнообразие форм и фонового окружения кристаллов, можно предположить, что признаки, хорошо описывающие объекты одного класса будут хуже характеризовать (описывать) объекты других классов.

Для решения обозначенной проблемы предлагается следующий подход.

Нужно разбить выборку с фрагментами фотографий кристаллов на отдельные группы, для каждой из которых можно подобрать набор признаков, наилучшим образом описывающий данную группу. Для каждой из групп обучить бинарный классификатор, который хорошо детектирует кристаллы именно этой группы. При распознавании применять последовательно каждый классификатор к фрагменту фотографии до тех пор, пока не будет получен положительный отклик, либо до полного перебора всех классификаторов.

Для группировки фрагментов в работе применяется алгоритм кластеризации k-means (к-средних). Максимальное число кластеров выберем эмпирически на основе визуального анализа фотографий с кристаллами. Группы признаков сформируем из моментов изображения, Фурье-дескрипторов, а так же четырех групп дескрипторов HoG, взятых с различными значениями величины ячейки и значением шага. Всего различных комбинаций групп признаков (наборов дескрипторов) $\sum_{i=1}^6 C_6^i = 63$.

Для описания алгоритма группировки введем следующие обозначения. A – множество положительных образцов в выборке, D – множество наборов дескрипторов, D_j – j -й набор дескрипторов, где $j=1..63$, k – число кластеров на

текущем этапе кластеризации, $k=2..N$, i – номер кластера, $i=1..k$, n_i^p – число положительных образцов (фрагментов, содержащих кристалл) в кластере i , n_i^n – число отрицательных образцов в кластере i , ε – желаемая доля отрицательных образцов в кластере, при которой процесс кластеризации прекращается и происходит переход к следующему набору дескрипторов, d – шаг наращивания ε в случае, если по завершении процесса кластеризации в выборке еще остались положительные образцы.

Алгоритм группировки:

1. Для каждого набора D_j осуществляется кластеризация при $k=2..N$;
2. Для каждой комбинации D_j и k считаем долю положительных образцов в каждом кластере i : $\frac{n_i^p}{n_i^p + n_i^n}$.
3. Если $1 - \frac{n_i^p}{n_i^p + n_i^n} \leq \varepsilon$ запоминаем номер набора дескрипторов. Все положительные образцы, содержащиеся в кластере i , так же запоминаются и убираются из A , текущий набор дескрипторов D_j убирается из D , и происходит переход к следующему набору дескрипторов.
4. Процесс продолжается до выполнения условия $A=\emptyset$.
5. Если по завершении полного перебора всех комбинаций D_j и k $A \neq \emptyset$, значение ε принимается равным $\varepsilon + d$ и процесс повторяется для всех оставшихся D_j .
6. Если после очередной итерации $D=\emptyset$ при $A \neq \emptyset$ (т.е., каждому набору дескрипторов поставлено в соответствие некоторое множество положительных образцов, но при этом остались положительные образцы, для которых не найден подходящий набор дескрипторов), алгоритм завершается, и оставшееся множество A анализируется отдельно.

В результате выборка разбивается на группы. Каждая группа включает фрагменты только положительного класса (содержащие кристалл). Каждой группе соответствует определенный набор признаков, по которому образцы этой группы отделяются ото всех остальных образцов.

Следует заметить, что предложенный алгоритм не находит некое оптимальное разбиение исходного множества. Основная задача – получить оценку разделимости выборки по различным наборам дескрипторов.

Автоматизация определения класса формы кристаллов льда

Выделяют следующие классификационные признаки: отношение осей, тип граней и их соотношение, макроступенчатость на гранях, положение ступеней роста на гранях, размеры и наличие незамкнутых полостей, зеркальность граней, выраженность и прямолинейность ребер, степень прозрачности, мутность. При этом основными признаками считаются макроступенчатость, положение ступеней роста, выраженность и прямолинейность ребер, размер. Данные признаки вполне поддаются формальному описанию.

В работе предлагается для выделения ребер кристаллов использовать преобразование Хафа. Как известно это преобразование позволяет выделить на изображении прямые линии.

Численные признаки вычислим как статистические характеристики двух гистограмм: длин и углов наклона линий, полученных с помощью преобразования Хафа. Для этого фрагменты фотографий с кристаллами масштабируются к одинаковому размеру. За наибольший линейный размер на гистограмме длин принимается длина диагонали фрагмента. В качестве значений принимается число линий каждой длины (от 1 до длины диагонали). Угловая гистограмма строится таким образом, чтобы бины соответствовали углам наклона линий относительно положительного направления горизонтальной оси (от 0 до 180°). Принимая ряды значений описанных гистограмм в качестве случайных величин можно перейти к статистическому описанию линий, полученных преобразованием Хафа. В качестве дескрипторов возьмем среднее и 6 первых нормированных моментов каждой гистограммы.

Нужно отметить, что данный набор дескрипторов хорошо подходит для представления не только ребер кристаллов гранных, полускелетных и скелетных форм, но и для описания кристаллов пластинчатых форм. Для кристаллов пластинчатого класса формы характерны закругленные оплавленные края и практически полное отсутствие прямолинейных ребер. Таким образом, на фрагментах фотографий с пластинчатыми кристаллами алгоритм преобразования Хафа находит наименьшее количество прямых линий.

Для описания ступеней роста как периодической структуры будем использовать Фурье-дескрипторы. Действительно, макроступенчатость на гранях кристаллов – основной признак кристаллов полускелетных и скелетных форм. И признаки из частотной области изображения кристалла должны содержать информацию о ступенях роста, поскольку на фотографиях они отображаются чередующимися светлыми и темными полосами, равноотстоящими друг от друга (рис. 2). Эксперименты по классификации кристаллов только на основе моментов радиальной и угловой составляющей спектра Фурье с помощью SVM показали удовлетворительную делимость кристаллов скелетного и полускелетного классов форм от кристаллов остальных классов форм (84% верных ответов на тестовой выборке).

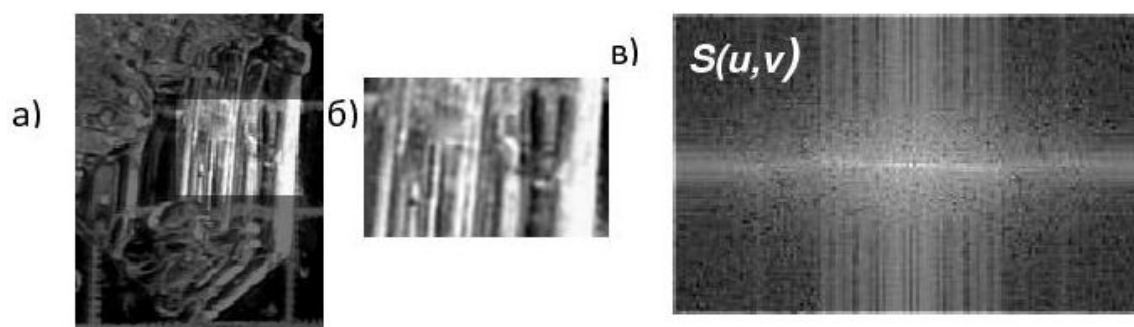


Рис. 2. Ступени роста на гранях кристалла (а, б) и их энергетический спектр (в). «Яркая» белая полоса на изображении спектра совпадает с направлением роста ступеней.

Для метрического описания кристалла будем использовать размер минимального поискового окна, детектировавшего кристалл на этапе поиска кристаллов на фотографии. Это вполне оправдано, так как при определении размера кристалла по фотографии обычно берут его наибольший размер. Важным признаком при определении класса формы кристаллов является, также, тип текстуры снежного слоя, из которого были взяты пробы ледяных кристаллов.

Таким образом, для определения класса формы кристаллов льда в работе используется 26 числовых признаков: 12 – признаки, полученные с помощью преобразования Хафа, 12 – Фурье-дескрипторы, 1 – сторона квадрата, ограничивающего кристалл, 1 – тип текстуры снежного слоя, из которого была взята проба кристаллов.

Программный комплекс для автоматизации стратиграфических наблюдений

На основе моделей и алгоритмов, описанных выше разработан программный комплекс, автоматизирующий камеральную обработку данных стратиграфических наблюдений за снежной толщей.

Входными данными для комплекса являются необработанные данные стратиграфических наблюдений в снежных шурфах: сведения о статифицированности снежной толщи, фотографии стенок снежного шурфа для каждого слоя, фотографии проб кристаллов из каждого слоя. Кроме того, предусмотрен ввод дополнительных данных о состоянии снежной толщи и метеоусловий в момент наблюдения.

На выходе пользователь получает сведения о структуре и текстуре снежной толщи в окне пользовательского интерфейса программного комплекса, а так же в виде сгенерированного файла в формате Excel.

Программный комплекс предусматривает хранение всех данных (до и после обработки) в локальной базе данных и предоставляет пользователю возможность обращения к данным по каждому наблюдению.

Основой программного комплекса является библиотека классов *SnowStratigraphyLib.dll*, представляющая собой программную модель изучаемой предметной области – стратиграфии снежного покрова. Библиотека спроектирована в идеологии ООП на языке C# в среде MSVisualStudio 2008. Диаграмма классов библиотеки и диаграмма изображена на рис. 3 (диаграмма построена в среде MSVisualStudio 2008).

При проектировании библиотеки были выделены 4 сущности, представляющие основные иерархические уровни предметной области. Это наблюдательная снегомерная площадка, снежный шурф, слой снежной толщи и ледяной кристалл. Эти сущности представлены классами *SnowMonitoringArea*, *SnowPit*, *SnowLayer*, *SnowIceCrystal* соответственно. Класс *SnowMonitoringArea* содержит в свойстве *SnowPits* данные по всем шурфам, выполненным на данной снегомерной площадке, в виде коллекции объектов *SnowPit*. В свойствах экземпляра класса *SnowPit* содержится вся основная информация об условиях выполнения шурфа, а также информация по каждому выделенному слою в свойстве *SnowLayers*, представля-

ящему собой коллекцию объектов *SnowLayer*. В поля объектов класса *SnowLayer* помещается вся входная информация, необходимая для решения основных задач комплекса: фотографии стенок шурфа данного слоя, фотографии кристаллов льда из данного слоя. Поля *Density*, *Texture*, *SnowIceCrystals* объекта *SnowLayer* заполняются после выполнения всех операций обработки изображений и классификаций и являются, по сути, основными выходными данными программного комплекса. Свойство *SnowIceCrystals* представляет собой коллекцию объектов *SnowIceCrystal*, каждый из которых представляет отдельный ледяной кристалл. Объект классов *SnowLayer* и *SnowIceCrystal* содержат фотографии стенок шурфа, проб кристаллов из каждого слоя и отдельных кристаллов. Каждая фотография представлена объектом класса *Image*, который реализует в своих методах весь функционал по обработке изображений и вычислению векторов признаков для использования в классификаторах. Статический класс *Classifiers* содержат (в виде методов) реализации классификаторов типа текстуры снежного горизонта и класса формы кристаллов льда. В основе классификаторов лежит метод бэггинга над решающими деревьями (RandomForest). Каждый классификатор обучался на исходной выборке фотографий с извлечением признаков по описанным выше алгоритмам и проверкой на контроле.

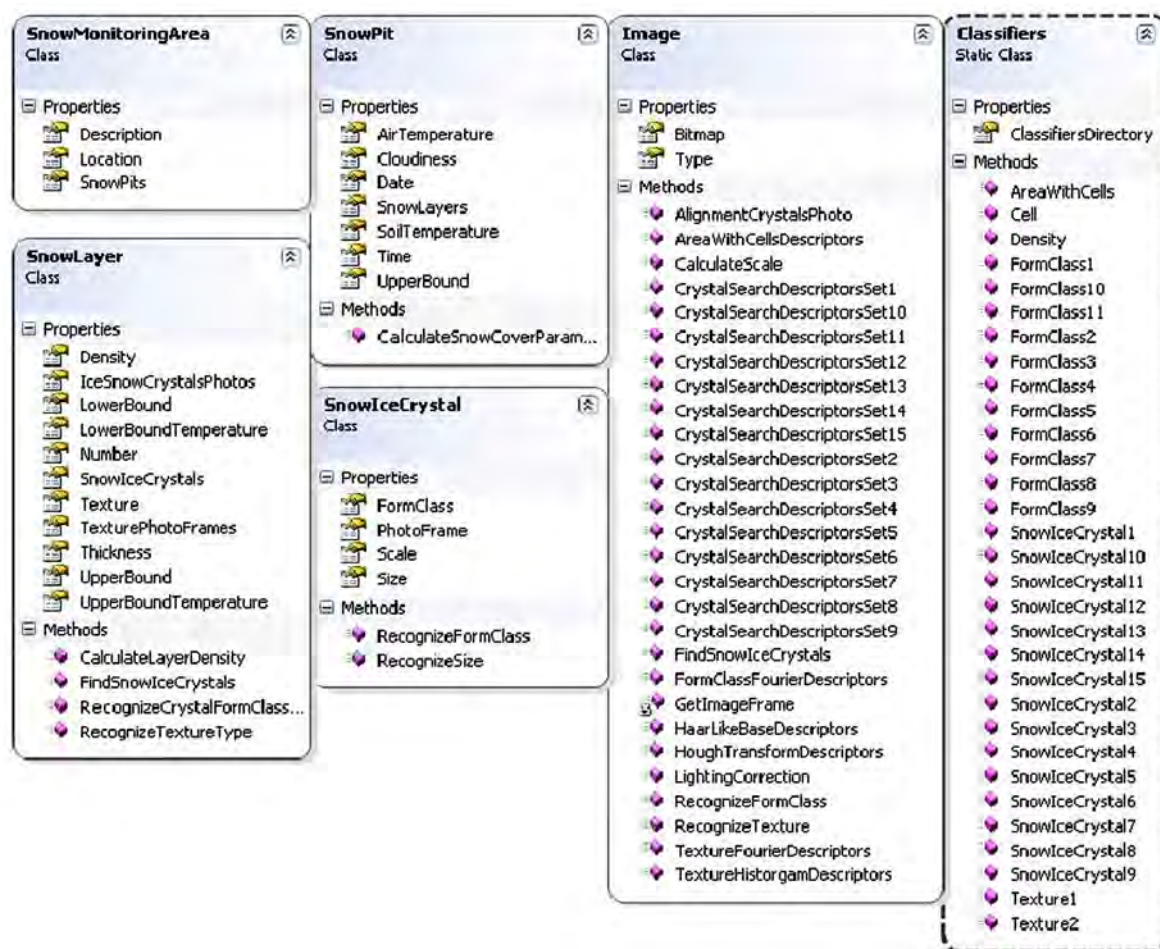


Рис 3. Диаграмма классов библиотеки SnowStratigraphyLib.

Библиотека предоставляет весь функционал по обработке и анализу фотографий стенок шурфа и ледяных кристаллов, а также полный набор обученных классификаторов, необходимых для определения параметров снежной толщи. Библиотека может быть использована при разработке программ для обработки данных стратиграфических наблюдений в снежном покрове.

Базовая структура программного комплекса в соответствии с шаблоном MVC представлена на рис. 4.

Библиотека SnowStratigraphyLib использует функции из открытой библиотеки OpenCV с поддержкой технологий TBB и CUDA.

Для обучения алгоритмов классификации и последующего экспериментального обоснования эффективности предложенных моделей были использованы данные стратиграфических наблюдений за снежной толщей в четырех районах юга Сахалина в течение зимних периодов 2007-2013 гг. В общей сложности было обработано более 3200 фотографий ледяных кристаллов, 2105 фотографий участков стенки снежных шурфов (всего обработано 66 снежных шурфов).



Рис. 4. Базовая структура программного комплекса.

Характеристики стратиграфических наблюдательных площадок (рис. 5).

Площадка №1 (32 шурфа).

Расположена в южной части о. Сахалин на западном склоне Сусунайского хребта в восточной части г. Южно-Сахалинск. Абсолютная высота – 100 м. Уклон – 7°.



Площадка расположена в ольхово-березовом редколесье. Подстилающая поверхность – травянистая растительность. Территория относится к Южно-Сахалинской климатической области, которая характеризуется сильной циклонической деятельностью, обильными снегопадами. Долинное положение определяет усиление континентальности климата.

Площадка №2 (13 шурфов).

Расположена на юго-западном побережье о. Сахалин на юго-западном склоне долины р. Рудановского в 3 км от устья. Абсолютная высота – 40 м. Уклон – 18°.

Площадка расположена в пихтово-березовом лесу, подстилающая поверхность – хвойный опад. Территория относится к Южно-Сахалинской климатической области, которая характеризуется сильной циклонической деятельностью, обильными снегопадами. Юго-западное побережье находится под влиянием ветви теплого Цусимского течения и характеризуется самой теплой в пределах острова зимой.

Площадка №3 (14 шурфов).

Расположена в южной части о. Сахалин на западном склоне г. Большевик (Сусунайский хребет). Абсолютная высота – 460 м. Уклон – 23°. Площадка расположена в пихтовом лесу. Подстилающая поверхность – хвойный опад. Территория относится к Южно-Сахалинской климатической области, которая характеризуется сильной циклонической деятельностью, обильными снегопадами. Долинное положение определяет усиление континентальности климата.

Площадка №4 (7 шурфов).

Расположена на юго-восточном побережье о. Сахалин (Макаровский район, с. Новое). Абсолютная высота – 10 м. Площадка расположена на ровной открытой местности. Подстилающая поверхность – разнотравье. Территория относится к Средне-Сахалинской горной климатической области, которая отличается умеренно холодной многоснежной зимой. Прибрежное положение площадки обуславливает частые и продолжительные ветра.

Критерии оценки эффективности построенных алгоритмов. При распознавании типов текстуры: доля верно распознанных типов текстуры отдельно по каждому району, по глубине залегания снежного горизонта, по возрасту снежного горизонта, по структуре снежного горизонта, по плотности снежного горизонта. При распознавании классов формы кристаллов льда: доля верно распознанных классов форм по каждому району, по глубине залегания снежного горизонта, по

возрасту снежного горизонта, по плотности снежного горизонта, доля ошибок при распознавании различных классов формы, при распознавании плоских и столбчатых форм.

Результаты экспериментов представлены в таблицах 1-8.

Таблица №1

Доля ошибок при распознавании типа текстуры и классов формы кристаллов льда на различных площадках.

	Пл1	Пл2	Пл3	Пл4	Общ. ошибка
Текстура	0,052	0,048	0,059	0,054	0,0528
Структура	0,042	0,048	0,052	0,044	0,0457

Таблица №2

Доля ошибок при распознавании типа текстуры и классов формы кристаллов льда в зависимости от возраста СГ.

	Младше 1 мес	От 1мес до 2 мес	Старше 2 мес
Текстура	0,05	0,053	0,051
Структура	0,045	0,044	0,045

Таблица №3

Доля ошибок при распознавании типа текстуры и классов формы кристаллов льда в зависимости от глубины залегания СГ.

	<20см	20-40см	40-60см	60-80см	80-100см	>100см
Текстура	0,054	0,052	0,052	0,05	0,052	0,05
Структура	0,045	0,044	0,044	0,043	0,042	0,045

Таблица №4

Доля ошибок при распознавании типа текстуры и классов формы кристаллов льда в зависимости от плотности СГ.

	<0,2 г/см ³	0,2-0,25 г/см ³	0,25-0,3 г/см ³	0,3-0,35 г/см ³	>0,35 г/см ³
Текстура	0,053	0,05	0,052	0,052	0,051
Структура	0,045	0,042	0,04	0,043	0,045

Таблица №5

Доля ошибок в распознавании текстуры по доле скелетных форм в СГ на разных площадках.

	<10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	>80%
Пл1	0,058	0,057	0,057	0,053	0,052	0,05	0,048	0,049	0,049
Пл2	0,057	0,054	0,059	0,056	0,051	0,051	0,05	0,048	0,047
Пл3	0,057	0,056	0,056	0,055	0,052	0,053	0,049	0,049	0,046
Пл4	0,056	0,057	0,058	0,054	0,053	0,053	0,048	0,05	0,049

Таблица №6

Доля ошибок в распознавании текстуры по доле гранных форм в СГ
на разных площадках.

	<10%	10-20%	20-30%	30-40%	40-50%	50-60%	60-70%	70-80%	>80%
Пл1	0,05	0,052	0,055	0,056	0,057	0,056	0,049	0,049	0,053
Пл2	0,057	0,051	0,052	0,052	0,053	0,05	0,05	0,053	0,05
Пл3	0,053	0,055	0,052	0,057	0,058	0,053	0,05	0,048	0,052
Пл4	0,053	0,056	0,053	0,054	0,052	0,052	0,049	0,05	0,052

Таблица №7

Доля ошибок по каждому классу формы на различных площадках.

	Гранные	Полускелетные	Скелетные	Секториальные	Пластинчатые
Пл1	0,038	0,065	0,022	0,029	0,019
Пл2	0,033	0,068	0,021	0,025	0,02
Пл3	0,029	0,069	0,02	0,021	0,025
Пл4	0,031	0,068	0,019	0,022	0,018

Таблица №8

Доля ошибок по типу метаморфизма снега на различных площадках.

	Доля ошибок
Пл1	0,02
Пл2	0,016
Пл3	0,019
Пл4	0,017

Выводы

- Предложена модель синтеза числовых признаков для задачи распознавания типа текстуры снежного горизонта по фотографиям участков стенки снежного шурфа.
- Предложен метод построения признакового подпространства для задачи распознавания типа текстуры снежного горизонта по фотографиям участков стенки снежного шурфа.
- Предложен метод построения признакового пространства для задачи поиска отдельных кристаллов на фотографии пробы кристаллов из снежного горизонта.
- Предложена численная формализация признаков классов формы кристаллов льда, слагающих слои снежной толщи на стадиях конструктивного и регрессивного метаморфизма.
- Разработаны программные реализации классификаторов для распознавания типа текстуры снежных горизонтов и класса формы кристаллов, слагающих снежные горизонты.
- Экспериментально на данных полевых наблюдений показано, что разработанные алгоритмы имеют приемлемое качество распознавания и пригодны для автоматизации стратиграфических исследований снежной толщи.

ОЦЕНКА СНЕЖНОСТИ ЗИМ НА ЮГЕ САХАЛИНА ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СНЕЖНЫМ ПОКРОВОМ НА СТАЦИОНАРНОЙ ПЛОЩАДКЕ

Оценка снежности территории требует проведения многолетних исследований, для которых необходима организация стационарных пунктов наблюдения. Один из таких пунктов был заложен сотрудниками Сахалинского филиала ДВГИ ДВО РАН в 2002 году в окрестностях г. Южно-Сахалинска. В течение 13 лет на данном пункте проводится целый комплекс исследований, включающий: стратиграфические наблюдения за снегом в его естественном залегании, изучение его физико-механических и химических свойств, электрических характеристик, акустических, а так же абсорбирующих свойств, оценивалась скорость процесса сублимации, снеговая нагрузка, проводились эксперименты с пропусканием света через снежную толщу.

В данной работе сделана попытка классифицировать наблюденные зимние сезоны по типам снежности на малоснежные, среднеснежные и многоснежные. Выделены основные критерии, которые, по мнению автора, являются основными при определении типа снежности зимнего сезона.

По снежностью понимается характеристика природных условий территории, связанных с наличием снежного покрова, включающая условия выпадения и отложения твердых осадков; возникновения, существования и схода снежного покрова и максимальных снегозапасов [Гляциологический словарь, 1984].

Описание площадки

Площадка (рис. 1) расположена на западных отрогах г. Большевик (Сусунайский хребет), в предгорной восточной части г. Южно-Сахалинск. Абсолютная высота площадки 100 м, уклон 3°. Из растительности преобладает молодой березово-ольховый лес высотой 10-15 метров, диаметр стволов до 25 см. В подлеске распространены кустарники (шиповник игольчатый, бересклет, рябинник бузинолистный), высокотравье (лабазник камчатский) и осока. Почвы на площадке наблюдения горно-лесные, кислые, пропитанно-многогумусные, оподзоленные. Участок наблюдения характеризуется умеренно гидроморфным типом фаций, подвергается избыточному увлажнению весной в период таянья снега, а также в период выпадения сильных дождей с конца августа по начало октября. Все горизонты почв оглеены, степень оглеения возрастает с глубиной. В данной фации преобладают оглеенный вариант дерново-перегнойных почв.



Рис. 1. Общий вид площадки: А - летом, Б - зимой.

Методика исследований

Наблюдения проводились 1 раз в неделю с даты установления по дату разрушения устойчивого снежного покрова. Для проведения исследования снежный разрез визуально разбивался на различные по генезису и морфологии слои (рис. 2). Для каждого слоя определялся класс форм ледяных кристаллов по методике Э.Г. Коломыца [Коломыц, 1976; Коломыц, 1977] с учетом разработок лаборатории лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала ДВГИ ДВО РАН. Ледяные кристаллы из каждого снежного слоя фотографировались (рис. 3). По фотографиям путем камеральной выборки из слоя определяли средний и максимальный диаметры кристаллов. Выборка производилась не менее чем из 20 ледяных кристаллов. Этим же способом производили определение преобладающего в слое класса форм ледяных кристаллов. С 2013 года процесс выборки был автоматизирован, что позволяет получать более полную информацию о строении снежного слоя.

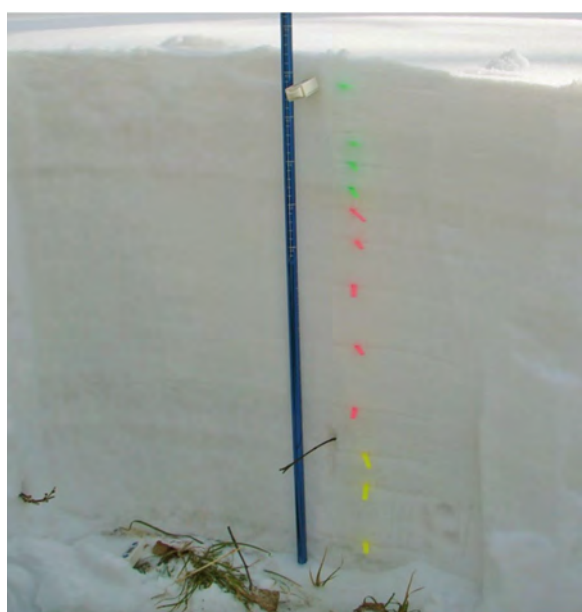


Рис. 2. Вскрытая стенка шурфа с выделенными снежными слоями.

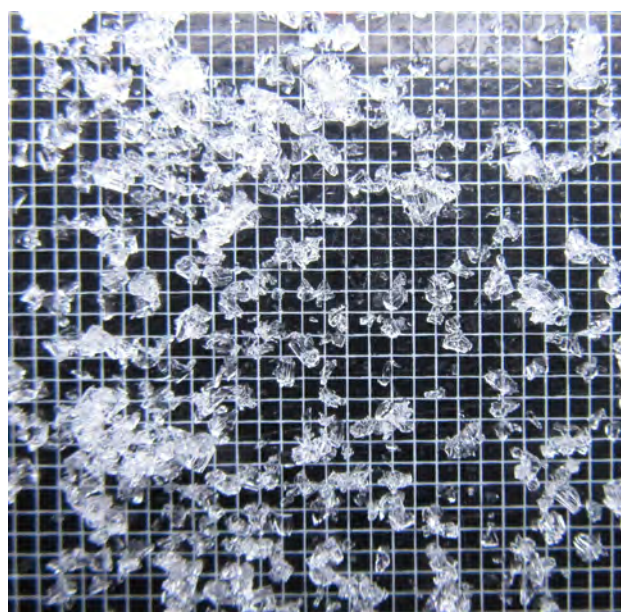


Рис. 3. Кристаллы из снежного слоя.

В комплекс стандартных наблюдений включается: послойное измерение плотности слоев снежной толщи, температуры на контактах слоев и у почвы, а так же на поверхности снежного покрова, описание структуры и текстуры снежной толщи. С помощью снегосъемки определяется высота снежного покрова.

Т.к конкретной методики оценки снежности зим нет, анализ снежности зимних сезонов проводился по следующим характеристикам:

- осадки и запас воды в снежном покрове;
- продолжительность залегания устойчивого снежного покрова;
- высота снежного покрова.

Осадки и запас воды в снежном покрове (снегозапас)

Запас воды в снежном покрове напрямую зависит от количества выпадающих осадков. Максимальные значения снегозапасов приходятся на начало периода водоотдачи. Чаще всего это третья декада марта – вторая декада апреля (рис. 4).

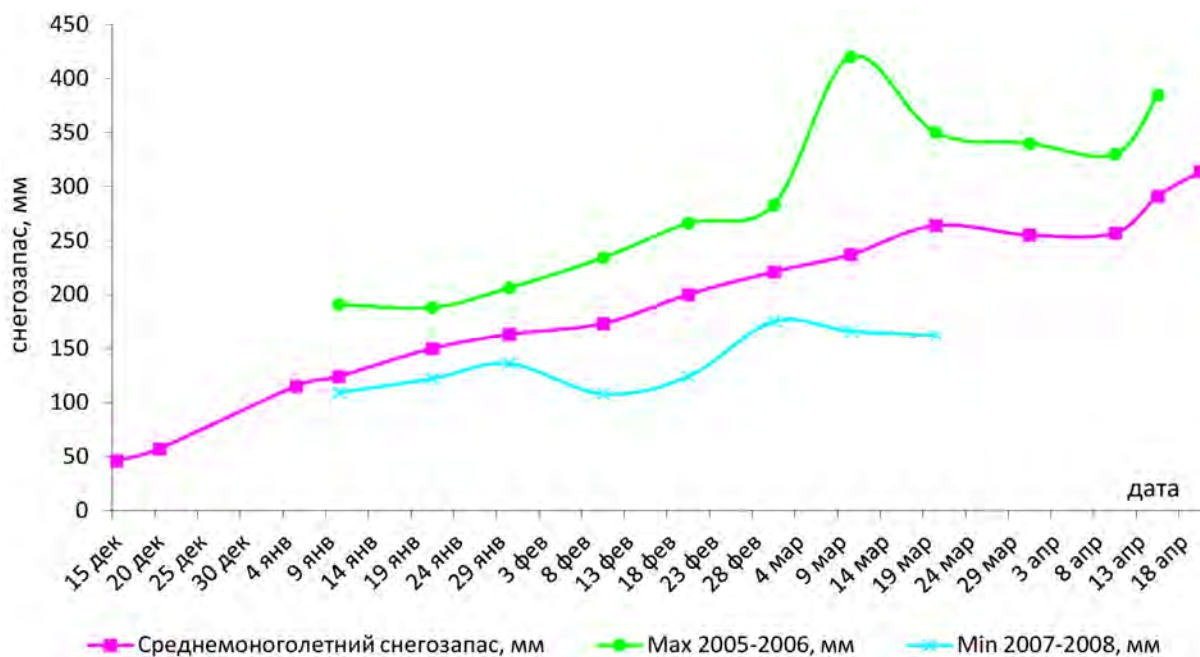


Рис. 4. Снегозапас по данным за 2003-2015 гг.

Самым многоснежным за последние 13 лет был зимний сезон 2005/2006 гг., когда запас воды в течение сезона был выше чем среднемоногодный за 13 лет в среднем на 50 мм. Запас воды на 31 марта в сезоне 2005/06 гг. составлял 350 мм, а максимальных значений достигал 20 марта – 420 мм. Самым малоснежным был зимний сезон 2007/08 года, когда запас воды в течение сезона был ниже среднемоногодного по площадке на 70 мм. На 31 марта запас воды составил всего 162 мм, а максимальный за сезон 175 мм. Для сравнения по ГМС Южно-Сахалинск среднемоногоднее значение запаса воды в снежном покрове составляет 223 мм, а среднее из максимальных 251 мм.

Стоит отметить, что в многоснежные зимние сезоны количество снегопадов с суммой осадков более 10 мм за явление было не менее 10.

Среднее значение запаса воды в снежном покрове на 31 марта по площадке 262 мм. Среднее из максимальных значений 286 мм.

Если отклонение значения по сезону не превышало 20% в большую или меньшую сторону от среднего, сезон считался среднеснежным. Таким образом зимы 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2006/07, 2009/10, 2012/13, 2013/14, 2014/15 гг. отнесем к среднеснежным. Зимы 2005/06, 2008/09, 2011/12 гг. к многоснежным и зимы 2007/08, 2010/11 гг. к малоснежным.

Продолжительность залегания снежного покрова

Средняя дата образования устойчивого снежного покрова по стационарной площадке приходится на 21 ноября и совпадает со среднемноголетними значениями ГМС Южно-Сахалинск.

Сравнение дат образования устойчивого снежного покрова на стационарной площадке со среднемноголетними значениями ГМС Южно-Сахалинск показывает, что зимний сезон 2013/2014 гг. начался на 20 дней раньше этих значений, два сезона (2003/2004 гг. и 2014/2015 гг.) начались на 18 дней позже, остальные десять сезонов совпали.

Средняя дата разрушения устойчивого снежного покрова по стационарной площадке - 13 апреля, это на 4 дня позже чем по данным ГМС Южно-Сахалинск - 9 апреля. Самая ранняя дата 25 марта (2007/2008), самая поздняя 26 апреля (2005/06).

Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова на стационарной площадке в среднем 144 дня, это на 5 дней больше чем по данным ГМС Южно-Сахалинск - 139 дней.

Самым продолжительным за наблюдаемый период был сезон 2005/06 гг., он длился 160 дней. Самым коротким был сезон 2010/11 - 125 дней.

Для разделения сезонов по продолжительности использовалось среднее квадратичное отклонение. Зимние сезоны, продолжительность которых превысила 154 дня, были отнесены к многоснежным: это сезоны 2005/06, 2008/09, 2011/12, 2013/2014 гг. К малоснежным отнесены сезоны, продолжительность которых была меньше 134 дней: это сезоны 2004/05, 2007/08, 2010/2011, 2014/2015 гг. Остальные сезоны отнесли к среднеснежным (рис. 5).

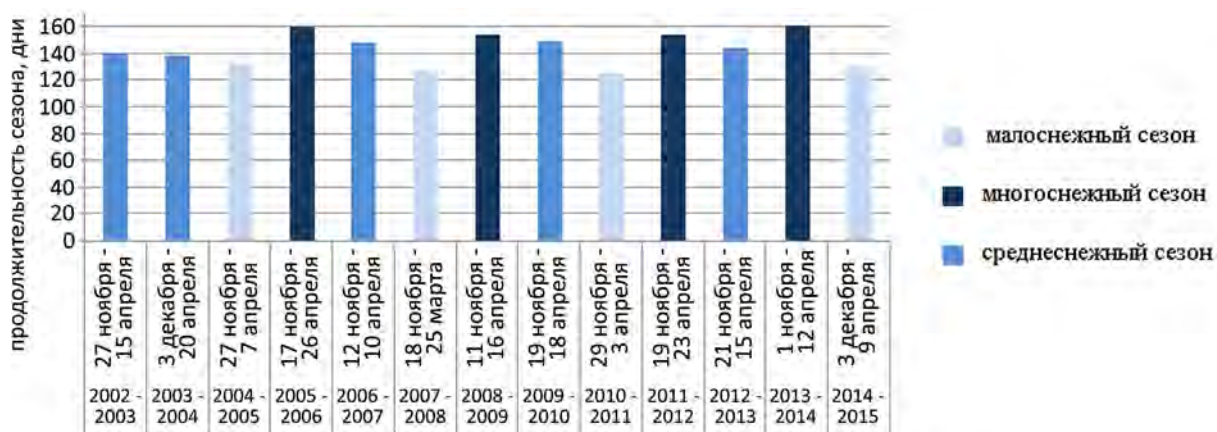


Рис. 5. Число дней с устойчивым снежным покровом.

Высота снежного покрова

Зависит главным образом от количества твердых осадков и его температурного режима. На стационарной площадке максимальной высоты снежный покров достигает к концу 2 декады марта.

За период наблюдений максимальная высота снежного покрова на площадке наблюдалась 20 марта в зимнем сезоне 2005/06 гг. и достигала 120 см. Это обусловлено тем, что в течение сезона было три циклона с количеством выпавших за явление осадков более 30 мм.

Для разделения зим по данной характеристике был составлен график (рис. 6), на котором была построена область средних значений сезона. Зимы с отклонением от среднеегоголетнего значения на 20% в большую или меньшую сторону были отнесены к среднеснежным, если зимний сезон располагался выше верхнего предела то он считался многоснежным, если ниже то малоснежным.

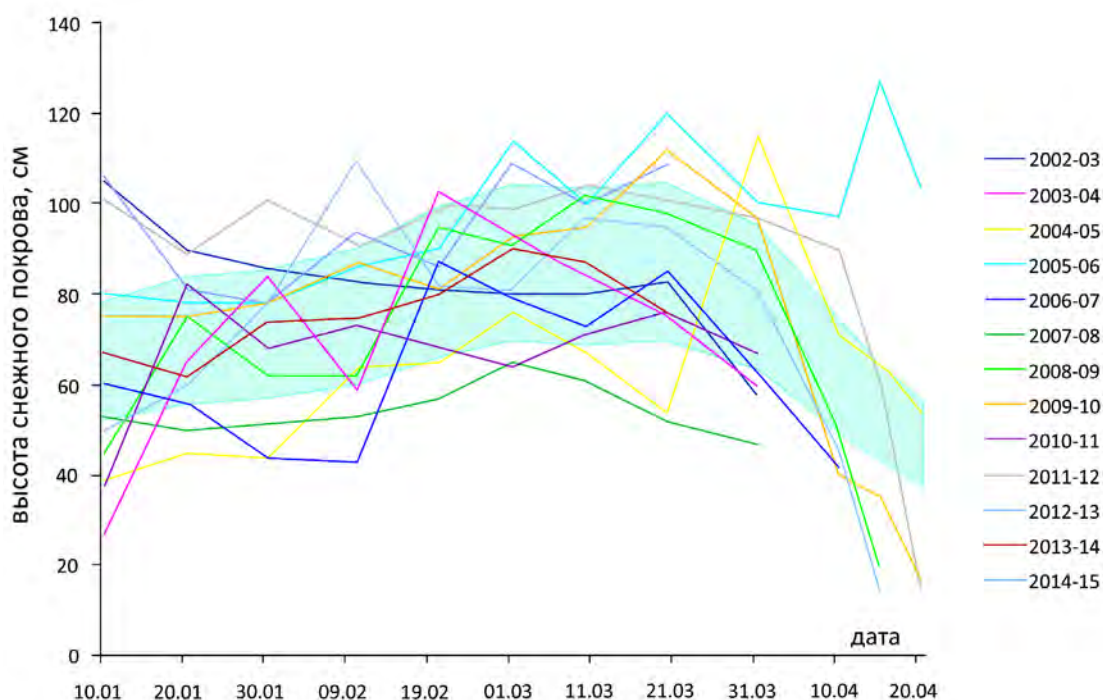


Рис. 6. Высота снежного покрова по стационарной площадке.

Из графика видно что зимний сезон 2007/08 гг. расположен ниже области средних значений высоты снежного покрова, его отнесем к малоснежным. Остальные сезоны расположены в основном в области средних значений, но сезоны 2005/06, 2011/12 и 2012/2013 гг. частично выходят за верхнюю границу.

Выводы

Проанализировав зимние сезоны, были получены следующие результаты.

Три критерия оценки совпали в сезоне 2007/08 гг. В остальных случаях совпали два из трех критериев. Снежность зимних сезонов распределилась следующим образом.

Зимние сезоны 2002/03, 2003/04, 2004/05, 2006/07, 2009/10, 2012/13, 2013/14, 2014/15 гг. можно считать среднеснежными. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова в среднем составила 142 дня, среднее количество осадков 280 мм, запас воды в снежном покрове составил 274 мм.

Многоснежными можно считать сезоны 2005/06, 2008/09, 2011/12 гг. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова в среднем составила 156 дней, среднее количество осадков 393 мм, запас воды в снежном покрове – 386 мм.

К малоснежным сезонам за наблюдаемый период можно отнести 2 сезона 2007/08 и 2010/11 гг.. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова в среднем составила 126 дней, среднее количество осадков 205 мм за сезон и запас воды в снежном покрове составил 184 мм.

ВОЗМОЖНОСТЬ ФОРМИРОВАНИЯ МНОГОЛЕТНИХ СНЕЖНИКОВ В НИЗКОГОРЬЕ о. САХАЛИН

Проблема формирования снежников различного генезиса в условиях муссонного климата умеренных широт на о. Сахалин привлекла исследователей достаточно недавно. Впервые эта тема была затронута в 2006 году на международной конференции «Современные проблемы регионального развития», г. Биробиджан, в данной работе были обобщены отрывочные сведения о формировании снежников на о. Сахалин.

В последние годы появился еще ряд работ посвященных формированию многолетних снежников на о. Сахалин, но данные работы посвящены антропогенным снежникам, возникшим в результате очистки городов от снега в зимний период [Генсиоровский, 2008]. Это интереснейшее явление т.к., снежники сформированы в высотной зоне 0-20 м, а их объемы, на момент наибольшего накопления, достигают 1 млн. м³.

Надо отметить, что раннелетние снежники формируются и на морских побережьях о. Сахалин и их формирование связано с метелевым переносом снега и накоплением его в понижениях рельефа. Такие снежники широко распространены вдоль всего побережья острова.

Формирование и распространение раннелетних, перелетков и многолетних снежников, оказывает влияние на характеристики стока рек, микроклимат, почвенно-растительный покров, ландшафтные характеристики.

В условиях низкогорья о. Сахалин формируются лавинные снежники значительных объемов.

Снежники формируются в условиях сильно расчлененного альпинотипного рельефа. Этому способствуют значительное количество твердых осадков выпадающих в горных районах острова и активная лавинная деятельность.

Лавинные снежники широко распространены по территории острова. Они встречаются как в Восточно-Сахалинских так и Западно-Сахалинских горах вплоть до самого юга острова (рис. 1, 2).

Только по району лесовозной автодороги п. Ясное – Чамгинский перевал – п. Загорный проходящей через бассейны рек Тымь и Чамгу в зимы средней лавинной активности, суммарный объемы вынесенного лавинами снега составляет 820 тыс. м³,

а максимальный объем перенесенного лавинами снега составлял около 5 млн. м³. Лавинными снежниками перекрываются верховья всех рек Восточно-Сахалинских гор. Порой на протяжении нескольких сотен метров лавинные отложения следуют руслом водотока, сливаясь в единую систему лавинных снежников которые впадают

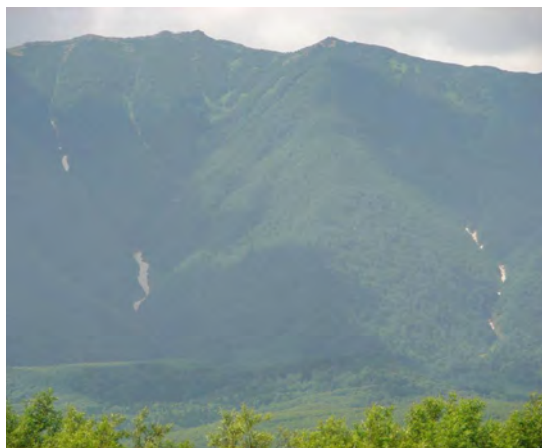


Рис. 1. Позднелетние снежники лавинного генезиса на восточном склоне Онорского хребта.



в основной снежник из боковых притоков.

Для данного района максимум снегонакопления, как правило, приходится на третью декаду марта, когда высота снежного покрова нередко превышает 4 м. Средне-многолетняя сумма твердых осадков за период октябрь-май составляет 777 мм. В то же время, максимальная сумма осадков за зимний сезон 1990/91 гг. равнялась 1183 мм.

В Восточно-Сахалинских горах существует ярчайший пример формирования многолетнего снежника (рис. 3). С лавинными процессами связано образование природного объекта, уникального для описываемой климатической зоны. 3 января 1991 г. из лавиносбора сошла лавина объемом более 1,4 млн. м³. длина лавинного снежника к октябрю 1993 г. составляла 1100 м, ширина 40-60 м, толщина – до 20 м.

В сентябре 1994 г. толщина снежника уменьшилась до 5 м. В 1994 г. была отмечена область питания (за счет лавинных отложений). К 15 сентября 1994 г. толщина фирна, образовавшегося летом этого года, была равна 30 см. Плотность перелетка (15 сентября 1994 г.) составила 0,82 г/см³. В отобранном образце до 10% объема занимают воздушные пузырьки (диаметром до 1 мм) (рис. 4).

В июне 1995 г. лед был чистый, лишенный воздушных и минеральных включений, его плотность 0,90 г/см³. В октябре 1995 г. длина снежника составила 800 м, ширина 20-35 м, толщина около 7 м.

Снежник существовал до 2001 г., затем почти полностью стаял, однако в 2008 году было зафиксировано формирование нового снежника, который существует до настоящее время.

Рис. 2. Раннелетний снежник лавинного генезиса. Сусунайский хребет.



Рис. 3. Лавинный снежник перелеток в районе Чамгинского перевала (Набильский хребет), осень 1991 г.

Протяженность снежника в августе 2010 г. составляла 670 м, при максимальной ширине 30 м и толщине 5 м (рис. 5).

Формирование снежников вдоль морских побережий о. Сахалин связано с интенсивным метелевым переносом снега. Суммы осадков выпадающих на побережье острова в зимний период в зависимости от климатического района, варьируют в пределах 140-330 мм. Однако, на участках с обширными территориями, не имеющими древесной растительности, создаются благоприятные условия для снегопереноса и отложения перенесенного снега в оползневые мульды, глубокие врезы мелких водотоков. В таких местах мощность переотложенного снега составляет 4 м и более, а в многоснежные зимы может достигать 7-10 м. Таким образом, формируются мощные снежные надувы, в которых величина снегозапаса превышает количество выпавших на территории осадков в несколько раз, и может достигать 2000 мм и более. Тем самым создавая условия для формирования раннелетних снежников.



Рис. 4. Многолетний снежник в районе Чамгинского перевала (Набильский хребет), осень 1994 г.



Рис. 5. Многолетний снежник в районе Чамгинского перевала (Набильский хребет), август 2010 г.



Рис. 6. Многолетний снежник антропогенного происхождения, сформированный из снега, вывозимого с территории г. Южно-Сахалинска.

На о. Сахалин снежники формируются и под влиянием антропогенных факторов. Зимой, при проведении работ по очистке улиц населенных пунктов от снега, возникает проблема его утилизации. Только в г. Южно-Сахалинске в зависимости от зимнего сезона с улиц вывозится 3-5 млн. м³ снега. Снег вывозимый с улиц городов складировуют в снежные отвалы, мощность которых достигает 20 м (рис. 6). К настоящему моменту один из отвалов существует 4 года.

Выводы

На о. Сахалин существуют условия для формирования многолетних снежников в горной части острова. Генезис таких снежников связан с лавинной деятельностью. Условия формирования: сход лавин, объем которых превышает 500 тыс. м³ в узкие, глубоко врезаемые распадки северной, северо-восточной экспозиции. Питание снежников, в последующие зимние сезоны, осуществляется за счет вновь сходящих снежных лавин. Время существования снежников – 5-10 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, С.М. Остров Сахалин / С.М. Александров. – М.: Наука, 1973. – 182 с.
2. Атлас береговой зоны Сахалина. – Владивосток: ФГУП «ИПК Дальпресс», 2002. – 51 с.
3. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации / под общ. ред. С.К. Шойгу. – М.: ИПЦ «Дизайн. Информация. Картография», 2005. – 270 с.
4. Атлас Сахалинской области / под ред. Леонова П.А. – М.: ГУГК, 1967. – 135 с.
5. Боброва, Д.А. Зависимость динамических характеристик лавин на о. Сахалин от морфологии и морфометрии лавиносбора / Д.А. Боброва // Геориск. – 2009. – №4. – С. 14-17.
6. Боброва, Д.А. Построение карт лавинной опасности территорий населенных пунктов (на примере Сахалинской области) / Д.А. Боброва // Геориск. – 2010. – №4. – С. 38-41.
7. Боброва, Д.А. Факторы лавинообразования на равнинных территориях о. Сахалин / Д.А. Боброва // Лед и снег, 2013. – Вып. 4. – С. 60-66.
8. Божинский, А.Н. Основы лавиноведения / А.Н. Божинский, К.С. Лосев. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 280 с.
9. Болов, В.Р. Руководство по предупредительному спуску снежных лавин с применением артиллерийских систем КС-19 / В.Р. Болов. – М.: ГИМИЗ, 1984. – 107 с.
10. Вернадский, В.И. Кристаллография / В.И. Вернадский. – М.: Наука, 1988. – 342 с.
11. Вительс, Л.А. Синоптическая метеорология и гелио-геофизика / Л.А. Вительс // Избранные труды. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 251 с.
12. Власов, В.П. Лес и снежные лавины / В.П. Власов, И.И. Ханбеков, В.С. Чуенков. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 198 с.
13. Войтковский, К.Ф. Лавиноведение / К.Ф. Войтковский. – М.: МГУ, 1989. – 158 с.
14. Володичева, Н.А. Кедровый стланник-индикатор лавинной деятельности в горах Станового нагорья. Фитоиндикационные методы в гляциологии / Н.А. Володичева. – М.: МГУ, 1971а. – С. 124-131.
15. Володичева, Н.А. Характеристика лавинной опасности Курильских островов / Н.А. Володичева // Лавины Сахалина и Курильских островов: сб. статей. – Л.: Гидрометеиздат, 1971б. – С. 26-39.
16. Генсиоровский, Ю.В. Генезис лавин весеннего снеготаяния (на примере Восточно-Сахалинских гор) / Ю.В. Генсиоровский // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2008. – №1. – С. 67-71.
17. Генсиоровский, Ю.В. Определение снеговых нагрузок на сооружения при проведении инженерных изысканий: разработка региональных нормативных документов по снеговым нагрузкам (на примере Сахалинской области) / Ю.В. Генсиоровский, Н.А. Казаков, С.П. Жируев и др. // Геориск. – 2011. – №3. – С. 14-20.
18. Гляциологический словарь / под ред. В.М. Котлякова. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 526 с.
19. Гордеев, В.Н. Нагрузки и воздействия на здания и сооружения / В.Н. Гордеев, А.И. Лантух-Лященко, В.А. Пашинский и др. – М.: ИАСВ, 2007. – 476 с.
20. Гречачевский, И.В. Особенности формирования и распределения максимальных запасов воды в снежном покрове на Сахалине / И.В. Гречачевский // Снег и лавины Сахалина: сб. статей. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – С. 25-33.
21. Грудев, И.Д. Определение нормативных и расчетных значений снеговых нагрузок / И.Д. Грудев, В.В. Филиппов, Т.А. Корнилов и др. // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – №4. – С. 10-12.
22. Дальний Восток. Физико-географическая характеристика. – М.: Изд. АН СССР, 1961. – 439 с.
23. Данилов, Л.Г. Волны погоды / Л.Г. Данилов. – Винница, 1926. – 47 с.
24. Дзюба, В.В. Географические принципы разработки методик прогноза лавиноопасных периодов для малоисследованных районов: Автореф. канд. дисс. – М., 1983. – 23 с.
25. Дороницын, В.А. Симметрия нелинейных явлений. Компьютеры и нелинейные явления / В.А. Дороницын, Г.Г. Еленин. – М.: Наука, 1988. – 192 с.
26. Древило, М.С. О классификациях отложенного снега / М.С. Древило. – Южно-Сахалинск: Сахалинское УГМС, 1981. – 24 с.
27. Древило, М.С. Структура снежного покрова о. Сахалин (подзона средней светлосвойной тайги) / М.С. Древило // Труды Гидрометцентра Сахалинского УГМС. Региональные исследования. – Южно-Сахалинск: Сахалинское УГМС, 1988. – С.124-127.
28. Древило, М.С. Структура снежного покрова в зонах лавинообразования о. Сахалин / М.С. Древило // МГИ. – 1999. – Вып. 88. – С. 107-112.

29. Древило, М.С. Геоэкологические исследования снежного покрова на основе его ландшафтно-индикационных свойств (на примере о. Сахалин): Автореф. канд. дисс. – Барнаул, 2001. – 27 с.
30. Древило, М.С. Мониторинг снежного покрова о. Сахалин / М.С. Древило, С.П. Жируев, В.И. Окопный и др. // МГИ. – 2000. – Вып. 89. – С. 89-94.
31. Древило (Варганова), М.С. К вопросу о современном состоянии оценки степени лавинной опасности Курильских островов / М.С. Древило (Варганова), Н.А. Казаков // Курильские острова: история, современность, перспективы: тез. докл. научно-практической конф. – Южно-Сахалинск: Сах. обл. универсальная науч. библиотека, 1997. – Т. 2. – С. 91-92.
32. Дьяков, А.В. Использование информации об активности Солнца в гидрометеорологическом прогнозировании на длительные сроки (1940-1972) / А.В. Дьяков // Солнечно-атмосферные связи в теории климата и прогнозах погоды: труды 1-го всес. совещ. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – С. 307-313.
33. Жируев, С.П. Интенсивность проявления лавинных процессов в Сахалинской области / С.П. Жируев, Н.А. Казаков, Ю.В. Генсировский и др. // Лавины и смежные вопросы: тезисы докл. IV межд. конф. – Апатиты: ООО «Апатит-Медиа», 2011. – С. 57.
34. Жируев, С.П. Особенности лавинного режима островов Курильской гряды / С.П. Жируев, В.И. Окопный // Курильские острова: история, современность, перспективы: тезисы докл. научно-практической конф. – Южно-Сахалинск: Сах. обл. универсальная науч. библиотека, 1997. – Т. 2. – С. 89-90.
35. Жируев, С.П. Лавинная опасность на автомобильных и железных дорогах Сахалина и Курил / С.П. Жируев, В.И. Окопный, Н.А. Казаков и др. // Геориск. – 2010. – №4. – С. 50-57.
36. Земцова, А.И. Климат Сахалина / А.И. Земцова. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 100 с.
37. Иванов, А.В. Общий обзор лавинного режима острова Сахалин / А.В. Иванов // Лавины Сахалина и Курильских островов: сб. статей. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – С. 4-25.
38. Исаенко, Э.П. О снежных лавинах на участках железных дорог Южного Сахалина / Э.П. Исаенко, Ю.А. Марин // Лавины Сахалина и Курильских островов: сб. статей. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – С. 102-107.
39. Кадастр лавин СССР. Дальний Восток, Сахалин и Курильские острова. – Л.: Гидрометеиздат. – 1986. – Т. 18. – Вып. 4. – С. 111-154.
40. Каталог лавин о. Сахалин и Курильских островов за период 1935–1989 гг. // Южно-Сахалинск, Сахалинское УГМС. – 1990. – 233 с.
41. Казаков, Н.А. Электродинамика снежной толщи, образование и движение лавин / Н.А. Казаков // МГИ. – 1997. – Вып. 82. – С. 161-164.
42. Казаков, Н.А. Лавинный процесс как процесс самоорганизации упорядоченных структур / Н.А. Казаков // МГИ. – 1998. – Вып. 84. – С. 155-158.
43. Казаков, Н.А. Геологические и ландшафтные критерии оценки лавинной и селевой опасности при строительстве линейных сооружений (на примере о. Сахалин): Автореф. канд. дисс. – Южно-Сахалинск, 2000а. – 36 с.
44. Казаков, Н.А. Геологические и ландшафтные критерии оценки лавинной и селевой опасности при строительстве линейных сооружений (на примере о. Сахалин): Канд. дисс. / Деп. в ВЦНТИ. – М., 2000б. – 206 с.
45. Казаков, Н.А. Оценка лавинных рисков на автомобильных дорогах о. Сахалин / Н.А. Казаков // Геориск-2000. Оценка и управление природными рисками: мат-лы общероссийской конф. – М.: АНКИЛ, 2000в. – С. 269-275.
46. Казаков, Н.А. Самоорганизация упорядоченных структур и возникновение солитонов при экзогенных природных процессах / Н.А. Казаков // Ученые записки Сахалинского Государственного университета. – 2000г. – Вып. 1. – С. 116-125.
47. Казаков, Н.А. Волновая динамика селей / Н.А. Казаков // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2001а. – №2. – С. 158-164.
48. Казаков, Н.А. Фрактальная размерность текстуры снежной толщи / Н.А. Казаков // Ученые записки Сахалинского Государственного университета. – 2001б. – Вып. 2. – С. 57-62.
49. Казаков, Н.А. Природный лавинный комплекс как триггерная геосистема: предпосылки управления лавинным процессом / Н.А. Казаков // Риск-2003: мат-лы общероссийской конф. – М.: АНКИЛ, 2003. – С. 344-348.
50. Казаков, Н.А. Зависимость максимальной дальности выброса и скорости лавины от стадии метаморфизма снежной толщи / Н.А. Казаков // Лавины и смежные вопросы: тезисы докл. III межд. конф. – Кировск: ООО «Апатит-Медиа», 2006. – С. 69-70.
51. Казаков, Н.А. Перекристаллизация снега и особенности лавинообразования на Сахалине и Курильских островах / Н.А. Казаков // Гляциология в начале XXI века: мат-лы межд. конф. – М.: Университетская книга, 2009. – С. 70-77.
52. Казаков, Н.А. Экспериментальные исследования электрических характеристик снежного покрова / Н.А. Казаков // Физика, химия и механика снега: тезисы докл. межд. симпозиума. – Южно-Сахалинск: КАНУ, 2011. – С. 73-75.
53. Казаков, Н.А. Динамика лавин разных генетических классов и проблемы моделирования лавин / Н.А. Казаков, Д.А. Боброва // Физика, химия и механика снега: тезисы докл. II межд. симпозиума. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ, 2013. – С. 93-97.

54. Казаков, Н.А. Формирование лавин экстремальных объемов в низкорыбе о. Сахалина / Н.А. Казаков, Ю.В. Генсировский // Гляциология в канун Международного Полярного года: мат-лы симпозиума. – М.: ИГ РАН, 2006. – С. 46.
55. Казаков, Н.А. Экзогенные геодинамические и русловые процессы в низкорыбе о. Сахалин как факторы риска для нефтегазопроводов «Сахалин-2» / Н.А. Казаков, Ю.В. Генсировский // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2008. – №6. – С. 483-496.
56. Казаков, Н.А. Лавины на низких склонах / Н.А. Казаков, Ю.В. Генсировский, Е.Н. Казакова // XIV Гляциологический симпозиум: тезисы докл. – Иркутск: ИГ СО РАН, 2008. – С. 48.
57. Казаков, Н.А. Природные лавинные комплексы Сахалинской области / Н.А. Казаков, М.С. Древилло, Ю.В. Генсировский и др. // Лавины и смежные вопросы: тезисы докл. III межд. конф. – Кировск: ООО «Апатит-Медиа», 2006. – С. 72-74.
58. Казаков, Н.А. Лавинный режим Восточно-Сахалинских гор / Н.А. Казаков, В.И. Окопный, С.П. Жируев и др. // МГИ. – 1999. Вып. 87. – С. 211-215.
59. Казакова, Е.Н. Зависимость динамических характеристик лавин на о. Сахалин от их генетических типов / Е.Н. Казакова // Геориск. – 2009. – №4. – С. 10-13.
60. Катков, П.А. Прогнозирование снежных лавин на основе 27-дневных циклов солнечной активности / П.А. Катков // Геодинамические процессы и природные катастрофы в Дальневосточном регионе: тез. докл. науч. конф. – Южно-Сахалинск: ИМГиГ, 2011. – С. 148-149.
61. Козик, С.М. Расчет движения снежных лавин / С.М. Козик. – Л.: Гидрометиздат, 1962. – 74 с.
62. Коломыц, Э.Г. Структура снега и ландшафтная индикация / Э.Г. Коломыц. – М.: Наука, 1976. – 206 с.
63. Коломыц, Э.Г. Методы кристалло-морфологического анализа структуры снега / Э.Г. Коломыц. – М.: Наука, 1977. – 199 с.
64. Кулаков, А.В. Введение в физику нелинейных процессов / А.В. Кулаков, А.А. Румянцев. – М.: Наука, 1992. – 159 с.
65. Лазарева, Д.Ф. Климатическая характеристика снегопереноса на Сахалине / Д.Ф. Лазарева // Снег и лавины Сахалина: сб. статей. – Л.: Гидрометеиздат, 1975. – С. 13-24.
66. Лбов, Г.С. Методы обработки разнотипных экспериментальных данных / Г.С. Лбов. – Новосибирск: Наука, 1981. – 160 с.
67. Летников, Ф.А. Синергетика геологических систем / Ф.А. Летников. – Новосибирск: Наука, 1992. – 229 с.
68. Лобкина, В.А. Ущерб от снеговых нагрузок в Российской Федерации. Причины и последствия / В.А. Лобкина // Геориск. – 2012. – №1. – С. 50-53.
69. Лосев, К.С. Прикладное лавиноведение / К.С. Лосев, А.Н. Божинский, В.Ф. Гракович – М.: ВИНТИ. Сер. «Гляциология», 1991. – 172 с.
70. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М.: Ижевск, Ин-т компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
71. Методические разработки крупномасштабной оценки лавинной опасности / под ред. С.М. Мягкова. – М.: МГУ, 1986. – 122 с.
72. Микишин, Ю.А. Геоморфология берегов залива Терпения / Ю.А. Микишин // Береговая зона дальневосточных морей. – Л.: ГО СССР, 1991. – С. 98-104.
73. Монастырский, И.Ф. Распределение снежного покрова в горных районах Сахалина / И.Ф. Монастырский // Лавины Сахалина и Курильских островов: сб. статей. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – С. 140-144.
74. Москалев, Ю.Д. Динамика снежных лавин и снеголавинные расчеты / Ю.Д. Москалев. – Л., Гидрометеиздат, 1977. – 232 с.
75. Мягков, С.М. Условия образования лавин в прибрежных районах северных Курил, Камчатки и Чукотки / С.М. Мягков, Е.С. Трошкина // МГИ. – 1984. – Вып. 50. – С. 109-114.
76. Мягков, С.М. География лавин / С.М. Мягков, Л.А. Канаев. – М.: МГУ, 1992. – 332 с.
77. Налимов, В.В. Вероятностная модель языка / В.В. Налимов. – М.: Наука, 1979. – 303 с.
78. Научно-прикладной справочник по климату СССР (Сахалинская область) / под ред. З.Н. Пильниковой. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 351 с.
79. Окопный, В.И. Лавинные процессы на Южных Курилах / В.И. Окопный // Гляциология от Международного геофизического года до международного Полярного года: тезисы докл. XIV Гляциологического симпозиума. – Иркутск: ИГ СО РАН, 2008. – С. 83.
80. Полунин, Г.В. Литологические комплексы и проявления экзогенных процессов о. Сахалин. Карта масштаба 1:500000 / Г.В. Полунин. – М.: ГУГК, 1984.
81. Полунин, Г.В. Динамика и прогноз экзогенных процессов / Г.В. Полунин. – М.: Наука, 1989. – 232 с.
82. Ресурсы поверхностных вод СССР / под ред. Л.Ф. Мухина. – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – Т. 18. – Вып. 3. – 123 с.
83. Руководство по гидрологическим прогнозам. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – Вып. 1. – 251 с. – РД 52.27.194-88.
84. Руководство по снеголавинным работам (временное). – Л.: Гидрометеиздат, 1964. – 397 с.

85. Селиверстов, Ю.Г. Катастрофические и особо крупные лавины [Электронный ресурс] <http://www.geogr.msu.ru/avalanche/avalanches/kat.doc/kat.htm>.
86. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М.: ОАО «ЦПП», 2011. – 94 с.
87. Тушинский, Г.К. Космос и ритмы природы Земли / Г.К. Тушинский. – М.: Просвещение, 1966. – 119 с.
88. Федер, Ф. Фракталы / Ф. Федер. – М.: Мир, 1991. – 260 с.
89. Физика космоса. – М.: Советская энциклопедия, 1966. – 783 с.
90. Филиппов, А.Т. Многоликий солитон / А.Т. Филиппов. – М.: Наука, 1990. – 286 с.
91. Филиппов, В.В. Снеговые нагрузки на покрытиях зданий в условиях Севера (на примере Якутии) / В.В. Филиппов, А.Т. Копылов, Т.А. Корнилов и др. – М.: Наука, 2000. – 246 с.
92. Чижевский, А.Л. Физические факторы исторического процесса / А.Л. Чижевский. – Калуга, 1-я Гостиполитография, 1924. – 72 с.
93. Чижевский, А.Л. Земное эхо солнечных бурь / А.Л. Чижевский. – М.: Мысль, 1976. – 367 с.
94. Шарапов, С.Н. Оценка объемов снегопереноса в прибрежной полосе о. Сахалин / С.Н. Шарапов // Вопросы проектирования, строительства и реконструкции, железных дорог Сибири. – Новосибирск: НИИЖТ, 1984. – С. 86-94.
95. Шаскольская, М.П. Кристаллография / М.П. Шаскольская. – М.: Высшая школа, 1983. – 376 с.
96. Швердфегер, В. Погода и климат Антарктики / В. Швердфегер. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 264 с.
97. Шеко, А.И. Закономерности формирования и прогноз селей / А.И. Шеко. – М.: Недра, 1980. – 296 с.
98. Шеко, А.И. Методические рекомендации по составлению долгосрочных прогнозов экзогенных геологических процессов в системе государственного мониторинга геологической среды / А.И. Шеко, Г.П. Постоев, В.С. Круподеров и др. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1999. – 79 с.
99. Ablowitz, M. Solitons and the Inverse Scattering Transform / M. Ablowitz, H. Segur. – Philadelphia, SIAM, 1981. – 387 p.
100. Architectural Institute of Japan. Recommendations for Loads on Buildings. Chapter 5. Snow Loads. URL: <http://www.aij.or.jp/>
101. Bartlett, S.J. Assessment of techniques for analyzing snow crystals in two dimensions / S.J. Bartlett and others // Annals of Glaciology, 2008. – Vol. 48. – P. 103-112.
102. Drevilo, M.S. Upon significance of the landscape - indication method in Sakhalin snow - avalanche studies / M.S. Drevilo // Avalanches and Related Subject: proceedings of the International Conference. – Kirovsk, Russia: LLS «Apatit-media», 1996. – P. 160-164.
103. Ebeling, W. Strukturbildung bei irreversiblen Prozessen / W. Ebeling. – Teubner, 1976. – 194 p.
104. EN 1991-1-3. Eurocode 1: Actions on structures. – CEN, 2003. – 48 p.
105. Flaig, W. Lavinien / W. Flaig. – Wiesbaden, Brockhaus, 1955. – 252 p.
106. Haken, H. Information and Self-Organisation / H. Haken. – Berlin, Heidelberg, 1983. – 240 p.
107. Holer, P. Avalanches in mountain forests and possible effects on hazard zoning in Austria / P. Holer // MGI. – 2003. – Vol. 93. – P. 100-103.
108. Kazakov, N. Mechanism of formation the debris - flow waves in coherent debrisflows generation by rain / N. Kazakov, I. Minervin // Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment: proceedings of the 2nd International Conference. – Taipei, Taiwan: Rotterdam: Balkema, 2000. – P. 397-402.
109. Kazakov, N. The avalanche front movement as solitary wave – soliton // Proceedings of the International Conference «Avalanches and Related Subject». Kirovsk, Russia: LLS «Apatit-media», 2001. P. 39-40.
110. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE 7-10. – Virginia, ASCE, 2010. – P. 425-446.
111. National building code of Canada, 2005. – Ottawa, NRCC, 2008. – 1167 p.
112. Newell, A. Solitons in mathematics and physics / A. Newell. – By Society for Industrial and Applied Mathematics, 1985. – 244 p.
113. Nishimura, K. Application of a simple snow cover model to avalanche warning systems / K. Nishimura and others // Physics, Chemistry and Mechanics of snow: abstracts of the 2nd intern. symp. – Yuzno-Sakhalinsk, Russia: IMG&G, 2013. – P. 107.
114. O'Rourke, M. Snow loads: a guide to the snow load provisions of ASCE 7-05 / M. O'Rourke. – Virginia, ASCE press, 2007. – 174 p.
115. Podolskiy, E. Wave of avalanche disasters in response to colonization: a century of statistics from the world's deadliest avalanche-prone islands / E. Podolskiy and others // Proceedings of International Snow Science Workshop Grenoble. – Grenoble, France: Chamonix Mont-Blanc, 2013. – P. 1135-1137.

ФОТОАЛЬБОМ





Рис. 1. Слева направо: техник-лавинщик Ю.В. Генсировский и начальник Чамгинской снеголавинной экспедиции Н.А. Казаков перед выходом на маршрут (Восточно-Сахалинские горы, 1990 г.).



Рис. 2. Снегомерный маршрут в Восточно-Сахалинских горах после прохождения глубокого циклона 02-07.01.1991 г.



Рис. 3. Зона транзита лавины смешанного снега объемом 40 тыс. м³, сошедшей в мае 1990 г. в районе Чамгинского перевала (Восточно-Сахалинские горы).



Рис. 4. Расчистка конуса выноса лавины объемом 50 тыс. м³ на лесовозной дороге с. Ясное – в/п. Загорный (Восточно-Сахалинские горы, февраль 1993 г.).



Рис. 5. Лавина смешанного снега, сошедшая в феврале 2013 г. на территории с. Сокольники. Описание делает С.В. Рыбальченко (Западное побережье о. Сахалин, Невельский район).



Рис. 6. Лавина перекристаллизованного снега, сошедшая в феврале 2014 г. на автодорогу г. Южно-Сахалинск – г. Невельск на въезде в с. Огоньки (Анивский район).



Рис. 7. Лавина перекристаллизованного снега, сошедшая со склона речной террасы высотой 15 м на территории с. Туманово (Восточное побережье о. Сахалин, Макаровский район).



Рис. 8. Лавину нового (метелевого) снега описывает Е.Н. Казакова. Лавина сошла 30.01.2013 г. с уступа морской террасы на автодорогу с. Горнозаводск – с. Шебунино (Западное побережье о. Сахалин).

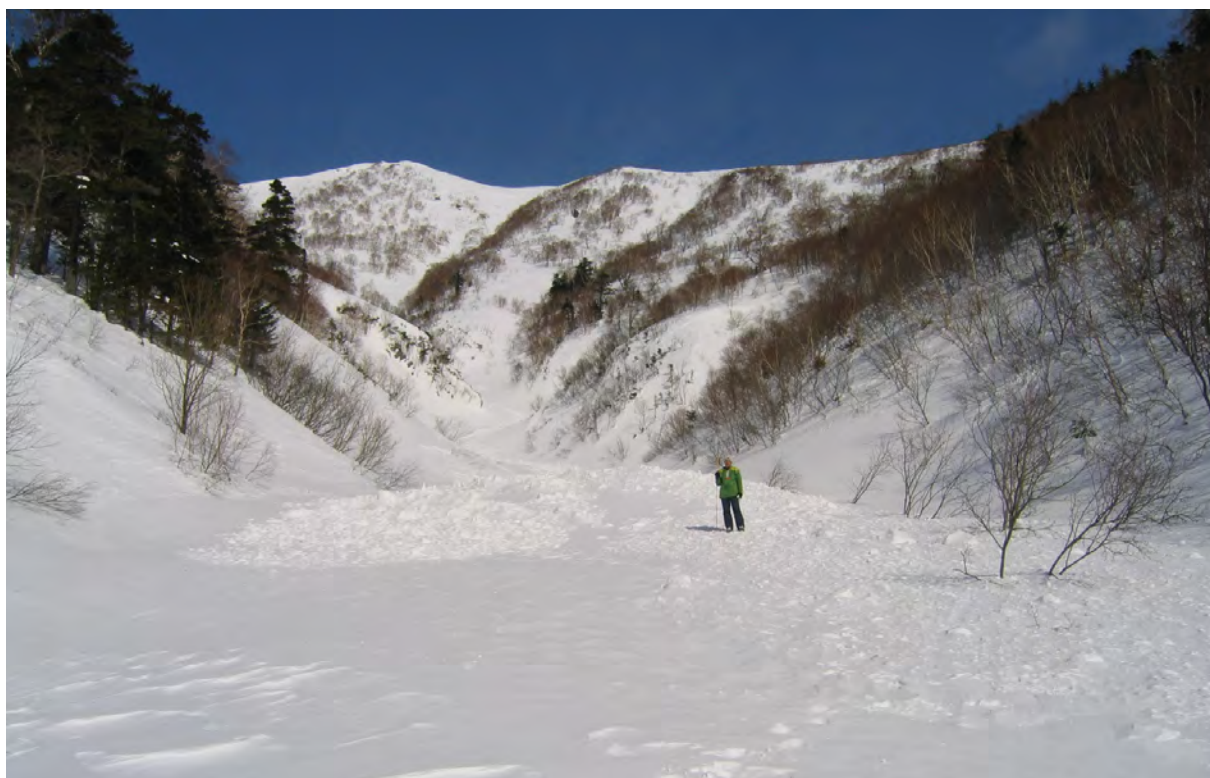


Рис. 9. Конус выноса лавины перекристаллизованного снега объемом 35 тыс. м³, сошедшей в феврале 2004 г. в бассейне р. Рогатка (Сусунайский хребет).



Рис. 10. Шурф в лавинных отложениях делает А.А. Музыченко. Февраль 2012 г., бассейн р. Рогатка (Сусунайский хребет).



Рис. 11. Противолавинные мероприятия на автодороге Ирокинда - Таксимо (Южно-Муйский хребет, республика Бурятия). Подготовку к активному воздействию на снежный пласт ведет Н.А. Казаков..



Рис. 12. Слева направо: И.А. Кононов и Н.А. Казаков проверяют снаряжение перед началом работ по обрушению снежного карниза (Западное побережье о. Сахалин).



Рис. 13. Спуск лавин методом механической подрезки снежного карниза. Тросик заводит С.П. Жируев.



Рис. 14. Сотрудники Сахалинского филиала ДВГИ производят обрушение снежного карниза при помощи тросика у северного выезда из г. Томари (Западное побережье о. Сахалин, Томаринский район).



Рис. 15. Противолавинная галерея при въезде в с. Горнозаводск, засыпанная лавиной (Западное побережье о. Сахалин, Невельский район).



Рис. 16. Толщину линии отрыва лавины, сошедшей в феврале 2011 г., измеряет Ю.В. Генсиоровский (пер. Озадачивый, Углегорский район).



Рис. 17. Конус выноса лавины. Май 2006 г., бассейн р. Рогатка (Сусунайский хребет).



Рис. 18. Многолетний снежник лавинного генезиса (Набильский хребет, Восточно-Сахалинские горы).



Рис. 19. Снегомерный маршрут в районе строительства олимпийских объектов, хр. Аибга (Западный Кавказ).



Рис. 20. Д.А. Боброва выполняет описание снежной толщи на хр. Аибга (Западный Кавказ).

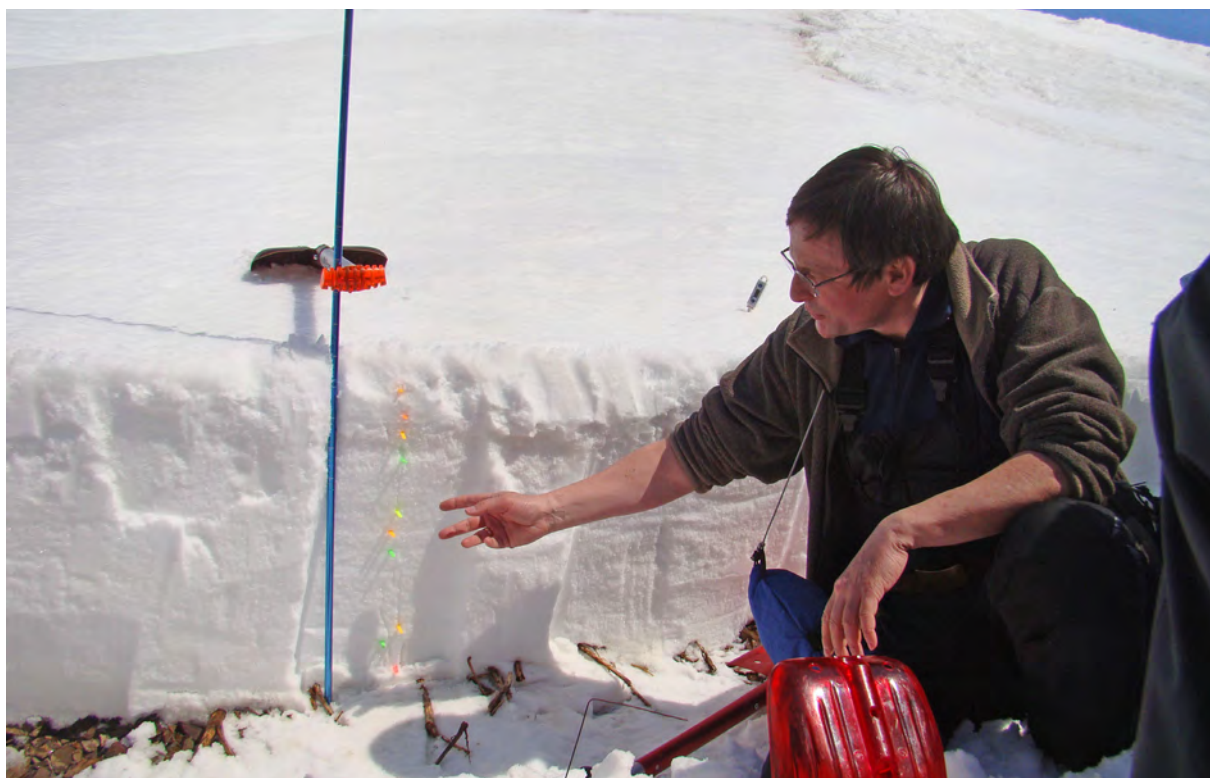


Рис. 21. Определение лавиноопасных слоев в снежной толще делает Н.А. Казаков.



Рис. 22. Кристаллы скелетного класса форм на стадии конструктивного метаморфизма (Южно-Муйский хребет, республика Бурятия).



Рис. 23. Электризация ледяных кристаллов во внешнем электрическом поле.



Рис. 24. Самоорганизация кластеров ледяных кристаллов в электрическом поле.



Рис. 25. Работы по описанию снежной толщи (пер. Озадачливый, Углегорский район).



Рис. 26. Шурф в зоне отрыва лавины на уступе морской террасы делает Ю.В. Генсировский.

Коллективная монография

Авторы:

Н.А. Казаков, Ю.В. Генсиоровский, С.П. Жируев,
Д.А. Боброва, Е.Н. Казакова, И.А. Кононов, В.А. Лобкина,
А.А. Музыченко, С.В. Рыбальченко

**СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛАВИНЫ:
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И
ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ**

Ответственный редактор: академик А.И. Ханчук

Рецензенты: член-корреспондент О.Н. Соломина,
PhD (Университет Хоккайдо), к.г.н. С.А. Сократов

Редакторы и корректоры: к.г.-м.н. Ю.В. Генсиоровский, к.г.н. В.А. Лобкина,
к.г.н. Е.Н. Казакова

Электронная верстка: А.В. Пинчук

Дизайн обложки: А.В. Пинчук

Отпечатано с оригинал-макета,
подготовленного в Институте морской геологии и геофизики ДВО РАН,
минуя редподготовку в «Дальнауке»

Подписано в печать: 15.01.2016 г.
Усл. печ. лист. 20,2. Уч.-изд. лист. 11,6.
Формат 60×84/8. Бумага «Color copy».
Тираж 100 экз. Заказ № 7782.
Печать цифровая.

Издательство «Дальнаука» ДВО РАН
690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7.

Отпечатано в ФГБУН Институт морской геологии и геофизики
Дальневосточного отделения РАН
693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б.
Офсетный цех.



Верхний ряд слева направо:
Лобкина В.А., Ставнийчук В.К., Павлов В.С., Боброва Д.А., Кононов И.А.

Средний ряд слева направо:
Казакова Е.Н., Степнова Ю.А., Рыбальченко С.В., Генсиоровский Ю.В., Музыченко А.А.

На переднем плане:
Казаков Н.А.

Лаборатория лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала ДВГИ ДВО РАН.

Сахалинский филиал был образован в 2002 году как структурное подразделение Дальневосточного Геологического института ДВО РАН. На базе филиала активную научно-исследовательскую деятельность ведет лаборатория лавинных и селевых процессов. Областью научных интересов коллектива лаборатории является: изучение снежного покрова, лавинных, селевых и других опасных экзогенных геодинамических процессов. За период с 2002 по 2015 гг. сотрудники лаборатории участвовали в экспедициях по изучению лавинных и селевых процессов и снежного покрова на территории Сахалинской области, в Забайкалье, в Западной и Восточной Сибири, на Западном и Северном Кавказе, на Ямале, Кольском полуострове, в Архангельской области и в Средней полосе России. По результатам выполненных исследований было опубликовано 293 работы, в том числе, 65 - в журналах из списка ВАК, 12 - в журналах Scopus, 6 - Web of Science, получен патент на изобретение.

В настоящее время коллектив лаборатории состоит из 13 сотрудников, из которых 6 имеют ученую степень кандидатов геолого-минералогических и географических наук, 1 - обучается в аспирантуре ДВГИ ДВО РАН.

