

Формирование текстуры снежного слоя в зависимости от начальной структуры отложенного снега

© 2011 г. В.А. Лобкина, М.В. Михалев

Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Южно-Сахалинск

valentina-lobkina@rambler.ru

Статья принята к печати 15 декабря 2010 г.

Волокнистая текстура, корки, метаморфизм, перекристаллизация, плотность снега, разрыхление, столбчатая текстура, сублимация.

Density of snow, fiber texture, loosening, metamorphism, columnar texture, crusts, recrystallization, sublimation.

Проанализированы результаты наблюдений за снежной толщей на юге о. Сахалин зимой 2009/10 г. Рассмотрено формирование текстуры снежных слоёв и определена зависимость скорости развития текстуры от характеристик снежного слоя при его формировании. Период перехода от монолитной текстуры к столбчатой в снежном слое, сформированном из снежной крупы, в среднем составляет 38 дней, а в слое, сформированном из звёзд и пластинок, – 14 дней. Период перехода от столбчатой текстуры в волокнистую в снежном слое, сформированном из снежной крупы, равен 35 дням, а в снежном слое, сформированном из звёзд и пластинок, – 15 дням. Скорость формирования текстуры снежной толщи увеличивается и под корками, и над ними.

Введение

Текстура снежной толщи – важный фактор определения степени лавинной опасности. Исследования линий отрыва снежных лавин смешанного генезиса, которые велись на Сахалине с декабря по апрель 1978–2010 гг. [4], показали, что снежный пласт обрушивается по слоям, имеющим волокнистую или столбчатую текстуру.

Лавины перекристаллизации снежной толщи на юге о. Сахалин составляют около 31% их общего числа [4]. Большая часть этих лавин также сходит по слоям с волокнистой текстурой. Объясняется это тем, что снежные слои с такой текстурой имеют относительно невысокие прочностные характеристики. Поэтому изучение динамики развития текстуры снежной толщи – важная проблема прогноза лавинной опасности.

Исследования, выполненные авторами, позволяют говорить о времени, в течение которого в снежном слое формируются столбчатые и волокнистые текстуры. Зная временной отрезок, можно определить период формирования неустойчивых (лавиноопасных) слоёв в снежной толще. В процессе исследований установлено время формирования в слое волокнистой и столбчатой текстур, а также определена зависимость скорости формирования текстуры от плотности и структуры снежного слоя на момент его отложения.

Под текстурой снежной толщи обычно понимают особенности её строения, обусловленные ориентировкой и пространственным расположением ледяных кристаллов [2]. В этом случае текстура снежной толщи имеет количественные характеристики, что позволяет определить общее состояние снежной толщи и степень её развития.

В настоящей работе авторы рассматривают развитие текстуры снежной толщи, которая описывается качественно. Выделяют три типа текстуры: монолитную, столбчатую и волокнистую [2]. Различия между ними состоят в линиях ориентации ледяных кристаллов в снежном слое.

Динамика свойств снега обусловлена его существованием при температуре, близкой к точке плавления льда, поэтому поверхности составляющих его ледяных кристаллов термодинамически неустойчивы. Начиная с момента выпадения снега, он непрерывно метаморфизуется. При этом значительно изменяются его ледяной скелет, пористость, плотность и прочностные свойства. При формировании снежных слоёв в толще возникает слоистая структура с разными свойствами слагающих её слоёв. Она сохраняется до начала регрессивного метаморфизма, когда при перераспределении водяного пара происходят деградация (округление) кристаллов и спаивание их друг с другом [6].

Хотя изучению структуры снежной толщи и скорости формирования различных классов и типов ледяных кристаллов уделяется большое внимание [2, 8], часто не учитывают влияние скорости формирования текстуры снега на периоды образования лавиноопасных слоёв.

Методика исследования

Наблюдения проводились на контрольной площадке один раз в два дня (48 ч) в январе–марте 2010 г., что позволило проследить развитие текстуры снежного слоя с момента его образования. Зимой 2009/10 г. устойчивый снежный покров установился в г. Южно-Сахалинск 14 ноября, средняя толщина снега за зиму была выше среднегодовых значений.

Таблица 1. Характеристики слоёв на момент их формирования

Дата образования слоя	Продолжительность снегопада, ч	Условия выпадения осадков	Тип снежинок	Плотность новосформированного слоя, кг/м ³
05–08.12.2009	54	Умеренный снег	Крупа	130
12–13.12.2009	18			130
28–29.12.2009	36		Звёзды, пластинки	120
01–04.01.2010	60	Сильный снег	Крупа	140
05–07.01.2010	48	Слабый снег с дождём		120
01–02.02.2010	—	Слабый снег	Звёзды, пластинки	60
07–08.02.2010	65	Умеренный снег		120
20–22.02.2010	39	Сильный снег		120

На рисунке приведён разрез снежной толщи за февраль. Стратиграфические наблюдения за толщиной велись по методике Э.Г. Коломыца [5]. Определяли структуру и текстуру снежной толщи. Измерялись плотность снежных слоёв, температура на контактах между слоями, размеры ледяных кристаллов. Фиксировали условия формирования слоёв и определяли характеристики новообразованного слоя снежной толщи путём исследований её после снегопада (табл. 1). Форму снежинок и условия выпадения осадков фиксировали во время снегопадов.

При оседании свежавыпавшего снега образуются несущие и промежуточные кластеры ледяных кристаллов. С увеличением нагрузки на слой снежной толщи количество промежуточных кластеров уменьшается, так как у подверженных нагрузке несущих кластеров ледяных кристаллов выделяется энергия, которая приводит к испарению промежуточных кластеров и сублимации выделившегося водяного пара на несущих кластерах [7]. Уменьшение количества промежуточных кластеров в снежном слое вызывает рост несущих кластеров ледяных кристаллов, смену их структуры и упорядочивание текстуры слоя. При этом прочностные характеристики снежного слоя ослабевают, что делает его более лавиноопасным.

Важную роль в формировании текстуры снежной толщи играют корки разного генезиса, которые служат катализаторами процессов конструктивного метаморфизма. Корки влияют на интенсификацию перехода от одного типа текстуры снежной толщи к другой. При этом данный процесс наблюдается как над коркой, так и под ней. Корки в снежной толще служат преградой для миграции водяных паров, что обуславливает температурные скачки за счёт выделения тепла у нижней поверхности уплотнённого слоя [3]. Интенсификация диффузного потока, наблюдаемая при этом, способствует быстрому росту ледяных кристаллов и формированию волокнистой текстуры снежной толщи [1]. Кроме того, если ледяная корка находится в зоне суточных колебаний температуры, то над ней также формируется зона температурного скачка.

Результаты исследования

Мы рассматриваем изменение характеристик слоя снежной толщи в зависимости от формы снежинок, которые его образовали. Выбранные для исследования слои сформированы следующими структурными формами снежинок: звёздами, пластинками и снежной крупой. Натурные наблюдения показали, что слой, сформированный из снежной крупы, оседает медленнее слоя, сформированного из звёзд и пластинок. Следовательно, скорость образования несущих и промежуточных кластеров ледяных кристаллов в слое из снежной крупы меньше, чем в слое, сформированном из звёзд и пластинок.

В случае волокнистой текстуры слой из звёзд и пластинок формируется быстрее возникшего из снежной крупы. Так, время перехода от монолитной к столбчатой текстуре в толще из снежной крупы составляло 38 дней, а в слое, расположенном под ледяной коркой, — 31 день. В свою очередь для слоя из звёзд и пластинок среднее время перехода от монолитной к столбчатой текстуре равно 14 дням, а в снежном слое, расположенном на ледяной корке, — всего 10 дням.

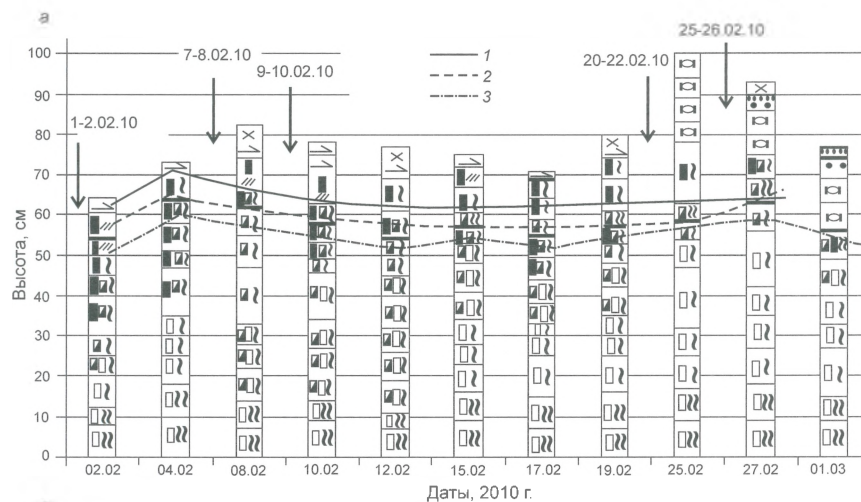
Время формирования волокнистой текстуры для слоя, сформированного из снежной крупы, составляет 75 дней, а в слое под ледяной коркой — 42 дня. Для слоя снежной толщи из звёзд и пластинок волокнистая текстура формируется в среднем за 30 дней. Продолжительность трансформации текстуры снежного слоя из монолитной в столбчатую и из столбчатой в волокнистую показана в табл. 2 и 3.

Обсуждение результатов

Изучение текстуры снежной толщи осложняется из-за отсутствия методики её количественной оценки. В настоящее время вся текстура снежной толщи оценивается качественно, что затрудняет анализ данных других исследований. Мы можем говорить о выделении текстуры только в момент её максимального развития, и нельзя достоверно опре-

Таблица 2. Время перехода монолитной текстуры снежной толщи в столбчатую

Дата образования слоя	Дата установления столбчатой текстуры	Время с момента образования слоя до установления столбчатой текстуры, сут.	Структура слоя	Плотность, кг/м ³
05–08.12.2009	19.01.2010	45	Гранная, полускелетная	290
12–13.12.2009	25.01.2010	44	Полускелетная, скелетная	280
28–29.12.2009	19.01.2010	23	Гранная, полускелетная	260
01–04.01.2010	02.02.2010	32	Гранная	200
05–07.01.2010	04.02.2010	31		240
01–02.02.2010	12.02.2010	11		180
07–08.02.2010	17.02.2010	10		160
20–22.02.2010	05.03.2010	13	Гранная, полускелетная	260



б

Тип снега и класс форм ледяных кристаллов (по Э.Г. Коломьцу)	
Обозначение	Класс форм ледяных кристаллов
Первично-идиоморфный снег	
×	Свежевыпавший
→	Обломочный
⊠	Сублимационно-полидрический
⊗	Коррозионно-полидрический
••	Режеляционно-полидрический
Вторично-идиоморфный снег	
■	Гранный плоский
▬	Гранный столбчатый
▨	Полускелетный столбчатый
▩	Полускелетный столбчатый
□	Скелетный плоский
▭	Скелетный столбчатый
▮	Секториальный
▯	Плстинчатый
Текстура вторично-идиоморфного снега	
///	Монолитная
§	Столбчатая
≈	Волокнистая
Состояние снега	
▬▬▬	Режеляционная корка
▬▬▬	Ледяная корка
↓	Снегопады

Стратиграфический разрез снежной толщи за февраль (а) и условные обозначения (б)

Stratigraphic profile of snow cover for February (а) and type of snow and class of the ice crystals form (б)

Таблица 3. Время перехода столбчатой текстуры снежной толщи в волокнистую

Дата образования слоя	Дата установления волокнистой текстуры	Время трансформации столбчатой текстуры в волокнистую, сут.	Структура слоя	Плотность, кг/м ³
5–8.12.2009	25.02.2010	37	Скелетная	320
12–13.12.2009	05.03.2010	40		300
01–04.01.2010	17.02.2010	15	Полускелетная	220
05–07.01.2010	15.02.2010	11		200
01–02.02.2010	27.02.2010	16		260

делить, к какой текстуре относится снежный слой при переходе в новое текстурное состояние.

Время и скорость развития текстуры меняются в зависимости от типа зимы. Развитие снежной толщи определяют внешние условия её формирования — температура, скорость ветра, атмосферное давление, особенно в начале зимы. Необходимо определить время развития текстуры для каждого типа зим, что облегчит лавинный прогноз.

Выявленное нами время формирования волокнистой текстуры снежного слоя на о. Сахалин согласуется с данными по развитию структуры снега. Лавины перекристаллизации на Южном Сахалине формируются с середины — конца декабря до конца марта, что совпадает с периодом появления в снежной толще слоёв с волокнистой текстурой. В марте на юге о. Сахалин формируются лавины смешанного генезиса, в которых верхние слои снежной толщи состоят из влажного режеляционного снега, а нижние — из сильно перекристаллизованного снега с волокнистой текстурой.

Выводы

Натурные наблюдения показали, что решающее влияние на скорость формирования столбчатой текстуры оказывают плотность и структура новообразованного снега. Скорость формирования волокнистой текстуры зависит также от интенсивности сублимации водяного пара на несущих кластерах ледяных кристаллов. Среднее время перехода от монолитной текстуры снежной толщи к столбчатой в слое, сформированном из снежной крупы, составляет 38 дней, а в слое из звёзд и пластинок — 14 дней. Время трансформации столбчатой текстуры в волокнистую в слое снежной толщи из снежной крупы в среднем равно 35 дням, а в слое из звёзд и пластинок — 15 дням.

Скорость формирования текстуры снежной толщи растёт непосредственно под корками и над ними. Время перехода монолитной текстуры в столбчатую уменьшается здесь на 10 дней в слоях, сформированных из самых разных типов снега. На такое же время снизилась и длительность перехода столбчатой текстуры в волокнистую в слое, лежащем на ледяной корке и сформированном из звёзд и пластинок. Слой из снежной крупы, находя-

щийся под ледяной коркой, меняет столбчатую текстуру на волокнистую на 20 дней быстрее, чем аналогичный снег, не соприкасающийся с ледяной коркой.

Литература

1. Войтковский К.Ф., Голубев В.Н., Сазонов А.В., Сократов С.А. Новые данные о коэффициенте диффузии водяного пара в снеге // МГИ. 1988. Вып. 63. С. 76–81.
2. Гляциологический словарь / Под ред. В.М. Котлякова. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 526 с.
3. Жидков В.А., Олейников А.Д., Самойлов Р.С. Прочностные свойства горизонтов разрыхления в снежной толще // МГИ. 1992. Вып. 73. С. 65–73.
4. Казаков Н.А. Перекристаллизация снега и особенности лавинообразования на Сахалине и Курильских островах // Материалы межд. науч. конф. «Гляциология в начале XXI века». М.: Университетская книга, 2009. С. 70–77.
5. Колосыц Э.Г. Структура снега и ландшафтная индикация. М.: Наука, 1976. 206 с.
6. Михалев М.В., Лобкина В.А. Зависимость скорости метаморфизма снежной толщи от степени гидроморфности фации (на примере юга о. Сахалин) // МГИ. 2008. Вып. 105. С. 125–127.
7. Самойлюк В.И. Механизм формирования и развития текстуры снежной толщи // МГИ. 1992. Вып. 73. С. 59–62.
8. Fierz C., Armstrong R.L., Durand Y., Etchevers P., Greene E., McClung D.M., Nishimura K., Satyawali P.K., Sokratov S.A. The international classification for seasonal snow on the ground (UNESCO, IHP-VII. Technical Documents in Hydrology, № 83; IACS (Intern. Association of Cryospheric Sciences) contribution № 1). Paris: UNESCO/Division of Water Sciences, 2009. vi+67+18 p.

Summary

The paper analyzes the results of snow pit observations on the development of snow cover in the south of Sakhalin in 2009/10 winter season. The formation of the texture (as anisotropic features of snow structure) of selected snow layers was observed. The relation between the speed of the texture development and the structure of snow layer during its formation was determined. The effect of ice crusts in snow on the speed of texture formation is described. The transition from monolithic texture to fiber one in a snow layer formed by graupel takes on average 38 days, while in a layer formed by stellars and plates it takes 14 days. The transition from fiber texture to columnar one in a snow layer formed by graupel takes on average 35 days. In a snow layer formed by stellars and plates it takes 15 days.