Криосфера Земли, 2018, т. XXII, № 1, с. 72–93 **http://www.izdatgeo.ru**

УДК 551.578.41: 551.578.46: 551.578.483 DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-1(72-93)

ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Н.А. Казаков, Ю.В. Генсиоровский, С.П. Жируев

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Сахалинский фил., лаборатория лавинных и селевых процессов, 693023, Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25, Россия; kazakovna@fegi.ru

На основе результатов исследования строения снежной толщи в 2530 шурфах (1979–2017 гг.) в разных регионах России (о. Сахалин, Курильские острова, Забайкалье, Кольский полуостров, п-ов Ямал, Западный и Северный Кавказ, Западная и Восточная Сибирь, Подмосковье, Архангельская область) разработано понятие литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова. Снежная толща описывается как мономинеральная горная порода. В районах, сходных по ландшафтным, гидрометеорологическим и геофизическим условиям седиментации и диагенеза снежной толщи, но расположенных в разных регионах, формируются однотипные стратиграфические разрезы снежного покрова со сходными стратификацией, структурой, текстурой и физическими характеристиками. Разработана классификация литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова (пять таксономических уровней). Количественно степень преобразования структуры и текстуры снежной толщи описывается коэффициентами ее перекристаллизации, вторичного расслоения и текстуры. Скорость изменения формы и размера ледяного кристалла имеет устойчивые значения, что позволяет прогнозировать изменение параметров ее структуры и текстуры. В большинстве регионов России через 20–60 суток после установления снежного покрова ледяные кристаллы достигают стадии скелетного класса форм.

Литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова, структура снега, текстура снежного слоя

SNOW LITHOSTRATIGRAPHIC COMPLEXES

N.A. Kazakov, J.V. Gensiorovskiy, S.P. Zhiruev

Far-Eastern Geological Institute, FEB RAS, Sakhalin Branch, Laboratory of Avalanches and Debris-flow Processes, 25, Gorkogo str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia; kazakovna@fegi.ru

The concept of snow lithostratigraphic complexes, with snow considered as a monomineral rock, has been suggested based on studies at 2530 snow pits in 1979 through 2017, in different regions of Russia (Sakhalin Island, Kuriles, Transbaikalia, Kola and Yamal peninsulas, Western and Northern Caucasus, West and East Siberia, Moscow and Arkhangelsk regions). Snow complexes with similar stratification, snow microstructure, and physical properties form in geographically dispersed regions which have similar landscape, weather, and physical conditions of snow deposition and metamorphism. The suggested classification of snow lithostratigraphic complexes includes five hierarchic levels. The degree of changes in snowpack structure and snow microstructure is described quantitatively by coefficients of secondary stratification and recrystallization. Size and shape changes in ice crystals have constant rates and are thus predictable. In most of regions in Russia, ice crystals acquire skeletal shapes (depth hoar) in 20 to 60 days after snowfall, depending on landscape.

Snow lithostratigraphic complex, snowpack structure, snow microstructure

ВВЕДЕНИЕ

В большинстве работ по снеговедению и лавиноведению (как в России, так и за рубежом) снежный покров рассматривается главным образом с феноменологических позиций классической термодинамики – как трехкомпонентный пористый материал, способный к необратимым вязким деформациям. В структурном анализе снежной толщи преобладает гранулометрический подход: рассматриваются преимущественно континуальные характеристики снежных зерен и контакты между ними, а информация о форме кристаллов считается второстепенной [*Руководство..., 1965; Гляциологический словарь, 1984; Божинский, Лосев, 1987; Handbook..., 1981; Bartlett et al., 2008*]. Достаточно хорошо изучены основные физические свойства снега [*Войтковский, 1977; Handbook..., 1981*] и разработаны физические и математические модели снежной толщи [*Войтковский, 1977; Болов, 1981; Руководство..., 1984; Божинский, Лосев, 1987*], что имеет важное теоретическое и прикладное значение. Однако при исследовании снежной толщи не определяется содержание в снежных слоях ледяных кристаллов разных классов форм и не изучаются вопросы эволюции снежной толщи, ведущей к усложнению ее строения и изменению физических характеристик.

Основы учения об эволюции снежного покрова были сформулированы Г.К. Тушинским [*1950*], а затем развиты Э.Г. Коломыцем [*1976, 1977*]. К сожалению, идеи Г.К. Тушинского оказались незаслуженно забыты.

Поскольку снежная толща в различных ландшафтах имеет разное строение [*Коломыц, 1976*], ее физические характеристики (зависящие от ее стратификации, структуры и текстуры) во многом обусловлены ландшафтным строением территории, определяющим различия в строении снежного покрова даже в одном климатическом районе.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОНЯТИЯ "ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС СНЕЖНОГО ПОКРОВА"

В настоящей работе анализируются результаты исследования снежного покрова в 1430 шурфах, описанных авторами, и в 1100 шурфах, описанных их коллегами в 1979–2017 гг. на о. Сахалин, Курильских островах, в Забайкалье, на Кольском полуострове, п-ове Ямал, в Архангельской области, Подмосковье, на Западном и Северном Кавказе, в Западной и Восточной Сибири. Исследования показали, что снежная толща в однотипных ландшафтах с близкими степенью гидроморфности и спектром гидрометеорологических условий зимы в разных климатических зонах имеет сходное строение. Поэтому процессы, формирующие снежную толщу, обусловлены характеристиками вмещающего ландшафта, что позволяет систематизировать типы строения снежной толщи в разных ландшафтах так же, как систематизированы комплексы горных пород.

Ключевым является учение об эволюции снежного покрова [*Тушинский, 1950; Коломыц, 2013*]. В нашем понимании эволюция снежного покрова – детерминированный процесс, обусловливающий образование, накопление и метаморфизм снежной толщи в результате совокупного воздействия гидрометеорологических и геофизических факторов. На разных этапах эволюции формируется снежная толща с определенными структурой, текстурой и стратификацией, которые обусловливают значения физических (в том числе прочностных) характеристик снежного покрова.

В снеговедении снежная толща традиционно рассматривается как географический объект. Однако ее можно описать как мономинеральную горную породу (пакет снежных слоев разного возраста, имеющих разные физические характеристики), в которой лед – основной породообразующий минерал. Определение снега как горной породы давали многие ученые [*Тушинский, 1949; Рихтер, 1955; Савельев, 1980; Котляков, 2002*]. Для исследования снежной толщи как элемента геологической среды целесообразно использовать методы и подходы, разработанные в геологии для описания и классификации однотипных комплексов горных пород.

Таким образом, снежный покров правомерно описывать как литолого-стратиграфический комплекс [*Геологический словарь, 1978*]: литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова, залегающий в однотипных ландшафтах, проходящий седиментацию и диагенез в сходных гидрометеорологических и геофизических условиях и формирующий в однотипные зимы спектры стратиграфических колонок снежной толщи с близкими структурой, текстурой, стратификацией (количество и толщина снежных слоев) и физическими характеристиками [*Kazakov et al., 2012*].

Литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова формируется и эволюционирует в конкретном ландшафте под воздействием всей совокупности протекающих в нем физических, геологических и географических процессов (в соответствии с классическим определением ландшафта [*Щукин, 1980*]). Эволюция литолого-стратиграфического комплекса снежного покрова детерминирована: в ее процессе формируется снежная толща, структурно-текстурные и физические характеристики которой задаются гидрометеорологическими и геофизическими условиями вмещающего ландшафта и могут быть заранее рассчитаны.

В однотипных ландшафтах, расположенных в разных регионах, формируются близкие по своим параметрам литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова. Литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова в разных ландшафтах даже в однотипные зимы имеют различные стратификацию, структуру и текстуру снежной толщи. Любой сложный физический объект (в том числе природный) или совокупность объектов, между которыми существуют физические связи, можно описать как физическую систему. Такой подход позволил Б.В. Сочаве

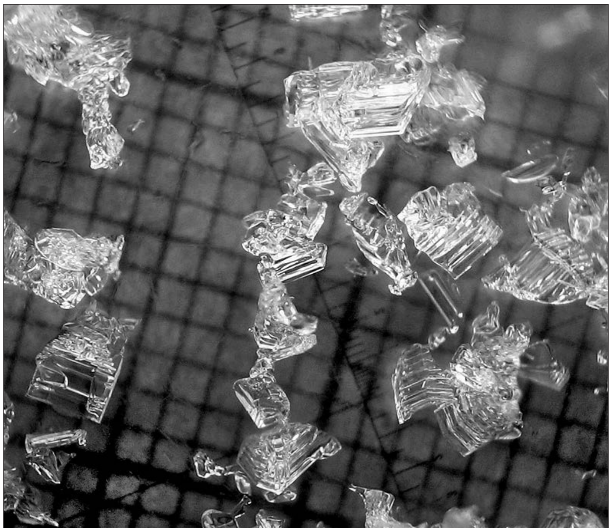


Рис. 1. Структура снежного слоя: форма и размер ледяных кристаллов.

Ледяные кристаллы скелетного класса форм. Масштаб палетки – 1 мм. Фото Н.А. Казакова.

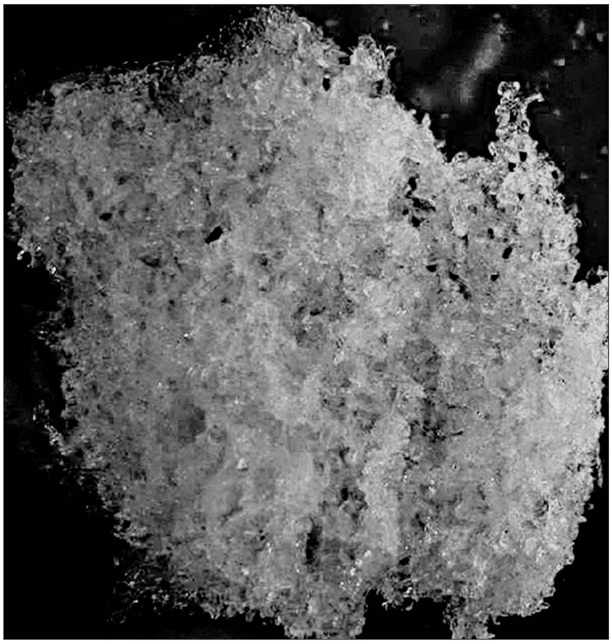


Рис. 2. Текстура снежного слоя: взаимное расположение ледяных кристаллов и пор в снежном слое.

Волокнистая текстура. Фото Н.А. Казакова.

[*1978*] создать учение о геосистемах. Снежный покров является геосистемой (совокупностью геосистем). Литолого-стратиграфические комплексы разных таксономических уровней следует рассматривать и описывать как подсистемные уровни в геосистеме "Снежный покров". Основными управляющими параметрами в физической системе "Снежная толща" являются структура (форма и размер ледяных кристаллов, рис. 1) и текстура (взаимное расположение кристаллов и пор в снежном слое и ориентировка оптических осей кристаллов) снежного слоя (рис. 2).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРАТИФИКАЦИИ, СТРУКТУРЫ И ТЕКСТУРЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Для выделения литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова авторы количественно описывают структуру и текстуру снежных слоев, используя методы кристалломорфологического анализа снежного покрова в рамках теории структурного снеговедения [*Коломыц, 2013*].

Главный недостаток существующих классификаций снега [*Руководство..., 1965; Гляциологический словарь, 1984; Божинский, Лосев, 1987; Handbook..., 1981*] в том, что в них не рассматривается эволюция ледяного кристалла в снежной толще, приводящая к изменению не только размера кристалла, но и его формы (рис. 3).

Как следствие, при описании структуры снега формы ледяных кристаллов, изменяющиеся в ходе их метаморфизма, описываются как объекты, не связанные в единую генетическую последовательность форм, в которой каждый последующий тип кристаллов является развитием предшествующего типа. При этом средний по слою размер кристалла и преобладающая в слое форма кристаллов определяются не на основе количественной выборки и ее последующей статистической обработки, а произвольно. Кроме того, размер кристаллов определяется в категориях "Мелкозернистый", "Среднезернистый" и "Крупнозернистый", а форма кристалла – в категориях "Зернистый" и "Глубинная изморозь". Не определяется также возраст снежного слоя. В результате даже наиболее совершенная на сегодня классификация снега [*The International Classification..., 2009*] не позволяет прогнозировать изменение формы и размера кристалла и, соответственно, изменение характеристик снежного слоя [*Sokratov, Kazakov, 2012*]. В то же время в существующих классификациях снега ледяные кристаллы не описываются с позиций кристаллографии, что не позволяет использовать количественные методы анализа материалов наблюдений. Применение единых методических подходов к наблюдению и описанию структуры снежной толщи по [*The International Classification..., 2009*] позволяет решить проблему лишь частично.

Напротив, морфогенетическая классификация Э.Г. Коломыца [*1976, 1977, 2013*] и ее модификации [*Kazakov et al., 2012*] позволяют на основе теории эволюции снежной толщи выявлять закономерности ее развития и прогнозировать изменение структуры и текстуры снежной толщи, определяя скорость трансформации кристаллов одного типа в другой, т. е. прогнозировать изменение физических характеристик снежного покрова.

Важной представляется также возможность количественного описания структуры снежной толщи в терминах кристаллографии [*Коломыц, 1977, 2013*], что будет способствовать созданию математических моделей снежной толщи. Следует отметить, что разработанная авторами методика описания структуры на основе классификации Э.Г. Коломыца включена в русское издание [*Международная классификация..., 2012*].

Обычно при стратиграфических наблюдениях определение структуры снежной толщи выполняется визуально и представляет собой экспертное заключение. Однако для объективного описания структуры, моделирования физических процессов, происходящих в снежной толще, и для прогноза лавин необходима статистическая информация о количественном и процентном содержании в снежном слое ледяных кристаллов различных классов форм и разного размера.

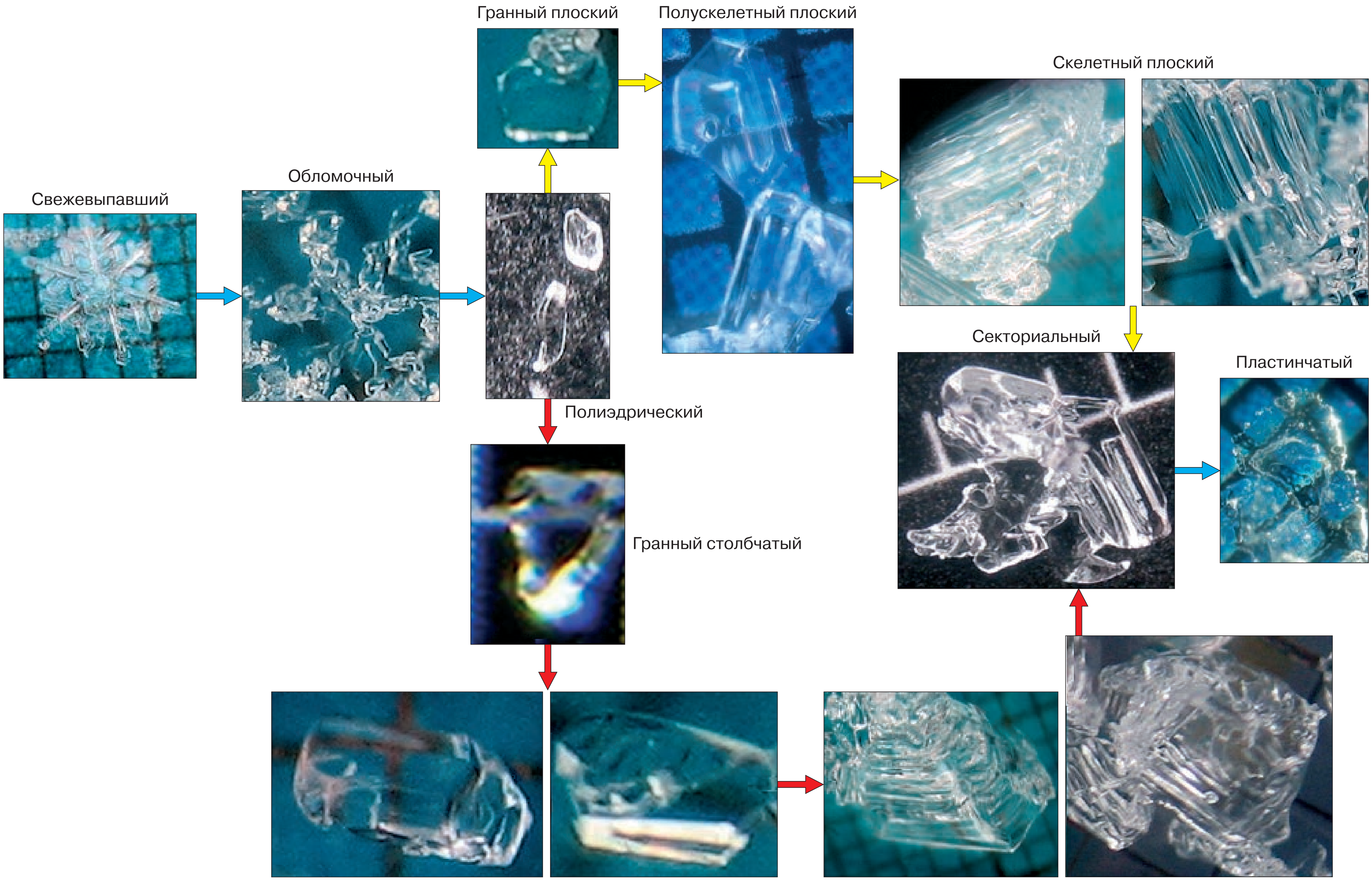


Рис. 3. Изменение формы ледяных кристаллов в ходе эволюции снежной толщи.

Для решения этой задачи при исследовании снежной толщи в шурфах мы выполняем макрофотосъемку ледяных кристаллов из каждого снежного слоя (см. рис. 1). Затем при камеральной обработке фотографий определяются классы форм ледяных кристаллов вторично-идиоморфного снега по морфогенетической классификации Э.Г. Коломыца [*1977*] (табл. 1), их средний и максимальный размеры и рассчитывается процентное содержание в слое кристаллов разных классов форм.

Эти параметры определяются по выборке из не менее чем 20 кристаллов (табл. 2) либо с помощью программного комплекса для автоматизации стратиграфических исследований снежной толщи в снежных шурфах [*Кононов, Казаков, 2011; Кононов, 2012, 2014*], позволяющего сделать статистическую выборку из 100 кристаллов и более в каждом снежном слое. Прилагаемые к стратиграфической колонке фотографии ледяных кристаллов позволяют использовать материалы наблюдений и другим исследователям.

Для оценки степени упорядоченности ориентации кластеров ледяных кристаллов и пор в снежном слое выделяются три типа его текстуры: монолитная, столбчатая и волокнистая (рис. 4). Текстура изменяется в ходе ее эволюции от монолитной до волокнистой и определяется визуально.

При описании литолого-стратиграфического комплекса снежного покрова наряду со структурой и текстурой снежных слоев авторами определяются количество снежных слоев, их толщина, плотность, твердость и возраст – важнейший параметр, позволяющий рассчитывать скорость эволюции снежного слоя. Основные определяемые и рассчитываемые параметры снежной толщи представлены в ее стратиграфической колонке (табл. 3).

Таблица 1. **Условные обозначения к стратиграфическим колонкам снежного покрова**

1. Структура снега. Тип снега и класс формы ледяного кристалла (по Э.Г. Коломыцу)			2. Текстура снежного слоя	
Символ	Тип снега. Класс формы ледяного кристалла	Вид и стадия метаморфизма		Монолитная
				Столбчатая
1.1. Первично-идиоморфный снег				Волокнистая
*	Свежевыпавший*		3. Влажность снега *	
	Корразионно-полиэдрический			Сухой
	Обломочный	Деструктивная		Влажный
• •	Режеляционно-полиэдрический	Режеляционный		Мокрый
	Сублимационно-полиэдрический	Округление		Очень мокрый
1.2. Вторично-идиоморфный снег		Сублимационный	4. Твердость снега*, кг/м^2	
	Гранный плоский	Конструктивная		Очень мягкий
	Гранный столбчатый			Мягкий
	Полускелетный плоский			Средний
	Полускелетный столбчатый			Твердый
	Скелетный плоский			Очень твердый
	Скелетный столбчатый			Лед
	Секториальный	Регрессивная	5. Подстилающая поверхность	
	Пластинчатый			
1.3. Корки и включения				Кедровый стланик
	Режеляционная			Курильский бамбук
	Ледяная			Трава
	Нерасчлененные кластеры режеляционных кристаллов			
см	Смерзшийся снег			

* По: [*The International Classification for Seasonal Snow on the Ground, 2009*].

Таблица 2. **Определение размеров и классов форм ледяных кристаллов в снежном слое при стратиграфических наблюдениях в снежной толще**

Слой № 10	Высота слоя: 49–52 см				Дата наблюдения: 09.01.2013					Дата формирования слоя: 31.12.2012						Возраст слоя: 10 сут					Сумма размеров, мм	Размер кристалла, мм		Содержание кристаллов		Сумма кристаллов разных форм		Монотриклинный коэфф-т	Вариант метаморфизма
Класс формы кристалла	Диаметр кристалла, мм																					сред.	макс.	ед.	%	плоских	столбчатых		
	Номер кристалла																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20									
	0.2	0.5	0.5	0.5		0.6	0.6	0.6		0.6	0.4	0.5	0.5	0.3	0.3	0.2	0.5	0.5			7.3	0.5	0.6	16.0	0.8				
																					0.0		0.0	0.0	0				
					0.6				1.1										1.0	1.0	3.7	0.9	1.1	4.0	0.2	0.0	20.0	0.00	Столбчатый
																					0.0		0.0	0.0	0				
																					0.0		0.0	0.0	0				
																					0.0		0.0	0.0	0				
																					0.0		0.0	0.0	0				
																					0.0		0.0	0.0	0				
																					11.0	0.6	1.1	20.0	1				

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ СТЕПЕНЬ ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Как правило, описание снежной толщи как объекта с определенной структурой и текстурой выполняется на качественном уровне [*Руководство..., 1965; Божинский, Лосев, 1987; The International Classification..., 2009*].

Критериями для выделения однотипных литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова и для систематизации материалов наблюдений должны быть количественные параметры, описывающие строение и степень преобразования структуры и текстуры снежной толщи.

В качестве таких параметров авторы использовали коэффициенты *перекристаллизации* ($K_п$), *вторичного расслоения* ($K_{вр}$) [*Коломыц, 1977*] и *текстуры* ($K_т$) снежной толщи [*Kazakov et al., 2012*]:

$$K_п = H_1/H,$$

$$K_{вр} = \Sigma N_2 \cdot H_2 / \Sigma N_1 \cdot H_1,$$

$$K_т = H_в/H,$$

где H – суммарная толщина снежного покрова; H_1 – суммарная толщина слоев вторично-идиоморфного снега; H_2 – суммарная толщина слоев, выполненных кристаллами скелетного класса форм; $H_в$ – суммарная толщина слоев с волокнистой текстурой; ΣN_2 – суммарное содержание кристаллов скелетного класса форм, %; ΣN_1 – суммарное содержание кристаллов вторично-идиоморфного снега, %.

Сочетание коэффициентов позволяет количественно описать строение снежной толщи (табл. 4) в любой период зимы для четырех типов зим: малоснежной, среднеснежной, многоснежной и зимы с частыми оттепелями. Снежность зим определяется по сумме твердых осадков.

Характеристики снежной толщи в литолого-стратиграфических комплексах снежного покрова в изученных районах позволяют рассчитать значения аналогичных характеристик для однотипных литолого-стратиграфических комплексов в неизученных районах.

ИЕРАРХИЯ ТАКСОНОМИЧЕСКИХ УРОВНЕЙ ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА

Как подсистемная единица ландшафтно-зональной системы литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова может быть описан в соответствии с общими принципами описания сложных систем.

Унифицированная таксономическая шкала классификации литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова и алгоритм их описания как многоуровенной системы разработаны на основе принципов таксономии: теории классификации и систематизации сложноорганизованных систем в

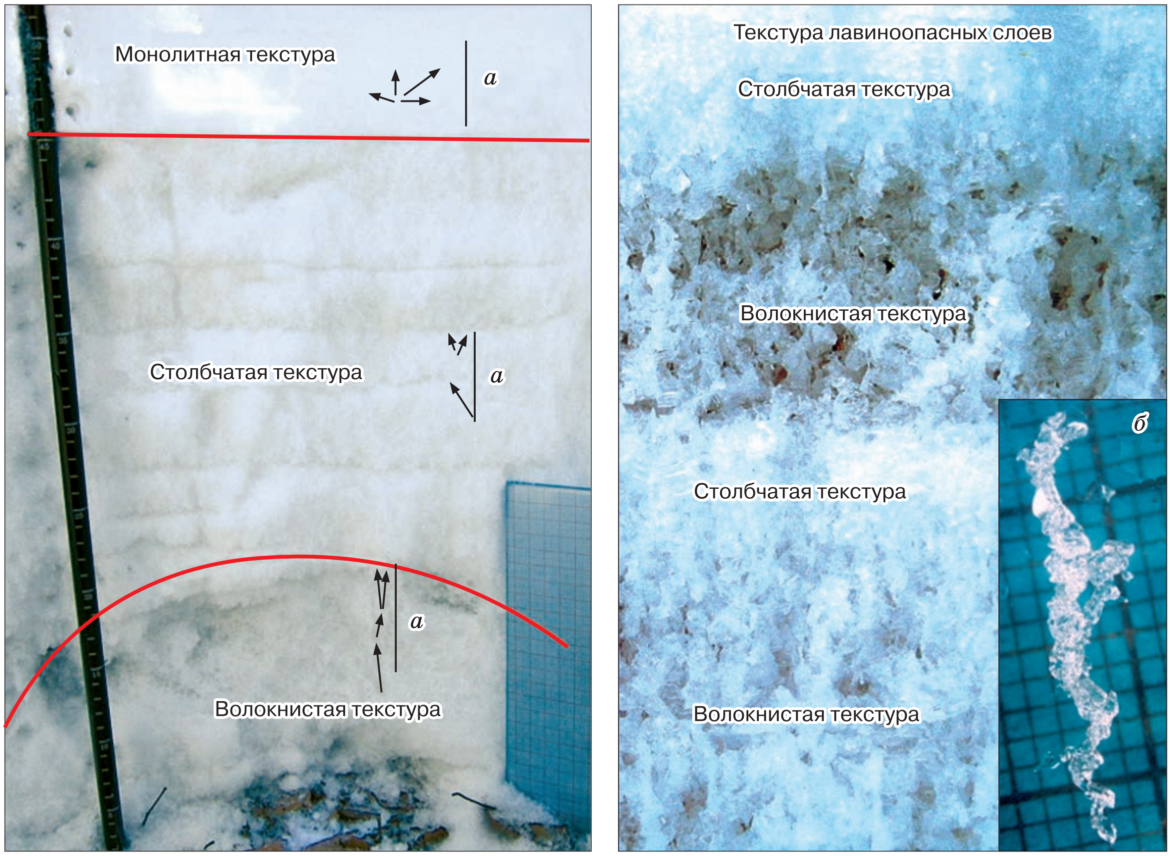


Рис. 4. Типы текстуры снежных слоев, изменяющиеся в ходе эволюции снежной толщи.

а – векторы преимущественной ориентации кластеров ледяных кристаллов в снежном слое; *б* – кластер ледяных кристаллов скелетного класса форм в снежном слое с волокнистой текстурой. Красные линии – границы между слоями с разной текстурой.

соответствии со следующими принципами [*Черешкин и др., 1999*].

1. Принцип классификации, устанавливающий необходимость классификации значений параметров системы.

2. Принцип многоуровенного описания системы, согласно которому объект должен рассматриваться так: элемент более широкой системы; целостное явление; сложная структура, внутреннее строение которой нужно представить с достаточной степенью детализации.

Таким образом, проблема заключается лишь в выборе критериев выделения районов, в которых близки параметры исследуемых процессов.

Поскольку процессы, происходящие в снежной толще, обусловлены ландшафтными (гидрометеорологическими, геоморфологическими, геофизическими) условиями, классифицируем литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова, выделив таксоны – территории со сходными условиям седиментации и диагенеза снежного покрова (табл. 5).

Таксономическая шкала литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова включает пять таксономических уровней:

Класс. Региональные факторы, определяющие принадлежность территории к одной физико-географической стране и одному климатическому поясу. Совокупность факторов определяет условия формирования и режим снежного покрова и позволяет выделить типы региональных осадочно-метаморфических формаций снежного покрова.

Подкласс. Метеорологические факторы и ряд высотной поясности позволяют выделить в одном климатическом поясе климатические районы с близкими значениями температуры воздуха, осадков, ветрового режима и др., т. е. со сходными условиями седиментации и диагенеза снежной толщи.

Тип. Геоморфологические и геологические факторы (макрорельеф, экспозиция, уклон поверхности и др.) позволяют в одном климатическом районе выделить участки с разным характером залегания снежной толщи.

Таблица 3. **Стратиграфическая колонка снежной толщи. Оформление результатов обработки данных полевых наблюдений (Кольский полуостров, март 2017 г.)**

Шурф № 9. Местоположение: Кольский п-ов. Марь; редкие березы, сосны. Дата: 02.03.2017. Время: 15:00. Координаты: 68°35′22.16″ с.ш.; 31°37′45.80″ в.д.

Описание площадки		Погодные условия	
Абс. высота, м	111	Погода	Переменная облачность
Экспозиция	0	Температура воздуха, °C	–4.0
Уклон, град	0	Облачность (общая/нижняя), балл	7/0
Подстилающая поверхность	Клюква, сфагнум, осока, мхи, лишайники	Ветер	Штиль
Растительность	Редкие сосны, редкие березы высотой до 1.5 м	Влажность воздуха, %	31
Состояние почвы	Мерзлая		

Номер слоя	Высота контакта, см	Толщина слоя, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Э.Г. Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см^3	Водность, мм	Диаметр кристалла, мм: сред.	Диаметр кристалла, мм: макс.	Содержание классов форм кристаллов, %: ▭	⟷	⬡	*	v	ʃ	▲	⊿	∀	/	⁄⁄	¤	▮	◩	▯	⌂	=	Температура, °C	Дата формирования слоя	Возраст слоя, сут	Пористость, %
12	64	3	*	0.03	0.90						1.00														–6.0	01.03.17	1	96.7
11	61	5		0.13	6.50	0.50	0.70											1.00							–4.2	25–27.02.17	3–4	85.8
10	56	5		0.17	8.50	0.60	0.92														0.86	0.14			–5.2	17.02.17	13	81.4
9	51	4		0.25	10.00	0.60	0.96														0.81	0.19			–5.5	15.02.17	15	72.7
8	48	1		0.32	3.20																				–6.2	14.02.17	16	65.1
7	47	3		0.39	11.70	0.72	1.04														0.69	0.31			–5.6	26.01–1.02.17	29–35	57.4
6	44	4		0.46	18.40	1.04	1.52														0.61	0.39			–5.5	18–19.01.17	42–43	49.8
5	40	5		0.53	26.50	0.74	1.00														0.80	0.20			–5.5	11–12.01.17	49–50	42.1
4	35	8		0.60	48.00	1.87	3.09														0.27	0.23	0.50		–5.0	31.12.16–2.01.17	59–61	34.5
3	27	1		0.67	6.70																				–4.5	20.12.2016	72	26.9
2	26	19		0.74	140.60	1.92	3.25														0.26	0.25	0.49		–4.0	10.11–19.12.16	73–112	19.2
1	7	7	Мох																						–0.2			
	0																											

Суммарный водозапас	281.0	Высота снежного покрова по снегосъемке, см										Коэффициенты	
Сред. плотность, г/см^3	0.40											перекристаллизации	0.82
Сред. высота снежного покрова по снегосъемке, см	70	С/Ю	60	75	70	72	60	71	82	73	73	71	вторичного расслоения	0.38
Водозапас по снегосъемке, мм	280	З/В	64	64	63	63	63	71	59	70	85	84	текстуры	0.33

Таблица 4. **Характеристики литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова**

Коэффициент вторичного расслоения	Степень преобразования структуры	Коэффициент текстуры	Степень преобразования текстуры
>0.5	Сильно перекристаллизованная	> 0.3	Сильно разрыхленная
0.3–0.5	Умеренно перекристаллизованная	0.2–0.3	Умеренно разрыхленная
0.1–0.3	Среднеперекристаллизованная	0.1–0.2	Среднеразрыхленная
⩽0.1	Слабо перекристаллизованная	⩽0.1	Слабо разрыхленная

Таблица 5. **Классификация, иерархия таксономических уровней, принципиальная схема разработки легенды карт литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова**

Таксономический уровень	Факторы нивальных процессов	Характеристика	Особенности строения снежной толщи	Стратификация, структура и текстура снежного покрова
Класс	Региональные	Физико-географическая страна. Климатический пояс	Формирование и режим снежного покрова	Тип региональной осадочно-метаморфической формации снежного покрова
Подкласс	Метеорологические. Высотная поясность	Климатический район (температура, осадки, ветровой режим)	Седиментация и диагенез снежной толщи	Тип мегаструктуры снежного покрова
Тип	Геоморфологические и геологические	Рельеф и состав горных пород (макрорельеф, экспозиция, уклон поверхности, состав подстилающих горных пород)	Характер залегания снежной толщи	Тип фации снежного покрова
Подтип	Геоботанические	Растительный покров (древесная и кустарниковая растительность)	Высота и распределение снежного покрова	Снежная толща с локальными особенностями метаморфизма
Вид	Ландшафтные	Ландшафт (микрорельеф, характер подстилающей поверхности, травяной и моховой покров, гидроморфность)	Степень преобразования структуры и текстуры снежной толщи	Снежная толща с определенными кристалломорфологическими характеристиками

Подтип. Геоботанические факторы (травостой, древесная и кустарниковая растительность) обусловливают динамику толщины и распределения снежного покрова и локальные особенности его эволюции.

Вид. Ландшафтные факторы (микрорельеф, травяной и моховой покров, гидроморфность и др.) определяют ход перекристаллизации снежной толщи и ее кристалломорфологические характеристики.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ ЛИТОЛОГО-СТРАТИГРАФИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА В НЕИЗУЧЕННЫХ РАЙОНАХ

Таксономическая шкала литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова (см. табл. 5), базирующаяся на принципах построения ландшафтных классификаций, и количественная оценка степени преобразования снежной толщи (см. табл. 4) позволяют разрабатывать содержание карт для четырех типов зим [*Древило, 1981, 2001; Казаков, 2000*] на следующих методологических принципах.

1. Характер и скорость метаморфизма снежного покрова зависят от ландшафтных условий. Ландшафтно-индикационные свойства снежного покрова позволяют восстанавливать картину его формирования и эволюции в неизученных районах на основе ландшафтного и климатического описания и прогнозировать время появления в снежной толще слоев с волокнистой текстурой, выполненных ледяными кристаллами скелетного класса форм.

Спектр типов стратиграфических колонок снежного покрова [*Древило и др., 2000; Древило, 2001; Генсиоровский и др., 2011*] обусловливается полиморфной структурой ландшафта [*Коломыц, 1977, 2013*], степенью его гидроморфности [*Kazakov et al., 2012; Lobkina, 2012*] и спектром гидрометеорологических условий зимы в исследуемом районе, что позволяет рассчитать характеристики снежной толщи при недостатке полевых данных.

2. Представление об эволюции снежного покрова как о детерминированном процессе дает возможность определить типы литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова в малоизученных районах и выделить таксоны, сходные по ландшафтным условиям седиментации и диагенеза снежной толщи с такими же таксонами

Индекс	Литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова	Абс. отм., м	Степень перекристаллизации и разрыхления снежной толщи (I декада марта) Многоснежная зима			Сред. многолетняя высота снежного покрова, см (I декада марта)
			$K_п$	$K_{вр}$	$K_т$	
I	Слабо перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща кустарничковых тундр	10–200	0.74	0.07	0.00	19
II	Умеренно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща на травянистых, травяно-моховых и кочковато-мочажинных болотах	100–300	0.82	0.38	0.33	50
III	Среднеперекристаллизованная среднеразрыхленная снежная толща лишайниково-ерниковых и ерниково-лишайниковых тундр	200–300	0.78	0.10	0.13	37
IV	Среднеперекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща лесотундровых березовых редколесий и криволесий	20–300	0.82	0.10	0.00	62
V	Слабо перекристаллизованная среднеразрыхленная снежная толща северотаежных сосново-березовых лесов	50–250	0.91	0.03	0.11	58
VI	Слабо перекристаллизованная среднеразрыхленная снежная толща северотаежных елово-березовых лесов	50–150	0.89	0.03	0.14	60
VII	Среднеперекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща горных лесотундровых березовых редколесий и криволесий	250–400	0.95	0.21	0.26	136
VIII	Среднеперекристаллизованная среднеразрыхленная снежная толща горных тундр	250–700	1.00	0.20	0.16	58
IX	Среднеперекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща высокогорных Арктических пустынь	выше 700	0.93	0.14	0.23	60

Примечание. Коэффициенты строения снежной толщи: $K_п$ – перекристаллизации, $K_{вр}$ – вторичного расслоения, $K_т$ – текстуры.

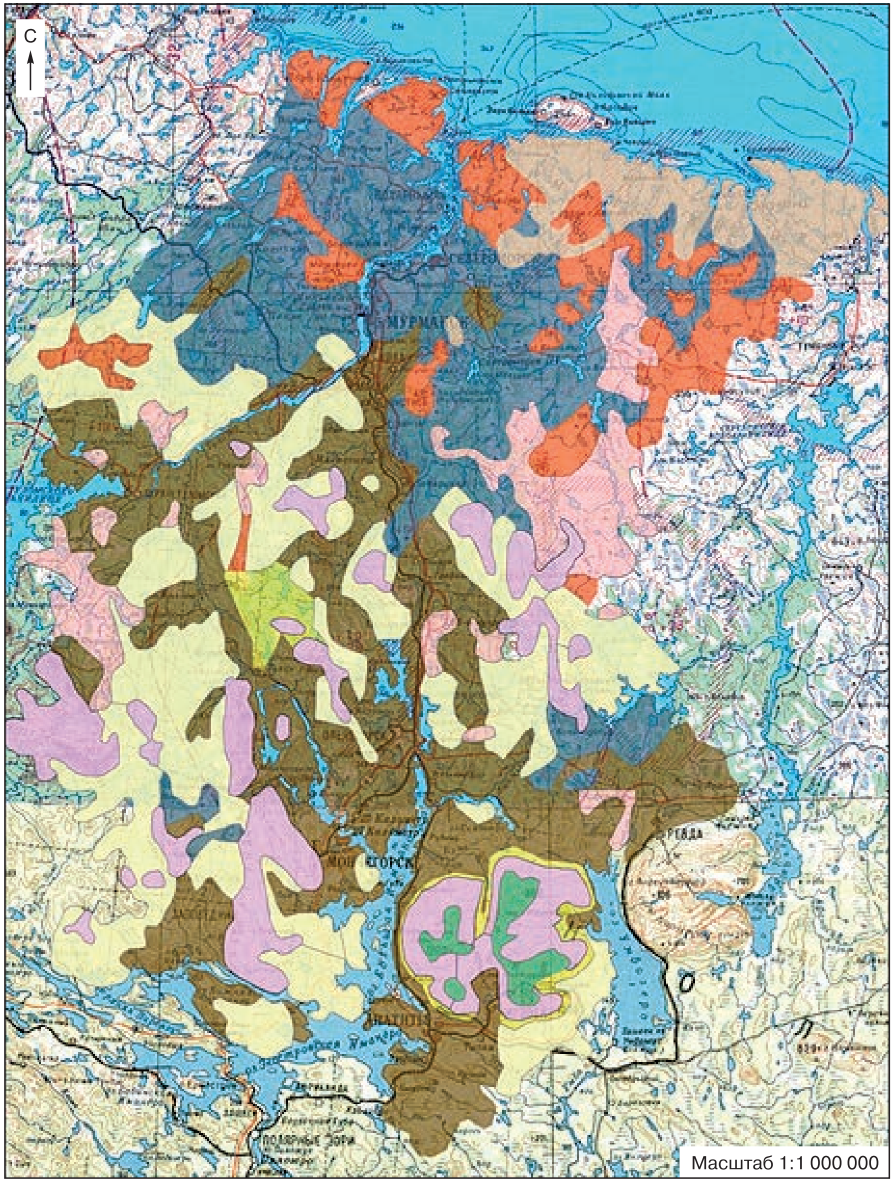


Рис. 5. Карта литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова центральной части Кольского полуострова.

Таксономический уровень “Подтип”. Многоснежная зима.

а

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см^3	Диаметр кристалла, мм		Содержание классов форм кристаллов, %			
			сред.	макс.				
27	V	0.05	0.5	2.0	0.68	0.29	0.03	
26		0.29	0.5	1.0	0.50	0.50		
23	↔	0.34						
22		0.34	0.5	1.3	0.67	0.25	0.08	
13		0.38	0.4	1.0	0.55	0.45		
11		0.24	0.7	1.4	0.62	0.35	0.03	
6		0.29	1.5	4.0	0.23	0.25	0.51	0.01
4	V							
0								

в

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см^3	Диаметр кристалла, мм		Содержание классов форм кристаллов, %			
			сред.	макс.				
50		0.17	0.68	1.30	0.36	0.62	0.17	
45		0.19	0.73	1.44	0.50	0.50		
38	• • • • • •	0.28						
35		0.27	0.75	1.31	0.42	0.52	0.06	
27		0.26	1.04	2.21	0.30	0.55	0.15	
22	– – –	0.27						
19		0.24	1.75	4.00	0.17	0.38	0.43	0.02
0								

б

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см^3	Диаметр кристалла, мм		Содержание классов форм кристаллов, %		
			сред.	макс.			
75		0.08					
74		0.15	0.7	1.7	0.58	0.30	0.12
72		0.26	0.6	1.2	0.87	0.13	
69		0.24	0.5	1.0	0.79	0.21	
65		0.24	0.5	1.3	0.64	0.34	0.02
57		0.28	0.5	0.7	0.90	0.10	
50		0.29	0.9	1.8	0.69	0.26	0.05
43		0.26	1.3	2.2	0.44	0.28	0.28
37		0.26	1.3	2.3	0.33	0.34	0.33
29		0.34	1.0	2.0	0.29	0.56	0.15
25		0.35	0.7	1.3	0.73	0.22	0.05
21		0.30	0.9	1.7	0.59	0.36	0.05
19		0.27	1.3	2.8	0.46	0.33	0.21
13		0.27	1.2	2.1	0.48	0.39	0.13
7		0.26	1.3	2.6	0.17	0.58	0.25
4		0.20	1.6	3.0	0.30	0.19	0.52
0							

Рис. 6. Стратиграфические колонки снежной толщи в разных литолого-стратиграфических комплексах Кольского полуострова (март 2016 г.).

а – кустарничковая тундра; *б* – лесотундровые березовые редколесья и криволесья; *в* – северотаежные сосновые леса. Горизонтальная поверхность. Наблюдали Н.А. Казаков, Е.Н. Казакова, А.А. Музыченко, Г.В. Попов.

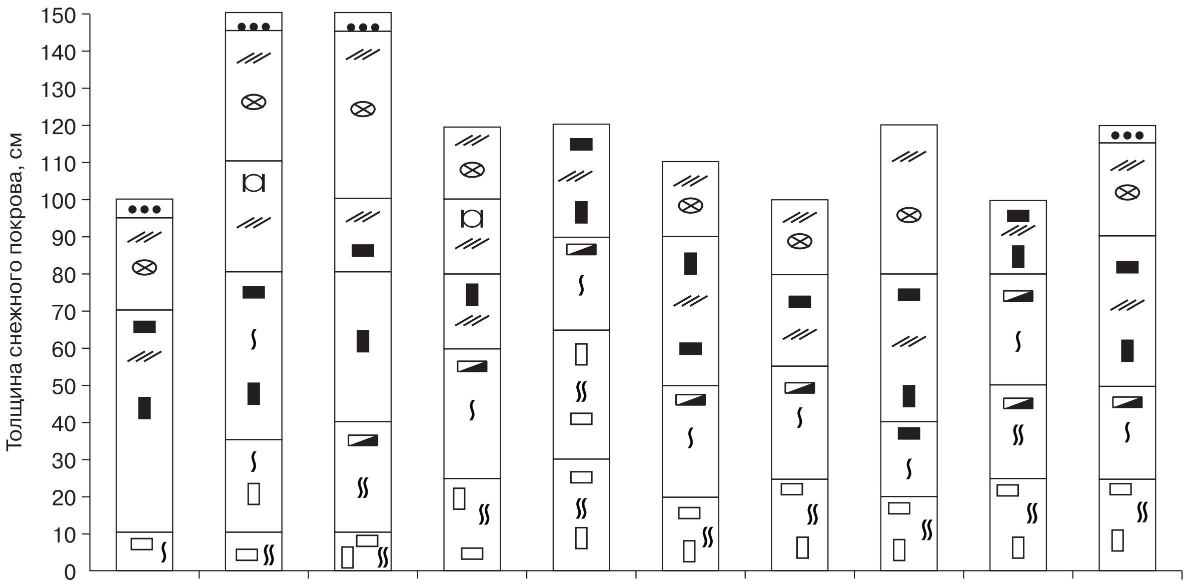


Рис. 7. Спектр стратиграфических колонок снежной толщи в литолого-стратиграфических комплексах снежного покрова в бассейне р. Рогатка (Южный Сахалин) в период максимальных снегозапасов.

в исследованных районах, и на основе характеристик снежного покрова в исследованных районах рассчитать значения характеристик снежной толщи в районах неизученных.

На таксономических уровнях “Тип” и “Подтип” карты литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова разрабатываются в мелком и среднем масштабах (рис. 5) на основе данных полевых наблюдений (рис. 6) и ландшафтных карт [*Атлас..., 1971*] для четырех типов зим (мало-, средне- и многоснежная; зима с глубокими оттепелями) на любой период зимы для решения прикладных и исследовательских задач.

На таксономическом уровне “Вид” на основе ландшафтных карт [*Атлас..., 1967; Литенко, 1992*] и данных полевых наблюдений (рис. 7) разработана крупномасштабная (1:25 000) карта ландшафтно-стратиграфических комплексов снежного покрова [*Генсиоровский, 2007*].

Карты однотипных литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова в неизученных районах создаются на основе данных полевых наблюдений в исследованных районах, ландшафтных карт и карт растительности.

ЭВОЛЮЦИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В АРКТИКЕ

Важно проследить характер изменения структуры и текстуры в ходе ее эволюции в Арктике. Сильный метелевый перенос снега в сочетании с низкими температурами приводят к тому, что здесь часто формируется плотная снежная толща, скорость перекристаллизации которой низкая. Однако анализ результатов стратиграфических наблюдений в снежной толще, проводившихся Н.А. Казаковым в 1985–1988 гг. в долинах рек Кунийок, Вудъяврйок (Хибины), показал, что, несмотря на низкую скорость перекристаллизации уплотненной толщи метелевого (плотность 0.32–0.50 г/см^3) либо режеляционного (плотность до 0.50 г/см^3) снега, через 60–90 суток (в зависимости от метеорологических условий предзимья и начального периода снегонакопления) возникают ослабленные слои, выполненные ледяными кристаллами полускелетного и скелетного классов форм диаметром 2–4 мм с волокнистой текстурой (рис. 8).

За три зимних сезона (1985–1988 гг.) в высотной зоне 370–720 м Н.А. Казаковым было отработано 82 шурфа, в том числе 35 – в зонах зарождения лавин (лавиносборы № 101, 102, 104–107, 109, 122, 125 на восточных склонах хр. Поачвумчорр и № 227 на западном склоне хр. Кукисвумчорр) и 6 – на линиях отрыва сошедших лавин. Стратиграфические площадки в лавиносборах закладывались выше границы леса; уклоны – 42–45°; подстилающая поверхность – скальные породы. Самый ранний шурф был выполнен 10.11.1987 г., самый поздний – 19.05.1988 г. Высота снежного покрова составляла 40–130 см. Температура подстилающей поверхности в декабре–январе (при толщине снежного покрова около 100 см) колебалась от –6.6 до –0.1 °С. В зависимости от генезиса и возраста снежных слоев их плотность в слоях, выполненных кристаллами гранного класса форм, составляла 0.20–0.55 г/см^3, полускелетного – 0.22–0.42 г/см^3, скелетного – 0.26–0.40 г/см^3. Первые кристаллы полускелетного класса форм появ-

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см^3	Диаметр кристалла, мм		Содержание классов форм кристаллов, %			Температура, °С
			сред.	макс.				
								–8.8
94		0.18						–6.7
85		0.40	0.3					–7.7
80		0.40	0.3					–7.3
75		0.44	0.5					–7.3
63		0.50	0.5					–5.9
60		0.47	0.5					–6.3
50		0.45	0.5					–6.5
41		0.33	1.0					–6.3
38		0.38	1.6	2.0	0.20	0.70	0.10	–5.7
29		0.32	2.9	4.0		0.10	0.90	–5.5
20		0.36	3.0					–5.3
16		0.43	1.5					–5.3
3		0.40	3.0					–5.0
0								

Рис. 8. Литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова горных тундр.

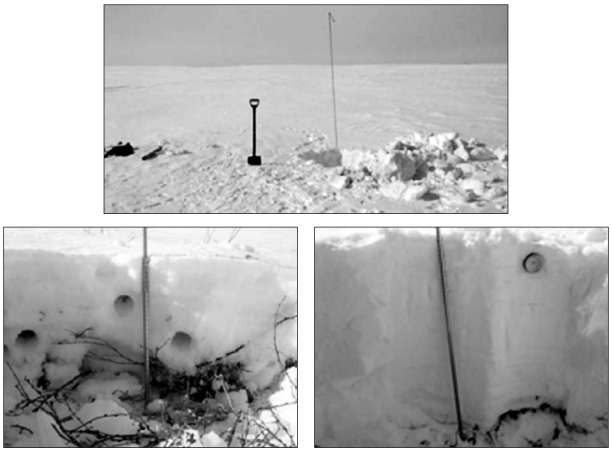
Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща. Малоснежная зима. Кольский полуостров, Хибины, хр. Поачвумчорр (абс. отм. 580 м, склон восточной экспозиции, уклон 38°, 18.03.1987 г.). Наблюдал Н.А. Казаков.

лялись в середине декабря, скелетного – во второй декаде января (средний диаметр кристалла составлял 2 мм, максимальный достигал 4 мм). В днищах долин рек Кунийок, Вудъяврйок (абс. отметки 370–380 м) кристаллы скелетного класса форм появлялись уже в третьей декаде ноября.

Несмотря на низкую скорость перекристаллизации снежной толщи, из-за того, что снежные слои изначально отлагались как плотный метелевый снег (плотность 0.32–0.40 г/см^3) либо (в начале зимы) как режеляционный снег (плотность до 0.50 г/см^3), перекристаллизация снежного покрова протекала весьма активно, и через 60–90 сут (в зависимости от метеорологических условий предзимья и начального периода снегонакопления) в снежной толще формировались лавиноопасные слои полускелетных и скелетных кристаллов диаметром 2–4 мм. Обычно такое строение снежной толщи отмечалось в середине января. В целом эволюция снежного покрова в долинах рек Кунийок, Вудъяврйок не отличается от таковой в однотипных литолого-стратиграфических комплексах снежного покрова других регионов Евразии.

Перекристаллизация снежного покрова играет важную роль в лавинных процессах Хибин (в том числе в формировании лавин мокрого снега). Так, в 1986–1987 гг. большое число лавин, сходивших со склонов хр. Поачвумчорр в последней декаде апреля, представляли лавины смешанного генезиса: в подошве слоев мокрого снега толщиной 20–110 см залегали слои скелетных кристаллов диаметром 3 мм и плотностью 0.32–0.34 г/см^3, по которым происходило обрушение снежного пласта.

В марте 2016 г. и марте 2017 г. авторами были выполнены полевые исследования структуры, текстуры, стратификации и физических свойств снежного покрова в разных ландшафтах Кольского полуострова (см. рис. 6), показавшие, что эволюция снежной толщи в центральной части Кольского полуострова имеет тот же характер, что и в других холодных регионах. Через 70–80 сут (в зависимости от метеорологических условий предзимья и начального периода снегонакопления) возникают ослабленные снежные слои, выполненные ледяными кристаллами полускелетного и скелетного классов форм диаметром 2–5 мм с волокнистой текстурой; к середине многоснежной зимы до 80 % снежной толщи выполнено кристаллами этих классов форм диаметром 2–5 мм и имеет столбчатую и волокнистую текстуру. Уже через 12–20 сут после формирования снежного слоя в нем появляются ледяные кристаллы скелетного класса форм диаметром 1.3–2.2 мм, а ледяные кристаллы секториального и пластинчатого классов форм (стадия регрессивного метаморфизма)



а

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см³	Диаметр кристалла, мм	
			сред.	макс.
37	• • • • •	0.50		
35	◩ ◪ ///	0.37	1.5	2.0
30	▬	0.50	3.0	3.5
29	▯ ʃ	0.34	2.5	4.0
21	▯ ʃʃ	0.27	2.5	4.0
14	▯ ʃʃ см	0.26	2.5	4.0
0				

б

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см³	Диаметр кристалла, мм	
			сред.	макс.
84	• • • • •	0.50		
81	◘	0.32	1.2	1.5
79	• •	0.50		
73	• •	0.34	1.5	2.0
71	• •	0.50		
65	◪ ///	0.34	1.5	2.0
56	◩ ◪ ʃ	0.34	1.5	2.3
48	▯ ʃ	0.37	2.0	2.5
35	▯ ʃʃ	0.26	1.8	2.7
28	▯ ʃʃ	0.38	1.9	2.8
20	▯ ʃʃ	0.34	2.0	3.0
9	▯ ʃʃ см	0.26	2.3	4.0
0				

Рис. 9. Литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова ерниковых тундр.

Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща, п-ов Ямал. *а* – 270-й км, ж/д станция Обская–Бованенково, севернее разъезда Хралово, 21.04.2009 г.; *б* – 332-й км, ж/д Обская–Бованенково, правая пойма р. Юрибей, 17.04.2009 г. Наблюдал В.И. Окопный.

диаметром до 2.4 мм даже в многоснежную зиму появляются через 85–100 сут.

Аналогично в ерниковой тундре (зона сильного метелевого переноса снега) на п-ове Ямал уже в середине зимы до 80 % снежной толщи выполнено ледяными кристаллами скелетного класса форм размером 2–4 мм с волокнистой текстурой (рис. 9).

ПРОГНОЗ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОЙ ТОЛЩИ

Из анализа материалов полевых наблюдений в 2530 шурфах в разных регионах России следует, что в однотипных литолого-стратиграфических комплексах снежного покрова в однотипные зимы скорость изменения формы и размера ледяного кристалла имеет устойчивые значения.

Так, на о. Сахалин при отсутствии оттепелей ледяные кристаллы достигают полускелетной стадии через 35–45 сут. Диаметр кристалла к этому периоду увеличивается до 1.5–2.2 мм. Скелетной стадии ледяные кристаллы в южной и центральной частях о. Сахалин достигают через 45–55 сут после формирования снежного слоя во время снегопада [*Казаков, 2009а; Лобкина, Михалев, 2011; Лобкина, 2013*].

В высотной зоне 1000–1200 м (кедровый стланик) в результате ветрового воздействия формируется толща метелевого снега плотностью 0.40–0.50 г/см³, скорость перекристаллизации которой сильно замедленна.

Как правило, ледяные кристаллы скелетного класса форм здесь образуются поздно (обычно в марте–апреле, через 90–115 сут после формирования слоя). В гольцовой зоне выше 1200 м ледяные кристаллы достигают преимущественно гранного класса форм (диаметр не более 1.5 мм). В целом во всех литолого-стратиграфических комплексах снежного покрова о. Сахалин и Курильских островов через 30–45 сут после формирования устойчивого снежного покрова формируются лавиноопасные снежные слои, выполненные ледяными кристаллами скелетного и полускелетного классов форм с волокнистой текстурой.

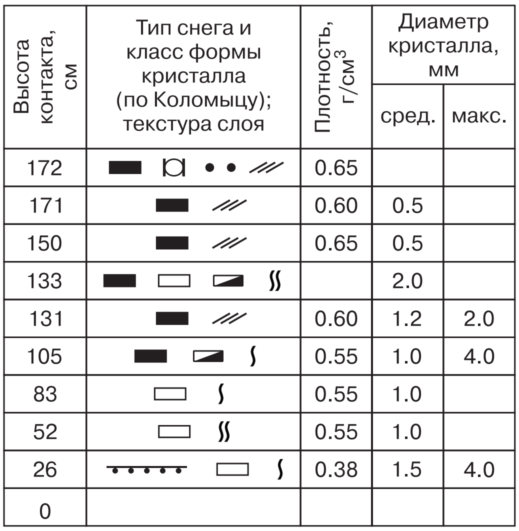
Выделение литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова в лавиносборе позволяет определять участки, на которых скорость перекристаллизации (т. е. скорость формирования лавиноопасных слоев) наиболее высока. Это зоны

Таблица 6. **Скорость изменения структуры снежного слоя. Прогностическая таблица для определения времени формирования слоев с низкой несущей прочностью в снежной толще**

Фаза метаморфизма снежного слоя. Класс формы ледяного кристалла (по Э.Г. Коломыцу)	Возраст кристаллов от даты формирования снежного слоя (снегопад, метель, оттепель), сут		
Тип первично-идиоморфного (изоморфного) снега	Свежевыпавший	Корразионно-полиэдрический	Режеляционно-полиэдрический
Начальная плотность снега, г/см^3	0.06–0.08	0.40–0.50	0.30–0.35
Первично-идиоморфный снег			
Лежалый	1	–	–
Сублимационно-полиэдрический	2–3	5–10	–
Вторично-идиоморфный снег			
Класс формы ледяного кристалла			
Гранный	3–5	10–20	20–25
Полускелетный	5–15	30–50	30–45
Скелетный	15–25	40–70	40–55
Секториальный	30–45	100–110	80–100
Пластинчатый	95–110	–	–

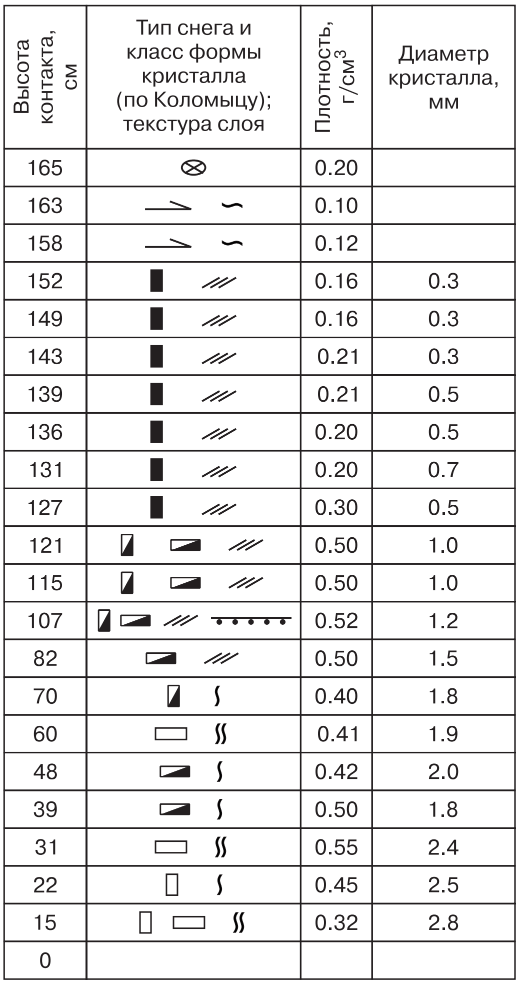
Примечание. Расчеты сделаны для диапазона температуры воздуха: ночная – от –10 до –25 °С; дневная – от –4 до –10 °С. Средняя продолжительность достижения ледяными кристаллами разных стадий форм вторично-идиоморфного снега при толщине снежного покрова 55–160 см (Южный и Средний Сахалин).

а



Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см^3	Диаметр кристалла, мм	
			сред.	макс.
172		0.65		
171		0.60	0.5	
150		0.65	0.5	
133			2.0	
131		0.60	1.2	2.0
105		0.55	1.0	4.0
83		0.55	1.0	
52		0.55	1.0	
26		0.38	1.5	4.0
0				

б



Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см^3	Диаметр кристалла, мм
165		0.20	
163		0.10	
158		0.12	
152		0.16	0.3
149		0.16	0.3
143		0.21	0.3
139		0.21	0.5
136		0.20	0.5
131		0.20	0.7
127		0.30	0.5
121		0.50	1.0
115		0.50	1.0
107		0.52	1.2
82		0.50	1.5
70		0.40	1.8
60		0.41	1.9
48		0.42	2.0
39		0.50	1.8
31		0.55	2.4
22		0.45	2.5
15		0.32	2.8
0			

Рис. 10. Литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова гольцовых зон в низкогорье.

Сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща. Малоснежная зима. *а* – Средний Сахалин, Восточно-Сахалинские горы (абс. отм. 1300 м, склон юго-восточной экспозиции, уклон 36°, 04.04.1985 г.); *б* – Кольский полуостров, Хибины, хр. Поачвумчорр (абс. отм. 580 м, склон восточной экспозиции, уклон 38°, 18.03.1987 г.). Наблюдал Н.А. Казаков.

наименьшей прочности снежного пласта, при активном воздействии на которые при спуске лавин будет достигнут наилучший эффект разрушения снежного пласта.

Общие закономерности эволюции снежной толщи позволяют:

– рассчитывать время наступления периодов максимальной перекристаллизации снежной толщи (табл. 6) и прогнозировать изменение параметров структуры и текстуры снежной толщи, т. е. изменение ее физических характеристик и несущей прочности;

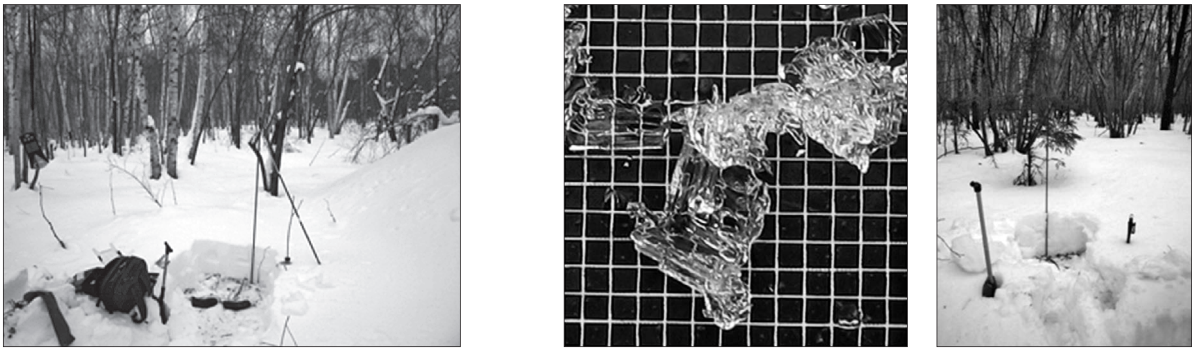
– на основе выделения литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова выбирать стратиграфические площадки, которые характеризуют состояние снежной толщи для группы однотипных лавиносборов, и без потери качества получаемых данных о снежном покрове в зонах зарождения лавин сильно снижать трудозатраты на определение данных, необходимых для прогноза лавин;

– выделять однотипные литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова в разных регионах и определять характеристики снежного покрова в неизученных районах на основе стратиграфических колонок в однотипных стратиграфических комплексах в других регионах.

Например, спектры стратиграфических колонок снежного покрова в высотной зоне 500–700 м хр. Поачвумчорр (Кольский полуостров, Хибины) близки к спектрам стратиграфических колонок снежного покрова (рис. 10), формирующимся в гольцовой зоне Среднего Сахалина (Восточно-Сахалинские горы, абс. отметки 1400–1500 м) и Южного Сахалина (Сусунайский хребет, абс. отметки 950–1000 м). Физико-географические условия в этих зонах сходны.

ПРОГНОЗ ЛАВИН, СВЯЗАННЫХ С ПЕРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ СНЕЖНОЙ ТОЛЩИ

Теория эволюции снежной толщи позволяет составлять краткосрочный и долгосрочный прогнозы изменения ее прочностных характеристик и появления в ней ослабленных слоев со столбчатой



а *б*

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см^3	Диаметр кристалла, мм
57	• •	0.33	
50	▮ ⫽⫽	0.28	1.0
44	▮ ⫽⫽	0.34	1.0
40	▮ ▬ ʃ	0.35	0.8
36	◪ ʃ	0.27	2.0
30	▯ ʃ	0.26	2.5
25	▯ ʃ	0.24	3.0
21	▯ ⌓ ʃʃ	0.27	3.0
14	▯ ⌓ ʃʃ	0.25	5.0; 4.0
10	▯ •• ⌓ ʃʃ см	0.30	7.0; 5.0
8	•• ⌓ ʃʃ см	0.36	3.0
2	⌓ ═ ʃʃ	0.25	5.0
0			

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см^3	Диаметр кристалла, мм		Содержание кристаллов, %			
			сред.	макс.	▮	◪	▯	⌓
45	• • | • •	0.22						
39	◪ ▮ ʃ ••••••	0.28	0.8	1.2	0.55	0.45		
35	◪ ▮ ʃʃ ••••••	0.23	0.8	1.8	0.45	0.55		
30	▯ ◪ ▮ ʃʃ	0.31	1.5	2.4	0.35	0.55	0.10	
24	см ▯ ʃ	0.24	2.2	3.1			1.00	
15	▯ ʃʃ	0.26	2.1	4.0			1.00	
11	▯ ⌓ ʃʃ	0.25	2.6	3.1			0.95	0.05
6	▯ ⌓ ʃʃ	0.21	3.2	4.5			0.90	0.10
0								

Рис. 11. Литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова березово-ольховых лесов в долинах.

Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща. *а* – Сусунайская долина, Южный Сахалин, 23.03.2005 г.; *б* – Подмосковье, 3 км к северу от оз. Тростенское, 21.03.2010 г. Наблюдал Н.А. Казаков.

и волокнистой текстурой, выполненных ледяными кристаллами полускелетного и скелетного классов форм: лавиноопасных слоев. Прогноз периодов формирования таких слоев дает возможность составлять краткосрочный и долгосрочный прогнозы лавинной опасности и определять оптимальное время для активного воздействия на лавинные процессы (в том числе для предупредительного спуска лавин).

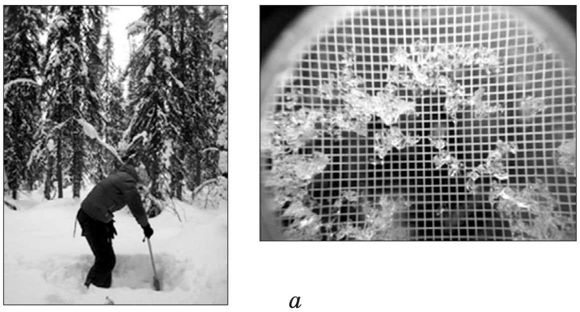
Так, средняя скорость изменения формы и размера ледяных кристаллов на Среднем и Южном Сахалине (см. табл. 6) позволяет рассчитывать время появления лавиноопасных слоев и заблаговременно за 15–90 сут прогнозировать начало периодов массового формирования лавин при слабых и умеренных снегопадах. За исходную точку принимается дата формирования снежного слоя во время снегопада.

Такие прогнозы составлялись авторами для обеспечения противолавинной безопасности автомобильных дорог г. Кировск–Новый Рудник (Кольский полуостров, Хибины, 1987–1988 гг.), с. Ясное–Чамгинский перевал–пос. Загорный (о. Сахалин, Восточно-Сахалинские горы, 1989–1996 гг.), дорог на Южном Сахалине (2000–2013 гг.). Оправдываемость долгосрочных прогнозов составляла 85–90 %; долгосрочных, уточненных краткосрочными, – 92–95 %.

Как показал опыт применения лавинного прогноза, основанного на представлениях об эволюции снежной толщи в лавиносборе [*Казаков, 2009б*], такой прогноз наиболее эффективен для обеспечения противолавинной защиты транспортных магистралей, т. е. тех объектов, режим эксплуатации которых может планироваться заблаговременно. Такие прогнозы позволяют существенно снизить экономические потери.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования снежного покрова на территории России показали, что в однотипных ландшафтах, сходных по гидроморфности и по гидрометеорологическим условиям седиментации и диагенеза снежной толщи и расположенных в разных регионах, формируются однотипные стратиграфические разрезы снежной толщи. Это подтверждается сравнением стратиграфических колонок снежной толщи в однотипных ландшафтах на о. Сахалин (см. рис. 7; 10, *а*; 11, *а*), Курильских островах, в Забайкалье, на Кольском полуострове (см. рис. 6; 8; 10, *б*; 12, а; табл. 3), в Подмос-



а

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см³	Диаметр кристалла, мм		Содержание классов форм кристаллов, %		
			сред.	макс.	▮▬	◩◪	▯▭
56	▮ ◩ ▬ ʃ	0.16	0.6	1.0	0.80	0.20	
52	▮ ◩ ▯ ▬ ʃ	0.20	0.7	1.3	0.50	0.46	0.04
44	·····	0.26					
42	▮ ◩ ▯ ▬ ʃ	0.27	0.9	1.5	0.31	0.55	0.14
26	▮ ◩ ▯ ◪ ʃʃ	0.22	1.3	2.4	0.37	0.42	0.21
11	▮ ◩ ▯ ʃʃ	0.26	1.2	2.5	0.35	0.48	0.17
9	▮ ◩ ▯ ʃʃ	0.28	2.0	3.1	0.03	0.47	0.50
0							

б

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя		Плотность, г/см³	Диаметр кристалла, мм	
				сред.	макс.
62	см	• •	0.32		
60	▮	ʃ	0.25	0.3	
54	▮	ʃ	0.25	0.5	
46	▮	ʃ	0.27	0.4	0.8
38.2	▬▬▬		0.80		
38	◪	ʃʃ	0.25	1.2	
28	◪	ʃʃ	0.29	1.5	2.0
20	◪ ▭	ʃʃ	0.25	1.8	
12	▭	ʃʃ	0.24	2.2	
0					

Рис. 12. Литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова еловых и елово-сосновых лесов.

Сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща. *а* – Кольский полуостров (левый борт долины р. Тулома, пос. Верхнетуломский, 05.03.2016 г.); *б* – Архангельская область (правый борт долины р. Сев. Двина, д. Малая Корела, 15.02.2015 г.). Наблюдали Н.А. Казаков, Е.Н. Казакова, А.А. Музыченко.

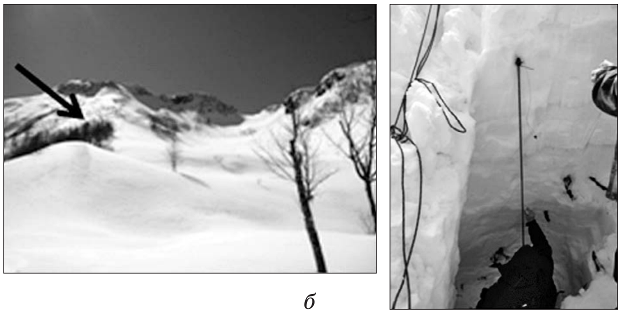
ковье (рис. 11, *б*), на п-ове Ямал (см. рис. 9), в низовьях р. Северная Двина (рис. 12, *б*), на Западном (рис. 13) и Северном Кавказе (г. Эльбрус, абс. отметки 5000–5200 м, рис. 14), в Западной Сибири.

Эволюция снежной толщи как в высоко- и среднегорье, так и в низкогорье и на равнинах в разных климатических зонах (за исключением тех регионов, в которых период постоянного залегания снежного покрова не превышает 40–50 сут) приводит к возникновению снежных слоев, выполненных кристаллами скелетного класса форм. Это подтверждается результатами исследований других авторов [*Савельев, 1980; Котляков, 2004; Лобкина, Михалев, 2011; Лобкина, 2013*].

В большинстве регионов России ледяные кристаллы достигают стадии скелетного класса форм (глубинная изморозь) через 20–60 суток (в зависимости от типа ландшафта) после установления снежного покрова.

а

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см^3	Диаметр кристалла, мм	
			сред.	макс.
145	× ⫽	0.18		
136	× ⫽	0.34		
125	• • • • •			
122	◘ ⫽	0.39		
118	▬ ▮ ⫽	0.34	1.0	1.2
107	▬ ▮ ⫽	0.37	0.5	0.8
94	▬ ▮ ⫽	0.26	1.0	1.1
88	▬ ▮ ⫽	0.28	2.0	2.2
84	▬ ▮ ⫽	0.37	1.5	2.0
79	▬	0.34		
70	▯ ʃ	0.34	1.2	1.5
60	▯ ʃ	0.39	2.8	3.0
55	▯ ʃ	0.27	2.0	2.4
50	▯ ʃ	0.34	2.0	2.4
44	▯ ʃ	0.37	2.4	3.0
32	▯ ʃ	0.34	2.2	2.5
22	см ▯ ⌓ ʃʃ	0.34	2.4	3.0
16	см ▯ ⌓ ʃʃ ▬	0.45	2.2	2.7
0				

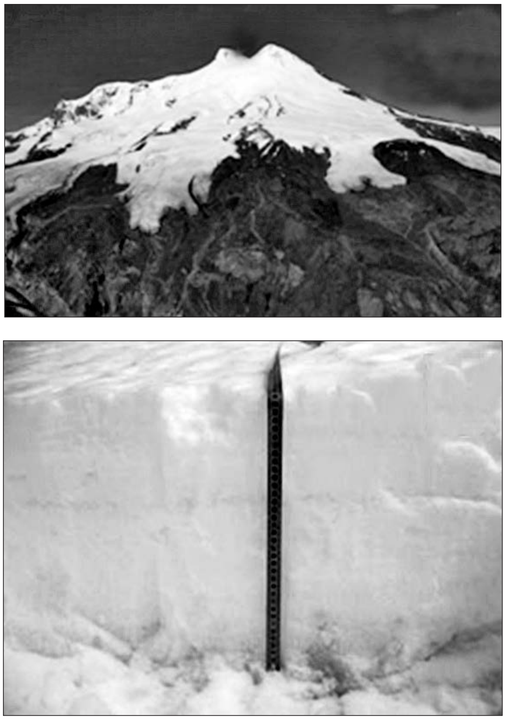


б

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см^3	Диаметр кристалла, мм	
			сред.	макс.
332	▮ ⫽ • •	0.10	0.3	
320	▬ см ⫽ • •	0.27	0.6	1.0
310	▬ ⫽ • •	0.32	0.5	0.8
265	▬ см ◩ ʃ	0.32	1.1	1.5
259	• • ʃ	0.32		
246	см • • ⫽	0.32		
244	▮ ◩ ʃ	0.29	1.6	3.0
229	▮ ◩ ▯ ⫽	0.40	2.2	4.0
224	▮ ◩ ▯ ⫽	0.39	2.2	4.0
179	• • ʃ	0.42		
166	▮ ◩ ▯ ʃ	0.37	2.0	3.8
152	▮ ◩ ʃ	0.39	1.2	2.4
135	▮ ◩ ◩ ʃ	0.42	1.2	2.8
111	▬ ⫽	0.39		
101	▮ ▮ ◩ ⫽	0.42	1.5	2.4
90	▭ ⌓ ʃʃ	0.34	2.4	4.0
50	◩ ʃʃ	0.29	2.0	3.0
32	▯ ◩ ʃʃ	0.29	2.2	3.6
19	▯ ◩ ʃʃ	0.32	2.4	4.2
0				

Рис. 13. Литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова среднегорий (Западный Кавказ).

а – сильно перекристаллизованная среднеразрыхленная снежная толща на водоразделах (хр. Аибга, Шумихинский цирк, абс. отм. 2230 м, 03.04.2009 г.); *б* – сильно перекристаллизованная умеренно разрыхленная снежная толща лиственных лесов на склонах (хр. Аибга, бассейн руч. Тобиаса, абс. отм. 1862 м, 04.04.2009 г.). Наблюдали Н.А. Казаков, Ю.В. Генсиоровский, Е.Н. Казакова, В.И. Окопный, Д.А. Боброва, С.В. Рыбальченко.



а

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см³	Водность, мм	Диаметр кристалла, мм	
				сред.	макс.
36	⊗ ⟶ ///	0.40	16.0		
32	▬ ◪ ∫	0.34	23.8	1.0	1.5
25	▬ ///	0.50	15.0	0.5	0.8
22	◪ ▯ ⌂ ∬	0.27	59.0	1.5	3.0
0	Суммарный водозапас, мм		113.8		

б

Высота контакта, см	Тип снега и класс формы кристалла (по Коломыцу); текстура слоя	Плотность, г/см³	Водность, мм	Диаметр кристалла, мм	
				сред.	макс.
227	⊗ ⟶ ///	0.34	20.4		
221	◘ ▬ ∼	0.23	27.6		
209	⊗ ▬ ///	0.50	20.0		
205	▬ ▮ ///	0.29	23.2	0.4	0.8
197	▬ ///	0.32	32.0	0.3	0.6
187	▬ ◪ ///	0.33	16.5	0.5	1.0
182	▬ ///	0.50	5.0	0.4	0.6
181	▬ ///	0.35	42.0	0.5	0.8
169	▬ ◪ ///	0.33	6.6	0.5	0.8
167	▬ ///	0.35	10.5	0.5	0.8
164	▬ ///	0.50	15.0	0.6	1.0
161	▬ ///	0.35	10.5	0.6	1.0
158	▬ ///	0.35	14.0	0.4	0.6
154	▬ ◪ ∫	0.33	6.6	0.6	1.0
152	▬	0.88	17.6		
150	▬ ///	0.35	17.5	0.5	1.1
145	▬ ///	0.37	25.9	0.7	1.0
138	▬ ◪ ///	0.37	7.4	1.0	1.5
136	▬ ///	0.50	5.0	1.0	1.5
135	▬ ◪ ∫	0.35	7.0	1.0	1.7
133	▬ ▮ ///	0.50	5.0	1.0	1.2
132	▬ ◪ ///	0.35	73.5	1.0	1.7
111	▬ ◪ ///	0.40	24.0	0.7	1.2
105	▬ ◪ ///	0.36	14.4	0.9	1.7
101	▬ ◪ ///	0.38	26.6	1.0	1.5
94	▬ ◪ ∫	0.35	7.0	1.0	2.0
92	▬ ◪ ///	0.39	62.4	0.8	1.5
76	◪ ∫	0.50	10.0	1.0	1.8
74	▬ ◪ ///	0.40	72.0	0.5	1.3
56	▬ ◪ ///	0.43	34.4	0.5	1.2
48	▬ ◪ ///	0.53	254.4	0.4	0.8
0	Суммарный водозапас, мм		914.0		

Рис. 14. Литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова высокогорий.

а – сильно перекристаллизованная сильно разрыхленная снежная толща приводораздельной части склонов (северо-западное ребро г. Эльбрус, абс. отм. 5200 м, 8.09.2009 г.); *б* – сильно перекристаллизованная слабо разрыхленная снежная толща ледниковых плато (западное ледниковое плато г. Эльбрус, абс. отм. 5111 м, 07.09.2009 г.). Наблюдал В.И. Окопный.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова – снежная толща, залегающая в однотипных ландшафтах, проходящая стадии седиментации и диагенеза в сходных условиях, в которой в однотипные зимы формируются однотипные стратиграфические разрезы снежной толщи с близкими стратификацией, структурой, текстурой и физическими характеристиками. В однотипных ландшафтах в разных регионах формируются однотипные литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова. Количественно литолого-стратиграфический комплекс снежного покрова предлагается описывать через степени преобразования структуры и текстуры снежной толщи, используя коэффициенты ее перекристаллизации, вторичного расслоения и текстуры.

2. Представление о литолого-стратиграфических комплексах снежного покрова позволяет дистанционно рассчитывать характеристики снежной толщи в неизученных районах на основе характеристик снежной толщи в изученных однотипных литолого-стратиграфических комплексах.

3. Классификация литолого-стратиграфических комплексов снежного покрова позволяет разрабатывать их карты (в том числе в неизученных районах) для оценки проходимости территории в зимнее время, прогноза лавин и уровней половодья и оценки отепляющего воздействия снежного покрова на растительный покров.

4. Эволюция снежной толщи детерминирована: ее физические параметры обусловлены характеристиками вмещающего ландшафта (степенью гидроморфности ландшафта, гидрометеорологическими характеристиками зимы и др.).

5. Эволюция снежной толщи в большинстве регионов России (от равнин до высокогорья, от европейской части до Дальнего Востока, от Кавказа до Арктики) через 20–60 сут после установления снежного покрова (в зависимости от характеристик вмещающего ландшафта) приводит к достижению ледяными кристаллами стадии скелетного класса форм.

6. Эволюционная концепция развития снежной толщи позволяет выстраивать непрерывный ряд преобразований ее структуры и текстуры и, в свою очередь, определять скорость эволюции ледяных кристаллов, прогнозировать изменение параметров структуры и текстуры снежной толщи и изменение ее физических характеристик (в том числе несущей прочности). Это дает возможность прогнозировать время появления лавиноопасных слоев, составлять долгосрочный прогноз лавинной опасности и определять оптимальное время активного воздействия на лавинные процессы.

Авторы выражают искреннюю благодарность своим коллегам Д.А. Бобровой, М.С. Древило, Е.Н. Казаковой, И.А. Кононову, В.А. Лобкиной, А.И. Музыченко, В.И. Окопному, Г.В. Попову, В.С. Павлову, С.В. Рыбальченко за предоставленные материалы полевых наблюдений и ценные советы во время подготовки статьи.

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН "Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации" (Проект "Разработка методологии определения стратиграфических комплексов снежного покрова на неизученных территориях и построение карты стратиграфических комплексов снежного покрова на Арктических территориях").

Литература

Атлас Мурманской области. М., ГУГК, 1971, 44 с.
Durov, A.G. (Ed.), 1971. The Murmansk Region. An Atlas. GUGK, Moscow, 44 pp. (in Russian)

Атлас Сахалинской области. М., ГУГК, 1967, 135 с.
Komsomolskiy, G.V., Siryk, I.M. (Eds.), 1967. The Sakhalin Region. An Atlas. GUGK, Moscow, 135 pp. (in Russian)

Божинский А.Н. Основы лавиноведения / А.Н. Божинский, К.С. Лосев. Л., Гидрометеоиздат, 1987, 280 с.
Bozhinsky, A.N., Losev, K.C., 1987. Fundamentals of Avalanche Studies. Gidrometeoizdat, Leningrad, 280 pp. (in Russian)

Болов В.Р. Формирование, прогноз и искусственное обрушение лавин, обусловленных снегопадами, метелями, сублимационной перекристаллизацией снега: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Нальчик, 1981, 28 с.
Bolov, V.R., 1981. Avalanches Produced by Snowfall, Snow Blowing, and Sublimation Snow Recrystallization: Formation, Prediction, and Man-Induced Triggering. Author's Abstract. Candidate Thesis. Nalchik, 28 pp. (in Russian)

Войтковский К.Ф. Механические свойства снега. М., Наука, 1977, 216 с.
Voitkovskiy, K.F., 1977. Mechanic Properties of Snow. Nauka, Moscow, 126 pp. (in Russian)

Генсиоровский Ю.В. Расчет максимальных снегозапасов на основе ландшафтно-индикационных свойств снежного покрова // Материалы гляциол. исслед., 2007, вып. 102, с. 73–79.
Gensiorovskiy, Yu.V., 2007. Estimating maximum storage of snow from its landscape properties. Materialy Glaciol. Issled. 102, 73–79.

Генсиоровский Ю.В., Казаков Н.А., Лобкина В.А., Кононов И.А. Влияние микрорельефа на структуру и текстуру снежной толщи в однотипном стратиграфическом комплексе // Тезисы докл. Междунар. симп. "Физика, химия и механика снега". Южно-Сахалинск, КАНО, 2011, с. 134–135.
Gensiorovskiy, Yu.V., Kazakov, N.A., Lobkina, V.A., Kononov, I.A., 2011. Microtopography control of snow structure and microstructure in different types of stratigraphic complexes, in: Snow Physics, Chemistry, and Mechanics. Proc. Intern. Conf. KANO, Yuzhno-Sakhalinsk, pp. 134–135. (in Russian)

Геологический словарь. Т. 1, 2. М., Недра, 1978, 970 с.
Paffengolts, K.N. (Ed.), 1978. Glossary of Geology. Nedra, Moscow, 970 pp. (in Russian)

Гляциологический словарь. Л., Гидрометеоиздат, 1984, 528 с.
Kotlyakov, V.M., Grosswald, M.G., Krenke, A.N. (Eds.), 1984. Glossary of Glaciology. Gidrometeoizdat, Leningrad, 528 pp. (in Russian)

Древило М.С. О классификациях отложенного снега. Южно-Сахалинск, Сахалин. УГМС, 1981, 24 с.
Drevilo, M.S., 1981. Classification of New Precipitation Snow. UGMS, Yuzhno-Sakhalinsk, 24 pp. (in Russian)

Древило М.С. Геоэкологические исследования снежного покрова на основе его ландшафтно-индикационных свойств (на примере о. Сахалин): Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Барнаул, 2001, 27 с.

Drevilo, M.S., 2001. Geoenvironmental Research of Snow: Landscape Approach (Case Study of Sakhalin Island). Author's Abstract. Candidate Thesis. Barnaul, 27 pp. (in Russian)

Древило М.С., Жируев С.П., Окопный В.И., Генсиоровский Ю.В., Казаков Н.А. Мониторинг снежного покрова о. Сахалин // Материалы гляциол. исслед., 2000, вып. 89, с. 89–94.

Drevilo, M.S., Zhiruev, S.P., Okopnyi, V.I., Gensiorovskiy, Yu.V., Kazakov, N.A., 2000. Snow monitoring in Sakhalin Island. Materialy Glaciol. Issled. 89, 89–94.

Казаков Н.А. Геологические и ландшафтные критерии оценки лавинной и селевой опасности при строительстве линейных сооружений (на примере о. Сахалин): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2000, 36 с.

Kazakov, N.A., 2000. Geological and Landscape Criteria for Avalanche and Debris Flow Hazard Prediction in Road Construction (Case Study of Sakhalin Island). Author's Abstract. Candidate Thesis. Moscow, 36 pp. (in Russian)

Казаков Н.А. Перекристаллизация снега и особенности лавинообразования на Сахалине и Курильских островах // Материалы Междунар. науч. конф. “Гляциология в начале XXI века”. М., Унив. кн., 2009а, с. 70–77.

Kazakov, N.A., 2009a. Constructive metamorphism of snow and avalanche formation features in Sakhalin Island and in the Kuriles, in: Glaciology in Early 21st Century. Proc. Intern. Conf. Univ. Kn., Moscow, pp. 70–77. (in Russian)

Казаков Н.А. Природный лавинный комплекс как триггерная геосистема // Там же, 2009б, с. 110–115.

Kazakov, N.A., 2009b. A natural avalanche complex as a trigger system, in: Glaciology in Early 21st Century. Proc. Intern. Conf. Univ. Kn., Moscow, pp. 110–115. (in Russian)

Коломыц Э.Г. Структура снега и ландшафтная индикация. М., Наука, 1976, 206 с.

Kolomyts, E.G., 1976. Snow Structure and Landscape Indication. Nauka, Moscow, 206 pp. (in Russian)

Коломыц Э.Г. Методы кристалло-морфологического анализа структуры снега. М., Наука, 1977, 199 с.

Kolomyts, E.G., 1977. Methods for Crystal Morphology Analysis of Snow Structure. Nauka, Moscow, 200 pp. (in Russian)

Коломыц Э.Г. Теория эволюции в структурном снеговедении. М., ГЕОС, 2013, 435 с.

Kolomyts, E.G., 2013. Evolution Theory in Structural Snow Studies. GEOS, Moscow, 435 pp. (in Russian)

Кононов И.А. Разработка программного комплекса для автоматизации стратиграфических исследований снежной толщи в снежных шурфах // Материалы 4-й Всерос. конф. молодых ученых “Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России”. Владивосток, Дальнаука, 2012, с. 264–265.

Kononov, I.A., 2012. Software design for automated studies of snow stratigraphy in pits, in: Modern Problems of Geology, Geochemistry, and Geoenvironment in the Russian Far East. Proc. 4th All-Russian Conf. of Early-Carrier Scientists, Dalnauka, Vladivostok, pp. 264–265. (in Russian)

Кононов И.А. Программный комплекс для детектирования и определения размеров кристаллов льда на фотографиях проб кристаллов из отдельных слоев снежной толщи // Хроники объедин. фонда электрон. ресурсов “Наука и образование”, 2014, т. 61, № 06, с. 2–3.

Kononov, I.A., 2014. Software for detection and size measurements of ice crystals in photographs of crystal samples from different snow layers, in: Annales of Integrate Pool of Web Resources for Science and Education, 61 (06), 2–3.

Кононов И.А., Казаков Н.А. Формализация задачи машинного распознавания формы и размеров кристаллов в снежном покрове // Лед и снег, 2011, т. 51, № 3, с. 85–90.

Kononov, I.A., Kazakov, N.A., 2011. Size and shape of ice crystals in snow: Problem formalization for machine-aided identification. Led i Sneg 51 (3), 85–90.

Котляков В.М. Избранные сочинения. Кн. 5. В мире снега и льда. М., Наука, 2002, 383 с.

Kotlyakov, V.M., 2002. Selected Works. Book 5. In the World of Snow and Ice. Nauka, Moscow, 383 pp. (in Russian)

Котляков В.М. Избранные сочинения. Кн. 2. Снежный покров и ледники Земли. М., Наука, 2004, 447 с.

Kotlyakov, V.M., 2004. Selected Works. Book 2. Earth's Snow and Glaciers. Nauka, Moscow, 447 pp. (in Russian)

Литенко Н.Л. Типы фаций, гидроморфная структура и функционирование ландшафтов Сахалина // Вопросы географии и геоморфологии Советского Дальнего Востока. Владивосток, ДВГУ, 1992, с. 17–26.

Litenko, N.L., 1992. Facies, hydromorphic properties, and functioning of landscapes in Sakhalin Island, in: Problems of Geography and Geomorphology of the Soviet Far East, DVGU, Vladivostok, pp. 17–26. (in Russian)

Лобкина В.А. Перекристаллизация снега в толще в ландшафтных фациях, различных по условиям увлажнения (Юг Сахалина) // Криосфера Земли, 2013, т. XVII, № 3, с. 89–93.

Lobkina, V.A., 2013. Snow recrystallization in landscape facies of different moisture conditions (South Sakhalin). Earth's Cryosphere XVII (3), 89–93.

Лобкина В.А., Михалев М.В. Формирование текстуры снежного слоя в зависимости от начальной структуры отложенного снега // Лед и снег, 2011, т. 51, № 2, с. 53–56.

Lobkina, V.A., Mikhalev, M.V., 2011. Formation of snow layer structure depending on the original microstructure of precipitation snow. Led i Sneg 51 (2), 53–56.

Международная классификация для сезонно-выпадающего снега (руководство к описанию снежной толщи и снежного покрова). Рус. изд. // Материалы гляциол. исслед., 2012, вып. 2, 80 с.

The International Classification for Seasonal Snow on the Ground, 2012. Guidelines for Snow Description. Russian Version. Materialy Glaciol. Issled. 2, 80 pp. (in Russian)

Рихтер Г.Д. Использование снега в народном хозяйстве // Вопросы изучения снега и использования его в народном хозяйстве. М., Изд-во АН СССР, 1955, с. 5–22.

Rikhter, G.D., 1955. Use of snow in national economy, in: Problems of Snow Research and Economic Uses. Izd. AN SSSR, Moscow, pp. 5–22. (in Russian)

Руководство по снеголавинным работам (временное) / Отв. ред. Ю.Д. Москалев. Л., Гидрометеоиздат, 1965, 397 с.

Moskalev, Yu.D. (Ed.), 1965. Tentative Guide to Snow Avalanche Mitigation. Gidrometeoizdat, Leningrad, 397 pp. (in Russian)

Руководство по предупредительному спуску снежных лавин с применением артиллерийских систем КС-19. М., Гидрометеоиздат, 1984, 108 с.

Bolov, V.R. (Ed.), 1984. Guide to Preventive Avalanche Triggering Using KS-19 Artillery Systems. Gidrometeoizdat, Moscow, 108 pp. (in Russian)

Савельев Б.А. Строение и состав природных льдов. М., Изд-во Моск. ун-та, 1980, 280 с.

Saveliev, B.A., 1980. Structure and Composition of Natural Ice. Moscow University Press, Moscow, 280 pp. (in Russian)

Сочава Б.В. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск, Наука, 1978, 319 с.

Sochava, B.V., 1978. Fundamentals of the Theory of Geosystems. Nauka, Novosibirsk, 319 pp. (in Russian)

Тушинский Г.К. Лавины. Возникновение и защита от них. М., Географгиз, 1949, 214 с.
Tushinskiy, G.K., 1949. Avalanches: Origin and Mitigation. Geografgiz, Moscow, 214 pp. (in Russian)

Тушинский Г.К. Эволюция снежной толщи // Вопр. географии, 1950, № 27, с. 350–355.
Tushinskiy, G.K., 1950. Snowpack evolution. Voprosy Geografii 27, 350–355.

Черешкин Д.С., Кононов А.А., Тищенко Д.В. Принципы таксономии угроз безопасности информационных систем // Вестн. РФФИ, 1999, т. 162, № 17, с. 68–72.
Chereshkin, D.S., Kononov, A.A., Tishchenko, D.V., 1999. Safety risks for information systems: Classification principles. Vestnik RFFI 162 (17), 68–72.

Щукин И.С. Четырехъязычный энциклопедический словарь по физической географии. М., Сов. энцикл., 1980, 703 с.
Shchukin, I.S., 1980. Quadrilingual Glossary of Physiography. Sov. Encycl., 703 pp. (in Russian)

Bartlett, S.J., Reuedi, J.-D., Alasdair, Craig, Fierz, C. Assessment of techniques for analyzing snow crystals in two dimensions // Ann. Glaciol., 2008, vol. 48, p. 103–112.

Handbook of snow / Ed. by D.M. Gray, D.H. Male. Toronto, Pergamon PRESS Canada Ltd, 1981, 776 p.

Kazakov, N.A., Gensiorovskiy, J.V., Zhiruev, S.P., Drevilo, M.S. Stratigrafic complexes of a snow cover // Ann. Glaciol., 2012, vol. 58 (61), p. 39–44.

Lobkina, V.A. Recrystallization of snowpack at sites with different degrees of humidity // Ann. Glaciol., 2012, vol. 53 (61), p. 27–30.

Sokratov, S., Kazakov, N. Dry snow metamorphism expressed by crystal shape // Ann. Glaciol., 2012, vol. 58 (61), p. 51–56.

The International Classification for seasonal snow on the ground. Paris, UNESCO, 2009, 80 p.

Поступила в редакцию
13 ноября 2015 г.