

## ЗАВИСИМОСТЬ ПЛОТНОСТИ ОТЛОЖЕННОГО СНЕГА ОТ ЕГО СТРУКТУРЫ И ТЕКСТУРЫ

Е.Н. Казакова<sup>1,2</sup>, В.А. Лобкина<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований ДВО РАН,  
693023, Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25, Россия; [kazakova-e-n@yandex.ru](mailto:kazakova-e-n@yandex.ru)

<sup>2</sup> Научно-исследовательский центр "Геодинамика",  
693000, Южно-Сахалинск, Коммунистический просп., 21, Россия; [geodynamics\\_2003@mail.ru](mailto:geodynamics_2003@mail.ru)

<sup>3</sup> Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Сахалинский фил.,  
лаборатория лавинных и селевых процессов, 693000, Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25, Россия

Обобщены результаты измерений плотности отложенного снега за период 2005–2017 гг. Данные о плотности снега получены как во время регулярных наблюдений, проводившихся на стационарных горизонтальных площадках, расположенных в окрестностях г. Южно-Сахалинска, так и во время полевых работ. Обработано 227 шурфов, проведен анализ более 2000 значений плотности слоев снежной толщи. Обобщены и структурированы данные по распределению плотности снега в различных ландшафтах. Наибольшая плотность снега характерна для безлесных районов с сильными ветрами. Выявлены плотности, характерные для определенной структуры снега. Установлено, что плотность слоев снега изменяется в зависимости от типа снега в пределах от 40 кг/м<sup>3</sup> (свежевыпавший снег) до 790 кг/м<sup>3</sup> (ледяные корки).

*Метаморфизм снежной толщи, плотность снега, Сахалин, снег, снежный покров*

### DEPENDENCE OF SNOW COVER DENSITY UPON ITS STRUCTURE AND TEXTURE

E.N. Kazakova<sup>1,2</sup>, V.A. Lobkina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> The Special Research Bureau for Automation of Marine Research, FEB RAS,  
25, Gorkogo str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russia; [kazakova-e-n@yandex.ru](mailto:kazakova-e-n@yandex.ru)

<sup>2</sup> Geodynamics Research Center for the Study of Geodynamic Processes,  
21, Kommunisticheskij ave., Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russia; [geodynamics\\_2003@mail.ru](mailto:geodynamics_2003@mail.ru)

<sup>3</sup> Sakhalin Branch of the Far East Geological Institute, FEB RAS,  
25, Gorkogo str., Yuzhno-Sakhalinsk, 693000, Russia

The results of measurement of snow cover density for the period from 2005 to 2017. The data on snow density have been obtained during regular observations carried out on a stationary horizontal sites located in Yuzhno-Sakhalinsk and during field work. 227 snow pits have been sampled, and more than 2,000 values of snow density for different snow layers have been analyzed. Data on distribution of snow density in different landscapes have been compiled and structured. The maximum density of snow is typical for treeless regions with dominating strong winds. Typical densities for specific snow structure have been revealed. The density of snow layers have been found to vary depending on the type of snow in the range from 40 kg/m<sup>3</sup> (newly fallen snow) up to 790 kg/m<sup>3</sup> (ice crust).

*Metamorphism of snow, snow density, Sakhalin, snow, snow cover*

### ВВЕДЕНИЕ

Плотность снега варьирует в широком диапазоне и зависит от многих факторов: температура и влажность воздуха, скорость ветра, тип снежинок во время снегопада, уплотнение за счет собственного веса и веса вышележащих слоев снега, изменение структуры и текстуры снежной толщи в процессе метаморфизма, таяние при оттепелях и т. п. [Войтковский, 1999].

В настоящее время существует достаточно большое количество отечественных и зарубежных работ, посвященных исследованию плотности снега в разных регионах мира [Вейнберг, 1936; Шенелевский, 1939; Евфимов, 1941; Рихтер, 1945; Лурье, Савельев, 1959; Кузьмин, 1966; Савельев и др., 1967; Рыбальченко, 2011; Казаков и др., 2013; Gray, Male, 1981; Geldsetzer, Jamieson, 2000]. Необходимо отметить, что большинство отечественных работ, по-

священных натурному изучению плотности снега, опубликовано более полувека назад.

Целью настоящей работы является анализ фактических данных послойных измерений плотности снега, выполненных в разных ландшафтных зонах.

В работе обобщены результаты измерений плотности отложенного снега за период 2005–2017 гг., которые проводились сотрудниками лаборатории лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала Дальневосточного геологического института (ДВГИ) ДВО РАН на о. Сахалин (2005–2017 гг.) и Кольском полуострове (2016–2017 гг.).

Представленные данные будут интересны специалистам-гляциологам, а также специалистам проектных организаций, использующим значения

плотности снега для расчетов параметров снежных лавин, объемов снегопереноса, несущей способности снежного покрова, водного эквивалента снежного покрова и др. Из-за отсутствия фактических данных специалисты вынуждены использовать средние значения по материалам гидрометеорологических станций, что приводит к ошибкам в расчетах.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Данные о плотности снега были получены как во время регулярных наблюдений, проводившихся на стационарных горизонтальных площадках, расположенных в окрестностях г. Южно-Сахалинска, так и во время полевых выездов на территории о. Сахалин (2005–2017 гг.) и Кольского полуострова (2016 и 2017 гг.) (рис. 1).

Основным пунктом для регулярных наблюдений за снежной толщей на о. Сахалин является предгорная часть западного отрога г. Большевик (Сусунайский хребет), где были заложены четыре площадки.

*Площадка № 1* (66 шурфов): абс. высота 80 м, уклон 3°, растительность – молодой березово-ольховый лес, подстилающая поверхность – осока, мятлик, клевер и др., умеренно гидроморфный тип фаций.

*Площадка № 2* (23 шурфа): абс. высота 110 м, уклон 4°, растительность – гречиха, лабазник, какалия и др., подстилающая поверхность – осока, сильногидроморфный тип фаций.

*Площадка № 3* (28 шурфов): абс. высота 70 м, уклон 2°, растительность – медвежья дудка, под-

стилающая поверхность – осока, злаковые, слабогидроморфный тип фаций.

*Площадка № 4* (22 шурфа): абс. высота 64 м, уклон 2°, растительность – гречиха, медвежья дудка, белокопытник, подстилающая поверхность – осока, слабогидроморфный тип фаций.

Наблюдения на этих площадках проводились с разной периодичностью (от ежедневных до 1 раза в 15 дней) с даты установления по дату разрушения устойчивого снежного покрова в течение 12 зимних сезонов с 2005 по 2017 г. (выполнено 139 шурфов, проанализировано 1084 слоя).

Нерегулярные наблюдения за плотностью снега осуществлялись в разных районах о. Сахалин: восточное и западное побережья центральной и южной частей острова, Сусунайский и Мицульский хребты и др. (выполнено 58 шурфов, проанализировано 572 слоя).

В марте 2016 г. и марте 2017 г. были проведены наблюдения на территории Кольского полуострова: в районе г. Мурманска, вдоль автодорог Мурманск–Териберка, Кола–Верхнетуломский, Мурманск–Кировск, а также в районе г. Кировска (выполнено 30 шурфов, проанализировано 329 слоев). Исследование проводилось в различных ландшафтных зонах (тундра, лесотундра, тайга, смешанный лес).

Снежный разрез разбивался на различные по генезису и морфологии слои. Для каждого слоя определялся класс форм ледяных кристаллов (структура слоя) по методике Э.Г. Коломыца с учетом разработок лаборатории лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала ДВГИ ДВО

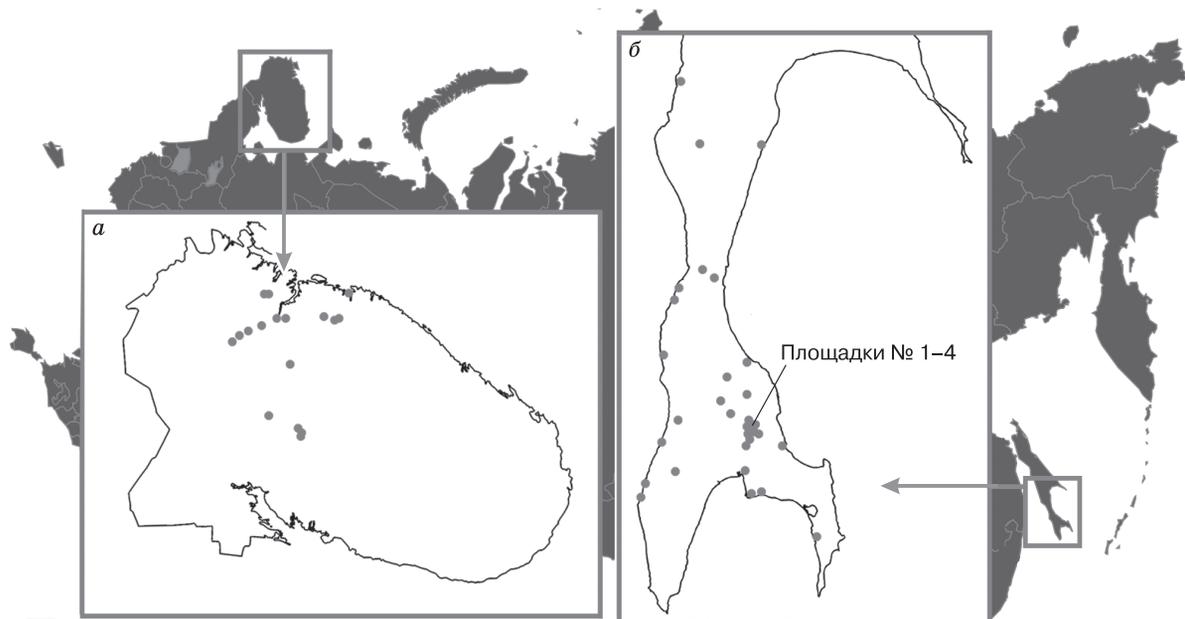


Рис. 1. Схема расположения точек наблюдения на территории Кольского полуострова (а) и о. Сахалин (б).

Таблица 1. Плотность разных типов снега по данным авторов статьи и из литературных источников

Тип снега [Коломыц, 2013]	Код Международной классификации [Фириц и др., 2012]	Плотность снега по дан- ным наблюдений*, кг/м <sup>3</sup>			Кол-во значений	Стандартное отклонение	Стандартная ошибка	Плотность разных типов снега, кг/м <sup>3</sup>			
		мин.	сред.	макс.				[Вейбер, 1936]	[Ефимов, 1941]	[Гляциологический словарь, 1984]	
Свежевыпавший	—	10	77	150	39	34.5	5.5	сред.	—	—	200
Обломочный	DFdc	50	125	240	55	46.3	6.2	50–65	—	146	200–300
Сублимационно- полиэдрический	RGsr, RGlr	80	171	260	45	39.1	5.8	70–190	105	—	200–500
Гранный	RGxf, FCxr, FCso	120	243	390	112	64.1	6.1	200–500	—	—	—
Полускелетный	FCso, FCxr	150	262	360	61	47.9	6.1	—	201	227	276
Скелетный	DHla, DHcr, DHpr, DHch, DHxr	160	284	380	75	49.8	5.8	—	194	221	235
Секториальный	—	240	303	370	11	41.0	12.4	—	272	316	—
Режеляционно- полиэдрический	MFcl, MFrc	60	310	500	50	96.4	13.6	—	—	—	—

\* Данные наблюдений за 2005–2017 гг. на площадках № 1–4.

РАН [Кононов, Казаков, 2011; Коломыц, 2013; Kazakov et al., 2012]. В ходе эволюции ледяной кристалл претерпевает единую цепь структурных преобразований, начиная с гранной формы и заканчивая скелетной, секториальной и пластинчатой. Для каждого слоя определялись размеры кристаллов, текстура слоя, измерялись плотность, температура на контактах слоев, проводились метеорологические наблюдения.

Плотность снежных слоев измерялась по единой методике с применением однотипного оборудования. Из каждого слоя при помощи цилиндра объемом 100 см<sup>3</sup> отбирали и взвешивали по 3 пробы снега, результаты измерений усреднялись. Для взвешивания проб снега использовали электронные весы с точностью измерений до 0.01 г.

Для слоев снега путем камеральной выборки ледяных кристаллов по фотографии определялась преобладающая структура. Выборка производилась не менее чем из 20 ледяных кристаллов. Доля ошибки, приходящаяся на определения класса формы ледяного кристалла, превышает ошибку измерения плотности слоя и диаметра кристалла, так как плотность измеряется одинаковым калиброванным набором инструментов, диаметр находится по миллиметровой сетке, а определение структуры до зимнего сезона 2013/14 г. целиком зависело от навыков наблюдателя. С 2013 г. процесс выборки снежных кристаллов был автоматизирован, что позволило получать более точные и полные данные о типах и размерах кристаллов в слое [Кононов, Казаков, 2011].

Всего было проанализировано более 2000 значений плотности снега. Общим параметром для анализа плотностей авторы выбрали однородность структуры снежного слоя. С учетом погрешности наблюдателя и статистической ошибки были выбраны слои, содержание кристаллов одного класса в которых составляло более 75 %. Такие слои составили около 20 % от первоначальной выборки (более 400 значений). В остальных случаях слои представляли собой смесь 3–5 типов снега в разных пропорциях.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Наблюдения на стационарных горизонтальных площадках

Для определения зависимости плотности от структуры и текстуры снега были рассмотрены только данные, полученные на стационарных горизонтальных площадках (окрестности г. Южно-Сахалинска, площадки № 1–4), т. е. были исключены наблюдения, проводившиеся в прибрежных зонах горных хребтов и в приречных частях морских террас, так как в этих зонах основной характеристикой, определяющей плотность снега, будет ветровой режим. Слоями с однородной структурой считались слои, в которых коли-

чество кристаллов одного класса форм составляло более 75 %.

В табл. 1 приведены минимальные, средние и максимальные значения плотностей разных типов снега по данным, полученным на горизонтальных площадках о. Сахалин. Наименьшие плотности характерны для свежевыпавшего снега, наибольшие – для режеляционно-полиэдрического.

Проведено сравнение полученных данных о плотности разных типов снега (см. табл. 1) с результатами других исследователей [Вейнберг, 1936; Евфимов, 1941; Гляциологический словарь, 1984] в соответствии с выделенными ими типами снега и используемой нами классификацией Э.Г. Коломыца [2013]. Сравнение показало, что средние значения плотности снега в целом сходны, тогда как максимальные и минимальные значения имеют большой разброс (см. табл. 1).

На стационарных горизонтальных площадках о. Сахалин около 80 % проб свежевыпавшего снега имели плотность менее 100 кг/м<sup>3</sup> и только 20 % характеризовались плотностью 100–150 кг/м<sup>3</sup> (рис. 2). Уже на стадии гранного типа снега слои с плотностью менее 100 кг/м<sup>3</sup> исчезают, а на долю проб плотностью 100–150 кг/м<sup>3</sup> остается всего 8 %. Наибольшая доля проб (34 %) гранного типа снега относится к диапазону 200–250 кг/м<sup>3</sup>. При

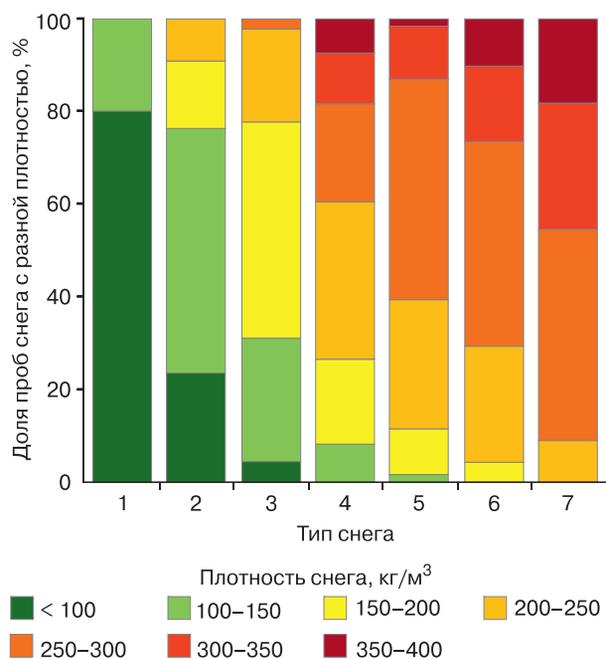


Рис. 2. Распределение количества проб разных типов снега с разной плотностью в процентах от общего количества проб (площадки № 1–4, 2005–2017 гг.).

Тип снега (по Э.Г. Коломыцу): 1 – свежевыпавший, 2 – обломочный, 3 – сублимационно-полиэдрический, 4 – гранный, 5 – полускелетный, 6 – скелетный, 7 – секториальный.

смене структуры на полускелетную доля проб плотностью 200–250 кг/м<sup>3</sup> уменьшается до 28 %, а наибольшая доля проб (48 %) приходится на плотность 250–300 кг/м<sup>3</sup>. Далее, при переходе в скелетную стадию доля проб этой плотности (250–300 кг/м<sup>3</sup>) сохраняется практически на прежнем уровне и составляет 44 %. Доля слоев с плотностью более 300 кг/м<sup>3</sup> увеличивается до 26 %, в слоях полускелетного типа снега доля проб этой плотности составляет всего 13 %. В слоях, сложенных кристаллами секториального класса форм, наибольшее количество проб, так же как в полускелетных и скелетных слоях, составляет 45 %. Доля проб с высокой плотностью (более 300 кг/м<sup>3</sup>) увеличивается до 45 %. Таким образом, при эволюции снега от свежевыпавшего до секториального класса форм происходит увеличение доли проб с более высокой плотностью (см. рис. 2).

Четкой зависимости между плотностями разных типов вторично-идиоморфного снега (гранный, полускелетный, скелетный, секториальный, пластинчатый) не выявляется, однако плотности слоев, состоящих преимущественно из кристаллов гранного класса форм, в целом несколько ниже плотностей полускелетного, скелетного и секториального классов (см. рис. 2).

Отмечается, что в слоях, плотность которых более чем на 30 % выше плотности соседних слоев, скорость роста ледяных кристаллов замедляется. При этом в слоях, расположенных ниже уплотненных, наблюдается увеличение скорости роста среднего диаметра ледяных кристаллов, а также уменьшение плотности [Lobkina, 2012].

Средние плотности слоев с монолитной текстурой были меньше, чем слоев со столбчатой или волокнистой; чаще всего они находятся в пределах 200–250 кг/м<sup>3</sup>, тогда как плотности слоев со столбчатой и волокнистой текстурой составляют 250–300 кг/м<sup>3</sup> (табл. 2). Это согласуется с отмеченной выше разницей плотностей слоев гранного и слоев полускелетного, скелетного и секториального класса форм, так как монолитная текстура более характерна для слоев гранного типа снега.

Заметной зависимости между плотностью снега и диаметром кристалла без учета структуры снежной толщи не выявлено, для слоев гранного и

Таблица 2. Плотность снега с разной текстурой (площадки № 1–4, 2005–2017 гг.)

Текстура снега	Плотность снега, кг/м <sup>3</sup>			Кол-во значений	Стандартное отклонение	Стандартная ошибка
	мин.	сред.	макс.			
Монолитная	90	257	530	224	69	5
Столбчатая	110	274	500	435	62	3
Волокнистая	130	277	480	271	56	3

скелетного типов (количество кристаллов определенного типа в слое более 90 %) наблюдается некоторая прямая зависимость, отмеченная при диаметре гранных кристаллов в диапазоне 0.2–0.7 мм (проанализирован 61 слой), для скелетных – 1.0–1.5 мм (проанализировано 37 слоев).

Около двух третей проб представляли собой смесь нескольких типов снега в разных соотношениях. Плотности таких слоев колеблются в широком диапазоне (100–480 кг/м<sup>3</sup>) в зависимости от процентного соотношения количества кристаллов разного класса форм.

Плотность отложенного снега значительно выше на участках, подверженных воздействию ветров (прибровочные части морских террас, верхние части горных хребтов). Так, средние плотности слоев, состоящих из кристаллов вторично-идiomорфного снега (гранного, полускелетного и скелетного), в прибровочных частях морских террас западного побережья Южного Сахалина составляют 300–400 кг/м<sup>3</sup>, тогда как средние плотности таких слоев на горизонтальных площадках, расположенных в окрестностях г. Южно-Сахалинска, колеблются в пределах 200–300 кг/м<sup>3</sup>.

Анализ многолетних данных измерений плотности снега на площадках № 1–4, заложенных в окрестностях г. Южно-Сахалинска (рис. 3), показывает, что в начале зимы преобладают слои с плотностью до 150 кг/м<sup>3</sup>. Это связано с активным снегонакоплением, увеличением мощности снежной толщи за счет снегопадов. Далее в процессе метаморфизма снег начинает уплотняться, что приводит к увеличению общей плотности снежной толщи с первой декады января. Однако слои с

плотностью менее 100 кг/м<sup>3</sup> отмечаются в течение всей зимы, что связано с выпадением осадков, их доля меняется в зависимости от снежности зимы. Со второй декады января увеличивается доля слоев с плотностью более 200 кг/м<sup>3</sup>. К первой декаде марта в снежной толще присутствуют слои с плотностью от 300 кг/м<sup>3</sup>, что объясняется увеличением среднесуточной температуры воздуха, выпадением смешанных видов осадков, приводящих к образованию режеляционных слоев. Наличие слоев с высокой плотностью в течение зимы связано с процессами возгонки водяного пара, которые увеличивают скорость роста снежных кристаллов в приземной части снежной толщи, а также способствуют образованию корок и приводят к смерзанию отдельных кристаллов в снежных слоях. Слои с плотностью более 400 кг/м<sup>3</sup> наблюдаются не ежегодно, за исследуемый период такая плотность отмечена у режеляционных корок (60 % проб), слоев, сложенных режеляционным снегом (25 %), и ледяных корок (15 %).

Наибольшие из измеренных плотностей характерны для режеляционных и ледяных корок и составляют 600–790 кг/м<sup>3</sup>.

В течение зимы для слоев, сложенных гранным снегом, преобладает плотность 200–250 кг/м<sup>3</sup> (40 % проб), наибольшее количество слоев гранного снега наблюдается в январе и феврале; для полускелетных – 250–300 кг/м<sup>3</sup> (40 %), они чаще отмечаются в феврале; для скелетных на плотности 250–300 и 300–350 кг/м<sup>3</sup> приходится одинаковое количество слоев, которые в сумме дают 66 %, их наибольшее количество также приходится на февраль. Для слоев в стадии регрессивного мета-

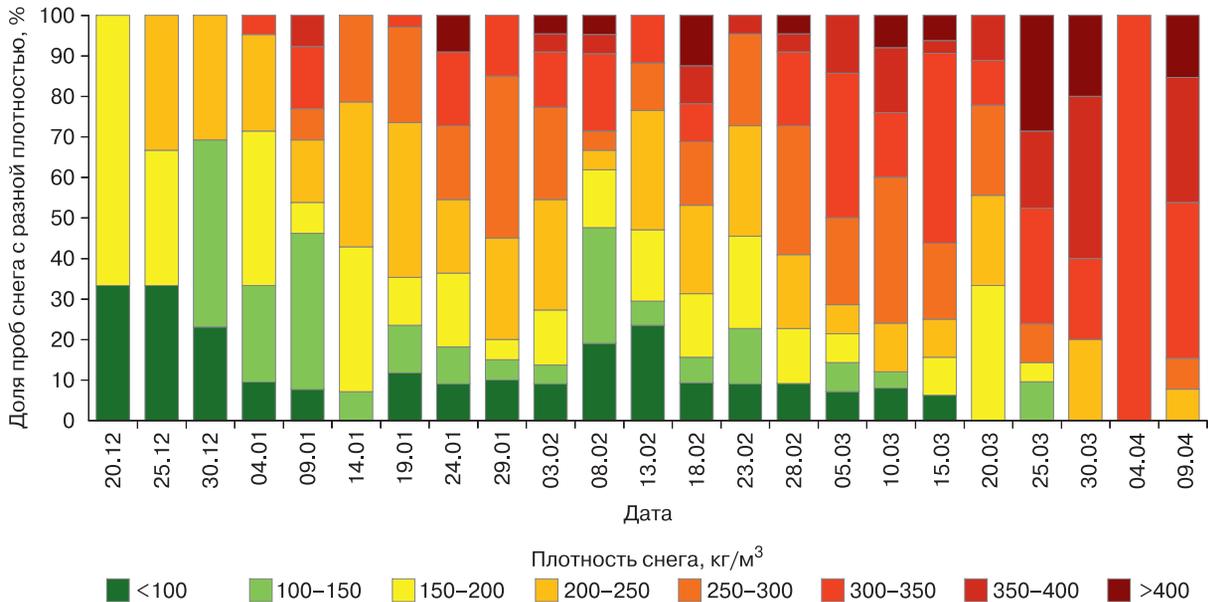


Рис. 3. Распределение плотностей снега в течение зимнего сезона по данным многолетних наблюдений в процентах от общего количества проб (площадки № 1–4, 2005–2017 гг.).

морфизма преобладающей является плотность 300–350 кг/м<sup>3</sup>, такие слои чаще встречаются в первой декаде марта.

Начальная плотность является одной из важнейших характеристик снежной толщи, влияющей на скорость ее перекристаллизации и, следовательно, на время возникновения лавиноопасных слоев. Установлено, что чем выше плотность снежных слоев, тем медленнее в них протекают процессы сублимационного метаморфизма [Казаков, 2015; Lobkina, 2012]. Сублимационная перекристаллизация в условиях о. Сахалин представляет собой основной генетический механизм образования лавин объемом более 5000 м<sup>3</sup>. Лавины генетического класса перекристаллизации снежной толщи на юге острова, по данным наблюдений, составляют около 31 % от общего числа лавин [Казаков, 2009].

#### Наблюдения в разных ландшафтных зонах о. Сахалин и Кольского полуострова

Плотность снега зависит от множества факторов и очень сильно различается в разных ландшафтных условиях. Так, наблюдения в смешанных и темнохвойных лесах, на морских террасах о. Сахалин, а также в смешанных лесах, тайге, тундре, лесотундре, горной тундре и на марях Кольского полуострова показали, что плотность снега одинаковой структуры и текстуры, с одинаковым диаметром кристаллов может существенно различаться в зависимости от ландшафтной зоны. Определяющим фактором является плотность упаковки кристаллов в слое. Очевидно, что наибольшая плотность снега характерна для безлесных районов с сильными ветрами. Для о. Сахалин это морские террасы, для Кольского полуострова – тундра и горная тундра.

Например, плотность слоев с монолитной текстурой, сложенных гранными кристаллами (>70 %) диаметром 0.2–0.5 мм на горизонтальных площадках (площадки № 1–4) колеблется от 130 до 360 кг/м<sup>3</sup> (средняя 233 кг/м<sup>3</sup>), на морских террасах западного побережья Южного Сахалина – от 290 до 410 кг/м<sup>3</sup> (средняя 357 кг/м<sup>3</sup>).

Если рассматривать плотность слоев вторично-идиоморфного снега (от гранного до пластинчатого) в разных ландшафтах Кольского полуострова, можно сделать следующие выводы: в целом наибольшая плотность снега характерна для тундры (от 200 до 450 кг/м<sup>3</sup>, средняя 325 кг/м<sup>3</sup>), наименьшая – для тайги (от 120 до 400 кг/м<sup>3</sup>, средняя 258 кг/м<sup>3</sup>). Для лесотундры отмечен наибольший разброс значений – от 80 до 500 кг/м<sup>3</sup>, средняя плотность составляет 313 кг/м<sup>3</sup>. Например, плотность одного из слоев в шурфе, выполненном 03.03.2017 г. в лесотундре (район оз. Килпъявр) достигала 500 кг/м<sup>3</sup> (80 % кристаллов гранного класса форм и 20 % полускелетного, мо-

нолитная текстура, средний диаметр кристалла 0.7 мм).

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При исследовании плотностей снега неизбежна ошибка наблюдателя, обусловленная тем, что наблюдения проводились в течение длительного периода разными людьми и использовалось оборудование с разным классом точности.

Зависимость плотности снега от диаметра кристаллов прослеживалась авторами в слоях с преобладанием кристаллов одного класса более 90 %, однако в двух третях случаев слои имеют смешанную структуру, что, во-первых, затрудняет выявление зависимостей, а во-вторых, уменьшает возможность их использования для практических целей.

Как видно из рис. 2, в ходе эволюции снежного слоя от свежеснежного к секториальному (согласно [Кононов, Казаков, 2011]), для каждого последующего типа снега увеличивается доля проб с более высокой плотностью. В целом наименьшие плотности имеет свежеснежный снег, наибольшие – секториальный. Для слоев гранного типа снега характерны более низкие плотности, чем для полускелетного, скелетного и секториального.

Измерения показывают, что общая плотность снежной толщи увеличивается к концу зимнего сезона и на момент максимальных водозапасах составляет около 300 кг/м<sup>3</sup>, тогда как средняя плотность толщи на начало зимнего сезона колеблется от 80 до 220 кг/м<sup>3</sup> и зависит от общих метеоусловий, характеристик снегопадов, влажности подстилающей поверхности и т. д.

При проведении различных как научно-исследовательских, так и прикладных работ необходимо учитывать, что плотность разных слоев снега одновременно и в одной точке может отличаться в несколько раз. Например, в шурфе 25.02.2016 г. были слои с плотностями от 120 кг/м<sup>3</sup> для обломочного типа снега до 330 кг/м<sup>3</sup> для скелетного и 760 кг/м<sup>3</sup> для режеляционной корки (г. Южно-Сахалинск, площадка № 4).

Для получения зависимостей плотности снега от его структуры, текстуры, диаметра кристаллов и других показателей необходимо значительно увеличить объем данных.

#### ВЫВОДЫ

1. Плотность слоев снега колебалась в зависимости от его типа в пределах от 10 кг/м<sup>3</sup> (свежеснежный снег) до 790 кг/м<sup>3</sup> (ледяные корки). Плотность наибольшего количества проб снега (более 50 %) из слоев, в которых преобладают обломочные кристаллы, попадает в диапазон 100–140 кг/м<sup>3</sup>, сублимационно-полиэдрические – 140–180 кг/м<sup>3</sup>, режеляционно-полиэдрические – 300–

400 кг/м<sup>3</sup>, гранные – 220–260 кг/м<sup>3</sup>, скелетные – 260–320 кг/м<sup>3</sup>. Наибольшие плотности характерны для режеляционных кристаллов и ледяных корок (600–790 кг/м<sup>3</sup>).

2. При эволюции снега от свежеснежавшего до секториального класса форм происходит поэтапное увеличение доли проб с более высокой плотностью. При этом доля проб снега с плотностью 250–300 кг/м<sup>3</sup> для слоев полускелетного, скелетного и секториального типов сохраняется на уровне 44–48 %.

3. В течение зимы для слоев, состоящих из разных типов снега, преобладают следующие плотности (на горизонтальных площадках, расположенных в окрестностях г. Южно-Сахалинска): а) гранного типа снега – 200–250 кг/м<sup>3</sup> (40 % проб), наибольшее количество слоев этого снега наблюдается в январе и феврале; б) полускелетного типа снега – 250–300 кг/м<sup>3</sup> (40 % проб), чаще отмечаются в феврале; в) скелетного типа снега – 250–300 и 300–350 кг/м<sup>3</sup> (66 %), их наибольшее количество приходится на февраль; г) снега в стадии регрессивного метаморфизма 300–350 кг/м<sup>3</sup>, такие слои чаще встречаются в первой декаде марта.

Таким образом, плотность снега варьирует в широком диапазоне, причем разные слои отложенного снега в одной точке в одно и то же время могут иметь плотности, различающиеся в несколько раз, что необходимо учитывать при проведении исследований и прикладных работ.

*Авторы выражают признательность коллективу лаборатории лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала ДВГИ ДВО РАН за предоставленные материалы наблюдений.*

## Литература

- Вейнберг Б.П.** Снег, иней, град и ледники. М., ОКТИ, 1936, 236 с.  
Veinberg, B.P., 1936. Snow, Hoar, Nail, and Glaciers. OKTI, Moscow, 236 pp. (in Russian)
- Войтковский К.Ф.** Основы гляциологии. М., Наука, 1999, 255 с.  
Voikovskiy, K.F., 1999. Foundations of Glaciology. Nauka, Moscow, 255 pp. (in Russian)
- Гляциологический словарь** / Под ред. В.М. Котлякова. Л., Гидрометеоздат, 1984, 528 с.  
Kotlyakov, V.M. (Ed.), 1984. Glaciological Dictionary. Gidrometeoizdat, Leningrad, 528 pp. (in Russian)
- Евфимов Н.Г.** О плотности снега в связи с его структурой и глубиной залегания // Метеорология и гидрология, 1941, № 2, с. 18–22.  
Evmimov, N.G., 1941. On snow density and its relation to its structure and the depth of its deposition. Meteorologiya i Gidrologiya, No. 2, 18–22.
- Казakov Н.А.** Перекристаллизация снега и особенности лавинообразования на Сахалине и Курильских островах // Материалы Междунар. науч. конф. “Гляциология в начале XXI века”. М., Унив. книга, 2009, с. 70–77.  
Kazakov, N.A., 2009. Re-crystallization of snow and avalanche formation on Sakhalin Island and Kuril Islands. In: Proceedings of the international scientific conference Glaciology at the Beginning of the 21st Century, Universitetskaya Kniga, Moscow, pp. 70–77.
- Казakov Н.А.** Литолого-стратиграфические комплексы снежного покрова: эволюция снежного покрова в Арктике и прогноз изменения физико-механических характеристик снежной толщи // Материалы Всерос. конф. с международным участием “Комплексные научные исследования и сотрудничество в Арктике: взаимодействие вузов с академическими и отраслевыми научными организациями”. Архангельск, ИД САФУ, 2015, с. 126–131.  
Kazakov, N.A., 2015. The lithologic and stratigraphic complexes of the snow cover: the evolution of the snow cover in Arctic and prediction of changes in the physical and mechanical characteristics of snow. In: Proceedings of the All-Russian conference with international participation Complex Research and Cooperation in Arctic: Collaboration of Higher Educational Institutions with Academic Organizations and Applied Research Institutions. SAFU publishing house, Arkhangelsk, pp. 126–131.
- Казakov Н.А., Кононов И.А., Боброва Д.А. и др.** Скорость изменения структуры, текстуры и плотности снежного слоя // Тезисы докл. II Междунар. симпозиума “Физика, химия и механика снега”. Южно-Сахалинск, Ин-т морской геологии и геофизики ДВО РАН, 2013, с. 51–57.  
Kazakov, N.A., Kononov, I.A., Bobrova, D.A., et al., 2013. The change rate of the structure, texture and density of snow cover. In: Proceedings of the 2nd International Symposium Physics, Chemistry, and Mechanics of Snow, Yuzhno-Sakhalinsk, Institute of Marine Geology and Geophysics, FEB RAS, pp. 51–57.
- Коломыц Э.Г.** Теория эволюции в структурном снеговедении. М., ГЕОС, 2013, 482 с.  
Kolomyts, E.G., 2013. The Theory of Evolution in Structural Snow Studies, GEOS, Moscow, 482 pp. (in Russian)
- Кононов И.А., Казakov Н.А.** Формализация задачи определения класса формы кристаллов льда по фотоснимкам с помощью ЭВМ // Лед и снег, 2011, № 3 (115), с. 85–90.  
Kononov, I.A., Kazakov, N.A., 2011. Computer formalization of the problem of determining the class of ice crystals' shape by photographic images. Led i Sneg 3 (115), 85–90.
- Кузьмин П.П.** Формирование снежного покрова и методы определения снеготпасов. Л., Гидрометеоздат, 1966, 176 с.  
Kuzmin, P.P., 1966. Formation of Snow Cover and Methods of Evaluating Snow Cover. Gidrometeoizdat, Leningrad, 176 pp. (in Russian)
- Лурье И.С., Савельев Б.А.** Зависимость механических свойств снега от плотности и температурного режима // Гляциологические исследования в период МГГ. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 94–99.  
Lurye, I.S., Savelyev, B.A., 1959. Dependence of the mechanical characteristics of snow on snow density and its temperatures. In: Glaciological Studies in the Period of IGY, Izd-vo SO AN SSSR, Moscow, pp. 94–99. (in Russian)
- Рихтер Г.Д.** Снежный покров, его формирование и свойства. М., Изд-во АН СССР, 1945, 120 с.  
Rikhter, G.D., 1945. Snow Cover, its Formation and Properties. Izd-vo SO AN SSSR, Moscow, 120 pp. (in Russian)
- Рыбальченко С.В.** Изменение плотности снежных слоев в течение зимнего сезона // Тезисы докл. Междунар. симпозиума “Физика, химия и механика снега”. Южно-Сахалинск, Компания Кано, 2011, с. 96–97.  
Rybalchenko, S.V., 2011. Changes in the density of snow layers during the winter season. In: Proceedings of the International Symposium Physics, Chemistry and Mechanics of Snow. Kano Company, Yuzhno-Sakhalinsk, pp. 96–97.

- Савельев Б.А., Лаптев М.Н., Лаптева Н.И.** Строение, состав и физико-механические свойства снега и их изменение в процессе метаморфизма // Снег и лавины Хибин. М., Изд-во Моск. ун-та, 1967, с. 201–239.
- Savelyev, B.A., Laptev, M.N., Lapteva, N.I., 1967. The structure, composition and physical and mechanical characteristics of snow and their changes in the process of metamorphism. In: Snow and Avalanches of the Khibiny Mountains. Moscow University Press, Moscow, pp. 201–239. (in Russian)
- Фирц Ш., Армстронг Р.Л., Дюран И. и др.** Международная классификация для сезонно-выпадающего снега (руководство к описанию снежной толщи и снежного покрова). Русское издание // Материалы гляциол. исслед., 2012, № 2, 80 с.
- Fierz, C., Armstrong, R.L., Durand, Y., et al., 2012. The International Classification for Seasonal Snow on the Ground (a manual for describing the snow mass and the snow cover). A Russian edition. Materialy Glaciol. Issled., No. 2, 80 pp.
- Шепелевский А.А.** Определение плотности снега по внешним признакам // Метеорология и гидрология, 1939, № 6, с. 17–18.
- Shepelevsky, A.A., 1939. Determining snow density by external signs. Meteorologiya i Gidrologiya, No. 6, 17–18.
- Geldsetzer, T., Jamieson, J.B.** Estimating dry snow density from grain form and hand hardness // Proc. Intern. Snow Science Workshop. USA, Montana, Big Sky, 2000, p. 121–127.
- Gray, D.M., Male, D.H.** Handbook of Snow: Principles, Processes, Management and Use. Canada, Toronto, Pergamon Press, 1981, 776 p.
- Kazakov, N.A., Gensiorovskiy, Y., Zhiruev, S., Drevilo, M.** Stratigraphic 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.

*Поступила в редакцию  
13 октября 2017 г.*