

## Часть IV. Прикладные аспекты метеорологических наблюдений

### 18. Изучение пространственно-временной неоднородности снежной толщи на площадке Метеорологической обсерватории МГУ зимой 2017/2018 гг.

*Комаров А.Ю., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А.,  
Турчанинова А.С., Гребенников П.Б.*

*Географический факультет МГУ*

Зимой 2017/2018 гг. комплекс наблюдений за пространственно-временной изменчивостью снежного покрова на площадке Метеорологической обсерватории МГУ был значительно расширен по сравнению с предыдущими зимами. В дополнение к традиционному изучению стратиграфии снежной толщи и физико-механических свойств снега в шурфах и измерениям твердости по продольным профилям с использованием прибора SnowMicropen, изучение пространственно-временной неоднородности снежной толщи выполнялось также с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) DJI Phantom 4 Pro и первого в мире мультисистемного самообучающегося тахеометра Leica Nova MS60. Такой комплекс измерений для изучения пространственно-временной изменчивости снежного покрова был выполнен впервые в России.

В работах по дистанционному исследованию пространственно-временной изменчивости снежного покрова принимали участие сотрудники кафедры геоинформатики и картографии А.А.Сучилин, А.Л.Энтин, доцент МИИГАИК М.Р.Владимирова, а также сотрудники ООО «Фирма Г.Ф.К.» В.Ли, И.В.Сухов, С.Л.Серегин. На площадке была создана сеть наземных контрольных точек и с применением мобильного комплекса «Leica Viva» (дифференциальная антенна «GS08», приёмник «CS10») по данным ГНСС были определены их координаты и высоты с точностью 1 см. До установления снежного покрова мультисистемным тахеометром Leica Nova MS60 было выполнено сканирование подстилающей поверхности, по результатам которого была составлена ее цифровая модель. В дополнение к сканированию была осуществлена нивелирная съемка по профилям, по которым осуществляются измерения плотности и твердости, а также описывается стратиграфия снежного покрова в траншеях. Результаты выполненных работ позволили получить представление о микрорельефе подстилающей снежный покров поверхности, а также были использованы при построении профилей и полей точек для изучения пространственного распространения снежного покрова.

Пять раз за зимний сезон 2017/2018 гг. при помощи оснащенного фотокамерой БПЛА DJI Phantom 4 Pro проводилась аэрофотосъемка площадки с высоты 30 м. В результате фотограмметрической обработки массива снимков создавались карты распределения снежного покрова – значений высоты снежного покрова на поверхности площадки. Проверка результатов выполнялась с использованием повторной съемки тахеометром и наземных измерений высоты снежного покрова по профилям.

В ходе исследования установлено, что материалы съемки снежного покрова при помощи БПЛА и лазерного сканера позволяют с приемлемой точностью оценивать высоту снежного покрова и получать достоверную модель снежного покрова значительных по площади участков. Результаты измерений были представлены в докладах на International Snow Science Workshop в Инсбруке, Австрия (Sokratov et al., 2018), Всероссийской конференции «Междисциплинарные научные исследования в целях освоения горных и арктических территорий» в Сочи (Комаров и др., 2018), Всероссийской научной конференции «Национальная картографическая конференция — 2018» (Энтин и др., 2018).

Наземные измерения высоты снежного покрова, толщины отдельных слоев, их плотности, формы и размера кристаллов были выполнены с шагом 1 м и проводились в траншеях протяженностью 20 м. На основе полученных данных были произведены расчеты и построены схемы пространственной изменчивости плотности в траншеях. Исследования проводились 4 раза за зиму (23 января, 06 февраля, 20 марта и 03 апреля). Их результаты характеризуют снежную толщу в разные этапы ее развития.

В начале зимы толща характеризовалась преобладанием рыхлого мелкозернистого снега средней плотностью около  $140 \text{ кг/м}^3$ . В приземных слоях формировались кристаллы огранных форм (таблица 18.1). По мере аккумуляции происходило постепенное оседание и уплотнение снега до  $180 \text{ кг/м}^3$ , что проиллюстрировано на рис. 18.1 и 18.2.

В этот период пространственная изменчивость строения и свойств снежной толщи была достаточно невысока. Различия в высоте снежного покрова между точками составили в этот период около 5-6%, средней (по вертикальному профилю) плотности – 3-4%, а водного эквивалента – 6-7%.

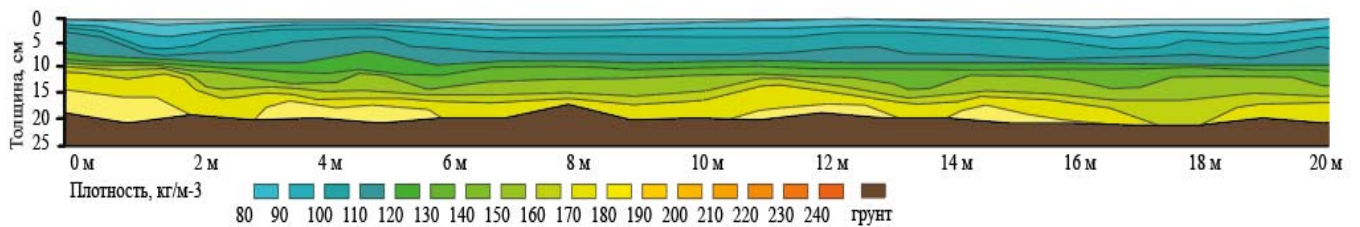
В период максимума снегонакопления, 20 марта, сформировалась значительно более сложная стратиграфия. Верхняя половина толщи была сложена рыхлым снегом в разной степени уплотнения. Нижняя половина представлена крупными огранными кристаллами со следами оплавления и осложнена фирновой коркой из смерзшихся поликристаллов,

сформировавшейся в результате оттепели. Наличие неровной, фестончатой нижней границы свидетельствует о неравномерности процессов просачивания воды сквозь толщу во время оттепели, а также процессов метаморфизма. Средняя плотность составляет  $240 \text{ кг/м}^3$ , однако варьирует между слоями в широких пределах (рис. 18.3). Изменчивость средней (по вертикальному профилю) плотности между точками возрастает до 7%, водного эквивалента – 8%.

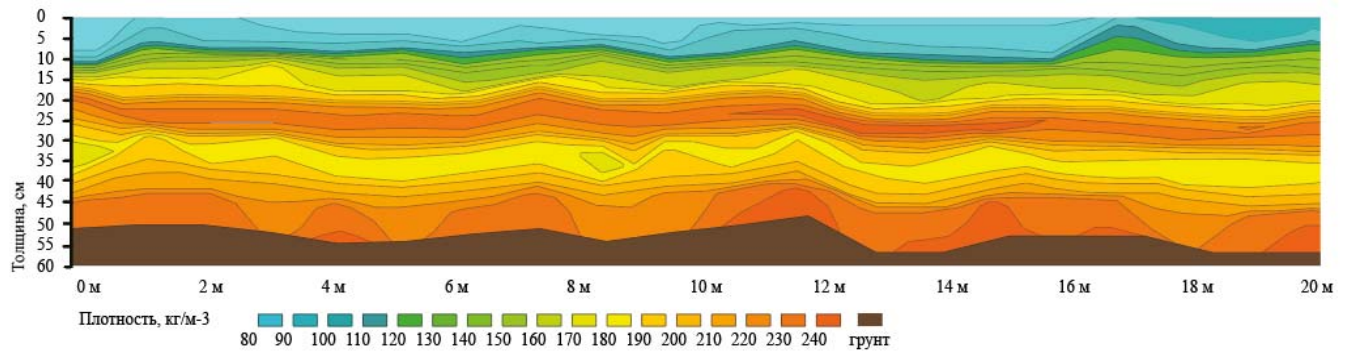
**Таблица 18.1.** Строение снежной толщи 06 февраля 2018 г.

Глубина залегания слоя, см	Описание слоя
0-10	Свежевыпавший рыхлый снег, снежинки 6-гранных форм, пластинки до 2 мм, осколки до 1 мм, белый, пушистый, рыхлый, по шкале твердости очень мягкий - проникает кулак. Слой накоплен за 2 дня при отрицательной температуре. Слоистый, оседает, грани округляются
10-20	Слой мелкозернистого снега, уплотненный, слоистый, белый, сухой, в начальной стадии огранки, мягкий по шкале твердости - проникают 4 пальца. В верхней части диаметр зерен до 0,3-0,5 мм. В нижней части кристаллы преимущественно ограненные, до 0,5-0,8 мм, более крупные и сыпучие.
20-26	Слой смерзшихся кристаллов средне- и крупнозернистого снега. Плотный – в слой проникает карандаш. Слоистый – накопление при метелевом переносе.
26-27	Ледяная корка, серая, кристаллы и конгломераты до 4 мм, разрушается с трудом, очень плотный - проникает только лезвие ножа.
27-39	Слой представлен погребенной уплотненной метелевой доской в стадии метаморфизма – из мелко- и среднезернистых кристаллов. Слоистый, средней плотности - проникает 1 палец,
39-45	Слой среднезернистого (диаметром до 2 мм) снега. Кристаллы с четко выраженной огранкой. Более серый, чем слой выше. Рыхлый, сыпучий, высокая плотность при пониженной твердости (проникают 3 пальца). Встречаются отдельные кристаллы глубинной изморози диаметром до 2-3 мм. Слабые связи между кристаллами. Плавный переход к нижележащему слою.
45-49	Слой глубинной изморози с кристаллами диаметром до 3 мм. Сыпучий, неустойчивый, плотный, темно серый.

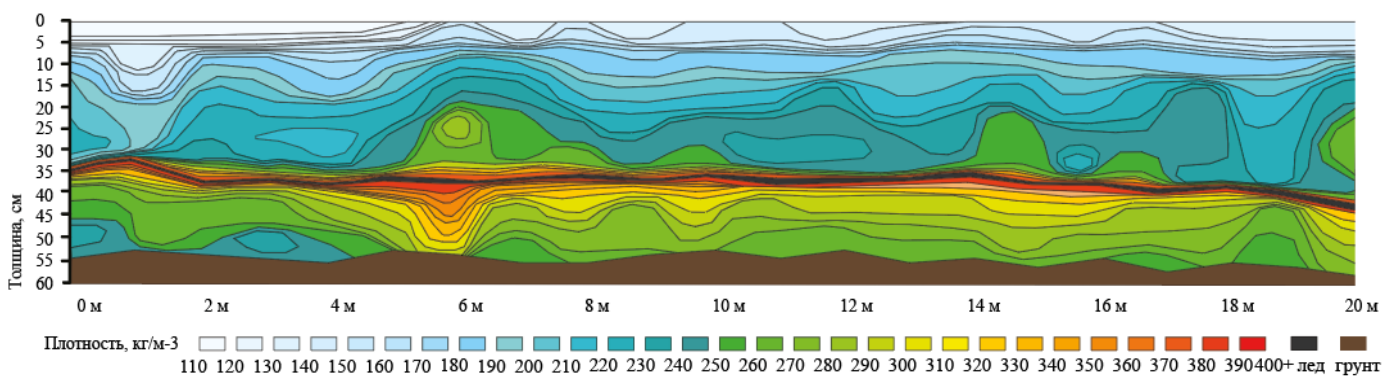
В период активного снеготаяния 03 апреля толща сложена преимущественно округлыми кристаллами талых форм. Средняя плотность достигает  $340 \text{ кг/м}^3$ , слои сливаются, и вместо них возникают участки повышенной и пониженной плотности, представляющие собой зоны стока и последующего промерзания талой воды (рис. 18.4). Изменчивость значений плотности в этот период возрастает до 11%, а высоты снежного покрова – до 8%.



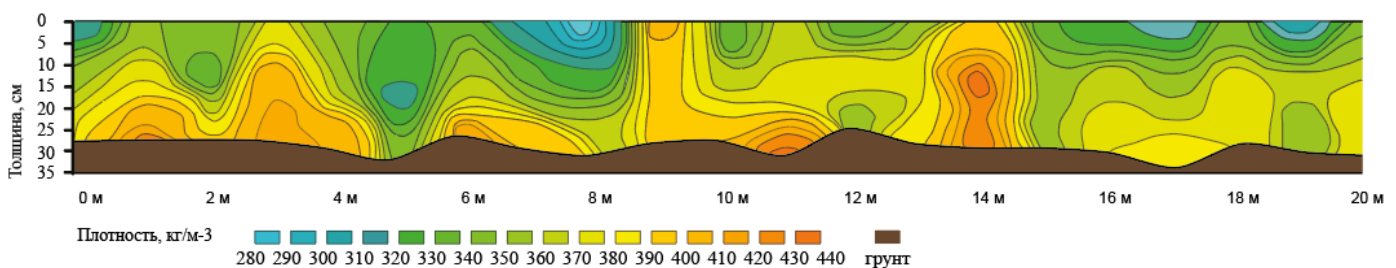
**Рисунок 18.1.** Изменение плотности снега по горизонтальному профилю, измеренной в траншее 23 января 2018 г.



**Рисунок 18.2.** Изменение плотности снега по горизонтальному профилю, измеренной в траншее 06 февраля 2018 г.



**Рисунок 18.3.** Изменение плотности снега по горизонтальному профилю, измеренной в траншее 20 марта 2018 г.



**Рисунок 18.4.** Изменение плотности снега по горизонтальному профилю, измеренной в траншее 03 апреля 2018 г.

Несмотря на кажущуюся однородность осредненных по толще значений, анализ исследуемых параметров по слоям показал значительную их изменчивость. Так, в период максимума аккумуляции вариация толщины отдельных слоев составила от 12 до 27%,

плотности – от 8 до 12%, водного эквивалента – от 13 до 33%. Наибольшая изменчивость характерна для слоев, подверженных процессам температурно-градиентного метаморфизма, фирнизованных слоев смерзшихся поликристаллов, а также слоев, подвергшихся ветровому уплотнению в процессе аккумуляции снега.

Анализ полученных зимой 2017/2018 гг. данных также показал, что разброс средних значений плотности и водного эквивалента между двумя соседними точками измерений в период максимума снегонакопления может достигать 33% даже в пределах однородной плоской площадки. Установлено также, что в пределах одного слоя разница значений водного эквивалента между соседними точками измерений может достигать 100% и более. Значительная изменчивость свойств снега даже в пределах однородного ландшафта должна учитываться при выборе репрезентативных точек для оценки водного эквивалента и прочих характеристик на больших по площади территориях. Для каждого района сеть мониторинга снежного покрова должна проектироваться с учётом собственной пространственно-временной статистической структуры характеристик снега.

### Литература

Комаров А.Ю., Селиверстов Ю.Г., Турчанинова А.С., Гребенников П.А., Сократов С.А., Сучилин А.А., Энтин А.Л., Владимирова М.Ю. Определение высоты снежного покрова с использованием ДДЗ. Тезисы докладов всероссийской конференции «Междисциплинарные научные исследования в целях освоения горных и арктических территорий»: г. Сочи 24–29 сентября 2018 года. Место издания: Институт географии Российской академии наук, Гляциологическая ассоциация Москва, тезисы, с. 92.

Энтин А.Л., Сучилин А.А., Владимирова М.Р., Сократов С.А., Комаров А.Ю., Турчанинова А.С., Гребенников П.Б., Селиверстов Ю.Г. Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для построения модели высоты снежного покрова. Сборник тезисов Всероссийской научной конференции «Национальная картографическая конференция — 2018», Москва, Российская государственная библиотека, 16–19 октября 2018 г., место издания Географический факультет МГУ Москва, тезисы, с. 295-296.

Sokratov S., Seliverstov Y., Komarov A.Y., Entin A., Suchilin A., Grebennikov P., Turchaninova A., Vladimirova M. Simultaneous use of different techniques in assessment of spatial-temporal variability of the characteristics of snow cover. Proceedings, International Snow Science Workshop, Innsbruck, Austria, 2018, pp. 373-376.