

КРИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СНЕЖНОЙ ТОЛЩИ И ГРУНТА НА ПЛОЩАДКЕ МО МГУ ЗИМОЙ 2022/2023

Д.М. Фролов*, Ю.Г. Селиверстов, С.А. Сократов к.г.н., А.В. Кошурников к.г.-м.н.,
В.Е. Гагарин к.г.-м.н., **Е.С. Николаева**

Географически ф-т МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
E-mail: denisfrolov@mail.ru

В работе представлены результаты полевых исследований, проведенных на метеоплощадке МГУ за зимний период 2022/2023. Целью наблюдений являлось изучение развития снежной толщи и ее пространственной изменчивости за один зимний сезон. Полевые исследования заключались в анализе стратиграфических слоев снежной толщи и измерении их плотности. Полученные данные позволили охарактеризовать и оценить изменения снежных слоев, их структуру и плотность в пространственно-временном отношении. Результаты работы отображены на графиках пространственно-временной изменчивости снежного покрова за 2022/2023, проанализирована эволюция снежной толщи за зимний период. Анализ наблюдений отражает действительно высокую пространственную и временную изменчивость снежного покрова зимой, что позволяет не только оценить и сравнить полученные данные с прошлыми исследованиями, но и дополнить и усовершенствовать уже имеющуюся информацию о неоднородности снежного покрова. Также в работе ставилась задача оценить влияние снежного покрова на температурные характеристики грунта.

Ключевые слова: снежный покров, пространственно- временные неоднородности, грунт, промерзание.

Принято: 12.04.2023

DOI: 10.54668/2789-6323-2023-108-1-6-18

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени пространственно-временные изменения снежного покрова становится возможным моделировать для различных территорий, основываясь на полученных ранее данных о физических и стратиграфических свойствах снежной толщи, а также опираясь на метеорологическую информацию по территории. Проводившиеся ранее исследования с использованием современного оборудования и технологий, которые позволили выявить закономерности пространственной изменчивости снежного покрова, дают возможность представлять неоднородность снежной толщи по времени и в пространстве с большой точностью и без необходимости полевых работ (Голубев В.Н. и др., 2010, Комаров А.Ю. и др., 2018). Однако для проведения наиболее точной верификации результатов всё-таки требуется

произведении натурных наблюдений. Также согласно недавним постановлениям президента и правительства РФ в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (АНИИ) создано новое оперативно-производственное подразделение - Центр мониторинга состояния многолетней мерзлоты. Новое подразделение нацелено управлять инфраструктурой государственной системы мониторинга многолетнемерзлых пород, создание которой должно начаться в 2023 году. Центр будет обеспечивать организацию и функционирование сети пунктов наблюдений, приём, анализ и хранение данных, подготовку справочной и отчетной информации и передачу сведений в Единый государственный фонд данных о состоянии окружающей среды и ее загрязнений. Всего концепцией системы мониторинга предусмотрено оборудование 140 пунктов

наблюдений за изменениями многолетнемерзлых пород, которые расположатся от крайнего севера до Тувы и Алтайского края. Пункты разместят на базе станций Росгидромета, что позволит существенно снизить затраты на реализацию проекта. Новая наблюдательная система позволит вести полномасштабный мониторинг многолетней мерзлоты, которая занимает две трети территории России.

Первые 20 пунктов мониторинга планируется развернуть уже в этом году. Полностью развернуть систему наблюдений планируется к концу 2025-го года.

На метеоплощадке МГУ пробурена 18 метровая скважина и оборудован наблюдательный пост на подобии того, что создаются в Арктике.

Это является также продолжением работ по исследованию влияния снежного покрова на термический режим грунта (Frolov, 2019, Frolov, 2020, Frolov, 2021, Frolov et al, 2023).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В недавно опубликованном очередном ежегодном докладе Росгидромета о состоянии климата на территории России в 2022 году говорится об ускорение климатических изменений в России. Так в частности 2022 год для России в целом занял 5-е место в ранжированном по убыванию ряду среднегодовых температур с 1936 года, аномалия среднегодовой температуры воздуха (отклонение от среднего за 1991...2020 гг.) составила +0,87°C. Так зимний период (ноябрь...март) 2022/23 года в Москве был такой же, как и предыдущий (-2,4°C), но теплее чем 2020...2021 (3,9°C), но холоднее, чем 2020 (1,4°C) зимний сезон. Далее ещё предыдущие зимние сезоны 2016/17...2018/19 были холоднее (3,46 ...3,6, 3,1), а 2013/14...2015/16 (1,08, 1,96, 1,88 °C) - были теплее. Зимние сезоны 2009/10...2012/13 (5,66, 5,08, 4,3, 5,1°C) были опять холоднее, чем достаточно средние с учётом потепления 2021/22 и 2022/23 (рис. 1).

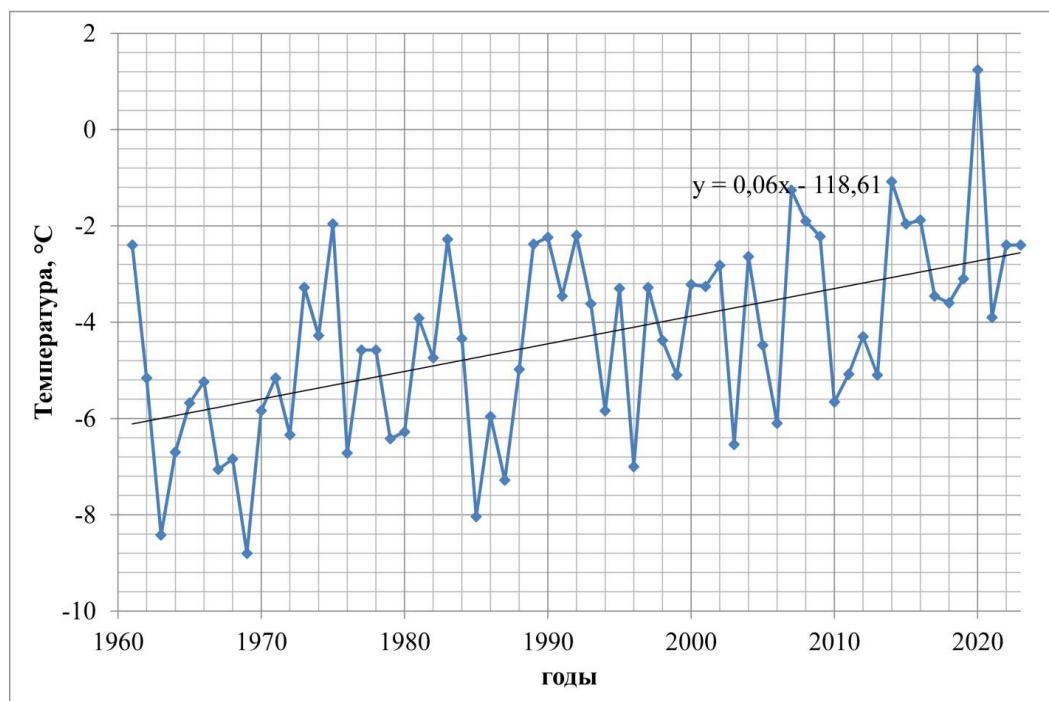


Рис 1. Средняя температура воздуха зимних месяцев (ноябрь-март) в Москве за 1961...2023 гг.

За зимний период (ноябрь-март) 2022/23 года в Москве выпало достаточно среднее количество осадков (266 мм)

(рис. 2). Средняя февральская толщина снежного покрова была также на среднем уровне за последние годы (32 см) (рис.3).

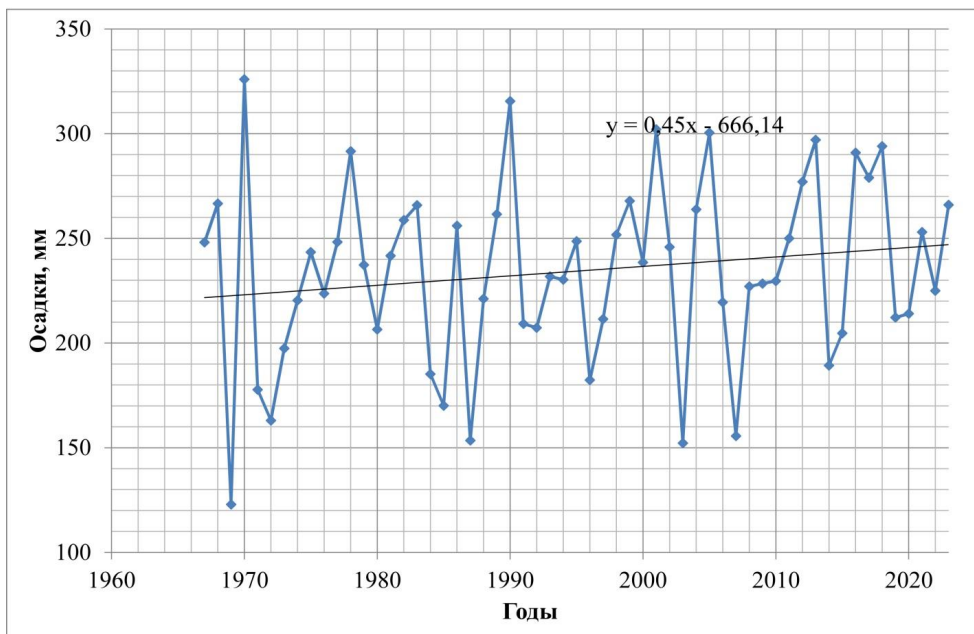


Рис. 2. Изменение суммы осадков зимних месяцев (ноябрь-март) в Москве за 1961...2023 гг.

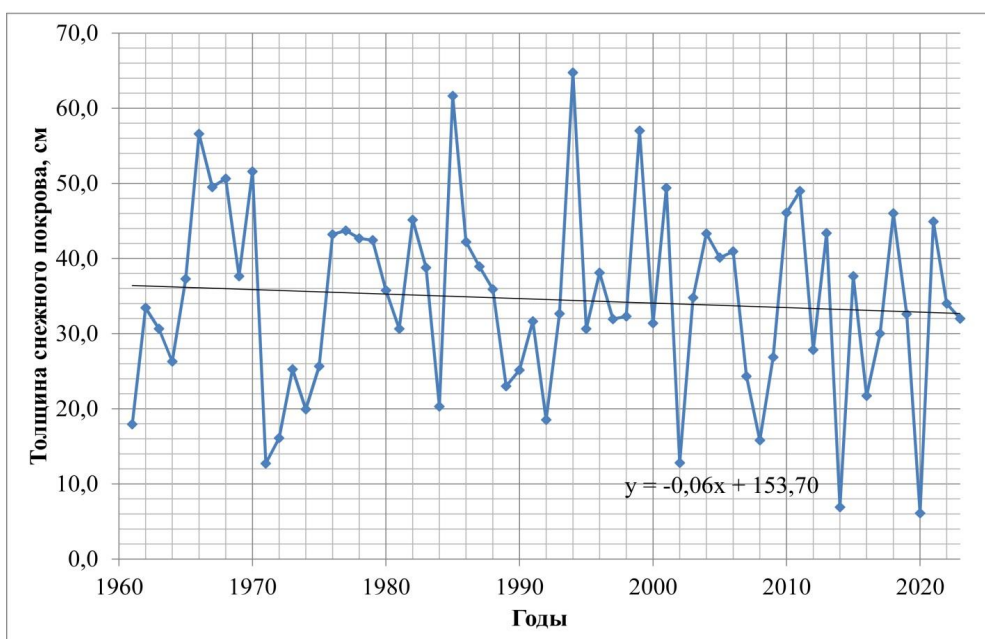


Рис. 3. Изменение средней за февраль толщины снежного покрова в Москве за 1961...2023 гг.

Поэтому в работе представлены результаты полевых исследований, проведенных на метеоплощадке МГУ за зимний период 2022/2023. Целью наблюдений являлось изучение развития снежной толщи и ее пространственной изменчивости за один зимний сезон. Полевые исследования заключались в анализе стратиграфических слоев

снежной толщи и измерениях их плотности. Зима 2022...2023 года оказалась неоднородной по температурному режиму, при относительно близкой к норме среднемесячной температуре декабря. В январе и феврале наблюдалась в основном положительная аномалия температуры на большей части европейской территории страны.

В среднем температурный режим декабря оказался близким к среднемуголетним значениям. По данным метеостанции ВДНХ в Москве среднемесячная температура декабря была $-4,1^{\circ}\text{C}$, что выше климатической нормы на $0,4^{\circ}\text{C}$. Среднемесячная температура января по данным метеостанции ВДНХ в Москве составила $-4,7^{\circ}\text{C}$, что выше климатической нормы на $1,5^{\circ}\text{C}$. Среднемесячная температу-

ра февраля в Москве составила $-4,1^{\circ}\text{C}$, что выше климатической нормы на $1,8^{\circ}\text{C}$. Количество осадков примерно соответствовало среднемуголетним значениям для данного периода года, хотя в декабре их было примерно в два раза больше нормы и составило $111,4$ мм в декабре, $28,9$ мм в январе и $33,8$ мм в феврале (рисунок 4).

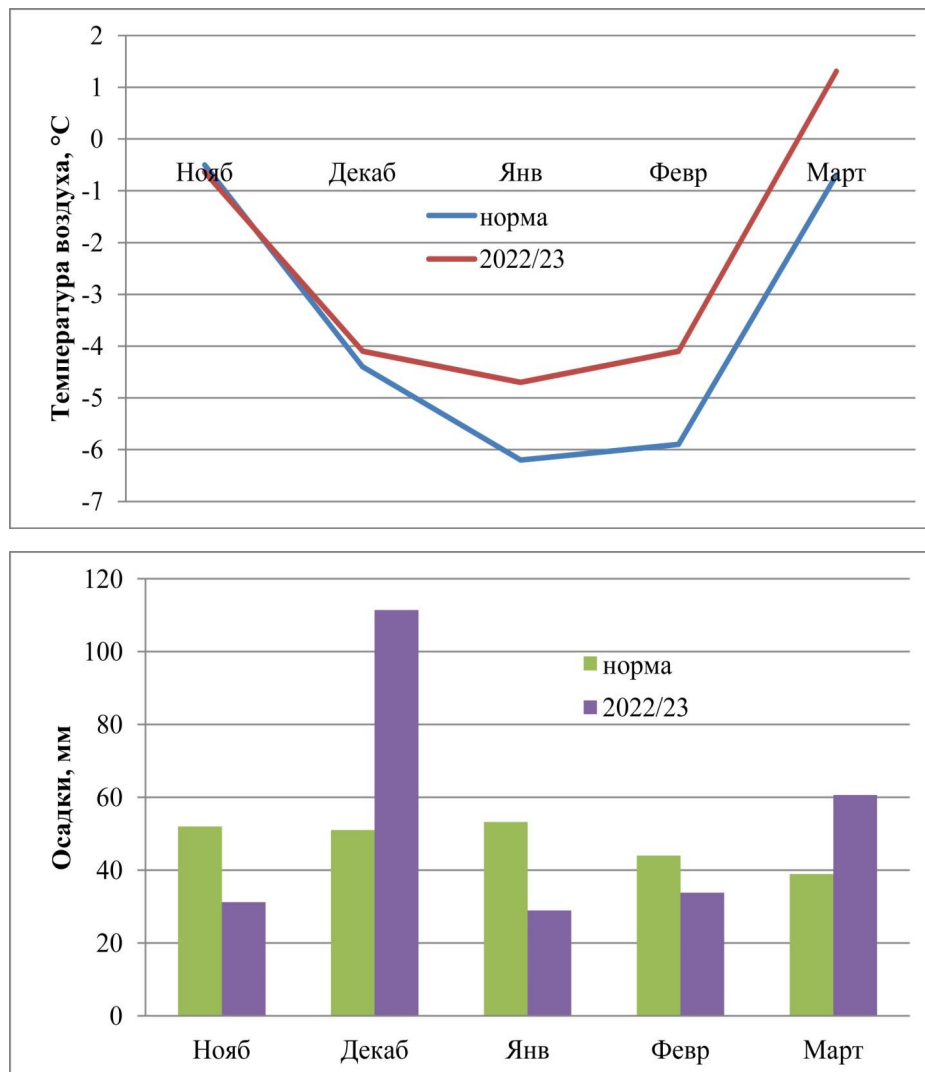


Рис. 4. Изменение температуры воздуха и количества осадков на метеостанции ВДНХ за зимний период 2022/23.

Дату 15 ноября 2022 можно считать датой установления снежного покрова в Москве в зимний период 2022...2023. Это может быть одна из самых ранних дат установления устойчивого снежного покрова в Москве с начала нового века.

Дата самого раннего устойчивого снежного покрова, начиная с 2000 г. — 29 октября 2016 г. Далее следуют 14 ноября 2001 и 2007

гг. и 18 ноября 2004 г. Таким образом снежный покров в зимний сезон 2020/2021 установился в середине ноября и пролежал до конца марта.

За это время волны холода с опусканием температуры до $-10...-20^{\circ}\text{C}$ сменялись оттепелями с небольшой положительной температурой порядка трех раз.

Изменение температуры воздуха, осадков и толщины снежного покрова за зимний период 2022/23 изображено на рисунке 5.

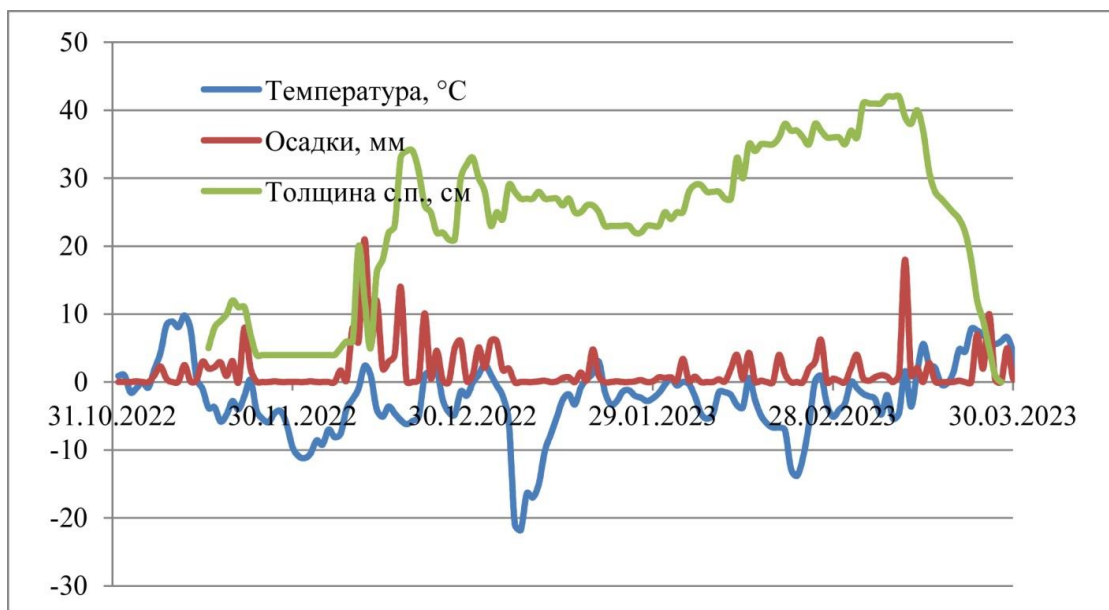


Рис. 5. Изменение температуры воздуха, осадков и толщины снежно покрова по метеостанции ВДНХ за зимний период 2022/23.

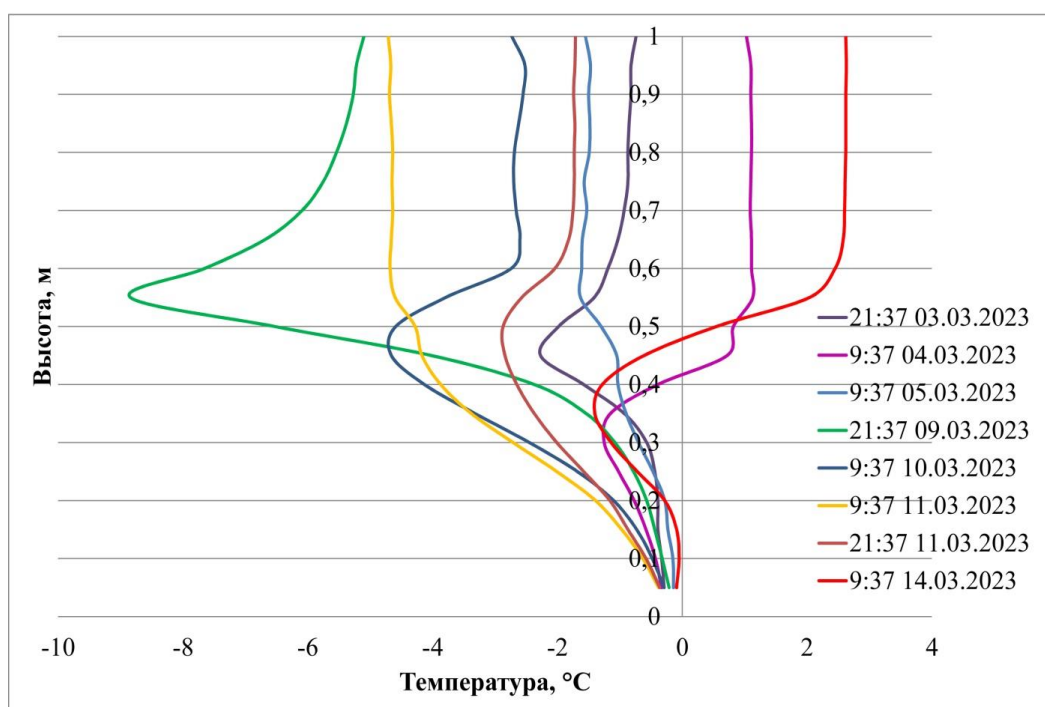


Рис. 6. Изменение температуры в воздухе и в толще снега.

В связи с обильными декабрьскими снегопадами толщина снежного покрова 22.12.2022 по рейке на метеоплощадке МГУ составила 31 см, что явилось своеобразным рекордом снегонакопления. Дальше в январе и феврале следовали сильные перепады температуры с понижением до -20°C и оттепели, что способствовало возникновению ледяных корок и горизонтов разрыхления глубинной изморози. Почва под снегом не

промерзала. Изменение температуры в воздухе и в толще снега показано на рисунке 6.

На графиках на рисунке 6 виден температурный минимум на границе снежной толщи и атмосферы за счёт испарения с поверхности снега как в статье (Голубев В.Н., Фролов Д.М., 2015).

На метеоплощадке МГУ также была пройдена 18-ти метровая скважина с отбором керна. Описание структуры дано в таблице 1.

Скважина 2021 на Метеорологической обсерватории МГУ

Глубина, м	Диагностика	Описание
0...0,24	Дернина и гумусовый горизонт	Запах плесени, структура копковатая, обильные корни, равномерная буровато-серая окраска. Вскипание от HCl10% слабое, фрагментарное (мелкозем).
0,24...0,37	Гумусовый горизонт с техногенным по нижней границе	Вскипает от HCl10% по нижней границе по включениям. Включения: угли, кирпич
0,37...0,52	Техногенный горизонт	Турбированный горизонт на основе покровного суглинка. Крупные включения (камни), угли. Фрагменты прокрашенные гумусом, признаки оструктуренности (орехи, призмы) Вскипает от HCl10% по редким карбонатным включениям.
0,52...0,63	Техногенный горизонт	В целом не вскипает
0,62...0,83	Техногенный горизонт	Крупные включения кирпича и др. в перемешанном покровном суглинке, не вскипает от HCl10%
0,83...0,99		Вскипает от HCl10% по включениям
1,08...1,34	То же	Покровный суглинок сизовато бурый с орштейнами и стяжениями
1,49...1,65	То же	Меньше сизых тонов в окраске
2,13...2,23	Московская морена	На верхней границе керна желтый песок с мелким силикатным щебнем. Ниже красно-кирпичный опесчаненый суглинок.
2,23	Московская морена	Не вскипает от HCl10% Кирпично-красного цвета. Опесчаненый тяжелый суглинок\глина? Включения – силикатная дресва, темный щебень -базальт?
2,4...2,61	Московская морена	Кирпично-красного цвета. Опесчаненый тяжелый суглинок\глина? Включения – силикатная дресва. Не вскипает от HCl10%.
3,00...3,84	Порода, Московская\ Днепровская Морена	Красновато-темно-бурый суглинок с большим количеством карбонатного щебня. Из-за включений и рассеянных карбонатов не очень пластичен. Вскипает от HCl 10% бурно.
6м	Порода, Днепровская морена	Красновато-темно-бурый суглинок с большим количеством карбонатного щебня. Вскипает от HCl 10% бурно.
7,91...8,03	Порода, Днепровская морена	Коричневый – цвета молочного шоколада, пластичный с белесой редкой дресвой вскипание фрагментарное по включениям.
9,2...9,36		Более пластичен, пропитан карбонатами равномерно интенсивно вскипает.
9,36...9,63	Палеопочва	Горизонт имеет запах «весенней земли». Окрашен не равномерно. На общем красновато-буром фоне заметны более темные пятна с серым подтоном. Есть карбонатные новообразования в виде псевдомицелия.
9,98...10,13	Палеопочва	Горизонт структурирован – ореховатая структура, темные пленки на гранях структурных отдельностей. Напоминает текстурно-карбонатный горизонт. Включения окатанные карбонатного состава
10,80	Порода, Днепровская морена	Красновато-темно-бурый суглинок с большим количеством карбонатного щебня. Вскипает от HCl 10% бурно.
11,92...12,04	Порода, Днепровская морена, в пределах капиллярной каймы обводненного горизонта	Бурой окраски. Палевый оттенок окраски и редоксиморфные признаки (ржавые и сизые пятна, стяжения и конкреции железа и марганца). Вскипает средне интенсивно, в основном по крупным включениям, мелкозем и мелкие включения -в меньшей степени.
14,3	Порода, Днепровская морена, обводнена	Очень пластичный, тяжелый, более влажный, чем основная масса образцов. Наблюдаются карбонатные орштейны (новообразования при равномерном длительном обводнении карбонатной породы).

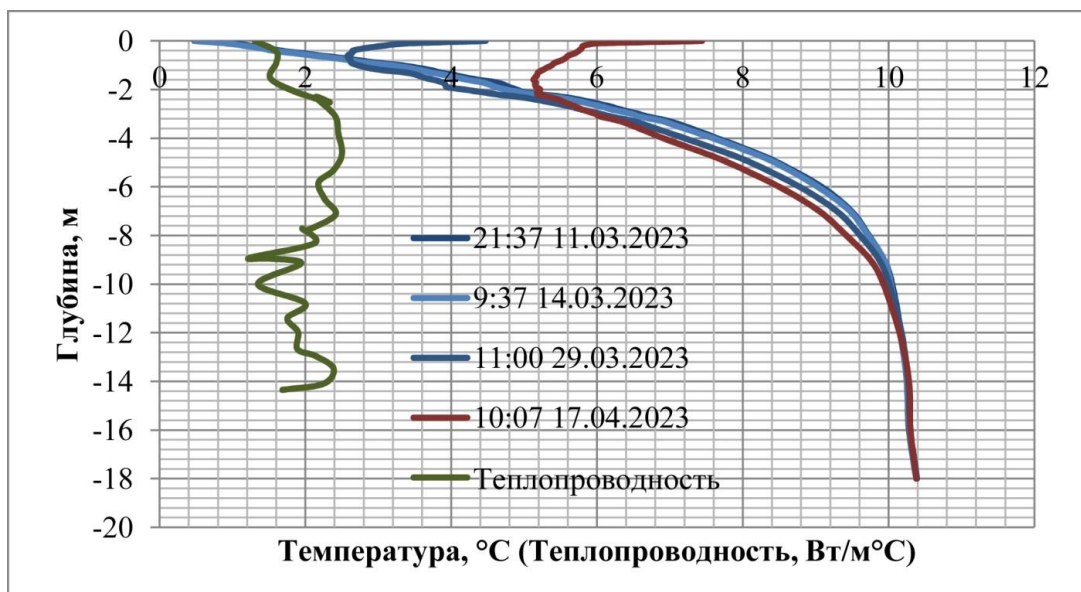


Рис. 7. Изменение температуры и теплопроводности грунта в скважине.

Изменение температуры и теплопроводности грунта в скважине дано на рисунке 7. Величина наблюдаемого термического градиента в скважине составляет $3^{\circ}\text{C}/100\text{м}$.

Изучение стратиграфии снежной толщи на метеоплощадке МГУ зимой 2022-2023 года проводилось 22 декабря, 12 и 17 января, 1 и 21 февраля и 2, 14 марта. 17 января была также пройдена траншея. Описание шурфов приведены в таблицах 2...8:

РЕЗУЛЬТАТЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таблица 2
Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 22 декабря 2022 года

Слой, см	Описание
34...31	Слой состоит из формирующейся ледяной корки (инъекционной) с размером кристаллов (зёрен) до 3 мм (видимо на поверхности был иней). Поэтому поверхность больше похожа на глубинную изморозь.
31...20	Слой мокрого, рыхлого снега, образовавшийся в результате недавних снегопадов. Проникает кулак. (147, 143, 129 ср. плотность 140 кг/м^3).
20...15	Слой более плотного, но менее твёрдого снега, чем в вышележащем слое. Бывший метелевый снег. Проникает 4 пальца. (212, 205, 186 ср. плотность 201 кг/м^3).
15...14	Ветровая корка толщиной 1 см. В будущем станет ледяной, если её не размочит.
14...9	Слой мокрого, менее плотного снега, чем в вышележащем слое. Проникают 4 пальца. Размер кристаллов (зёрен) 1-2 мм. (245, 228, 222 ср. плотность 232 кг/м^3).
9...7	Слой относительно рыхлого, подтаявшего снега с ограниченными кристаллами глубинной изморози. (Разрыхлённая корка) Размер кристаллов 2 мм.
7...0	Слой бывшей глубинной изморози с размером кристаллов до 3 мм и с ледяными включениями (304, 288, 290, 374 ср. плотность 314 кг/м^3).

Таблица 3

Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории
МГУ 12 января 2023 года.

Слой, см	
31...28	Слой рыхлого осевшего снега, состоит из разрушенных снежинок с размером до 2 мм (115, 116, 101, 108 ср. плотность 110 кг/м ³).
28...27	Ледяная корка.
77...26	Слой рыхлого снега с размером зёрен 1 мм.
26...25	Ледяная корка.
25...20	Льдистый горизонт, сложенный из мелкозернистых кристаллов с ледяными агрегатами (231, 294, 270 ср. плотность 265 кг/м ³).
20...15	Мелкозернистый снег с ледяными образованиями (347, 290, 314 ср. плотность 317 кг/м ³).
15...12	Ледяная корка.
12...10	Среднезернистый снег. Проникает 4 пальца. (342, 356, 340 ср. плотность 3460 кг/м ³).
10...5	Сильно льдистый горизонт, глубинная изморозь. В нижней части разрыхлённый (324, 365, 350 ср. плотность 346 кг/м ³).
5...0	Притёртая ледяная корка. Размер кристаллов (зёрен) до 3 мм. (395, 363, 387 ср. плотность 382 кг/м ³).

Таблица 4

Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории
МГУ 17 января 2023 года.

Слой, см	
30...28	Слой свежеснежавшего влажного снега.
28...24	Слой среднезернистого (до 2 мм) не осевшего переработанного снега (проникают 4 пальца) (135, 122, 127 ср. плотность 128 кг/м ³).
24...22	Ледяная корка.
22...17	Разрыхлённый слой среднезернистого снега (до 2 мм) с ледяными включениями (292, 256, 319 ср. плотность 289 кг/м ³).
17...15	Слабо льдистый горизонт, сложенный из среднезернистых кристаллов (до 2 мм).
15...10	Ледяная корка с размером зёрен 2-3 мм.
10...8	Разрыхлённый горизонт среднезернистого снега (до 2 мм) проходит палец.
8...0	Сильно леденистый слой с размером зёрен до 3 мм и с наличием ледяных агрегатов. Палец не проходит.

Таблица 5

Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ
1 февраля 2023 года.

Слой, см	
28...26	Слой свежесыпавшего влажного снега.
26...9	Слой смёрзшегося снега с размером зёрен 2-3 мм, с начальной стадией огранки с ледяными слоями. Верх слоя (329, 281, 303 ср. плотность 304 кг/м ³) Низ слоя (440, 435, 445 ср. плотность 440 кг/м ³) Корки на горизонтах 26, 23, 17, 15, 13.
9...0	Леденистый слой (370, 340, 340 ср. плотность 350 кг/м ³).

Таблица 6

Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ
21 февраля 2023 года.

Слой, см	
41...46	Слой свежесыпавшего влажного снега На поверхности видны звездочки (51, 42, 44 ср. плотность 46 кг/м ³).
34...41	Слой осевшего снега. Проникает кулак (142, 171, 163 ср. плотность 159 кг/м ³).
26...34	Слой мелкозернистого снега с размером зёрен до 1мм (230, 208, 189. плотность 209 кг/м ³).
13...26	Твёрдый леденистый слой огранённых крупнозернистых кристаллов (до 3 мм) глубинной изморози (проникает палец) (333, 320, 300. ср. плотность 318 кг/м ³).
9...13	Твёрдый леденистый слой среднезернистых кристаллов (до 2 мм) глубинной изморози (карандаш проходит, а палец-нет) (386, 420, 342. ср. плотность 383 кг/м ³).
0...9	Сильно леденистый слой агрегатов средне-крупнозернистых (до 2-3 мм) глубинной изморози.

Таблица 7

Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ
2 марта 2023 года.

Слой, см	
35...36	Слой свежесыпавшего влажного снега. На поверхности видны дендритные кристаллы (снежинки-звездочки).
31...35	Слой осевшего снега. Смёрзшиеся оплавленные кристаллы и агрегаты. Размер зёрен 1-2 мм.
19...31	Слой преобразованного снега (собираетельная перекристаллизация, округление). Размер зёрен 1-2мм. На уровне 27 см есть ещё корка. (242, 231, 250. ср. плотность 241 кг/м ³).
12...19	Твёрдый леденистый горизонт (проникает карандаш) (282, 280, 225 ср. плотность 262 кг/м ³).
9...12	Твёрдый леденистый слой (проникает только нож). Разрыхление из огранённых кристаллов глубинной изморози.
0...9	Сплошная ледяная корка.

Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ
14 марта 2023 года.

Слой, см	
45...49	Слой влажного осевшего снега. Видны оплавленные кристаллы (режеляционное округление). Размер кристаллов (зёрен) до 2 мм. Входит 4 пальца. (145, 150, 150. ср. плотность 148 кг/м ³).
43...45	Ледяная корка, образовавшаяся в результате ветра и таяния. Размер зёрен до 2 мм.
39...43	Слой влажного осевшего снега с отсутствием округления. Размер зёрен 1 мм. Проникают 4 пальца. (240, 280, 239. ср. плотность 253 кг/м ³).
34...39	Леденистый слой СЗ-КЗ кристаллов размером 2-3 мм в начальной стадии огранки с ледяными включениями (проникает карандаш) (343, 321, 322 ср. плотность 328 кг/м ³).
24...34	Влажный среднезернистый снег с размером кристаллов 2 мм. (265, 280, 283 ср. плотность 276 кг/м ³).
14...24	Слой снежных кристаллов с огранкой с размером 2-3мм и с обилием ледяных включений (проникает палец) (337, 328, 301 ср. плотность 322 кг/м ³).
9...14	Слой снежных кристаллов с размером 2-3мм и с обилием ледяных включений (проникает карандаш) (358, 363, 386 ср. плотность 372 кг/м ³).
0...9	Сильно леденистый слой огранённых кристаллов размером 2 мм (проникает карандаш) (371, 391, 384 ср. плотность 382 кг/м ³).

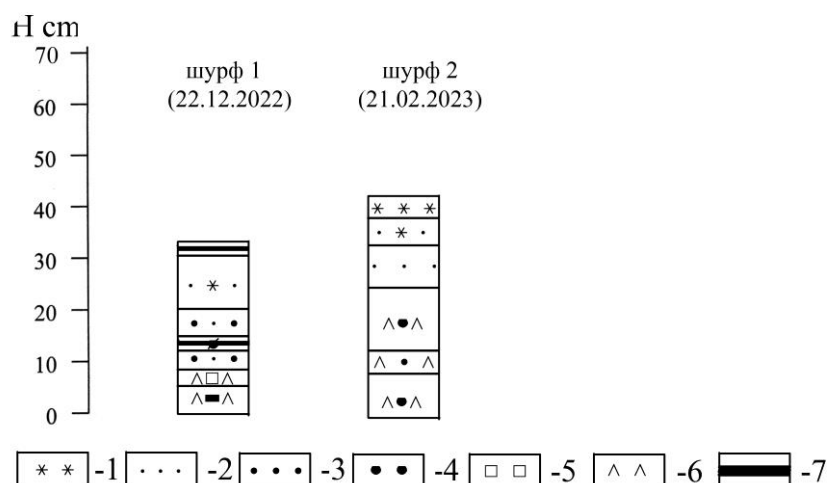


Рис. 8. Наблюдаемые разрезы снежного покрова на метеоплощадке 22 декабря 2022 и 21 февраля 2023 г. Условные обозначения: 1 – свежевыпавший снег, 2 – мелкозернистый снег (0,1-0,5 мм), 3 – среднезернистый снег (0,5-1 мм), 4 – крупнозернистый снег (1-3,5 мм); 5 – огранённые кристаллы; 6 – кристаллы глубинной изморози 7 – ледяная корка (по международной классификации (Фриц, 2012)).

Стратиграфические колонки на 22 декабря 2022 и 21 февраля 2023 изображены на рисунке 8.

Полученные данные позволили охарактеризовать и оценить изменения снежных слоев, их структуру и плотность в пространственно-временном отношении. Результаты работы отображены на графиках пространственно-временной изменчивости снежного покрова за 2022/2023, проанализирована эволюция снежной толщи за зимний период. Анализ наблюдений отражает действительно высокую пространственную

и временную изменчивость снежного покрова зимой, что позволяет не только оценить и сравнить полученные данные с прошлыми исследованиями, но и дополнить и усовершенствовать уже имеющуюся информацию о неоднородности снежного покрова.

Работа выполнена в соответствии с государственной темой «Эволюция криосферы при изменении климата и антропогенном воздействии» (121051100164-0), «Опасность и риск природных процессов и явлений» (121051300175-4).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубев В.Н., Петрушина М.Н., Фролов Д.М. Закономерности формирования стратиграфии снежного покрова // Лед и снег. — 2010. — № 1. — С. 58–72.
2. Голубев В. Н., Фролов Д. М. Особенности миграции водяного пара на границах раздела атмосфера–снежный покров и снежный покров–подстилающий грунт // Криосфера Земли. — 2015. — Т. 19, № 1. — С. 22–29
3. Комаров А. Ю. и др. Пространственно-временная неоднородность снежной толщи по данным пенетрометра SnowMicroPen // Лёди Снег. — 2018. — Т. 58. — №. 4. — С. 473–485.
4. Отчёт об изменении климата в РФ за 2022 год. http://downloads.igce.ru/reports/Doklad_o_klimate_RF_2022_s_podpisiyu_compressed_with_cover.pdf
5. Фирц Ш. и др. Международная классификация для сезонно выпадающего снега (руководство к описанию снежной толщи и снежного покрова). — 2012.
6. Фролов Д.М. и др. Изучение пространственно-временной неоднородности снежной толщи на площадке МО МГУ зимой 2018/2019 гг // Эколого-климатические характеристики атмосферы Москвы в 2018 г. по данным Метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова. — 2019. — С. 225–230.
7. Frolov D.M. Impact of snow cover and air temperature on ground freezing depth and stability in mountain area // Environmental dynamics and global climate change. 2021. T. 12. №. 1. с. 43–46. DOI: 10.17816/edgcc21205
8. Frolov D.M. Winter regime of

- temperature and snow accumulation as a factor of ground freezing depth variations // E3S Web of Conferences. — 2020. — Vol. 163, no. 01005. — P. 1–5. DOI:10.1051/e3sconf/202016301005
9. Frolov D.M. Calculating scheme for ground freezing depth variations and its application in different landscapes // Вестник Карагандинского университета. Серия: Биология. Медицина. География. — 2021. — Vol. 4, no. 104. — P. 166–171. DOI:10.31489/2021BMG4/166-171
 10. Frolov D.M. Calculation scheme of ground freezing depth in Terskol // Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. Серия Математика. Информатика. Механика. — 2021. — Vol. 135, no. 2. — P. 7–13. DOI: 10.32523/2616-7263-2021-135-2-7-13
 11. Frolov D.M., Rzhantsyn G.A., Sokratov S.A., Koshurnikov A.V., Gagarin V.E. Monitoring of seasonal variations in ground temperature at the observation site of Lomonosov MSU E3S Web Conf. 371 03004 (2023) DOI: 10.1051/e3sconf/202337103004

REFERENCES

1. Golubev V.N., Petrushina M.N., Frolov D.M. Zakonomernosti formirovaniya stratigrafii snezhnogo pokrova // Led i sneg. — 2010. — N 1. — p. 58–72.
2. Golubev V. N., Frolov D. M. Osobennosti migracii vodjanogo para na granicah razdela atmosfera–snezhnij pokrov i snezhnyj pokrov–podstilajushhij grunt // Kriosfera Zemli. — 2015. — T. 19, N 1. — p. 22–29

3. Komarov A. Ju. i dr. Prostranstvenno-vremennaja neodnorodnost' snezhnoj tolshhi po dannym penetrometra SnowMicroPen // Ljud i Sneg. – 2018. – T. 58. – N. 4. – p. 473-485.
4. Otchjot ob izmenenii klimata v RF za 2022 god . http://downloads.igce.ru/reports/Doklad_o_klimate_RF_2022_s_podpisiyu_compressed_with_cover.pdf
5. Charles Fierz et al. The international classification for seasonal snow on the ground, UNESCO, IHP (International Hydrological Programme) 2009, 52 p.
6. Frolov D. M. i dr. Izuchenie prostranstvenno-vremennoj neodnorodnosti snezhnoj tolshhi na ploshhadke MO MGU zimoj 2018/2019 gg // Jekologo-klimaticheskie harakteristiki atmosfery Moskvy v 2018 g. po dannym Meteorologicheskoy observatorii MGU imeni M.V. Lomonosova. – 2019. – p. 225-230.
7. Frolov D.M. Vlijanie snezhnogo pokrova i temperatury vozduha na glubinu i ustojchivost' promerzaniya gruntov v gornoj mestnosti // Dinamika okruzhajushhej sredy i global'noe izmenenie klimata. 2021. T. 12. №. 1. p. 43–46. DOI: 10.17816/edgcc21205
8. Frolov D. M. Zimnij rezhim temperatury i snegonakoplenija kak faktor izmenenija glubiny promerzaniya gruntov // E3S Web of Conferences. — 2020. — Vyp. 163, net. 01005. — P. 1–5. DOI: 10.1051/e3sconf/202016301005
9. Frolov D.M. Raschetnaja shema izmenenija glubiny promerzaniya grunta i ee primenenie v razlichnyh landshaftah // Vestnik Karagandinskogo universiteta. Serija: Biologija. Medicina. Geografija. — 2021. — Vyp. 4, net. 104. — P. 166–171. DOI: 10.31489/2021BMG4/166-171
10. Frolov D.M. Shema rascheta glubiny promerzaniya grunta v Terskole // Vestnik Evrazijskogo nacional'nogo universiteta im. L.N. Gumileva. Serija Matematika. Informatika. Mehanika. — 2021. — Vyp. 135, net. 2. — P. 7–13. DOI: 10.32523/2616-7263-2021-135-2-7-13
11. Frolov D.M., Rzhanicyn G.A., Sokratov S.A., Koshurnikov A.V., Gagarin V.E. Monitoring sezonnyh kolebanij temperatury grunta na poligone MGU imeni M.V. Lomonosova E3S Web Conf. 371 03004 (2023) DOI: 10.1051/e3sconf/202337103004

**2022/2023 ЖЫЛДАРДЫҢ ҚЫСЫНДА ММУ МЕТЕОРОЛОГИЯЛЫҚ
ОБСЕРВАТОРИЯЛАРЫНЫҢ АЛАҢЫНДАҒЫ ҚАР ҚАЛЫҢДЫҒЫ МЕН
ТОПЫРАҚТЫ КРИОЛОГИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ**

**Д.М. Фролов*, Ю.Г. Селиверстов, С.А. Сократов г.ғ.к., А.В. Кошурников г-м.ғ.к.,
В.Е. Гагарин г-м.ғ.к, Е.С. Николаева**

*М.В. Ломоносов атындағы ММУ география факультеті, Мәскеу, Ресей
E-mail: denisfrolov@mail.ru*

Жұмыста 2022/2023 жылдардың қысқы кезеңде ММУ метеалаңында жүргізілген далалық зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Бақылаулардың мақсаты қардың қалыңдығының дамуын және оның бір қысқы маусымда кеңістіктің өзгергіштігін зерттеу болды. Далалық зерттеулер қар қалыңдығының стратиграфиялық қабаттарын талдаудан және олардың тығыздығын өлшеуден тұрды. Алынған мәліметтер қар қабаттарының өзгеруін, олардың құрылымы мен тығыздығын кеңістік-уақыттық тұрғыдан сипаттауға және бағалауға мүмкіндік берді. Жұмыс нәтижелері диаграммаларда көрсетілген 2022/2023 жылдардағы қар жамылғысының кеңістік-уақыттық өзгергіштігі, қысқы кезеңдегі қар қалыңдығының эволюциясы талданды. Бақылауларды талдау қыста қар жамылғысының шынымен маңызды кеңістіктік және уақыттық өзгергіштігін көрсетеді, бұл алынған деректерді өткен зерттеулермен бағалауға және салыстыруға ғана емес, сонымен қатар қар жамылғысының біртекті еместігі туралы бұрыннан бар ақпаратты толықтыруға және жетілдіруге мүмкіндік береді. Сондай-ақ, жұмыста қар жамылғысының топырақтың температуралық сипаттамаларына әсерін бағалау міндеті қойылды.

Түйін сөздер: қар жамылғысы, кеңістіктік-уақыттық біртекті еместік, топырақ, мұздату.

**CRYOLOGICAL STUDY OF SNOW AND SOIL AT THE MSU SITE
IN WINTER 2022/2023**

D.M. Frolov*, Yu.G. Seliverstov, S.A. Sokratov PhD, A.V. Koshurnikov PhD,
V.E. Gagarin PhD, E.S. Nikolaeva

Lomonosov Moscow state university, Moscow, Russia

E-mail: denisfrolovm@mail.ru

The paper presents the results of field studies conducted at the MSU meteorological site for the winter period 2022/2023. The purpose of the observations was to study the development of the snow column and its spatial variability in one winter season. Field research consisted in the analysis of stratigraphic layers of snow and measuring their density. The data obtained made it possible to characterize and evaluate changes in snow layers, their structure and density in spatiotemporal terms. The results of the work are displayed on the graphs of the spatial and temporal variability of the snow cover for 2022/2023, the evolution of the snow column over the winter period is analyzed. The analysis of observations reflects a really high spatial and temporal variability of snow cover in winter, which allows not only to evaluate and compare the data obtained with past studies, but also to supplement and improve the already available information on the heterogeneity of snow cover. The purpose was also to assess the effect of snow cover on the temperature characteristics of the soil.

Keywords: snow cover, spatial and temporal heterogeneities, soil, freezing.