

УДК 551.578.42 (46) + 551.321.15

МРНТИ 37.29.15

РАЗРАБОТКА ТЕРМОМЕТРИЧЕСКОЙ СКВАЖИНЫ НА ПЛОЩАДКЕ БЕЗ ЕСТЕСТВЕННОГО ПОКРОВА МЕТЕООБСЕРВАТОРИИ МГУ

В.Е. Гагарин *к.г.-м.н.*, А.В. Кошурников *д.г.-м.н.*, Д.М. Фролов*, Г.А. Ржаницын

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: denisfrolov@mail.ru

В работе представлены метеорологические особенности в Москве осенью 2023 года и первые результаты по бурению и обустройству термометрической скважины на открытой площадке без естественного покрова на метеообсерватории МГУ посредством отбора изучения керна из скважины. Даны сведения о влажности, теплопроводности и теплоёмкости грунта, а также о температуре замерзания грунта. Также даны сведения о термометрии грунта и величине глубины сезонного промерзания. Собраны и подготовлены все материалы для проведения теплофизического моделирования температуры грунта в компьютерной программе.

Ключевые слова: метеообсерватория МГУ, метеорологические особенности, бурение, изучение керна, влажность, теплоёмкость, теплопроводность, термометрия

Поступила: 14.11.23

DOI:10.54668/2789-6323-2024-112-1-47-53

ВВЕДЕНИЕ

По данным климатических сайтов (<https://climate.copernicus.eu/>, <https://public.wmo.int/en/media/news/>, <https://www.nasa.gov/>) сентябрь 2023 стал самым тёплым за всё время наблюдений вслед за самым тёплым августом, июлем и июнем 2023 г. В сентябре 2023 года средняя температура на Земле составила +16,58°C. Это на 0,87°C выше нормы по данным японского реанализа JRA-55 (https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_en.html). По Северному полушарию аномалия составляет 0,99°C. Ещё никогда ранее в сентябре температура не превышала отметку +16°C. Ранее самым тёплым был сентябрь 2020 г. Тогда температура была +15,98°C, что значительно

ниже, чем сейчас. Такие же температурные аномалии отмечались и в Москве.

Отмечаемое изменение климата привело, в частности, к повышению его контрастности, а усиленное сокращение площади летнего морского льда в Арктике привело к увеличению испарения с поверхности воды и к более частым аномальным осадкам. Так, например, уже 26 октября 2023 г. в Московском регионе выпал первый снег. На следующий день уже образовался снежный покров высотой от 2 до 6 см, а на 28 октября толщина снежного покрова составляла от 3 см на юге области до 12 см на северо-востоке (рисунок 1).



Рис. 1. Толщина снежного покрова на 28 октября 2023 года в Москве и области

Такой снежный покров формируется в Москве обычно только в ноябре. Этот первый неустоявшийся снежный покров просуществовал 5 дней и 31 октября уже весь растаял. Однако и следующая за тем первая половина ноября 2023 г. была очень тёплой: Норма среднемесячной температуры ноября составляет $-0,5^{\circ}\text{C}$ (<http://www.pogodaiklimat.ru/>). Фактическая температура первой половины месяца по данным наблюдений составила $6,2^{\circ}\text{C}$ (<https://trp5.ru/>) с отклонением от нормы в $+6,7^{\circ}\text{C}$. Норма суммы осадков в ноябре 52 мм, однако в первой ее половине выпало 91% от нормы (48 мм). Самая высокая температура воздуха ($15,8^{\circ}\text{C}$) была наблюдаема 1 ноября, низкая ($0,1^{\circ}\text{C}$) 16 ноября. Таким образом, в Москве в первой половине ноября 2023 года была аномально теплая погода. Вообще, согласно новым климатическим нормам (1991...2020 гг.), устойчивый переход температуры воздуха через 0°C в сторону отрицательных значений происходит в Москве с 12 ноября. Однако в 2022 году такой переход произошел 15 ноября, а в 2023 году он произошёл 17 ноября. Так что в этом году приход метеозимы в Москву осенью 2023 года (то есть момент, когда происходит устойчивый переход среднесуточных температур через ноль в сторону отрицательных значений) произошёл только 17 ноября. 23...24 ноября начал интенсивно выпадать снег. На 24 ноября толщина снежного покрова в Москве

и Московской области составила 4...6 см. Это был уже установившийся снежный покров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Влияние изменения климата на состояние многолетнемерзлых грунтов рассмотрено в работах (Kanevskiy et.al., 2021, Jan et.al, 2020, Cao et.al., 2020). Так, в зоне распространения многолетнемерзлых пород, площадь которых составляет порядка 60% территории суши РФ, происходило накопление и консервация углерода в почве. Однако, в связи с потеплением климата на территории распространения многолетнемерзлых пород происходит усиление процессов в почвах. В результате этого процесса становится более интенсивным выход углерода из почвы в атмосферу в виде эмиссии метана и CO_2 . Также в результате потепления климата и грунтов, и увеличения СТС нарушается несущая способность фундаментов зданий и сооружений, находящихся в зоне распространения многолетнемерзлых пород. Для оценки этих опасных явлений в Российской Федерации в последнее время создается Государственная система фоновый мониторинга состояния многолетней мерзлоты. На метеоплощадке МГУ была также пробурена экспериментальная термометрическая скважина, и опытная система температурного мониторинга грунтов действует уже некоторое время на площадке



Рис. 2. Бурение скважины на открытой площадке без естественного покрова на метеообсерватории МГУ

время на площадке метеообсерватории МГУ (Фролов и др., 2023). Однако в свете описанных быстро идущих климатических изменений осенью 2023 года усилиями сотрудников и студентов кафедры криолитологии и гляциологии и лаборатории снежных лавин и селей географического факультета МГУ было начато бурение скважины на открытой площадке без естественного (снежного и растительного) покрова на метеообсерватории МГУ (рисунок 2).

Бурение осуществлялось буровой

системой производства российского производителя бурового оборудования «Завод им. Воровского». При бурении был произведён отбор грунтового керна, который был изучен в лабораторных условиях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

При бурении скважины на открытой площадке без снежного и растительного покрова на метеообсерватории МГУ был отобран и описан грунтовой керн (Рисунок 3).



Рис. 3. Грунтовой керн из скважины на открытой площадке без естественного покрова на метеообсерватории МГУ

Извлеченный при бурении грунтовой керн был изучен в лабораторных условиях. Основной слагающей породой являлся суглинок. Были определены массовая влажность (методом взвешивания исходных

и высушенных образцов), а также теплопроводность и теплоёмкость слагающих грунтовых пород при помощи прибор KD2Pro (<https://decagon.ru/environment/kd2pro/>). Результаты представлены на рисунке 4.

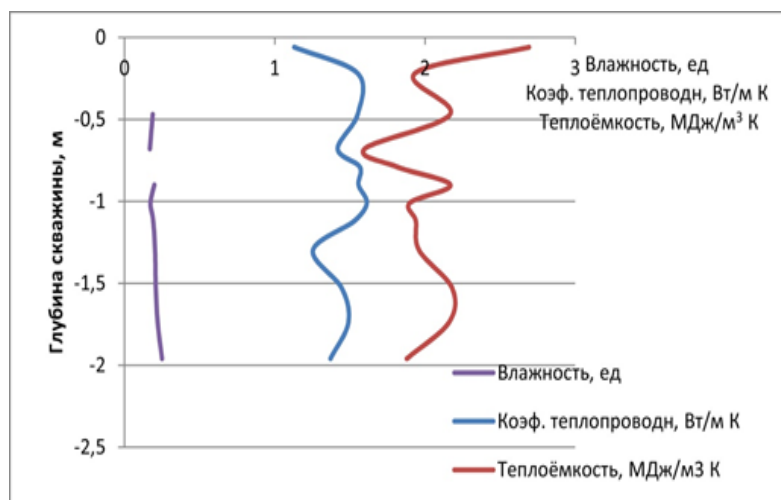


Рис. 4. Влажность, теплопроводность и теплоёмкость слагающих грунтовых пород керна из скважины на открытой площадке без естественного покрова на метеообсерватории МГУ

На графике видно, что массовая влажность грунта керна составляла порядка 17...20%. Коэффициент теплопроводности составлял 1,2...1,5 Вт/м К и теплоёмкость слагающих грунтовых пород составляла по-

рядка 2 МДж/м³К и, в общем-то, достаточно умеренно менялись по глубине. Также для отобранных образцов грунта из пробуренной скважины была определена точка замерзания, которая оказалась равной около -2°C (рисунок 5).

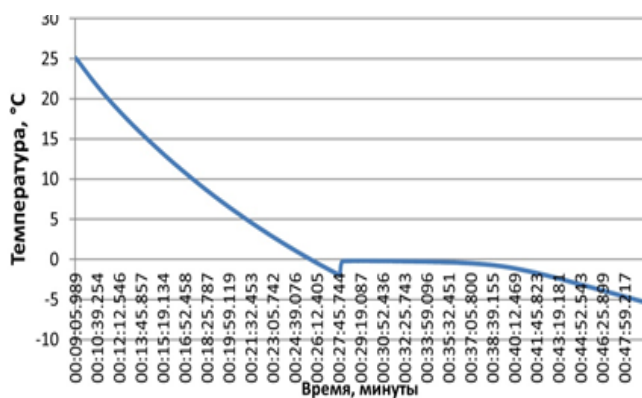


Рис. 5. Температура замерзания грунтовых пород керна из скважины на открытой площадке без естественного покрова на метеообсерватории МГУ

Также на открытой площадке ринг температуры грунта посредством вытяжных термометров. Результаты его многолетнего усреднения приведены на рисунке 6.



Рис. 6. Годовое изменение температуры грунта на открытой площадке без естественного покрова на метеообсерватории МГУ (многолетнее усреднение)

На рисунке 6 видно, что глубина сезонного промерзания на открытой площадке без естественного (снежного и растительного) покрова на метеообсерватории МГУ составляет порядка 30 см.

Занятия со студентами по изучению снега на наблюдательной площадке метеорологической обсерватории МГУ были проведены в феврале. Была подготовлена 20-метровая снежная траншея. Была изучена пространственная неоднородность строения снежной толщи в траншее, в том числе и при помощи измерений прибором микротвердомером snow micro rep (рисунок 7).

Были проведены температурные на-

блюдения в снежной толще. Так, в частности установлено, что волна холода в снежном покрове распространялась от пика холода на поверхности (-10°C в ранние утренние часы) до глубины в 30 см ближе к полудню (приблизительно за 5...6 часов).

Зимний сезон 2023/24 г в Москве отличался повышенным снегонакоплением. Снежный покров установился в конце ноября и накапливался в первой половине декабря и таял во второй во время оттепели. В январе и феврале снегонакопление устойчиво росло и ко второй половине февраля на метеостанции ВДНХ стало более 60 см снега, а на метеообсерватории МГУ около

70 см. Это повышенные значения по сравнению со средними многолетними значениями.

Во второй половине февраля (на момент максимума снегонакопления) снежная толща состояла из 6...7 слоев свежего, осевшего и метаморфизованного снега с наличием ледяных корок. Это было отмечено в работе студентов.

Подобные наблюдения за снежным покровом на наблюдательной площадке метеообсерватории МГУ с участием студентов ведутся сотрудниками географического факультета уже достаточно долгое время. Это позволяет наблюдать и устанавливать закономерности пространственно-временной неоднородности строения и свойств снежной толщи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные на экспериментальной площадке без естественного (снежного и растительного) покрова метеообсерватории МГУ осенью 2023 года работы по подготовке и бурению термометрической скважины, а также отбору и последующему изучению и описанию отобранного грунтового керна позволили достичь некоторых результатов. Были определены значения влажности, теплопроводности и теплоёмкости грунта, а также о температуре замерзания слагающего грунта. Также даны сведения о термометрии грунта и величине глубины сезонного промерзания. Таким образом, были собраны и подготовлены все материалы для проведения полномасштабного теплофизического моделирования температуры грунта в компьютерной программе как для площадки с естественным (снежным и растительным покровом), так и для площадки без него и произвести их сравнение.

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).

ММУ МЕТЕОБСЕРВАТОРИЯСЫНЫҢ ҚАР ЖӘНЕ ӨСІМДІК ЖАМЫЛҒЫСЫ ЖОҚ АЛАҢДА ТЕРМОМЕТРИЯЛЫҚ ҰҢҒЫМАНЫ ӘЗІРЛЕУ

В.Е. Гагарин *г.-м.ғ.к.*, **А.В. Кошурников** *г.-м.ғ.д.*, **Д.М. Фролов***, **Г.А. Ржаницын**

Ломоносов ағындағы Мәскеу Мемлекеттік Университеті, Мәскеу қ., Ресей
E-mail: denisfrolov@mail.ru

Жұмыста 2023 жылдың күзіндегі Мәскеудегі метеорологиялық ерекшеліктер және Мәскеу мемлекеттік университетінің метеорологиялық обсерваториясында ұңғымадан керн үлгілерін таңдау арқылы қар мен өсімдіктері жоқ ашық аумақта

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. The Copernicus Climate Change Service. <https://climate.copernicus.eu/>. 05.11.2023.
2. WMO. <https://public.wmo.int/en>. 15.10.2023.
3. The National Aeronautics and Space Administration. <https://www.nasa.gov/>. 10.10.2023.
4. JRA project. https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_en.html. 15.10.2023.
5. Погода и климат. <http://www.pogodaiklimat.ru/>. 05.11.2023.
6. Расписание погоды. <https://rp5.ru/>. 05.11.2023.
7. Kanevskiy M., Shur Y., Walker D.A., Jorgenson T., Raynolds M.K. The shifting mosaic of ice-wedge degradation and stabilization in response to infrastructure and climate change, Prudhoe Bay Oilfield, Alaska, USA // Arctic Science 8(2). - 2021. - P. 498-530. <https://doi.org/10.1139/as-2021-0024>
8. Jan A., Painter S.L. Permafrost thermal conditions are sensitive to shifts in snow timing // Environ. Res. Lett. 15, 084026. - 2020. doi: 10.1088/1748-9326/ab8ec4
9. Cao B., Gruber S., Zheng D. The ERA5-Land soil temperature bias in permafrost regions // The Cryosphere 14, 2581-2595. - 2020. doi: 10.5194/tc-14-2581-2020
10. Фролов Д.М., Селиверстов Ю.Г., Сократов С.А., Кошурников А.В., Гагарин В.Е., Николаева Е.С.. Криологические исследование снежной толщи и грунта на площадке МО МГУ зимой 2022/2023 // Гидрометеорология и экология, (1):6-18/ - 2023.
11. Прибор KD2 Pro. <https://decagon.ru/environment/kd2pro/>. 25.10.2023.

REFERENCES

1. The Copernicus Climate Change Service. <https://climate.copernicus.eu/>. 05.11.2023.
2. WMO. <https://public.wmo.int/en>. 15.10.2023.
3. The National Aeronautics and Space Administration. <https://www.nasa.gov/>. 10.10.2023.
4. JRA project. https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_en.html. 15.10.2023.
5. Pogoda i klimat. <http://www.pogodaiklimat.ru/>. 05.11.2023.
6. Raspisanie pogody. <https://rp5.ru/>. 05.11.2023.
7. Kanevskiy M., Shur Y., Walker D.A., Jorgenson T., Raynolds M.K. The shifting mosaic of ice-wedge degradation and stabilization in response to infrastructure and climate change, Prudhoe Bay Oilfield, Alaska, USA // Arctic Science 8(2). - 2021. - P. 498-530. <https://doi.org/10.1139/as-2021-0024>
8. Jan A., Painter S.L. Permafrost thermal conditions are sensitive to shifts in snow timing // Environ. Res. Lett. 15, 084026. - 2020. doi: 10.1088/1748-9326/ab8ec4
9. Cao B., Gruber S., Zheng D. The ERA5-Land soil temperature bias in permafrost regions // The Cryosphere 14, 2581-2595. - 2020. doi: 10.5194/tc-14-2581-2020
10. D.M. Frolov, Yu.G. Seliverstov, S.A. Sokratov, A.V. Koshurnikov, V.E. Gagarin, E.S. Nikolaeva. Kriologicheskie issledovanie snezhnoi tolshchi i grunta na ploshchadke MO MGU zimoi 2022/2023. Gidrometeorologiya i ekologiya, Almaty, (1):6-18, 2023.
11. Pribor KD2 Pro. <https://decagon.ru/environment/kd2pro/>. 25.10.2023.

термометриялық ұңғыманы бұрғылау мен салудың алғашқы нәтижелері берілген. Топырақтың ылғалдылығы, жылу өткізгіштігі және жылу сыйымдылығы, сондай-ақ топырақтың қату температурасы туралы ақпарат беріледі. Сондай-ақ топырақ термометриясы және маусымдық мұздату тереңдігі туралы ақпарат беріледі. Топырақ температурасын компьютерлік бағдарламада термофизикалық модельдеуге арналған барлық материалдар жиналып, дайындалды.

Түйін сөздер: ММУ метеорологиялық обсерваториясы, метеорологиялық ерекшеліктер, бұрғылау, керндік зерттеу, ылғалдылық, жылу сыйымдылығы, жылу өткізгіштік, термометрия

DEVELOPMENT OF A THERMOMETRIC WELL ON A SITE WITHOUT SNOW AND VEGETATION COVER OF THE MSU METEOROLOGICAL OBSERVATORY

V. Gagarin candidate of geological and mineralogical sciences, **A. Koshurnikov** doctor of geological and mineralogical sciences, **D. Frolov***, **G. Rzhanitsyn**

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: denisfrolov@mail.ru

The paper presents meteorological features in Moscow in the fall of 2023 and the first results of drilling and constructing a thermometric well in an open area without snow and vegetation cover at the Moscow State University meteorological observatory through the extraction of core samples from the well. Information is given on the moisture content, thermal conductivity and heat capacity of the soil, as well as the freezing temperature of the soil. Information is also provided on soil thermometry and the depth of seasonal freezing. All materials for thermophysical modeling of soil temperature have been collected and prepared.

Key words: meteorological observatory of MSU, meteorological features, drilling, core study, moisture content, heat capacity, thermal conductivity, thermometry

Сведения об авторах/ Авторлар туралы мәліметтері/ About the authors

Кошурников Андрей Викторович - д.г.-м.н., в.н.с., МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва, Ленинские горы, 1, koshurnikov@msu-geophysics.ru

Гагарин Владимир Евгеньевич - к.г.-м.н., с.н.с., МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва, Ленинские горы, 1, gagar88@yandex.ru

Фролов Денис Максимович - н.с., МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва, Ленинские горы, 1, denisfrolov@mail.ru

Ржаницын Герман Анатольевич - инженер, МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва, Ленинские горы, 1, german-r@mail.ru

Кошурников Андрей Викторович - геология-минералогия ғылымдарының докторы, жетекші ғылыми қызметкер., М. Ломоносов атындағы Мәскеу Мемлекеттік Университеті, Ресей, Мәскеу қ., Ленинские горы, 1, koshurnikov@msu-geophysics.ru

Гагарин Владимир Евгеньевич - геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, аға ғылыми қызметкер, М. Ломоносов атындағы Мәскеу Мемлекеттік Университеті, Ресей, Мәскеу қ., Ленинские горы, gagar88@yandex.ru

Фролов Денис Максимович - ғылыми қызметкер, М. Ломоносов атындағы Мәскеу Мемлекеттік Университеті, Ресей, Мәскеу қ., Ленинские горы, 1, denisfrolov@mail.ru

Ржаницын Герман Анатольевич - инженер, М. Ломоносов атындағы Мәскеу Мемлекеттік Университеті, Ресей, Мәскеу қ., Ленинские горы, 1, german-r@mail.ru

Koshurnikov Andrey - Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, leading researcher., M. Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1, koshurnikov@msu-geophysics.ru

Gagarin Vladimir - Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, senior researcher, M. Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1, gagar88@yandex.ru

Frolov Denis - researcher, M. Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1, denisfrolov@mail.ru

Rzhanitsyn German - engineer, M. Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow, Leninskie Gory, 1, german-r@mail.ru

Вклад авторов/ Авторлардың қосқан үлесі/ Authors' contribution

Кошурников Андрей Викторович - разработка концепции

Гагарин Владимир Евгеньевич - разработка концепции, разработка методологии, проведение статистического анализа

Фролов Денис Максимович - проведение статистического анализа, подготовка и редактирование текста, визуализация

Ржаницын Герман Анатольевич - проведение исследования

Кошурников Андрей Викторович - тұжырымдаманы әзірлеу

Гагарин Владимир Евгеньевич - тұжырымдаманы әзірлеу, әдістемені әзірлеу, статистикалық талдау жүргізу

Фролов Денис Максимович - статистикалық талдау жүргізу, мәтінді дайындау және өңдеу, көрнекілік

Ржаницын Герман Анатольевич - зерттеу жүргізу

Koshurnikov Andrey - concept development

Gagarin Vladimir - concept development, methodology development, conducting statistical analysis

Frolov Denis - conducting statistical analysis, preparing and editing the text, visualization

Rzhanitsyn German - conducting a research