

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Фролов Д.М., Селиверстов Ю.Г., Кошурников А.В., Гагарин В.Е., Николаева Е.С. Использование машинного обучения для классификации стратиграфических слоев снежной толщи по данным устройства snow micro pen // Арктика и Антарктика. 2024. № 1. С. 1-11. DOI: 10.7256/2453-8922.2024.1.69404 EDN: GDSACR URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=69404

Использование машинного обучения для классификации стратиграфических слоев снежной толщи по данным устройства snow micro pen

Фролов Денис Максимович

научный сотрудник, Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 1904Б

✉ denisfrolov@mail.ru



Селиверстов Юрий Германович

научный сотрудник, географический факультет, Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1

✉ yus5@yandex.ru



Кошурников Андрей Викторович

научный сотрудник, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1

✉ koshurnikov@msu-geophysics.ru



Гагарин Владимир Евгеньевич

научный сотрудник, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1

✉ gagar88@yandex.ru



Николаева Елизавета Сергеевна

студент, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, Московский Государственный университет имени М.В. Ломоносова

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1

✉ nikolaeva_lizaveta@mail.ru



[Статья из рубрики "Климат"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2024.1.69404

EDN:

GDSACR

Дата направления статьи в редакцию:

22-12-2023

Дата публикации:

29-12-2023

Аннотация: Наблюдение за снежным покровом на площадке метеообсерватории сотрудниками географического факультета МГУ ведутся уже длительное время. В статье описываются особенности снегонакопления и стратиграфических исследований. В момент пришедшего в ночь с 14 на 15 декабря 2023 года в Москву третьего с начала снегонакопления циклона, была большая высота сугробов – на метеостанции ВДНХ высота снежного покрова составляла 31 см. За сутки до 15 декабря добавилось ещё 7 см и цифра 38 см стала рекордно большой. На метеостанции МГУ фиксировалась отметка в 49 см. Температура воздуха при этом к вечеру воскресенья 17 декабря поднялась и в последующие дни колебалась от 0 до +2 градусов. Последовала долгая оттепель, дождь и снеготаяние. На 21 декабря на метеостанции ВДНХ снежный покров осел до 24 см (то есть на 15 см), на метеообсерватории МГУ снежный покров осел до 28,5 см (с 49 см – почти на 20,5 см). Трудности классификации слоёв в снежной толще исследовались и исследуется многими практикующими метеорологами, что также рассмотрено в данной работе. Были использованы методы искусственного интеллекта (ИИ) для классификации стратиграфических слоев снежной толщи по данным измерений устройства snow micro rep. Получающиеся в результате метаморфизма формы ледяных кристаллов в снежной толще (округлые→ограниченные→талые) различаются как по плотности, так и по параметрам, получаемым в результате обработки данных прибора Snowmicropen (MPF(N) – средняя сила сопротивления SD(N)- её стандартное отклонение, и cv- её ковариация). Это даёт возможность кластеризации обработанных данных прибора и произведения типизации новых данных измерений без привлечения результатов непосредственного ручного шурфования. Были обработаны полученные от прибора данные, и путем сравнения с данными непосредственного шурфования снега, делалось сопоставление классифицированных стратиграфических слоев снежной толщи. В дальнейшем по имеющимся классифицированным данным прибора стратиграфических слоев снежной толщи методом кластеризации K-ближайших соседей оказалось возможным производить классификацию стратиграфических слоев по новым полученным данным прибора без привлечения дополнительного ручного шурфования.

Ключевые слова:

снежный покров, пространственно- временные неоднородности, МГУ, снежная толща, метеоплощадка, зимний сезон, снежный слой, зимний период, исследование,

неоднородность снежного покрова

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

Введение

В свете продолжающегося потепления климата 2023 стал самым тёплым годом за весь период наблюдений. Он был почти на 1,5°C теплее, чем аналогичные значения за базовый период наблюдений. Это служит причиной того, что Мировой океан прогревается, увеличивается испарение с его поверхности и поступление водяного пара в атмосферу. Происходит все большее сокращение площади морских льдов в Арктике, увеличивается площадь открытой воды и ее испарение в атмосферу. Увеличение концентрации водяного пара в атмосфере ведёт к нарушению циркуляционных процессов, отчего, в свою очередь, учащаются экстремальные природные явления. Так, например, аномальные снегопады в Европе (названные "Snow chaos") и на Европейской территории России 3-4 декабря 2023 года, также как последовавшие за ними холода и снова сильные снегопады были связаны, по мнению авторов, с интенсивным испарением с поверхности открытой воды морей и океанов в атмосферу.

Наблюдение за снежным покровом на площадке метеообсерватории ведутся сотрудниками географического факультета МГУ уже довольно длительное время [\[1, 2\]](#). Проблема классификации слоёв в снежной толще исследовалась многими авторами и ранее [\[3 – 8\]](#). В данной работе делается попытка использования методов ИИ для классификации и анализа данных о стратиграфических слоях снежной толщи по данным измерений устройства snow micro rep, по аналогии тому как, это было описано, например, в статьях [\[9, 10\]](#).

Материалы и методы

В зимний сезон 2023-2024 года в Москве фактическая температура первой половины ноября по данным наблюдений составила 6,2°C [\[https://rp5.ru/\]](https://rp5.ru/), хотя норма среднемесячной температуры ноября в Москве составляет -0,5°C [\[http://www.pogodaiklimat.ru/\]](http://www.pogodaiklimat.ru/), и таким образом отклонение от нормы для первой половины месяца составило +6,7°C.

В Москве в первой половине ноября 2023 года стояла аномально теплая погода, превышающая среднюю норму ноября на несколько градусов. В целом, согласно новым климатическим нормам (1991–2020 гг.), устойчивый переход температуры воздуха за отметку 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 2023 году приход метеозимы в Москву (то есть момента, когда происходит устойчивый переход среднесуточных температур через ноль в сторону отрицательных значений) произошёл только 17 ноября. 23-24 ноября начал интенсивно выпадать снег и устанавливаться снежный покров. Так, на 24 ноября толщина снежного покрова в Москве составила 8 см, а на утро 25 ноября достигла порядка 15 см, что является самым высоким значением для 25 ноября с 2004 года и обычно достигается только к 17 декабря. Температура 24 и 25 ноября в Москве держалась около -6°C – -8°C градусов. Днём 26 количество снега не прибавилось, а температура повысилась до -3°C. Вечером 26 и в ночь на 27 был очень сильный снегопад. Утром 27 ноября был также ледяной дождь, и днём 27 ноября наблюдалась небольшая оттепель до +2°C градусов. Толщина

снежного покрова 27 ноября в Москве на метеостанции ВДНХ составила 21 см. За ночь на 27 ноября выпало порядка 16 мм осадков. 28 ноября также прошёл небольшой снегопад. Утром 29 ноября в Москве похолодало до -10°C. Толщина снега в Москве на ВДНХ утром 29 ноября составила 18 см, и на момент исследований на метеоплощадке 29 ноября в снежной толще было обнаружено три снежных горизонта и корку. Результаты изучения снежного покрова на площадке метеообсерватории МГУ 29 ноября 2023 приведены на рисунке 1 и в таблице 1:

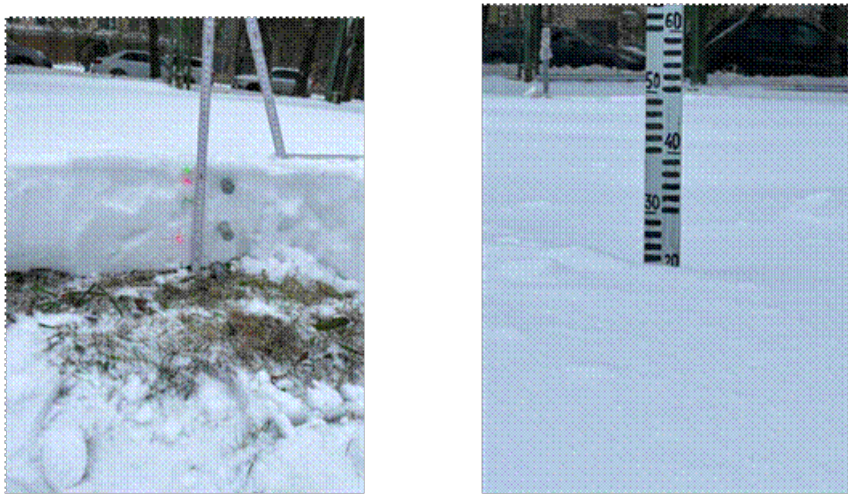


Рис. 1. Строение снежной толщи 29.11.2023 на метеоплощадке МГУ.

Таблица 1. Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 29 ноября 2023 года.

| | Слой, см | |
|---|----------|---|
| 1 | 21-23 | Слой свежеснегоснега |
| 2 | 19-21 | Ледяная корка |
| 3 | 16-19 | Слой разрыхленного снега с ледяными образованиями с начальной стадией огранки и размером зёрен до 1 мм (155, 163, 155 ср. плотность 157 кг/м ³) |
| 3 | 9-16 | Слой мелкозернистого снега с размером зёрен 1 мм (проникают четыре пальца) (159, 161, 174 ср. плотность 164 кг/м ³) менее плотный, чем нижний |
| 4 | 0-9 | Слой относительно уплотнённого сенега с размером зёрен 1-2 мм (проникает кулак) (212, 217, 214 ср. плотность 214 кг/м ³) |

Температура на момент исследований в снежной толще составила: внизу (0 см) -0,2°C, на уровне 10 см -2,2°C, на уровне 20 см -5,6°C, и на уровне 23 см -4,8°C.

В последующие после наблюдения дни 29 и 30 были слабые снегопады, однако в ночь с 3 на 4 декабря в Москве выпало почти 15 мм осадков и толщина снежного покрова на метеостанции ВДНХ увеличилась до 36 см. (рисунок 2).

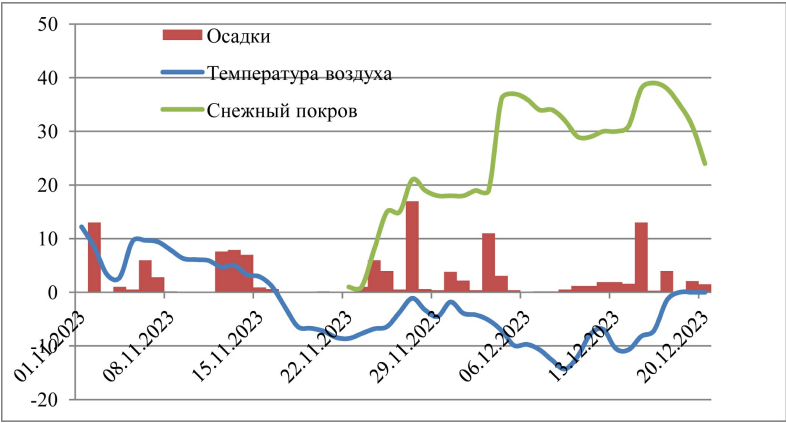


Рис. 2. Изменение температуры воздуха и толщины снежно покрова в Москве по метеостанции ВДНХ зимой 2023-2024 гг.

В последующие дни с 5 декабря держалась довольно холодная погода (-10°С и ниже).

На момент исследования 7 декабря в снежной толще наблюдалось около 7 слоёв (рис. 3).



Рис. 3. Строение снежной толщи 7.12.2023 на метеоплощадке МГУ.

Таблица 2. Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 7 декабря 2023 г.

| | Слой, см | |
|---|----------|---|
| 1 | 30-33 | Слой свежевыпавшего снега (обломанные ветровым переносом снежинки) |
| 2 | 21-30 | Слой осевшего снега с размером кристаллов 1-2 мм. Не зернистый, но и не свежевыпавший. (143, 114, 102, 127, ср. плотность 121) |
| 3 | 13-21 | Слой мелкозернистого снега с размером зёрен 1 мм и начальной стадией перекристаллизации (183, 205, 171, 179 ср. плотность 184 кг/м ³) |
| 4 | 11-13 | Ледяная корка |
| 5 | 10-11 | Слой разрыхленного снега с ледяными включениями и с размером зёрен до 1 мм |
| 6 | 4-10 | Слой мелко-среднезернистого снега с размером зёрен 1-2 мм с начальной стадией огранки (во все слои проникает кулак) (265, 235, 253, 249 ср. плотность 250 кг/м ³) менее |

| | | |
|---|-----|--|
| | | плотный, чем нижний |
| 7 | 0-9 | Слой относительно уплотнённого среднезернистого сенега с размером зёрен 2 мм (во все слои проникает кулак) |

Температура на момент исследований в снежной толще составила: внизу (0 см) -0°C , на уровне 10 см $-2,2^{\circ}\text{C}$, на уровне 20 см $-3,6^{\circ}\text{C}$, и на уровне 30 см $-5,4^{\circ}\text{C}$, и на уровне 33 см $-10,2^{\circ}\text{C}$.

В последующие дни также наблюдалась довольно холодная погода (около -10°C) и обильные снегопады. На момент исследования 14 декабря толщина снежного покрова составила 41 см, (на ВДНХ оставалось 31 см, рис. 2) и в снежной толще наблюдалось 8 слоёв (рис. 4).



Рис. 4. Строение снежной толщи 14.12.2023 на метеоплощадке МГУ

Таблица 3. Строение снежной толщи на площадке метеообсерватории МГУ 14 декабря 2023 г.

| | Слой, см | |
|---|----------|---|
| 1 | 38-41 | Слой свежеснежавшего снега (низкотемпературные звездочки и столбики) (ср. плотность 50 кг/м^3) |
| 2 | 30-38 | Слой осевшего метелевого снега из поломанных снежинок (проникает кулак) ($126, 120, 121$, ср. плотность 122 кг/м^3) |
| 3 | 18-30 | Слой мелко-среднезернистого снега с размером зёрен 1-2 мм (проникает кулак) ($177, 173, 169$ ср. плотность 173 кг/м^3) |
| 4 | 11-18 | Слой более уплотнённого мелко-среднезернистого (проникает кулак) ($240, 230, 244$ ср. плотность 238 кг/м^3) |
| 5 | 9-11 | Ледяная корка |
| 6 | 8-9 | Слой разрыхленного среднезернистого снега с ледяными включениями и с размером зёрен до 2 мм |
| 7 | 3-8 | Слой более уплотнённого, чем верхний среднезернистого снега без огранки (проникает 4 пальца) ($265, 281, 281$ ср. плотность 275 кг/м^3) |
| 8 | 0-3 | Слой среднезернистого сенега с размером зёрен 2 мм (притёртая корка) |

Температура на момент исследований в снежной толще составила: внизу (0 см) -0°C , на уровне 10 см $-2,2^{\circ}\text{C}$, на уровне 20 см $-2,8^{\circ}\text{C}$, и на уровне 30 см $-6,8^{\circ}\text{C}$, и на уровне 40 см -9°C .

В ночь с 14 на 15 декабря 2023 года на Москву пришел циклон, сформировавшийся над

Балканами. Это был уже третий циклон с момента начала снегонакопления. В Москве и до ночного снегопада высота сугробов была выше нормы – 14 декабря на метеостанции ВДНХ высота снежного покрова составляла 31 см. Засутки до 15 декабря добавилось ещё 7 см, главным образом за счёт ночного снегопада и цифра 38 см стала не просто большой, а рекордно большой. До этого самые высокие сугробы 15 декабря фиксировались больше 100 лет назад, в 1919 году, и их высота составляла 32 см. Другие московские метеостанции отметили ещё большую высоту снега: Балчуг – 43 см, МГУ – 49 см! В Подмоскovie больше всего снега было в Коломне – 47 см.

Температура воздуха при этом к вечеру воскресенья 17 декабря поднялась, так как столица попала в теплый сектор и в последующие дни температура воздуха колебалась от 0 до +2 градусов. Была долгая оттепель, дождь и снеготаяние. На 21 декабря на метеостанции ВДНХ снежный покров осел до 24 см (то есть на 15 см), на метеообсерватории МГУ снежный покров осел до 28,5 см (с 49 см – то осел есть почти на 20,5 см). Наблюдавшееся обильное снегонакопление и последующее интенсивное снеготаяние создали условия и угрозу паводковых ситуаций на водных объектах Москвы и Московской области.

Машинное обучение – это использование математических моделей при обработке данных, которые помогают компьютеру обучаться без дополнительных инструкций со стороны. Оно считается одной из форм искусственного интеллекта (ИИ). При машинном обучении с помощью алгоритмов и моделей выявляются те или иные закономерности в данных. Основными алгоритмами машинного обучения являются линейная регрессия, логарифмическая регрессия, дерево решений, метод К-ближайших соседей (рис. 5) и другие.

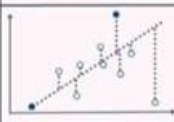
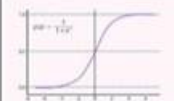

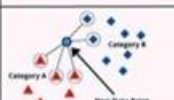
| Представление | Алгоритмы маш. обуч. |
|---|---------------------------|
|  | Линейная регрессия |
|  | Логарифмическая регрессия |
|  | Дерево решений |
|  | К-ближайшие соседи |

Рис. 5. Основные алгоритмы машинного обучения и их представление

Сущность этих алгоритмов достаточно хорошо освещена в литературных источниках [\[11-12\]](#).

Результаты и обсуждение

В данной работе нами предпринята попытка использования методов ИИ для классификации стратиграфических слоев снежной толщи по данным измерений устройства snow micro pen. Snow micro pen (или snow micro penetrometer) – это устройство, позволяющее путем вдвигания в снег щупа с датчиком механического сопротивления определить твердость слоев снега с шагом в 4 микрометра [\[13-15\]](#) (рис.

6).



Рис. 6 внешний вид работы прибора Snow micro pen

Данные прибора были обработаны, и путем сравнения с данными непосредственного шурфования снега, производилось сопоставление классифицированных стратиграфических слоев снежной толщи. В дальнейшем оказалось возможным по имеющимся классифицированным данным прибора стратиграфических слоев снежной толщи методом кластеризации К-ближайших соседей производить классификацию стратиграфических слоев по новым полученным данным прибора без привлечения дополнительного ручного шурфования (рис. 7).

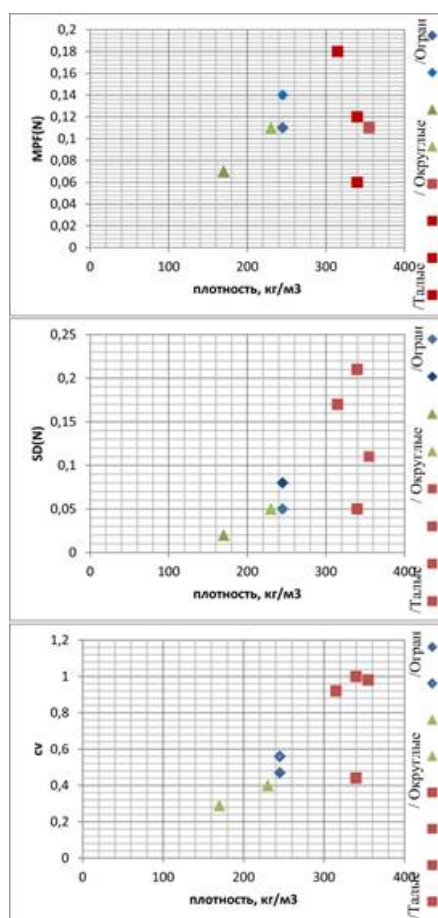


Рис. 7. Классификация типов стратиграфических слоёв по данным прибора Snowmicropen.

На рис. 7 видно, что получающиеся в результате метаморфизма формы ледяных кристаллов в снежной толще (округлые -> оgranённые -> талые) различаются как по

плотности, так и по параметрам, получаемым в результате статистической обработки данных прибора Snowmicropen (MPF(N)- средняя сила сопротивления SD(N)- её стандартное отклонение, и cv- её ковариация). Это даёт возможность кластеризации обработанных данных прибора и произведения типизации новых данных измерений прибора без привлечения результатов непосредственного ручного шурфования. Таким образом, были обработаны полученные от прибора данные, и путем сравнения с данными непосредственного шурфования снега, делалось сопоставление классифицированных стратиграфических слоев снежной толщи и оказалось возможным производить классификацию стратиграфических слоев по новым полученным данным прибора без привлечения дополнительного ручного шурфования, которое занимает много сил и времени и может вносить некоторый элемент неопределенности от "человеческого фактора" в ход стратиграфических исследований снежной толщи. Подобная автоматизация ведёт к ускорению и повышению качества стратиграфических исследований снежной толщи, что существенно важно при изысканиях на предмет возникновения слоёв разрыхления и лавинной опасности на склонах гор.

Библиография

1. Frolov D.M., Seliverstov Y.G., Sokratov S.A., Koshurnikov A.V., Gagarin V.E., Nikolaeva E.S. Investigation of the Spatio-Temporal Heterogeneity of Snow Thickness at the Meteorological Site of the Lomonosov MSU in the Winter of 2022/2023 // Arctic and Antarctic. – 2023. – № 1. – P. 1 - 13. DOI: 10.7256/2453-8922.2023.1.40448.2 EDN: PGRHXP URL: https://en.nbpublish.com/library_read_article.php?id=40448
2. D.M. Frolov, G.A. Rzhantsyn, S.A. Sokratov, et. al., Monitoring of seasonal variations in ground temperature at the observation site of Lomonosov MSU // E3S Web of Conferences 371, 03004 (2023). DOI: 10.1051/e3sconf/202337103004
3. Proksch M., Rutter N., Fierz Ch., Schneebeli M. Intercomparison of snow density measurements: bias, precision, and vertical resolution // The Cryosphere. 2016, 10 (1):371–384. <https://doi.org/10.5194/tc-10-371-2016>
4. Sturm M., Holmgren J., Liston G.L. A seasonal snow cover classification system for local to global applications // Journ. of Climate. 1995, 8 (5 (Part 2)): 1261–1283. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1995\)0082.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1995)0082.0.CO;2)
5. Fierz Ch., Armstrong R.L., Durand Y., Etchevers P., Greene E., McClung D.M., Nishimura K., Satyawali P.K., Sokratov S.A. . The international classification for seasonal snow on the ground (UNESCO, IHP (International Hydrological Programme) // VII, Technical Documents in Hydrology, No 83; IACS (International Association of Cryospheric Sciences) contribution No 1). 2009.
6. Colbeck, S.: A review of the metamorphism and classification of seasonal snow cover crystals, IAHS Publication. 1987. 162, 3–24.
7. Ménard, C. B., Essery, R., Barr, A., Bartlett, P., Derry, J., Dumont, M., Fierz, C., Kim, H., Kontu, A., Lejeune, Y., et al.: Meteorological and evaluation datasets for snow modelling at 10 reference sites: description of in situ and bias-corrected reanalysis data, Earth System Science Data. 2019. 11, 865–880.
8. King, J., Howell, S., Brady, M., Toose, P., Derksen, C., Haas, C., and Beckers, J.: Local-scale variability of snow density on Arctic sea ice // The Cryosphere. 2020. 14, 4323–4339.
9. Kaltenborn, J., Macfarlane, A. R., Clay, V., and Schneebeli. Pre-trained Models for SMP Classification and Segmentation. 2022. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7063521>.
10. Kaltenborn, J., Macfarlane, A. R., Clay, V., and Schneebeli. Automatic snow type classification of snow micropenetrometer profiles with machine learning algorithms //

- Geosci. Model Dev., 2023.16, 4521–4550, <https://doi.org/10.5194/gmd-16-4521-2023>.
11. Nguyen, N. and Guo, Y.: Comparisons of sequence labeling algorithms and extensions. // Proceedings of the 24th international conference on Machine learning, 2007. P. 681–688.
 12. Lemaître, G., Nogueira, F., and Aridas, C. K. Imbalanced-learn: A python toolbox to tackle the curse of imbalanced datasets in machine learning // The Journal of Machine Learning Research. 2017. 18, 559–563. 2017.
 13. Schneebeli, M. and Johnson, J. B.: A constant-speed penetrometer for high-resolution snow stratigraphy // Annals of Glaciology. 1998. 26, 107–111.
 14. Löwe, H. and Van Herwijnen, A.: A Poisson shot noise model for micro-penetration of snow // Cold Regions Science and Technology. 2012. 70, 62–70.
 15. Johnson, J. B. and Schneebeli, M. Snow strength penetrometer. US Patent 5. 1998. 831,161.

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Предмет исследования являются, по мнению автора, история геокриологического изучения и исследований использования искусственного интеллекта для классификации стратиграфических слоев снежной толщи по данным устройства snow micro pen.

Методология исследования, в статье не указаны, но исходя из анализа статьи можно сделать вывод о использовании методов анализа литературных данных и сделана попытка использования методов искусственного интеллекта для классификации стратиграфических слоев снежной толщи по данным измерений устройства snow micro pen или snow micro penetrometer - это устройство, позволяющее путем вдвигания в снег щупа с датчиком механического сопротивления определить твердость слоев снега с шагом в 4 микрометра.

Актуальность затронутой темы безусловна и состоит в получении существенной информацией по наблюдению за снежным покровом, которые «... ведутся на площадке метеообсерватории сотрудниками географического факультета МГУ уже длительное время». Однако авторам статьи следует обратить внимание на постоянное наблюдение, производимые не только учебным заведением в конкретной точке нашей страны, сделав анализ снежного покрова за многолетний период для выявления закономерностей выпадения осадков в зимний период времени. Исследования автора статьи помогают понять механизм повышения точности трансформации снежного покрова.

Научная новизна заключается в попытке автора статьи на основе проведенных исследований сделать вывод о возможности кластеризации этих обработанных данных прибора и произведения типизации новых данных измерений прибора без привлечения результатов непосредственного ручного шурфования с использованием нового для исследования снежного покрова прибора.

Стиль, структура, содержание стиль изложения результатов достаточно научный. Статья представляет собой аналитический обзор достаточно большого спектра литературных источников по проблеме исследования. Однако есть ряд пожеланий, в частности, автору статьи следовало бы, по нашему мнению, необходимо название статьи использовать общепринятые терминологические понятие, а не устоявшиеся англоязычные речевые обороты давайте форме аналогичных научных понятий и терминов. Тоже самое замечание касается и аббревиатуры, в частности ИИ - искусственный интеллект, в тоже

время не является научным, а публицистическим. Широко используемый искусственный интеллект скорее всего верным было обозначений как искусственный генератор текста или поисковик, по крайней мере, перспективные направления в классификации, систематизации и анализе информации интеллектуальной деятельности отношение не имеет.

Высказываемые авторами положение о том что, «аномальные снегопады в Европе (названные "Snow chaos") и на Европейской территории России 3-4 декабря 2023 года, также как последовавшие за ними холода и снова сильные снегопады были связаны, по мнению авторов, с интенсивным испарением с поверхности открытой воды морей и океанов в атмосферу» декларативны, не обоснованы и не имеют под собой основы в долгосрочной анализе погодно-климатических условий.

Высокоточный металлический твердый внутренний измеритель плотности, электронный гидрометр с защитой от повреждений и трелеев, гидрометр комплект приборов традиционно используемых при исследовании снежного покрова, аналог снежной микроручки (snow micro pen.). Безусловно удобство изучения непосредственно связанные с компьютерной обработкой полученных данных даёт обширный материал для выявления принципов и закономерностей, которым статье посвящено лишь 15 строк в разделе Результаты и обсуждение.

Автор попытался иллюстрировать разнообразными визуализированными формами информации от таблицы и графиков до схем и фотографий.

Автору статьи следовало бы поместить авторские фотографии при проведении своих работ, а не брать их с портала «Комплексный портал по предотвращению лавин» (Рисунок 6 внешний вид работы прибора Snow micro pen (www.slf.ch/en) — <https://whiterisk.ch/en/welcome>).

Библиография весьма обширна для такого объема статьи и для постановки рассматриваемого вопроса, но не содержит ссылки на нормативно-правовые акты.

Апелляция к оппонентам представлена в выявлении проблемы на уровне имеющейся информации, полученной автором в результате анализа.

Выводы, интерес читательской аудитории в выводах отсутствуют обобщения, позволившие применить полученные результаты. Фрагментарный материал о машинном обучении и его алгоритме в данной статье нам кажется представляется излишним. Существует необходимость выводов от целеполагания авторов статьи и достигнутых результатов в процессе исследования. Целевая группа потребителей информации в статье не указана.