



ДИНАМИКА СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

✉ Землянкова А.А.^{1,2}, Макарьева О.М.^{1,2}, Никитина П.А.^{2,3}, Волгина А.Д.⁴, Герасимов В.К.⁵

¹Северо-Восточный государственный университет, Магадан, Россия

²СПбГУ, Институт наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия

³ Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

⁴Институт точной механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

⁵ МБОУ «Средняя общеобразовательная школа в пос. Усть-Омчуг», пос. Усть-Омчуг, Россия

✉ anastasiazemlanskova@gmail.com

Магаданская область отличается сложным рельефом, особыми климатическими условиями и наличием геокриологических явлений. В регионе оборудованы скважины для наблюдения за температурой пород по глубине, возле которых установлены снегомерные рейки и фотоловушки. Автоматизированный мониторинг динамики снежного покрова по состоянию на 2024 г. ведется на 14 точках, расположенных на разной широте (59.61-61.83°), высоте (162-1182 м) и ландшафтных условиях. Проведен анализ данных за сезон 2023/2024 г. с помощью программы, разработанной ранее и основанной на принципе распознавания высоты снега по рейке с помощью нейросети. Установлено, что количество осадков и высота снежного покрова сокращаются при движении с юга на север и увеличиваются с высотой. Максимальная толщина снега изменяется от 30 до 100 см.

Ключевые слова: снежный покров, региональная сеть мониторинга, автоматизация наблюдений, нейросеть, Магаданская область

На фоне быстро меняющегося климата происходит трансформация природной среды: повышается температура воздуха и пород, увеличивается зимний сток, количество выбросов парниковых газов, частота опасных явлений и их мощность также увеличиваются [Makarieva *et al.*, 2019]. На территориях, где широко распространены многолетнемерзлые породы (ММП) эти изменения проявляют себя наиболее активно, что способствует развитию криогенных процессов (наледообразование, термокарст, осадка или пучение грунтов и др.). В связи с этим увеличилось и количество исследований, направленных на изучение природной среды криолитозоны, выявление факторов, влияющих на характеристики пород. Большинство работ показывают связь температуры воздуха и активного слоя, кровли мерзлоты [Melnikov *et al.*, 2022].

Одними из важных факторов изменения температуры многолетнемерзлых пород являются снежный покров и температура воздуха в холодный период года. В работах разных исследователей отмечается, что в западном секторе российской Арктики с 1970 по 2018 г. наблюдался рост годовой суммы осадков на 5–10 %, а также увеличение мощности снежного покрова [Li *et al.*, 2024], в зависимости от типа растительности скорость снегонакопления разная (0.6-1.8 см/год) [Васильев и др., 2020].

На востоке и юге Северо-Востока России за последние 65 лет высота снежного покрова увеличилась. В зимние месяцы (январь, февраль) на северо-восточном побережье Охотского моря, наоборот, с начала 1990-х годов выявлено значительное сокращение высоты снежного покрова, связанное с уменьшением осадков в предшествующие месяцы и повышением температуры воздуха [Стокуте, Василевская, 2016].

Наблюдения за снежным покровом ведут на метеорологических станциях. Сначала его установления по снегомерным рейкам определяется высота снега, в весенний период раз в 5, 10 дней проводятся маршрутные съемки по измерению влагозапаса. В Магаданской области, согласно Климатическому справочнику (1985), средняя дата установления снежного покрова 10 октября, а дата его полного схода – 12 мая, в

высокогорных частях – 13 июня. Так, его продолжительность составляет 208 дней. Отмечается, что плотность снега в регионе в несколько раз выше, чем по территории страны, в конце зимы запас воды в слое снега в среднем 103 мм.

В регионе наблюдается дефицит метеорологических станций, что приводит к необходимости поиска альтернативных методов оценки характеристик снежного покрова в условиях горного рельефа. В настоящее время на территории Магаданской области развернута сеть наблюдений за процессами водообмена и геокриологическими условиями горной криолитозоны [Макарьева и др., 2024], которая включает в себя в том числе наблюдения за характеристиками снежного покрова. Пункты автоматизированы, представляют собой систему рейка-фотоловушка, по состоянию на 2024 г. их количество составляет 20 штук, 9 из них работают с 2022 г. (рис. 1). Рейка размечена через 1 см, фотоловушка установлена на таймер, ежедневно происходит фотофиксация условий в 10:00 и 14:00, также работает датчик движения.



Рис. 1. Система наблюдений за динамикой высоты снежного покрова с помощью фотоловушки. Пункт наблюдения ГП2 (бассейн р. Анмангында).

В пос. Кулу установлена метеорологическая станция с устройством, которое представляет собой косу, длиной 2 м, где через каждые 2.5 см установлен датчик для измерения температуры среды. Когда датчик закрывается снегом, то между двумя ближайшими датчиками наблюдается разница в значениях. Так, из предположения, что, если между двумя датчиками значения температуры отличаются на 0.5°C, то нижний –

покрыт снегом. В пос. Усть-Омчуг возле школы установлена рейка, по которой ежедневно учащиеся, включенные в научную группу, снимают показания о высоте снежного покрова.

Целью настоящего исследования является анализ высоты снежного покрова по данным автоматизированной сети наблюдений, а также ближайших метеорологических станций.

Для обработки данных фотоловушек обучена модель сегментации, выделяющая рейку на фотографиях (YOLOv8). Реализован алгоритм автоматического расчёта высоты снега и извлечения текстовой информации с изображений (Tesseract OCR). Для удобства развёртки проект был обёрнут в docker. Автоматически создаётся база данных PostgreSQL, в которой хранится информация по всем загруженным наборам. Для обучения нейросети использовался сервер roboflow. Для обучения нейросети было обработано более 1000 фотографий для 9 наблюдательных постов (рис. 2).

ГП-2/Новый набор

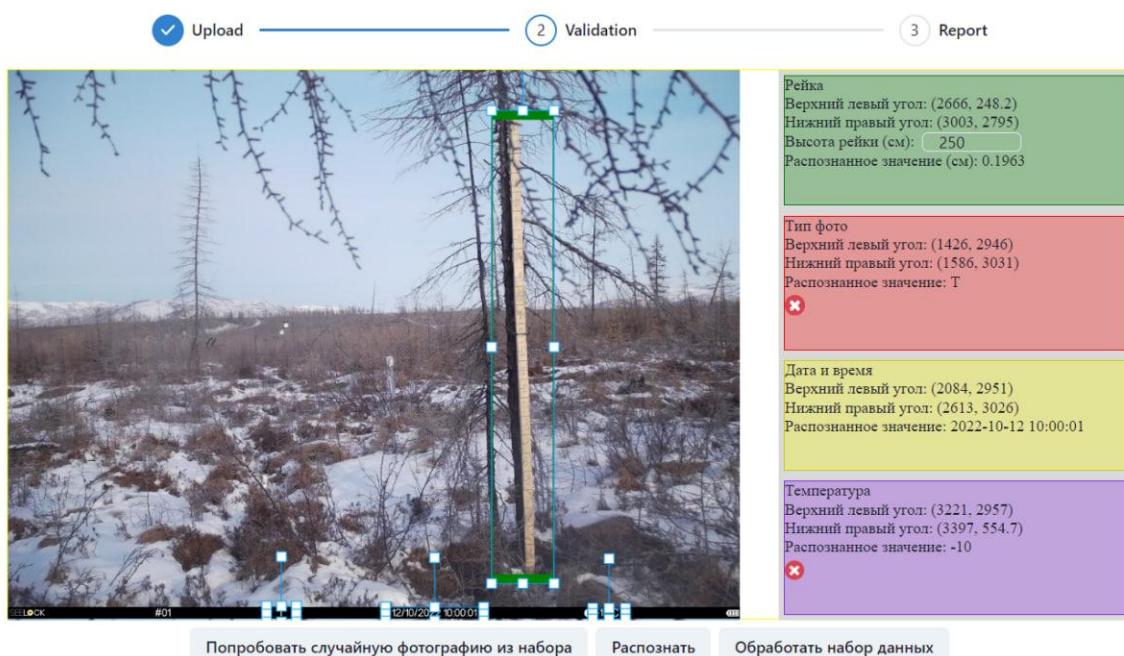


Рис. 2. Пример работы программы на этапе выбора областей распознавания объектов.

По данным наблюдений устойчивый снежный покров в среднем устанавливается в первую неделю октября, продолжительность залегания снега в 2022/2024 гг. составила 210 дней. В пос. Палатка дата схода снега отмечается во вторую декаду марта, а в среднем по территории – первая декада мая, дольше всего снег сохраняется в верховьях (Сопка, Гольцы и др.), а также на залесенных участках (Солонцовский, CALM).

Анализ данных на суточном интервале показал, что в верховьях метелевый перенос преобладает в ноябре и марте месяцах. Толщина снежного покрова до высоты 800 м в бассейне р. Анмангында и вблизи Колымской водно-балансовой станции находятся в пределах 30-60 см. На отметках 800-1200 м снег достигает значений 70-100 см и более. Данные метеорологической станции Усть-Омчуг не отражают характер динамики снежного покрова для близлежащей территории (Рис. 3, верхний), это связано с тем, что во время оттепелей снег может стаять полностью, а также близкое расположение котельни способствует оседанию частичек выбросов, что снижает альбено и приводит к быстрому стаиванию весной.

Материалы Колымской водной балансовой станции согласуются с условиями формирования снежного покрова в пос. Кулу и на Перевале Кулу (рис. 3, нижний), как по динамике, так и по величине.

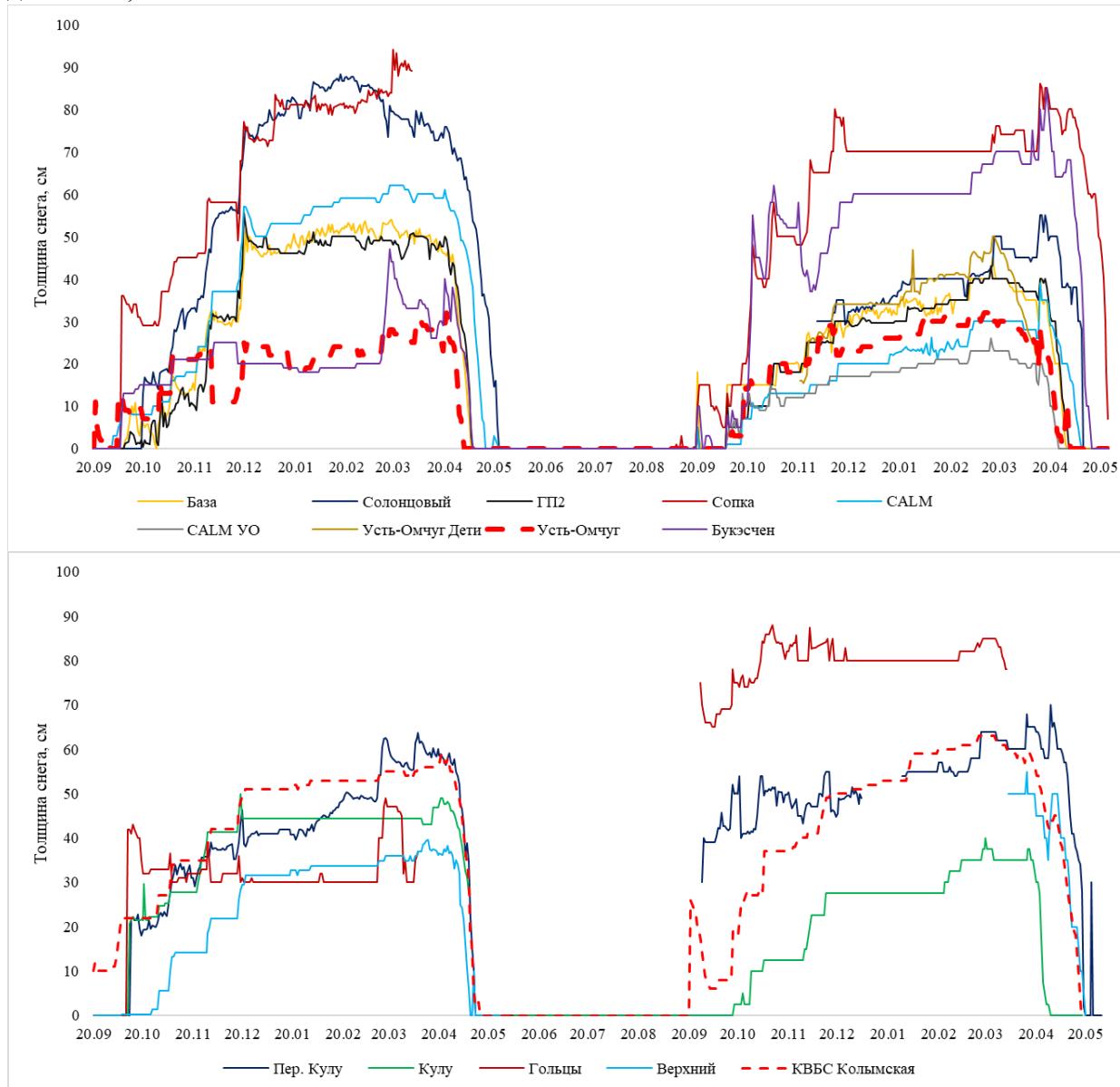


Рис. 3. Динамика снежного покрова на суточном интервале в Тенькинском муниципальном округе.

По данным метеорологических станций в 2024 г. выпало 134.2 мм твердых осадков в пос. Усть-Омчуг, 150.7 мм – в пос. Палатка, 182.8 мм – на Колымской водно-балансовой станции и 265.8 мм в г. Магадан. Такое распределение осадков может быть связано с истощением воздушных масс при удалении от моря [Хомякова и др., 2023]. Так, при движении на север толщина снежного покрова сокращается, наблюдается линейная связь, как с широтой, так и с высотой местности.

Отмечается, что максимальная толщина снега в 2023 г. в г. Магадан и пос. Палатка была больше на 14 см, чем в 2024 г., а в пос. Усть-Омчуг и на КВБС на 1 и 4 см меньше (Таблица 1).

Разнообразие сочетаний характеристик рельефа, микроклимата и растительности определяют динамику характеристик снежного покрова. Например, в лесу (Солонцовский, Сокол) снег защищен от выдувания, тень от деревьев защищает поверхность от прямого солнечного света, за счет чего во время оттепелей стаивает меньше, чем на открытых участках. На территории Тенькинского муниципального округа на отметках до 800 м

максимальная высота снежного покрова составляет 30-60 см, а выше – достигает 70-100 см. Такие же значения (60–70 см и более) наблюдаются вблизи г. Магадан, где абсолютные отметки составляют 118-346 м.

Таблица 1. Максимальная толщина снега в Магаданской области 2023-2024 гг.

Широта, °	Высота, м	Название пункта	Максимальная толщина снега, см	
			2023	2024
59.55	118	Магадан*	72	58
59.61	162	Вертолет		55
59.90	175	Сокол		70
60.10	341	Палатка*	57	43
60.12	346	Палатка		62
61.12	575	Усть-Омчуг*	32	33
61.13	580	Усть-Омчуг**		50
61.09	600	CALM УО		26
61.88	618	Кулу	50	38
60.94	712	ГП2	56	43
60.92	744	База	54	45
60.91	780	CALM	62	39
60.91	803	Солонцовский	88	55
61.85	850	КВБС Колымская*	59	63
61.83	961	Верхний	40	NA
60.69	978	Букэсчен	62	98
60.79	1027	Сопка	94	86
61.80	1170	Пер. Кулу	64	64
61.83	1182	Гольцы	49	88

NA – данные отсутствуют; пустые ячейки – наблюдения не проводились, * – метеорологическая станция сети Росгидромет, ** – данные получены учениками пос. Усть-Омчуг по рейке.

На основе анализа режима снегонакопления в бассейне р. Анмангында и пос. Усть-Омчуг обнаружено, что максимальная толщина снежного покрова увеличивается с севера на юг, установлена линейная связь с высотой местности. По пунктам, которые находятся вблизи Колымской водно-балансовой станции таких выводов сделано не было.

Один из пунктов наблюдений находится вблизи трассы, где ежегодно в зимний период проводится уборка снега. Происходит переотложение снега по обе стороны от дорожного полотна, что оказывает дополнительное влияние на режим промерзания/оттаивания пород. Совместный анализ данных снегомерной съемки и материалов термометрической скважины позволяют установить связь между двумя параметрами.

Новизна исследования состоит в использовании данных, полученных с помощью автоматизированной системы в разных ландшафтных условиях, которая показала свою эффективность на практике. Такой подход может быть использован для мониторинга участков подверженных формированию лавин, отслеживанию ситуаций на перевалах.

Результаты исследования также подтверждают необходимость возобновления и развития сети наблюдений в криолитозоне Северо-Востока страны.

Сеть мониторинга в 2021-2022 гг. создана в рамках проекта НИР Санкт-Петербургского государственного университета № 94034170, в 2023-2024 гг. расширена в рамках проекта Российского научного фонда и Правительства Магаданской области № 23-17-20011 «Оценка рисков опасных явлений для инфраструктуры Магаданской области, вызванных климатически- и антропогенно-обусловленной трансформацией

многолетнемерзлых пород». Поддержку оказывает ОАО «Полюс» в рамках проекта «Геокриология 2.0 – научный дозор за мерзлотой».

ЛИТЕРАТУРА

Васильев А.А. и др. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе российской Арктики // Криосфера Земли. 2020. Т. XXIV. № 2. С. 15-30. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2020-2(15-30)

Макарьева О.М., Землянскова А.А., Абрамов Д.А., Нестерова Н.В., Осташов А.А. Температура многолетнемерзлых пород Верхнеколымского нагорья по данным термометрических скважин за 2021-2022 годы // Криосфера Земли. 2024. Т. 28. № 3. С. 19-32. doi: 10.15372/KZ20240302

Сточкин Ю.В., Василевская Л.Н. Многолетние изменения температуры воздуха и почвы на крайнем северо-востоке России // Географический вестник. 2016. № 2. С. 85-97. doi: 10.17072/2079-7877-2016-2-84-96

Хомякова В.А., Землянскова А.А., Екайкин А.А., Макарьева О.М., Нестерова Н.В., Осташов А.А., Тебенькова Н.А. Содержание изотопов кислорода в осадках в Тенькинском районе Магаданской области // Метеорология и гидрология. 2023. № 2. С. 100-111. doi: 10.52002/0130-2906-2023-2-100-111.

Li C., Brouchkov A.V., Cheverev V.G., Sokolov A.V., Zhou B. Influence of the thickness of freezing of the soil surface and snow cover on methane emissions during freezing of seasonal permafrost // Atmosphere. 2024. Vol. 15. 1231. doi:10.3390/atmos15101231

Makarieva O., Nesterova N., Post D. A., Sherstyukov A., Lebedeva L. Warming temperatures are impacting the hydrometeorological regime of Russian rivers in the zone of continuous permafrost // The Cryosphere. 2019. Vol. 13. Is. 6. P. 1635–1659. doi:10.5194/tc-13-1635-2019

Melnikov V., Osipov V., Brouchkov A., Badina S., Sadurtdinov M., Drozdov D., Malkova G., Zheleznyak M., Zhdaneev O., Ostarkov N. et al. Past and Future of Permafrost Monitoring: Stability of Russian Energetic Infrastructure // Energies. 2022. Vol. 15. Is. 9. P. 3190. doi: 10.3390/en15093190

SNOW COVER DYNAMICS IN THE MAGADAN REGION

Zemlianskova A.A.^{1,2}, Makarieva O.M.^{1,2}, Nikitina P.A.^{2,3}, Volgina A.D.⁴, Gerasimov V.K.⁵

¹ North-Eastern State University, Magadan, Russia

² St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg, Russia

³ State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

⁴ Institute of Precision Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia

⁵ MBOU «Secondary school of general education in Ust-Omchug», Ust-Omchug, Russia

The Magadan region has a complex relief, special climatic conditions and the formation of geocryological phenomena. The region is equipped with boreholes to monitor the temperature of rocks in depth, near which snow measuring rods and camera traps are installed. Automated monitoring of the dynamics of snow cover as of 2024 is carried out at 14 points located at different latitudes (59.61-61.83°), altitudes (162-1182 m) and landscape conditions. An analysis of data for the 2023/2024 season was carried out using a previously developed program based on the principle of recognizing the height of snow by a rod using a neural network. It was found that the amount of precipitation and the height of the snow cover decrease when moving from south to north and increase with altitude. The maximum snow thickness varies from 30 to 100 cm.

Keywords: *snow cover, regional monitoring network, automation of observations, neural network, Magadan region*

REFERENCES:

- Vasiliev A.A. et al. Permafrost degradation: results of the long-term geocryological monitoring in the western sector of Russian arctic // Earth's Cryosphere. 2020. Vol. XXIV. No. 2. P. 15-30. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2020-2(15-30)*
- Makarieva O.M., Abramov D.A., Zemlianskova A.A., Ostashov A.A., Nesterova N.V. Permafrost temperature of the upper Kolyma highland according to the data of thermometric boreholes 2021-2022 // Earth's Cryosphere. 2024. Vol. 28. No. 3. P. 19-32. doi: 10.15372/KZ20240302*
- Stochkute Y.V., Vasilevskaya L.N. Evaluation of long-term air and soil temperature changes on the far north-east of Russia // Geographicheskiy Vestnik. 2016. Vol. 2. No. 37. P. 84–96. doi 10.17072/2079-7877-2016-2-84-96*
- Khomyakova V.A., Zemlyanskova A.A., Ekaikin A.A., Nesterova N.V., Ostashov A.A. Isotopic Composition of Precipitation in the Ten'kinskii District, the Magadan Oblast // Russian Meteorology and Hydrology. 2023. Vol. 48. No. 2. P. 163-172. doi: 10.3103/s1068373923020097.*
- Li C., Brouchkov A.V., Cheverev V.G., Sokolov A.V., Zhou B. Influence of the thickness of freezing of the soil surface and snow cover on methane emissions during freezing of seasonal permafrost // Atmosphere. 2024. Vol. 15. 1231. doi:10.3390/atmos15101231*
- Makarieva O., Nesterova N., Post D. A., Sherstyukov A., Lebedeva L. Warming temperatures are impacting the hydrometeorological regime of Russian rivers in the zone of continuous permafrost // The Cryosphere. 2019. Vol. 13. Is. 6. P. 1635–1659. doi:10.5194/tc-13-1635-2019*
- Melnikov V., Osipov V., Brouchkov A., Badina S., Sadurtdinov M., Drozdov D., Malkova G., Zheleznyak M., Zhdaneev O., Ostarkov N. et al. Past and Future of Permafrost Monitoring: Stability of Russian Energetic Infrastructure // Energies. 2022. Vol. 15. Is. 9. P. 3190. doi: 10.3390/en15093190*