

A. A. Zemlyanskova^{1,3}, V. V. Olenchenko², O. M. Makar'eva^{1,3}, E. A. Akhrameev⁴

Строение наледи на ручье Михалыч вблизи инженерных сооружений по данным георадиолокации (Магаданская область)

¹ Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан, Российская Федерация

² Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, Российская Федерация

³ Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁴ МАОУ "Гимназия № 30", г. Магадан, Российская Федерация
e-mail: anastasiazemlanskova@gmail.com

Аннотация. Наледи часто вызывают деформацию инженерных сооружений, поэтому их исследования с целью выявления факторов и динамики формирования являются актуальной задачей. Объект исследования – наледь на руч. Михалыч – расположен на федеральной трассе Колыма в 30 км от г. Магадана. Целью геофизических исследований 2025 г. являлось изучение строения наледи, выявление границ мёрзлых и талых пород, каналов разгрузки подземных вод и оценка распределения толщины льда. Проведены георадиолокационные зондирования с антенным блоком центральной частоты 250 и 700 МГц. Установлено, что к 20 февраля 2025 г. максимальная толщина льда составила 1.72 м при среднем значении 0.84 м. С помощью георадара выявлены каналы разгрузки подземных вод из аллювия под лёд, расположенные в руслах проток. Толщина наледи сокращается, а глубина сезонного промерзания увеличивается с удалением от моста.

Ключевые слова: наледь, криолитозона, георадиолокационное зондирование, подземные воды, Магаданская область

A. A. Zemlianskova^{1,3}, V. V. Olenchenko², O. M. Makarieva^{1,3}, E. A. Akhrameev⁴

Aufeis shape on Mikhalych creek near engineering structures according to ground penetrating radar data (Magadan region)

¹ North-Eastern State University, Magadan, Russian Federation

² Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch
Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

³ Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russian Federation

⁴ MAEI "Gymnasium N° 30", Magadan, Russian Federation
e-mail: anastasiazemlanskova@gmail.com

Abstract. Aufeis forming near engineering structures causes annual damage to them. One example is the aufeis on the Mikhalych creek, as a result of which a detour was additionally equipped on the Kolyma highway. It is necessary to understand the causes of aufeis formation in order to further regulate its characteristics. The purpose of the geophysical research in 2025 was to study the structure of the aufeis, identify the boundaries of frozen and thawed rocks, groundwater discharge channels and assess the distribution of ice thickness. Ground penetrating radar sounding with an antenna unit of the central frequency of 250 and 700 MHz were carried out. It was found that by February 20, 2025, the maximum ice thickness was 1.72 m with an average value of 0.84 m. With the help of ground-penetrating radar, channels for unloading groundwater from alluvium under ice located in the channel beds have been identified. The thickness of the ice is decreasing, and the depth of seasonal freezing increases with distance from the bridge.

Keywords: aufeis, cryosphere, ground penetrating radar sounding, groundwater, Magadan region

Введение

В Магаданской области формируется более 2500 наледей, размерами от 0.1 км², которые можно обнаружить на спутниковых снимках, оценить их размеры и проследить динамику роста и разрушения льда [1]. Однако, наледи меньших размеров изучить можно только во время полевых работ. Особо опасны наледи, которые выходят на дорогу или образуются под мостами, закупоривают водопропускные трубы [2]. Ежегодное формирование-разрушение наледей приводит к износу мостовых опор. Так, на руч. Михалыч Магаданской области осенью 2023 г. мост был закрыт и сделан объезд, что привело к увеличению стоимости грузоперевозок по федеральной трассе «Колыма» [3]. На ручье Потерянный (пос. Сокол Магаданской обл.) наледь вышла из русла реки и подтопила ближайшие здания и сооружения, а также оказывает давление на трубопровод.

Причиной образования наледей у инженерных сооружений является нарушение естественных условий водно-теплового режима водных объектов, приводящее к затрудненному движению воды в русле и подземных горизонтах в осенне-зимний период [2; 4]. Наблюдения за динамикой формирования и разрушения наледей проводятся локально, в нескольких точках, а информация о гидрогеологических условиях объекта чаще всего отсутствует. Для оценки распределения толщины льда и характеристик мерзлоты по площади используют геофизические методы исследования, в частности георадиолокационную съемку. Она позволяет установить также места разгрузки воды под лед, глубину промерзания и оттаивания пород, что может быть использовано при разработке рекомендаций по борьбе с наледями.

Основным объектом исследования является наледь на ручье Михалыч (федеральная трасса Колыма, Магаданская область).

Целью работы является анализ строения наледи вблизи мостового перехода и на его удалении с помощью метода георадиолокации.

Методы и материалы

Для оценки влияния мощности слоя сезонного промерзания на наледообразовательный процесс и изучения строения наледи на участке ручья Михалыч проведены георадиолокационные исследования 23 февраля и 10 марта 2025 г. Георадар «ОКО-3», работающий на центральных частотах 250 и 700 МГц, перемещался волоком в контакт с поверхностью льда. Управление работой георадара, визуализация данных измерений и запись полевых материалов осуществлялось в персональном компьютере в специализированной программе «GeoScan32».

Количество профилей составило 14 штук, длиной от 10 до 72 м. Они были проложены параллельно друг друга на некотором удалении от моста, а также несколько профилей между мостом и насыпью, возведенной в 2023 г., и по руслу ручья (длина профиля 16 м).

Для наблюдения за сезонной динамикой мощности наледи, формирующейся под мостовым переходом через руч. Михалыч, были установлены вежа и фотока-

мера SEELOCK с автоматизированной фотосъемкой два раза в сутки в период с 10:00 до 14:00.

Результаты

Исследование сезонной динамики толщины наледи, формирующейся под мостовым переходом через руч. Михалыч показало, что в 2024 г. процесс наледеобразования начался в декабре после того, как на ручье образовался речной лед. В начале января 2025 г. наледь достигла тощины 65 см, к 5 января 90 см, а к 15 января – 110 см. В начале февраля дорожными службами в 3 м от моста была установлена противоналедная ограда, из-за чего оценка динамики формирования наледи под мостом несколько занижена. Интенсивный прирост льда отмечался в период с 8 по 13 февраля, средняя скорость составила 10 см/сут. На день проведения георадиолокационной съемки (23 февраля 2025 г.) толщина льда после ограды составила 180 см, а до нее – 205 см. Во время установки ограды в результате расчистки дорожного полотна вблизи моста был сформирован снежный сугроб.

Неравномерное формирование наледи свидетельствует о том, что её объем увеличивался за счет подземных вод, разгружающихся под воздействием криогенного напора. Разгрузка часто происходит вблизи зарослей чозении, которые являются биоиндикатором талика. Можно сделать вывод о том, что наледь на ручье Михалыч имеет смешанный генезис.

На радарограммах, полученных с помощью антенны с частотой 700 МГц, отчетливо выделяется подошва наледи, а также видна послойная структура льда. Антенна с частотой 250 МГц позволила дополнительно определить глубину сезонного промерзания и выделить участки, на которых происходит разгрузка подземных вод (рис. 1).

По состоянию на 23 февраля по данным радиолокации средняя толщина наледи на участке работ составила 84 см, а максимальная – 172 см (под мостом). Глубина сезонного промерзания в среднем была 83 см, а максимальная – 208 см. Отмечаются участки сливающегося типа мерзлоты, в результате которого создаются замкнутые системы, препятствующие прохождению воды, как следствие – формируется наледь.

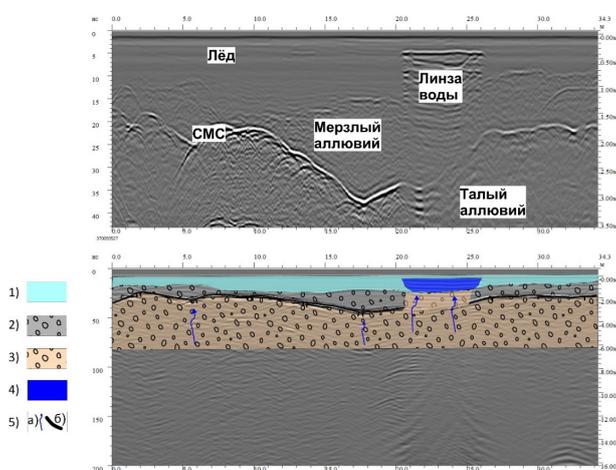


Рис. 1. Фрагмент радарограммы по профилю №3 через долину ручья Михалыч в 20 м выше моста с использованием разных антенн 23 февраля 2025 г.: сверху

700 МГц, снизу 250 МГц с интерпретацией данных: 1 – лёд; 2 – аллювий мёрзлый; 3 – аллювий талый; 4 – вода; 5 – (а) восходящие каналы фильтрации в аллювии, (б) граница сезонного промерзания

В марте была выполнена съемка по трем профилям. Результаты интерпретации радарограмм показали, что средняя толщина льда составила 130 см, а максимальная – 203 см, глубина сезонного промерзания достигла 213 см. При удалении от моста толщина льда уменьшается с 2 до 1 м и возрастает в зоне разгрузки воды, глубина сезонномерзлого слоя ведет себя обратным образом (рис. 2).

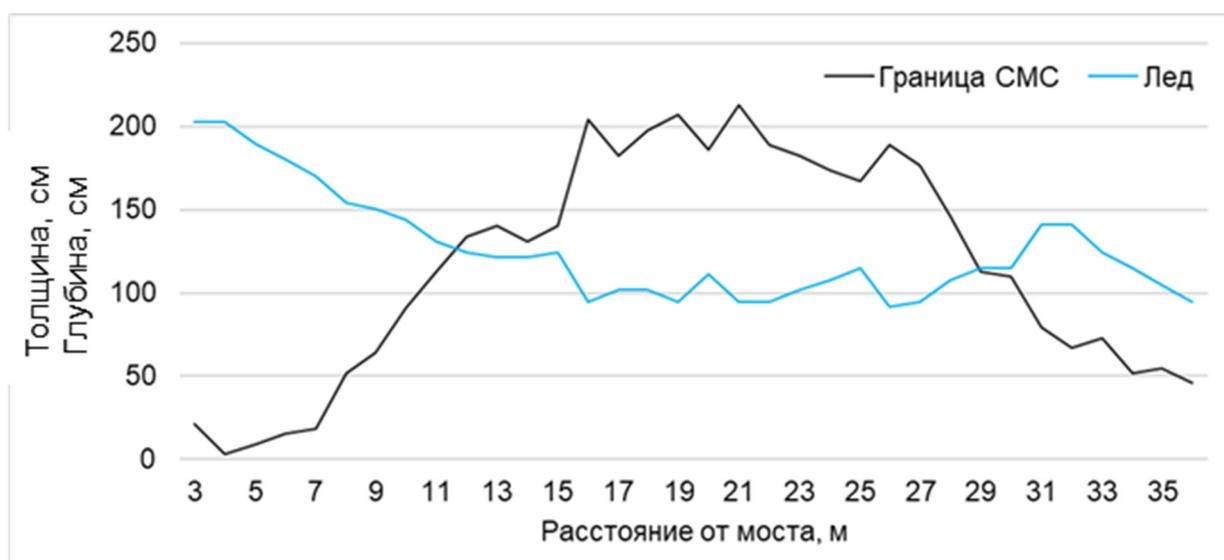


Рис. 2. Изменение характеристик наледи и глубины сезонномерзлого слоя по данным радиолокации, 10 марта 2025 г.

Заключение

В результате современных исследований, выполненных вблизи инженерных сооружений, установлено, что в 2025 г. наледь на ручье Михалыч имела смешанный тип питания. Толщина льда уменьшается при удалении от моста, а глубина сезонномерзлого слоя увеличивается, максимальные значения характеристик составили 203 и 213 см, соответственно. На радарограммах интенсивными гиперболами дифракции выделяются участки разгрузки подземных вод из аллювия под лёд. Строение льда сложное с участками линз воды.

Благодарности

Исследования выполнены 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». Для геофизических работ использовалось оборудование Санкт-Петербургского государственного университета в рамках проекта «Комплексная оценка естественных и антропогенных факторов интенсификации водообменных процессов криолитозоны в условиях изменения климата».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021620332. Наледи Северо-Востока России: ГИС каталог для бассейна реки Колыма: опубл. 26.02.2021 / О.М. Макарьева, А.Н. Шихов, А.А. Осташов, Н.В. Нестерова, А.А. Землянскова, В.Р. Алексеев; заявитель ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН.
2. Рекомендации по изысканиям, проектированию и строительству малых искусственных сооружений на водотоках с процессами наледеобразования / М-во трансп. строительства СССР. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т трансп. строительства «ЦНИИС». Москва, 1968, 67 с.
3. Подрядчика для ремонта моста через ручей Михалыч определили в Магаданской области [Электронный ресурс] // Магаданская правда [сайт]: URL: <https://magadanpravda.ru> (дата обращения 15.09.2024).
4. СП 11-105-97. Часть IV. Правила производства работ в районах распространения многолетнемерзлых грунтов, 57 с.

© А. А. Землянскова, В. В. Оленченко, О. М. Макарьева, Е. А. Ахрамеев, 2025