



ИНЖЕНЕРНАЯ  
И РУДНАЯ  
ГЕОФИЗИКА 2023



ИНЖЕНЕРНАЯ И  
РУДНАЯ ГЕОЛОГИЯ 2023



Морские  
ТЕХНОЛОГИИ 2023

➤ Конференция и выставка | 15 - 19 мая 2023 г. | г. Санкт-Петербург ➤

Сборник материалов конференции

**ISBN: 978-5-9651-1472-6**

ООО «Геомодель» 2023  
Все права защищены©

## Мерзлотно-гидрогеологическое строение наледной поляны р. Анмангында (Магаданская область) по геофизическим данным

А.А. Землянскова\* (Санкт-Петербургский государственный университет), В.В. Оленченко (Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А. А. Трофимука СО РАН), О.М. Макарьева (Санкт-Петербургский государственный университет)

### Введение

Наледи широко распространены в горной криолитозоне, на Северо-Востоке России они достигают своих максимальных размеров. Динамика наледей является индикатором водообменных процессов в криолитозоне, поэтому изучение процессов их формирования и развития является актуальной научной задачей.

Формирование наледей главным образом связано с глубиной сезонного промерзания (Романовский, 1973). Мерзлый грунт создает препятствие для прохождения потока грунтовых вод, в связи с чем появляются участки напорных вод. Они в свою очередь изливаются на поверхность и образуют наледь.

Изучению распространения наледей и их динамики посвящено множество работ, однако геологическая деятельность и внутреннее строение изучено еще не в полной мере. В 60-е годы прошлого века геофизические методы исследования использовались в Магаданской области для определения мощности многолетнемерзлых пород и распространения таликов в зоне развития наледей (Соловьева, 1967). Современные приборы позволяют проводить такие работы на новом высокотехнологичном уровне. В связи с этим была поставлена цель изучить мерзлотно-гидрогеологическое строение наледной поляны одной из гигантских наледей в Магаданской области.

Объектом исследования выбрана Анмангындинская наледь, ежегодно формирующаяся в долине одноименной реки. По историческим данным её максимальные размеры составляли 6.8 км<sup>2</sup> (1978 г.) по площади и 11.7 млн м<sup>3</sup> (1967 г.) в объеме, а толщина льда в отдельных точках достигала 6–8 м (Землянскова и др., 2023). Для бассейна р. Анмангында характерно повсеместное распространение многолетней мерзлоты мощностью от 100 до 450 м, иногда прерывающейся в таликовых зонах (Букаев, 1966). Геологическое строение представлено осадочными породами верхнего триаса, юры и мела.

### Методы

Весной и осенью на участке Анмангындинской наледи были проведены геофизические исследования методами георадиолокационной съемки (ГРЛ), электротомографии, бесконтактного электропрофилеирования (БИЭП). Комплексный анализ результатов разномасштабных геофизических исследований позволяет существенно уменьшить неоднозначность интерпретации геофизических данных (Оленченко и др., 2023).

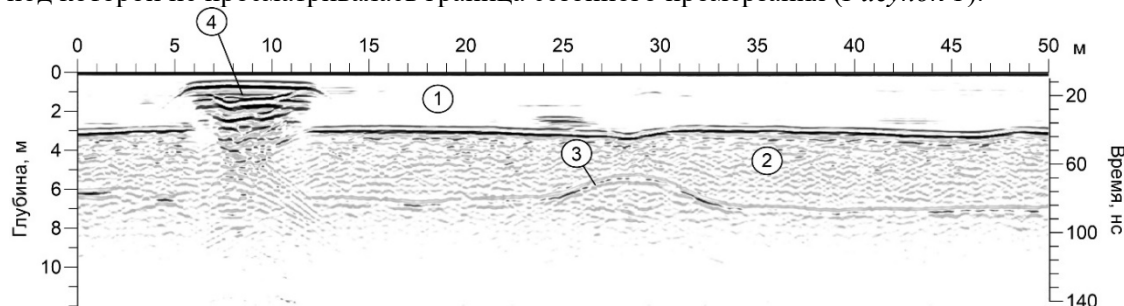
В марте для исследований был выбран участок размером 50×20 м. В пределах этой площадки выполнены зондирования ГРЛ и многообразное профилирование БИЭП. Измерения проводились на 11 профилях, расположенных на расстоянии 5 м друг от друга, с помощью георадара ОКО-3 с антенным блоком центральной частоты 250 МГц и аппаратуры ВЕГА (рабочая частота 16 кГц).

В сентябре участок исследования был расширен и его размеры составили 235×60 м. Зондирование методом электротомографии выполнено на 5 профилях длиной по 235 м, расположенных на расстоянии 15 м друг от друга. Измерение электрического поля проводилось с помощью многоэлектродной многоканальной электроразведочной станцией Скала-48к12.

Решение обратной задачи и построение 3-D геоэлектрической модели среды выполнялось с помощью программы Res3Dinv.

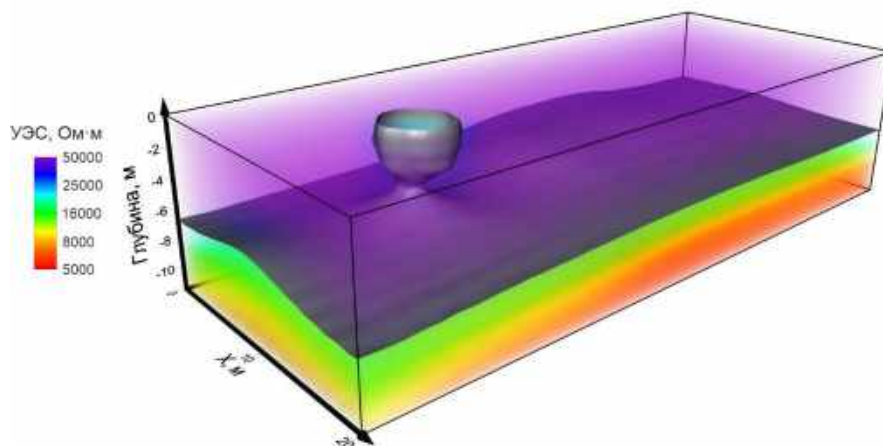
## Результаты

В марте 2022 г. по всем профилям отмечалась локальная область уменьшения глубины сезонного промерзания с 3.0–3.5 м до 1.5 м, пространственно совпадающая с речной протокой, действующей в теплое время года. Кроме того, случайно была обнаружена область интенсивного переотражения сигнала, под которой не просматривалась граница сезонного промерзания (Рисунок 1).



**Рисунок 1.** Результаты съемки методом ГРЛ на одном из участков Анмангындинской наледы, март 2022 г.: 1 – лёд; 2 – сезонно-мерзлый слой, представленный аллювием; 3 – нижняя граница сезонно-мерзлого слоя; 4 – аномальный участок внутри льда.

Анализ данных, полученных методом БИЭП на том же участке (Рисунок 2), показал, что область интенсивного переотражения сигнала по данным ГРЛ на геоэлектрическом профиле выделяется зоной пониженного УЭС, которая интерпретируется как линза незамерзшей воды. Для верификации данных была пробурена скважина на пикете 8 м, где в толще льда в интервале 0.5–1.0 м была вскрыта вода. Предполагается, что линза образовалась после того, как перестал действовать один из каналов разгрузки подземных вод.

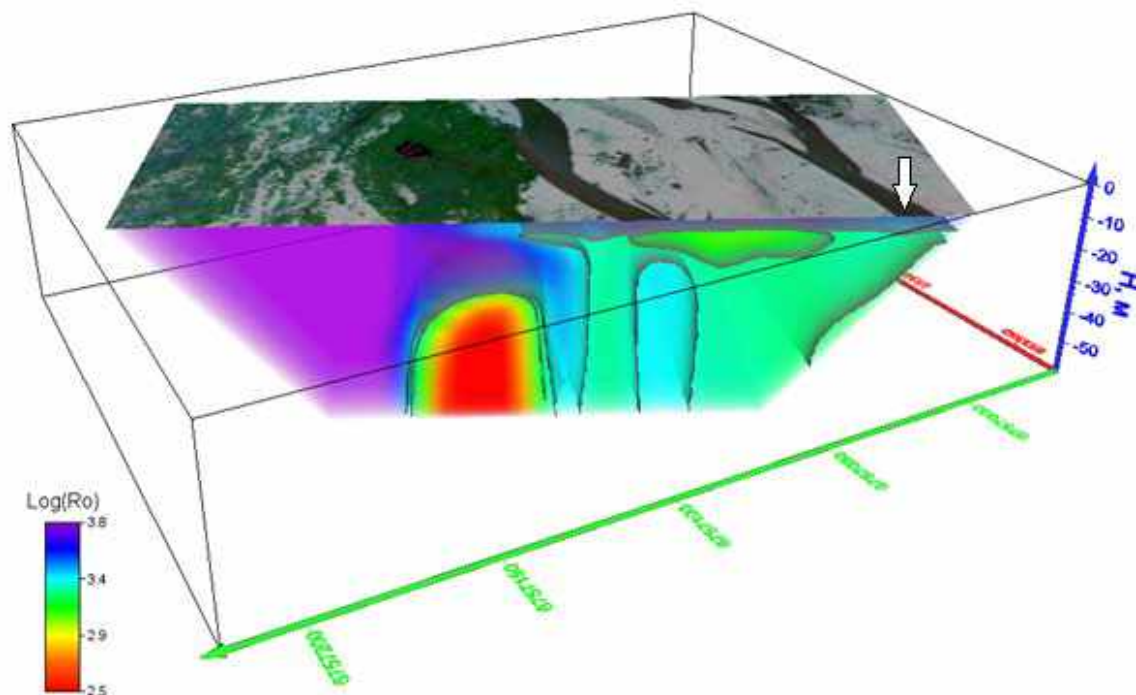


**Рисунок 2.** Результаты площадной съемки методом БИЭП вблизи аномального участка внутри льда, обнаруженного по данным ГРЛ, март 2022 г.

По данным электроразведочных работ, проведенных осенью 2022 г., была построена объемная модель распределения удельного электрического сопротивления (УЭС) (Рисунок 3). Горные породы, которыми сложена наледная поляна, имеет широкий диапазон УЭС – от нескольких десятков до

десятков тысяч Ом·м. Талые породы выделяются зоной УЭС в интервале 1500–5000 Ом·м в зависимости от влажности, а мерзлые – 10000–50000 Ом·м.

Под основными протоками реки выделяются как субгоризонтальные каналы фильтрации в толще аллювия, так и вертикальные зоны пониженного УЭС, которые могут быть связаны с обводнёнными тектоническими разломами. Особо низкое электрическое сопротивление одной из предполагаемых разломных зон вероятно связано с рудной минерализацией (сульфидизацией) по разлому.



**Рисунок 3.** Объемное распределение логарифма УЭС на участке наледной поляны, сентябрь 2022 г. Стрелкой указано место аномалии по данным ГРЛ (Рисунок 1).

## Выводы

В результате геофизических исследований в пределах наледной поляны установлено, что над руслами водотоков и участками разгрузки подземных вод резко сокращается глубина сезонного промерзания, что является поисковым признаком участков разгрузки под лёд при их выявлении методом георадиолокации. На участках выходов наледных вод при прекращении разгрузки образуются линзы незамёрзшей воды внутри льда, которые контрастно выделяются на радарограммах и разрезах УЭС по данным электрических зондирований методом БИЭП.

В пределах основных крупных протоков р. Анмангында аномалиями пониженного УЭС выделяются подрусовые талики, воды которых питают наледь в период сезонного промерзания, что соответствует классическому механизму образования гидрогенных наледей. В то же время, по данным площадных исследований и трёхмерной инверсии в коренных породах выделяются узкие вертикальные аномалии пониженного УЭС, интерпретируемые как зоны дробления, по которым возможно питание аллювиальных отложений трещино-жильными водами разломов. То есть мы не исключаем смешанный тип питания наледи подземными водами.



Глубина сезонного промерзания пород под наледью по состоянию на март 2022 г. составила в среднем 3.5 м и не зависела от толщины наледи. Встречаются участки сливающейся и несливающейся мерзлоты. По данным электрических зондирований кровля многолетнемерзлых пород (ММП) залегает на глубинах от 0.5 до 30 м, а их удельное электрическое сопротивление изменяется в пределах 3500–50000 Ом·м у руслового аллювия и 1000–3000 Ом·м у палеозойского основания. Коренные породы имеют УЭС от 50 до 3000 Ом·м в зависимости от температуры, степени трещиноватости, присутствия электропроводящих минералов (пирита), которые существенно понижают электросопротивление, и физических характеристик.

700 ^a

## Благодарности

Исследования проводятся при поддержке Санкт-Петербургского государственного университета (проект 75295776). Обработка геофизических данных выполнена при частичной поддержке проекта Программы фундаментальных научных исследований No FWZZ-2022-0024.

## Библиография

1. Букаев Н.А. Основные закономерности режима гигантских наледей в верховьях р. Колымы (на примере Анмангындинской наледи) // В кн. «Наледи Сибири». М.: Наука, 1966. № 4. С. 9–21.
2. Землянскова А.А., Алексеев В.Р., Шихов А.Н., Осташов А.А., Нестерова Н.В., Макарьева О.М. Многолетняя динамика гигантской Анмангындинской наледи на Северо-Востоке России (1962–2021 гг.) // Лед и снег, 2023 (в печати)
3. Оленченко В.В., Макарьева О.М., Землянскова А.А., Данилов К.П., Осташов А.А., Калганов А.С., Нестерова Н.В., Христофоров И.И. Геофизические признаки источников гигантской наледи на р. Анмангында (Магаданская область) // Геодинамика и тектонофизика, 2023. Т. 14. №3.
4. Романовский Н.Н. О геологической деятельности наледей // Мерзлотные исследования. Выпуск XIII. Изд-во МГУ, 1973, с. 66-89.
5. Соловьева Г.В. Окончательный отчет по теме: «Наледное регулирование подземного стока в районах широкого развития многолетнемерзлых пород» (в трех томах). Том I. М.: ВСЕГИНГЕО, Гидрорежимная эксп., 1967. 447 с.

## References

1. Bukaev N. A. Main peculiarities of regime of giant aufeis in the upper part of Kolyma River (the Anmangynda aufeis as an example). Kolyma, 1966, 4, pp. 9–21. (in Russian)
2. Zemlianskova A.A., Alexeev V.R., Shihov A.N., Ostashov A.A., Nesterova N.V., Makarieva O.M. Temporal dynamics of the giant Anmangynda aufeis at the North-East of Russia (1962-2021). Ice and snow, 2023 (in print)
3. Olenchenko V.V., Makarieva O.M., Zemlianskova A.A., Danilov K.P., Ostashov A.A., Kalganov A.S., Nesterova N.V., Khristoforov I.I. Geophysical signs of aufeis sources of the Anmangynda river (Magadan region). Geodynamics and tectonophysics, 2023. Vol. 14. №3.
4. Romanovsky N.N. About geological activity of aufeis. Merzlotnye issledovaniya. Vol. XIII. MSU Publishing House, 1973, pp. 66-89.
5. Soloveva G.V. Final report on the topic: «Aufeis regulation of underground runoff in areas of widespread permafrost [Nalednoe regulirovanie podzemnogo stoka v rajonah shirokogo razvitiya mnogoletnemerzlykh porod]» (in three volumes). Vol. I. Moscow: VSEGINGEO, Hydro-regime expedition, 1967. 447 p.