

doi: 10.24412/2687-1092-2023-10-192-195



РЕГИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

✉ Макарьева О.М.^{1,2}, Землянскова А.А.^{1,2}, Абрамов Д.А.³, Остахов А.А.⁴, Нестерова Н.В.⁴

¹Северо-Восточный государственный университет, Магадан, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

³МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

⁴Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия

✉ omakarieva@yandex.ru

Для актуализации данных о состоянии многолетнемерзлых пород в Магаданской области в 2021-2023 гг. развернута региональная сеть термометрических скважин для мониторинга температуры горных пород в различных ландшафтных условиях. Всего к настоящему моменту пробурены 14 скважин глубиной от 5 до 30 м. Получены данные о среднегодовой температуре пород, глубине сезонного оттаивания/промерзания, а также глубине нулевых годовых амплитуд. В 2024-2025 гг. планируется расширить сеть до 22 скважин. В 2021-2022 гг. проект реализовывался за счет средств Санкт-Петербургского государственного университета, в 2023-2025 гг. – за счет средств Российского научного фонда и Правительства Магаданской области.

Ключевые слова: *многолетнемерзлые породы, региональная сеть мониторинга, термометрические скважины, ландшафты, Магаданская область*

Одним из стратегически важных регионов в зоне распространения многолетнемерзлых пород (ММП) является Магаданская область (МО), является лидером по добыче россыпного золота и масштабам прогнозных ресурсов коренного золота. В настоящее время в МО наращиваются объемы добычи драгоценных металлов. Освоение природных ресурсов влечёт за собой масштабное развитие энергетической, транспортной и социальной инфраструктуры.

Для оценки состояния и динамики ММП, а также построения прогнозов и оценки геокриологических рисков, главной характеристикой является температура пород. Наиболее востребованный метод для прогнозирования изменения криолитозоны – установка режимных наблюдений на термометрических скважинах. Тем не менее, для регионов криолитозоны России фоновая сеть наблюдений за температурой пород очень разряжена [Melnikov et al., 2022], ряды данных имеют разную продолжительность, а государственная сеть геокриологического мониторинга находится в стадии организации [Веркулич и др., 2021]. Насколько это известно из открытых источников, в рамках развития государственной геокриологической сети мониторинга мерзлоты к 2025 г. в Магаданской области планируется оборудовать три термометрические скважины глубиной до 25 м в пределах метеорологических станций, расположенных в населенных пунктах. Для территории с площадью более 400 000 км² такое количество скважин недостаточно.

В 2021 г. начат проект по организации региональной сети мониторинга ММП Магаданской области. В 2021-2022 гг. были пробурены и оборудованы девять скважин глубиной 5-15 м, в 2023 г. – еще четыре скважины глубиной 30 м и одна скважина 15 м. Данные о скважинах представлены в табл. 1. Схема расположения скважин представлена на рис. 1.

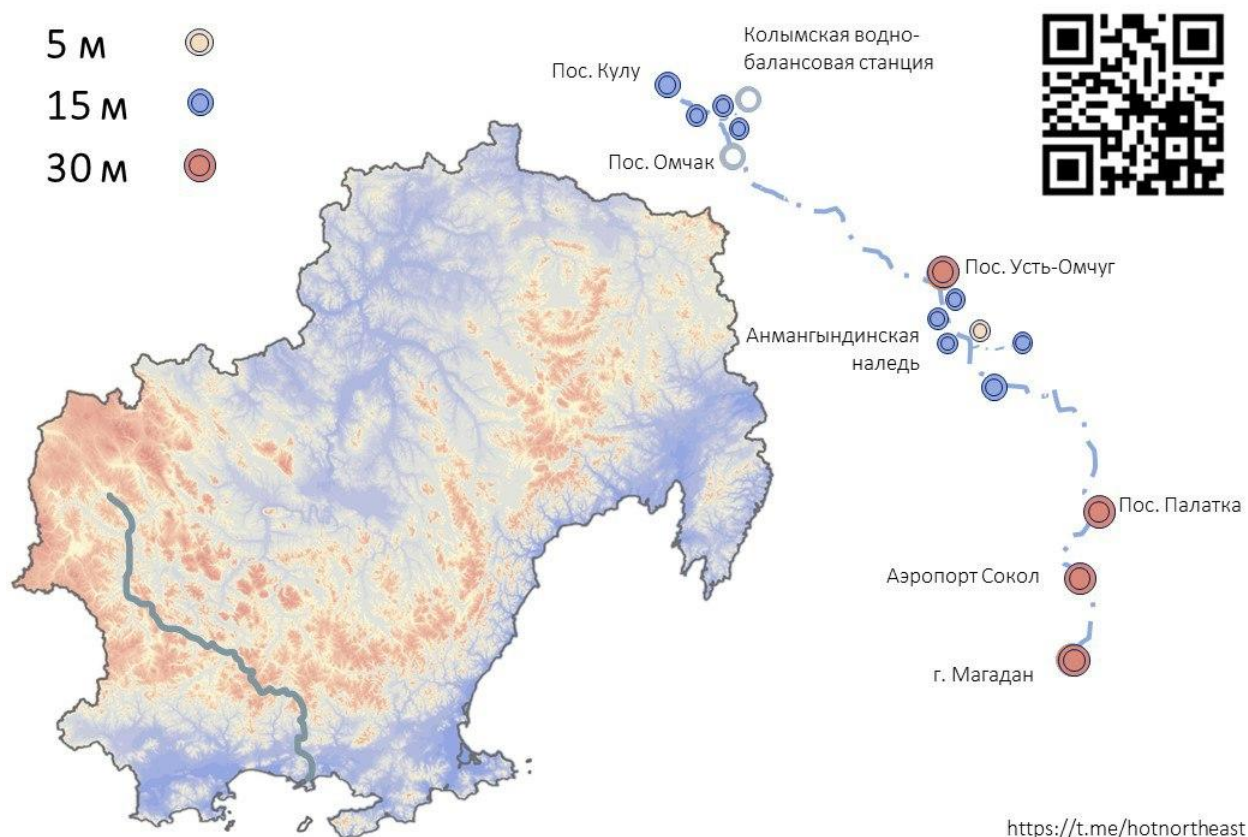


Рис. 1. Региональная геокриологическая сеть мониторинга Магаданской области, 2021–2023 гг.

Все скважины обсажены пластиковой трубой с внешним диаметром 32 или 40 мм, с внешней стороны засыпаны грунтом, а сверху изолированы от проникновения атмосферного воздуха и влаги. Для круглогодичного мониторинга температуры пород используется оборудование производства компании «Импеданс» (г. Москва) с автоматической записью данных раз в 4 часа. Коса термометрическая оснащена 15 или 38 датчиками для скважин, глубиной 5 и 15 м соответственно. Стандартная схема расположения датчиков выглядит следующим образом: от поверхности земли до глубины 0.5 м датчики расположены через 0.1 м (5 шт.), в интервале от 0.5 до 1.5 м через 0.25 м (4 шт.), от 1.5 до 5 (15) м через 0.5 м (4 или 27 шт.), дополнительный датчик установлен на глубине 4.75 (14.75) м. Рабочий диапазон температур составляет от -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$. Точность измерений составляет 0.1°C в диапазоне от -3°C до $+3^{\circ}\text{C}$, 0.2°C в диапазонах от -10°C до -3°C и от $+3^{\circ}\text{C}$ до $+10^{\circ}\text{C}$; 0.3°C в диапазонах от -40°C до -10°C и от $+10^{\circ}\text{C}$ до $+85^{\circ}\text{C}$.

Данные, полученные по термометрическим скважинам, пробуренным в 2021–2022 гг., позволяют оценить характеристики многолетнемерзлых пород, включая среднегодовую температуру грунта (T_m), глубину (ξ) и скорость сезонного оттаивания/промерзания, а также глубину нулевых годовых амплитуд (H_0). Критерием оценки H_0 является постоянство среднемесячной температуры с допустимой погрешностью ($\pm 0.3^{\circ}\text{C}$). Глубина сезонного оттаивания ξ определяется исходя из максимальной толщины слоя грунта при положительных температурах, T_{ξ} — средняя температура активного слоя. Глубина сезонного промерзания оценивается по слою с отрицательными температурами в конце периода промерзания. Среднегодовая температура грунта T_m соответствует температуре на глубине нулевых годовых амплитуд H_0 . В табл. 2 представлены результаты предварительного анализа данных за 2021–2022 гг.

Табл. 1. Описание природных условий оборудованных термометрических скважин

№	Название	Глубина, м	Высота, м	Год бурения
1	Сопка	15	1027	2021
2	ГП-2	15	712	2021
3	Наледь	13.1	744	2021
4	Солонцовый	5	803	2021
5	Делянكير	15	801	2021
6	Перевал Кулу	15	1170	2022
7	Поселок Кулу	15	618	2022
8	Гольцы	15	1182	2022
9	«Верхний»	15	961	2022
10	Бускэчен	15	978	2022
11	Магадан	30		2023
12	Сокол	30		2023
13	Палатка	30		2023
14	Усть-Омчуг 1	30		2023
15	Усть-Омчуг 2	15		2023

Табл. 2. Характеристики пробуренных скважин, 2021-2022 гг.

Скважина	Высота, м	Т _{ср} , °С	ξ, м	Н ₀ , м	Начало – окончание			
					оттаивания	промерзания		
Гольцы	1182	-3.8	1.9	н/д	н/д	IX	IX	X
Перевал Кулу	1170	-2.4	1.3	н/д	н/д	IX	IX	X
Сопка	1027	-3.2	1.3	13	VI	IX	IX	IX
Бускэчен	978	-0.6	1.6	н/д	н/д	IX	IX	н/д
«Верхний»	961	-0.6	2.6	н/д	н/д	IX	IX	X
Солонцовый	803	1.5	2.6	н/д	VI	VIII	X	V
Наледь	744	-0.1	3.6	—	VI	VIII	X	—
ГП2	712	-1.8	0.9	11.5	V	IX	X	X
Поселок Кулу	618	-2.5	1.7	н/д	н/д	IX	IX	X

н/д – данные не доступны

По данным девяти термометрических скважин, расположенных в характерных ландшафтах горной криолитозоны Магаданской области в диапазоне высот от 618 до 1182 м, получены новые данные о среднегодовой температуре пород, глубине сезонного оттаивания/промерзания, а также глубине нулевых годовых амплитуд. В 2021-2022 гг. среднегодовая температура пород в различных типах местности составила величины от +1.5 до -3.8 °С, глубина сезонного оттаивания – от 0.9 до 2.6 м, глубина нулевых годовых амплитуд отмечена на 11.5 и 13 м в двух скважинах. На двух скважинах, расположенных в зоне талика, глубина промерзания зафиксирована на 2.6 и 3.6 м.

Температурный режим пород в пределах одного района существенно отличается в различных ландшафтах. Это доказывает необходимость натурных наблюдений для данного региона, практически не обеспеченного такими данными. Прослеживается закономерность в изменении геоэкологических характеристик с высотой, которая может значительно нарушаться влиянием таких факторов как режим снегонакопления и растительный покров.

Полученные характеристики ММП могут быть использованы на других объектах со схожими условиями, например, при изысканиях. Глубина нулевых годовых амплитуд показывает необходимость бурения термометрических скважин более 12 м. Несмотря на изменения климата общепризнанная глубина в 15 м является оптимальной, но для получения температурного градиента ее недостаточно.

Дальнейшие режимные наблюдения и развитие сети позволят проследить динамику, выявить тренды изменения температурного режима, а также дадут возможность делать прогноз изменения криолитозоны района исследований.

Скважины пробурены и оборудованы в 2021-2022 гг. в рамках проекта НИР Санкт-Петербургского государственного университета № 94034170, в 2023 г. – 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».

ЛИТЕРАТУРА

Melnikov V.P., Osipov V.I., Brouchkov A.V., Falaleeva A.A., Badina S.V., Zheleznyak M.N. et al. Climate warming and permafrost thaw in the Russian Arctic: Potential economic impacts on public infrastructure by 2050 // *Natural Hazards*. 2022. Vol. 112. №. 1. P. 231-251. doi: 10.1007/s11069-021-05179-6

Веркулич С.Р., Демидов Н.Э., Анисимов М.А. Разработка проекта организации мониторинга многолетнемерзлых грунтов высокоширотной Арктики на базе наблюдательной сети Росгидромета // *Российские полярные исследования*. 2021. Т. 43. №1. С. 23-27.

REGIONAL PERMAFROST MONITORING NETWORK IN THE MAGADAN REGION

Makarieva O.M.^{1,2}, Zemlianskova A.A.^{1,2}, Abramov D.A.³, Ostashov A.A.⁴, Nesterova N.V.⁴

¹North-Eastern State University, Magadan, Russia

²St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

⁴State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

To update data on the state of permafrost in the Magadan region in 2021-2023 a regional network of thermometric wells has been deployed to monitor the temperature of rocks in various landscape conditions. In total, 14 wells with depths from 5 to 30 m have been drilled to date. Data on the average annual temperature of rocks, the depth of seasonal thawing/freezing, as well as the depth of zero annual amplitudes have been obtained. In 2024-2025 it is planned to expand the network to 22 wells. In 2021-2022 the project was implemented at the expense of St. Petersburg State University, in 2023-2025 – at the expense of the Russian Science Foundation and the Government of the Magadan Region.

Keywords: *permafrost, regional monitoring network, thermometric wells, landscapes, Magadan region*

REFERENCES

Melnikov V.P., Osipov V.I., Brouchkov A.V., Falaleeva A.A., Badina S.V., Zheleznyak M.N. et al. Climate warming and permafrost thaw in the Russian Arctic: Potential economic impacts on public infrastructure by 2050 // *Natural Hazards*. 2022. Vol. 112. №. 1. P. 231-251. doi: 10.1007/s11069-021-05179-6

Verkulich S.R., Demidov N.E., Anisimov M.A. Development of a project for organizing monitoring of permafrost soils in the high-latitude Arctic based on the observation network of Roshydromet // *Russian Polar Research*. 2021. Vol. 43. No. 1. pp. 23-27.