СЕКЦИЯ СТРОЕНИЕ И ДИНАМИКА МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-450-456

ГЕОТЕМПЕРАТУРНЫЙ МОНИТОРИНГ КРИОЛИТОЗОНЫ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ 2021-2024 ГГ.

✉ *Абрамов Д.А.[1], Макарьева О.М.[2,3], Землянскова А.А.[2,3], Осташов А.А.[4], Нестерова Н.В.[4]*

[1] МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
[2] Северо-Восточный государственный университет, Магадан, Россия
[3] СПбГУ, Институт наук о Земле, Санкт-Петербург, Россия
[4] Государственный гидрологический институт, Санкт-Петербург, Россия
✉ *abramovda@my.msu.ru*

В 2021-2024 гг. в целях актуализации данных о состоянии многолетнемерзлых пород в Магаданской области развернута региональная сеть термометрических скважин для мониторинга температуры горных пород в различных ландшафтных условиях. Всего к настоящему моменту пробурены 23 скважины глубиной от 5 до 30 м.

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

В связи с развитием инфраструктуры в северных регионах страны и современным изменением климата актуальной задачей становится мониторинг температуры многолетнемерзлых пород (ММП). Отмечается недостаток знаний о трансформации толщ ММП под воздействием естественных и антропогенных изменений природно-климатических условий [*Melnikov et al., 2022*], который проявляется в увеличении экологического и экономического ущерба в криолитозоне.

Магаданская область (МО) является зоной повсеместного распространения ММП, за состоянием которых были организованы наблюдения на метеорологических станциях и охватывали большую часть области. В 90-е годы прошлого века сеть была сокращена до двух пунктов, а глубина наблюдений до 3,2 м, что недостаточно для территории площадью более 450 тыс. км^2. По этой причине необходимо возобновить и поддерживать сеть фонового геокриологического мониторинга [*Сергеев и др., 2016*], на основании которой возможно осуществлять качественный мерзлотный прогноз, необходимый при проектировании сооружений в зоне ММП.

В настоящее время в соответствии с поручением президента РФ Пр-1971 от 16.10.2021 организуется государственная система мониторинга состояния многолетней мерзлоты. В рамках данной программы предполагается создание не более 5 пунктов наблюдения в Магаданской области. Программа в регионе будет реализована не раньше 2025 г. Помимо этого, в вышеуказанной программе обустройство пунктов наблюдения предполагается вблизи существующих метеостанций. Практически все станции находятся в долинах рек, что не репрезентативно для горной части региона, где наблюдается разнообразие климатических условий

В связи с этим, в 2021 г. начат проект по организации региональной сети мониторинга ММП Магаданской области. Схема расположения скважин представлена на рис. 1., а характеристики в табл. 1.

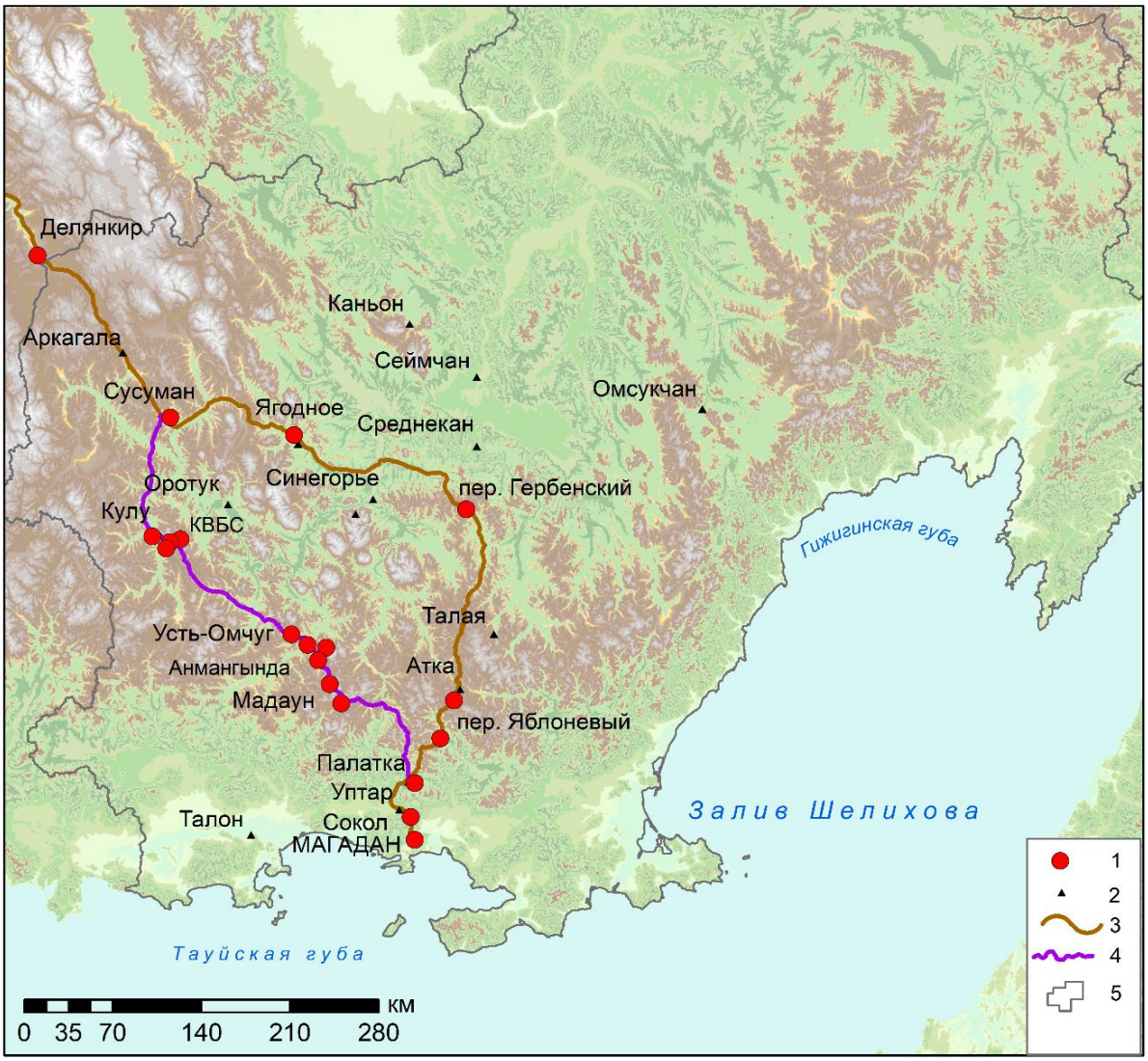

Рис. 1. Региональная геокриологическая сеть мониторинга Магаданской области 2021-2024 гг. (1 – скважины авторов, 2 – метеостанции Росгидромет, 3 – трасса «Колыма», 4 – Тенькинская трасса, 5 – граница Магаданской области)

Для измерения температуры пород используются термокосы ООО «Импеданс» (Москва) длиной от 5 до 30 метров, оборудованные герметичными датчиками температуры, а также температурные датчики американской компании «HOBO» – TMCx-HD. Логгеры, подключаемые к вышеуказанным датчикам, обеспечивают автономность работы до 10 лет.

Для наблюдения за метеопараметрами, такими как температура воздуха, количество осадков, скорость и направление ветра, используется оборудование Hobo Onset RG3-M и KESTREL 5000. Приборы устанавливаются вблизи скважин с целью учета микроклимата местности, на высоте 1,5-2,0 м, смотрящими на север во избежание нагрева на солнце.

Снегомерные посты представляют собой фотоловушку со снегомерной рейкой, установленной в репрезентативной для местности точке. Фотографии делаются каждые сутки и в последующем по ним снимается высота снежного покрова, необходимая для интерпретации данных о температуре пород. Также зимой проводятся заверочные измерения высоты и плотности снежного покрова снегомером. Подробное расположение датчиков представлено в статье авторов [*Макарьева и др., 2024*].

Таблица 1. Характеристики оборудованных скважин, 2021-2024 гг.

№	Название	Широта, град	Высота, м	Тип местности	Растительность	Глубина скважины, м	Среднегодовая температура	Глубина оттаивания/промерзания, м
1	Гольцы	61,8	1182	Горно-привершинный	Отсутствует	15	-3,8	1,9
2	Сопка	60,8	1027		Лишайниковый напочвенный покров с редкими лиственницами и кедровым	15	-3,2	1,3
3	пер. Кулу	61,8	1170		Лишайниковый напочвенный покров с редкими лиственницами и кедровым	15	-2,4	1,3
4	Вертолет	59,6	162		Лиственничное редколесье с кедровым стлаником	30	3	2,5
5	пер. Гербенский	62,0	913		Кедровый стланик с рединами ягеля	15	-2,9	1,8
6	пер. Яблоновый	60,6	930		Лиственничное редколесье с кедровым стлаником	15	-1,3	1,9
7	Ягодное	62,5	567		Кедровый стланик	15	-1,3	4,5
8	пер. Гусакова	60,4	989		Единичные лиственницы с кедровым стлаником	15	-3,8	3
9	Елки	60,8	1121		Единичные лиственницы без напочвенного покрова	15	-4,9	-4,9
10	ГП2	60,9	712	Горно-долинный террасовый	Травянисто-осоковый покров с единчиными угнетенными	15	-1,8	0,9
11	Делянкир	63,8	801		Лиственничное редколесье с кедровым стлаником	15	-6,9	-
12	пос. Кулу	61,9	618		Луговая растительность с ивами	15	-2,7	1,7
13	Сокол	59,9	175		Лиственничный лес с кедровым стлаником	30	1,9	2
14	CALM УО	61,1	600		Лиственничное редколесье со сфагнумом	15	-3,6	1
15	Сусуман	62,8	669		Спорадически распространенный сфагнум с травянистой растительностью	5	-4,1	0,8
16	Эликчан	60,8	794		Сфагновая марь	5	-2	0,4
17	Солонцовый	60,9	803	Горно-долинный прирусловой	Лиственницы с кедровым стлаником	5	0,6	2,6
18	Наледь	60,9	744		Отсутствует	13	-0,2	3,6
19	Букэсчен	60,7	978		Лиственничный лес с кедровым стлаником	15	-0,6	1,6
20	Верхний	61,8	961		Лиственничный лес с кедровым стлаником и рединами ягеля	15	-0,6	2,6
21	Палатка	60,1	346		Лиственничный лес с кедровым стлаником	30	-0,4	3
22	Школа УО	61,1	580		Тополя, чозении	30	3,4	2,1
23	Бурганда	60,6	670		Лиственничный лес с кедровым стлаником	6	1,9	-

На данный момент обустроено 23 термометрические скважины для наблюдения за многолетней мерзлотой. Скважины находятся на значительном расстоянии друг от друга, в различных ландшафтах. Для анализа региональных особенностей с геокриологической точки зрения было выделено 3 основных типа местности:

1) Горно-привершинный. Горные склоны и вершины хребтов, зачастую лишенные растительности и находящиеся на высоких абсолютных отметках;

2) Горно-долинный прирусловой. Прирусловые части долин рек, где широко влияние грунтовых и поверхностных вод в формировании температурного режима, обычно поймы;

3) Горно-долинный террасовый. Долины, занятые аллювиальными и флювиогляциальными террасами, лишенные постоянных водотоков, зачастую заболоченные.

Большая разница в широте и высоте местности позволяет выявить некоторые особенности высотной поясности и широтной зональности геокриологических

характеристик в регионе (рис. 2, 3). Так, например, для 12 скважин, оборудованных в относительной близости к пос. Усть-Омчуг и пос. Кулу, можно выявить, что наиболее низкая температура пород достигается на вершинах гор, на высоте 1000-1200 м, а также в долинах – на высоте 600-700 м. Такое распределение является результатом инверсионного климата региона, когда холодный воздух с вершин гор спускается в долины. Скважины в интервале 700-1000 м оборудованы в прирусловых ландшафтах, из-за чего сравнивать их с данными других скважин не представляется возможным. По данным Геокриологии СССР [*Замолотчикова, Зуев, 1989*] потолок инверсии (интервал высоты, где отсутствует градиент изменения температуры пород) для данного региона находится на высоте 1100-1300 м [*Makarieva et al., 2024*]. В нашей выборке такого интервала не имеется.

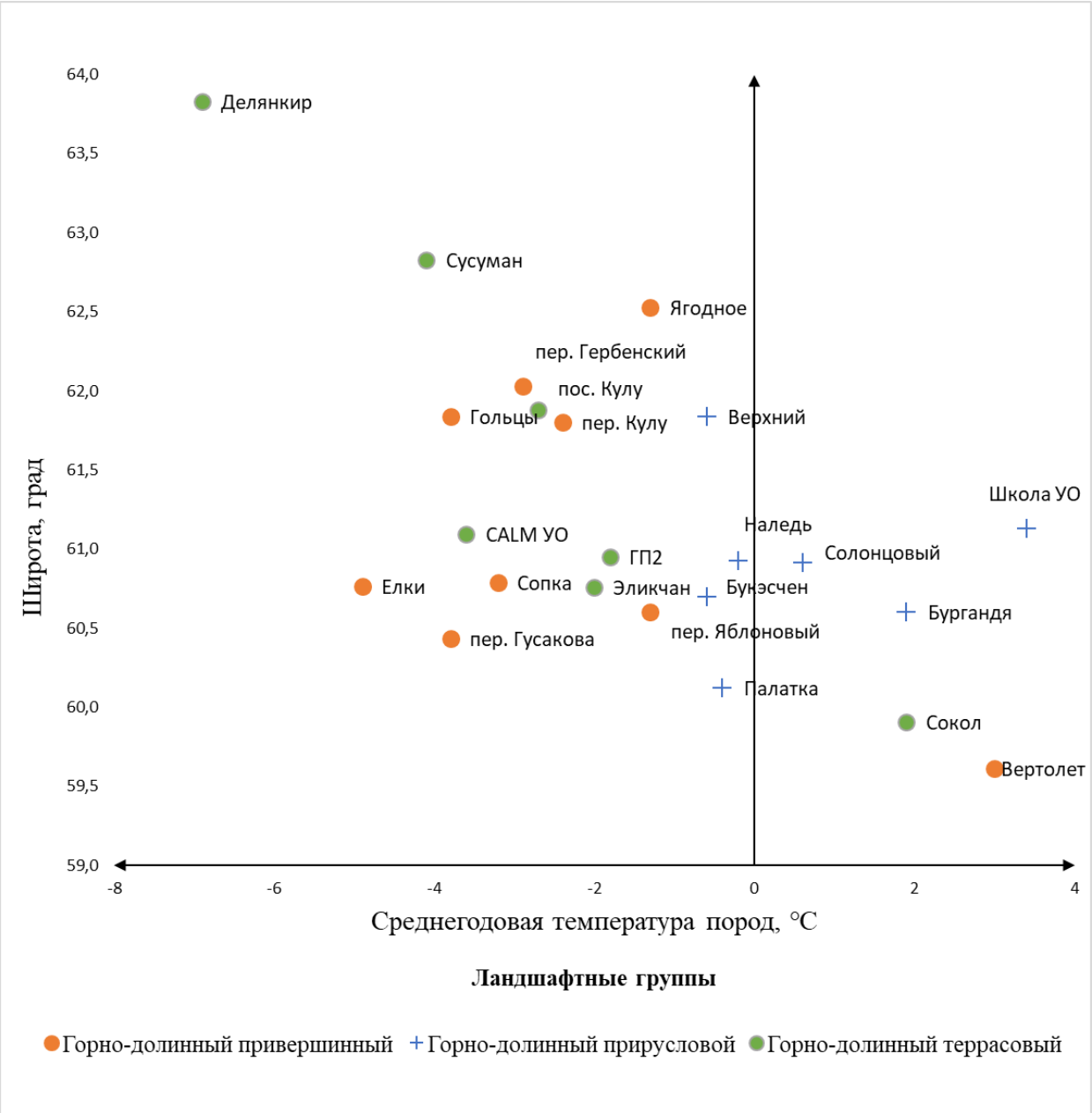

Рис. 2. Изменение среднегодовой температуры пород с широтой в регионе по данным термометрии

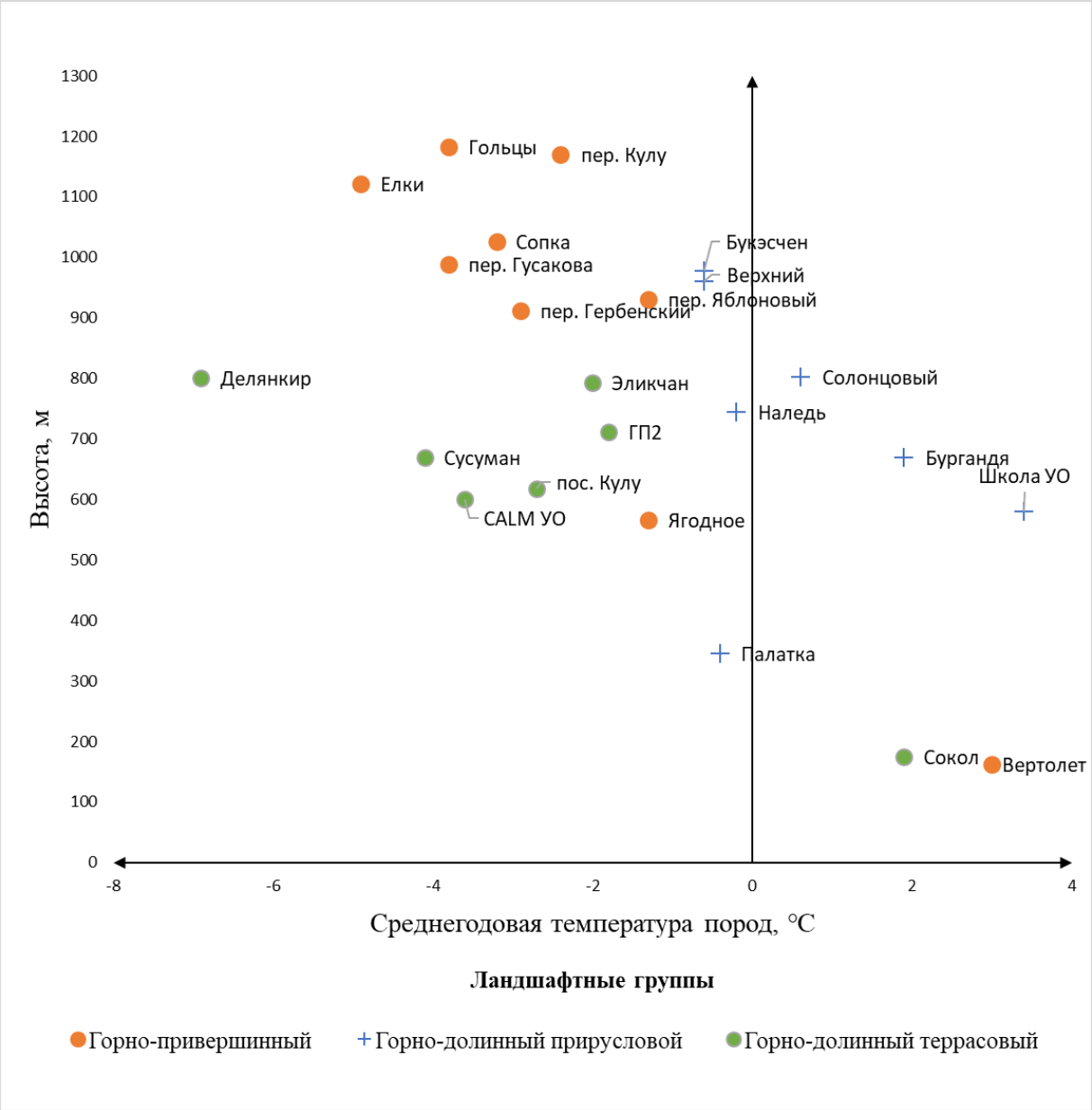

Рис. 3. Изменение среднегодовой температуры пород с высотой в регионе по данным термометрии

В то же время уже сейчас прослеживается понижение температуры пород с юга на север для всех типов местности. Например, для надпойменных террас (скважины «Сокол», «ГП2», «CALM УО», «Поселок Кулу», «Делянкир») градиент изменения температуры пород составляет приблизительно 1°С/1°с.ш. Для других ландшафтов недостаточно данных для подобного анализа.

Скважины водосбора р. Анмангында оборудованы в 2021 году и имеют непрерывные трехлетние данные измерений. Так, на примере скв. «Сопка» и «ГП2» хорошо прослеживается различие между высокогорным типом местности и долинно-террасовым. Зимняя температура пород на глубине 1 м на скв. «Сопка» повышается, тогда как на «ГП2» зимняя температура на той же глубине то понижается, то повышается. При этом вышеуказанные факты не влияют на глубину сезонного оттаивания, которая на «ГП2» увеличилась с 0.9 м в 2022 г. до 1.2 м в 2023 г., на скв. «Сопке» – осталась неизменной 1.3 м.

По данным скважин «Сопка» и «ГП2» выявлены изменения температурного режима за 3 года наблюдений. Так, на скв. «ГП2» увеличилась глубина сезонного оттаивания, а на

скв. «Сопка» повысилась зимняя температура пород. Необходимы дальнейшие наблюдения для подкрепления выводов.

Таким образом, температурный режим в пределах одного района существенно отличается в различных типах местности. Это доказывает необходимость натурных наблюдений для данного региона, практически не обеспеченного актуальными данными о геокриологических условиях.

Финансирование. Скважины пробурены и оборудованы в 2021-2022 гг. в рамках проекта НИР Санкт-Петербургского государственного университета № 94034170, в 2023-2024 гг. – 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

Замолотчикова С.А., Зуев И.А. Юкагиро-Анюйский и Колымский регионы. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток. М.: Недра, 1989, с. 293–309.

Макарьева О.М., Абрамов Д.А., Землянскова А.А., Осташов А.А., Нестерова Н.В. Температура многолетнемерзлых пород Верхнеколымского нагорья по данным термометрических скважин за 2021–2022 годы // Криосфера Земли. 2024. Т. 28. № 3. С. 19-33. doi: 10.15372/KZ20240302

Сергеев Д.О., Станиловская Ю.В., Перльштейн Г.З., Романовский В.Е., Безделова А.П., Алексютина Д.М., Болотюк М.М., Хименков А.Н., Капралова В.Н., Мотенко Р.Г., Малеева А.Н. Фоновый геокриологический мониторинг в северном Забайкалье // Криосфера Земли. 2016. Т. XX. № 3. С. 24–32. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2016-3(24-32)

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

Makarieva O., Zemlianskova, A., Abramov D., Nesterova N., Ostashov A. Geocryological Conditions of Small Mountain Catchment in the Upper Kolyma Highland (Northeastern Asia) // Geosciences. 2024. Vol. 14, 88. doi: 10.3390/geosciences14040088

REGIONAL PERMAFROST MONITORING NETWORK IN THE MAGADAN REGION

Abramov D.A.[1], Makarieva O.M[2,3], Zemlianskova A.A.[2,3], Ostashov A.A.[4], Nesterova N.V.[4]

[1]Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
[2] North-Eastern State University, Magadan, Russia
[3] St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences. St. Petersburg, Russia
[4] State 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, 23 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.

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

REFERENCES:

Zamolotchikova S.A., Zuev I.A. Yukagiro-Anuyskii i Kolymskii regioni. Geocrilogiya SSSR. Vostochnaya Sibir i Dalnii vostok. Moscow.: Nedra, 1989, p. 293–309. (in Russian)

Makarieva O.M., Abramov D.A., Zemlyanskova A.A., Ostashov A.A., Nesterova N.V. Ground temperature regime of the mountain permafrost of the Magadan region in the current conditions // Earth`s Cryosphere. 2024. Vol. 28. №3. P. 19-33. doi: 10.15372/KZ20240302

Sergeev D.O., Stanilovskaya J.V., Perlshtein G.Z., Romanovsky V.E., Bezdelova A.P., Alexutina D.M., Bolotyuk M.M., Khimenkov A.N., Kapralova V.N., Motenko R.G., Maleeva A.N. Background geocryological monitoring in Northern Transbaikalia region // Earth`s Cryosphere. 2016. Vol. 20. №3. P. 24-32. doi: 10.21782/KZ1560-7496-2016-3(24-32)

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

Makarieva O., Zemlianskova, A., Abramov D., Nesterova N., Ostashov A. Geocryological Conditions of Small Mountain Catchment in the Upper Kolyma Highland (Northeastern Asia) // Geosciences. 2024. Vol. 14, 88. doi: 10.3390/geosciences14040088