

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ПЛОЩАДКЕ CALM R53

Александр Николаевич Шеин

Научный центр изучения Арктики, 629008, Россия, Тюменская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, г. Салехард, ул. Республики, д. 20, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр-т Ак. Коптюга, 3, старший научный сотрудник, Забайкальский государственный университет, 672039, Россия, Забайкальский край, г. Чита, ул.Александрово-Заводская, д.30, доцент, e-mail: A.N.Shein@yandex.ru

Ярослав Константинович Камнев

Научный центр изучения Арктики, 629008, Россия, Тюменская область, Ямало-Ненецкий автономный округ, г. Салехард, ул. Республики, д. 20, кандидат физико-математических наук, заведующий сектором криосферы, e-mail: KamnevYK@gmail.com

В работе приводятся геофизические исследования на площадке циркумполярного мониторинга деятельного слоя CALM R53, где с 2016 года проводятся стандартные измерения мерзлотным шупом, электротомография (ЭТ) и георадиолокация (ГРЛ). Проведена оценка возможностей ГРЛ и метода ЭТ в представленных на площадке ландшафтных условиях.

Ключевые слова: CALM, сезонно-талый слой, электротомография, георадиолокация

GEOPHYSICAL SURVEYS AT THE CALM R53 SITE

Alexandr N. Shein

Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District, 20 Respubliki st., Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Tyumen region, 629008, Russia, PhD, Research Scientist; Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Akademika Koptuyuga Ave., Novosibirsk, 630090, Russia, PhD, Researcher; Transbaikal State University, 30 Aleksandro-Zavodskaya st., Chita, 672039, Russia, associate professor, e-mail: A.N.Shein@yandex.ru

Yaroslav K. Kamnev

Arctic Research Center of the Yamal-Nenets Autonomous District, 20 Respubliki st., Salekhard, Yamal-Nenets Autonomous District, Tyumen region, 629008, Russia, PhD, Head of sector of cryosphere, e-mail: KamnevYK@gmail.com

The paper presents geophysical surveys at the CALM R53 site, where since 2016 standard measurements with a permafrost rod, electrical resistivity tomography and ground-penetrating measurements have been carried out. The assessment of the capabilities of geo-radar and the ET method in the landscape conditions presented at the site was carried out.

Keywords: CALM, active layer, electrical resistivity tomography, ground-penetrating radar

Введение

В последнее время криолитозоне уделяют всё больше внимание, что связано с несколькими причинами. Основная из них – это слабая устойчивость многолетнемерзлых пород (ММП) к изменениям климата. Деграляция ММП, оказывает

влияние на естественные ландшафты, вызывая заболачивание территории, приводит к повреждениям инфраструктуры районов крайнего севера. Таким образом мониторинг за эволюцией криолитозоны является важной научной задачей.

Программа циркумполярного мониторинга деятельного или сезонно-талого слоя (СТС) (Circumpolar Activelayer Monitoring, CALM) CALM направлена на сбор и систематизацию информации о реальных изменениях криолитозоны различных ландшафтных условиях [1; 2]. За стандартную принята площадка 100 на 100 м (рис. 1) с максимальным единообразием ландшафтных условий.

В 2016 году сотрудниками Научного центра изучения Арктики (г. Салехард) совместно с МГУ была заложена площадка для мониторинга вблизи п. Харп [3]. На ней ежегодно проводится мониторинг: стандартные измерения мерзлотным щупом и геофизические измерения (георадар, электротомография).

Площадка CALM R53 расположена вблизи п. Харп. Верхняя часть разреза сложена глинами, суглинками и мелким обломочным материалом (гравий). Такое строение осложняет исследование как стандартной методикой – мерзлотным щупом (галька препятствует прохождению), так и геофизическими методами (сигнал георадар быстро затухает). Поэтому комплексирование различных подходов при изучении СТС в таких условиях крайне необходимо.

Методика измерений методом георадиолокации

В соответствии со стандартами международной программы CALM наблюдения за глубиной протаивания на площадке размерами 100 м×100 м проводятся мерзлотным щупом с шагом измерений через 10 м [Brown et al., 2000]. Суммарно сетка наблюдений содержит 121 точку (рис. 1). Именно по этой сетке проводились геофизические измерения.

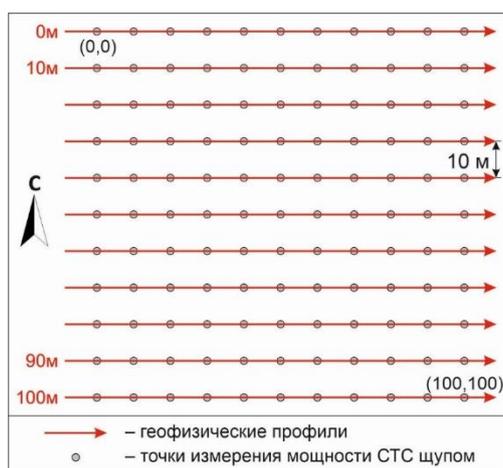


Рис. 1 Схемы фактического материала на площадке CALM R53

Исследования методом ГРЛ выполнялось по сети профилей (через каждые 10 м) по направлению восток-запад. Используемая аппаратура: георадарный комплекс «ОКО-2». Используемая в работа антенна с центральной частотой

400 МГц обладает глубиной от 1 м до 5 м, в зависимости от проводимости и степени поглощения подстилающей среды.

Перед началом измерений выставлялись следующие настройки прибора: длительность временной развёртки – 100 нс, накопление – 16, диэлектрическая проницаемость среды – 12. Настройки выставлялись в соответствии с рекомендациями [4]. Перемещение прибора осуществлялось волоком. Пройденное расстояние фиксировалось с помощью мерного колеса.

Методика измерений методом электротомографии

На площадке CALM измерения методом ЭТ проводились при ориентации профилей – запад-восток. Длина профилей составляла 117,5 м, а расстояние между профилями 5 м. Межэлектродное расстояние составляло 2,5 м. Использовалась стандартная установка Шлюмберже. Измерения выполнены многоэлектродной электроразведочной станцией «Скала-48» (совместная разработка ИНГГ СО РАН и ООО «КБ Электротометрии»). Результатом измерений является информация о распределении кажущегося удельного электрического сопротивления по глубине вдоль профиля измерений (геоэлектрический разрез). В результате, по всей площадке CALM, получен 21 разрез.

Измеренные профильные данные обрабатываются совместно – решается обратная двумерная задача (двумерная инверсия данных) с помощью специальных программ (например, Res2Dinv, ZondRes2D и другие).

Результаты измерений методом георадиолокации

Из полученных радарограмм видно, что чёткой картины отражения от границы талых и мёрзлых пород не наблюдается (рис. 2). Граница прослеживается лишь на некоторых участках (рис. 2, 40-55 м). Сигнал осложнён дополнительными отражениями (литологических неоднородности, кратные переотражения – 10-20 м, 55-60 м на рис. 2). Причиной этому может быть сложная литологическая обстановка, обилие глины, суглинков и возможная засоленность участка. Подобные проблемы часто возникают при исследовании СТС, где присутствуют глинистые породы или торфяники [5]. Для установления причин столь нестабильного и прерывистого сигнала необходимо проводить дополнительные исследования, в частности рекомендуется провести опытные работы в зимний период [5].

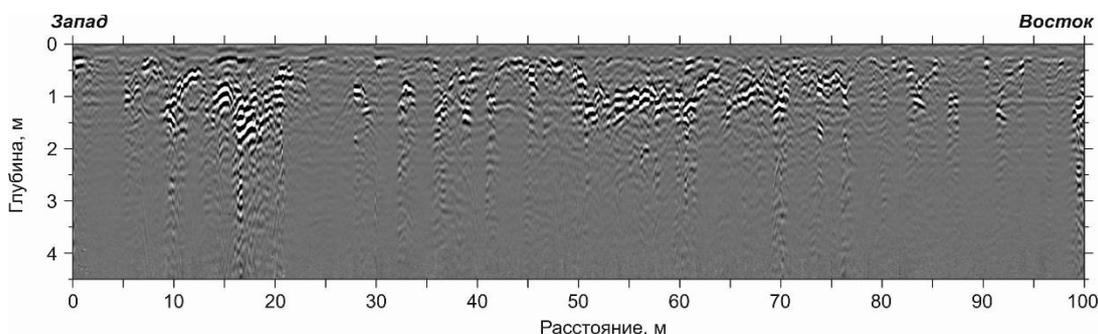


Рис. 2. Пример радарограммы, полученной на площадке CALM R53, профиль 0м

Однако георадиолокацию можно использовать, чтобы уточнять данные, полученные щупом (в тех местах, где прослеживается уверенная граница отражения). На данной площадке это необходимо ввиду наличия в разрезе гальки, которая при измерениях щупом может быть принята за границу ММП, несмотря на методику многократных повторений. В таких случаях применение георадара может помочь в определении истинной границы мерзлоты. Для этого по соседним точкам измерений нужно определить диэлектрическую проницаемость грунтов и прослеживая границу отражения, установить реальную глубину протаивания мерзлоты.

Результаты измерений методом электротомографии

В результате проведённых измерений методом ЭТ построен 21 геоэлектрических разрез, где можно проследить деятельный слой, сопротивление которого не превышает 100 Ом·м (рис. 3, оттенки красного), а его мощность коррелирует с глубинами, которые определены щупом (рис. 3, фиолетовый пунктир). Кроме того, можно проследить зоны повышенного (больше 1000 Ом·м) и умеренного сопротивления (100-800 Ом·м).

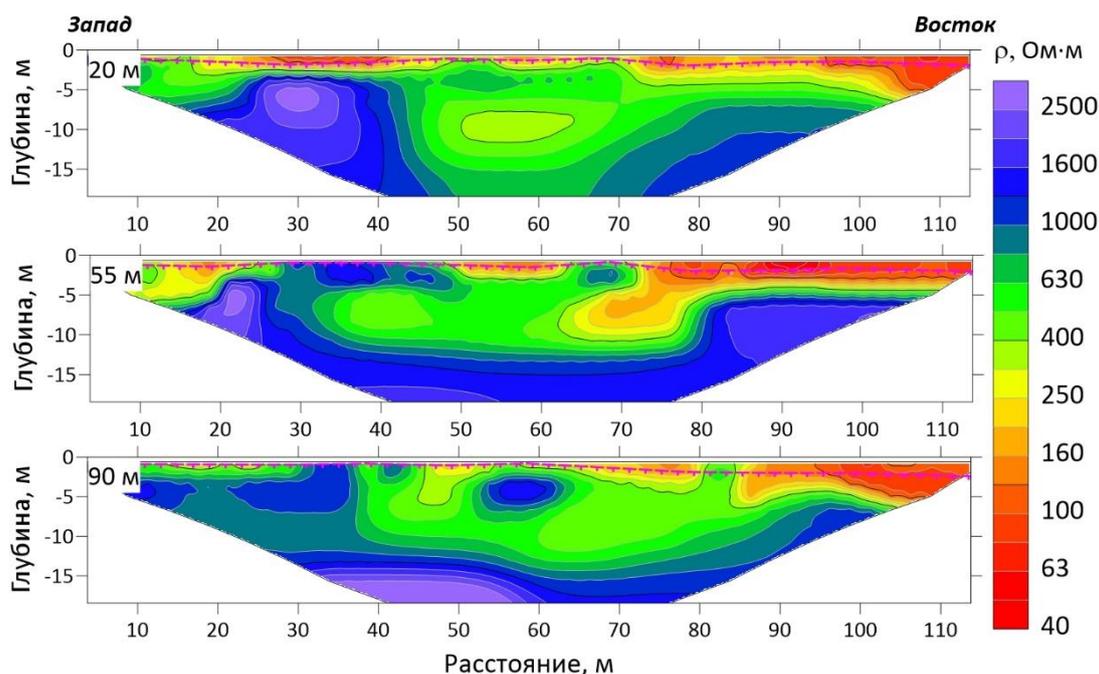


Рис. 3. Геоэлектрические разрез, полученные на площадке CALM R53 и граница СТС, измеренная щупом (фиолетовый пунктир)

На рис. 3 приводятся три разреза, где можно проследить все указанные выше особенности. Максимальная протайка, как и по результатам измерений щупом находится в восточной части площадки (рис. 3, оттенки красного): 70-117 м на всех трёх профилях. На профиле 20 м проводящий талый слой присутствует на всём протяжении разреза в отличие от двух других профилей. На разрезе 55 м

и 90 м верхний талый слой прерывается, что связано с уменьшением его мощности до размеров, меньших разрешающей способности метода ЭТ.

В центральной части разрезов на глубине 5-10 м проявляется умеренно проводящая зона с сопротивлением от 100 до 800 Ом·м (рис. 3, оттенки зелёного). Эта зона по всей видимости приурочена к глинам или частично талым породам. Кроме того, выявленная умеренно-проводящая область, может быть приурочена к разломной зоне. Остальная часть разреза сложена высокоомными многолетне-мёрзлыми породами с УЭС больше 1000 Ом·м (рис. 3, оттенки синего) – мёрзлые песчаногаличные отложения.

Несмотря на то, что на некоторых участках разрешающая способность метода ЭТ превышает глубину СТС, наблюдается корреляция мощности низкоомных пород (рис. 3, оттенки красного) и данных, полученных мерзлотным щупом (рис. 3, фиолетовая кривая). Поэтому можно предположить, что уменьшение межэлектродного расстояния позволит детализировать верхнюю часть разреза и уточнить строение СТС.

Выводы

Георадиолокация в ландшафтных и геологических условиях, представленных на площадке CALM R53 малоэффективна. Для повышения эффективности требуются дополнительные исследования, в том числе, в зимнее время.

Низкоомные области на геоэлектрических разрезах, полученных в результате измерений методом электротомографии хорошо коррелируют с данными щупа. Уменьшение межэлектродного расстояния в комплексе с георадаром и стандартной методикой (использование мерзлотного щупа) позволят повысить качество мониторинга СТС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Brown J., Hinkel K. M., Nelson F. E. The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) Program: Research designs and initial results // *Polar Geography*. – 2000. – vol. 24. – 3. – P.258
2. Klene, A.E., Nelson, F.E., Shiklomanov, N.I. The N-factor in natural landscapes: variability of air and soil-surface temperatures, Kuparuk River basin, Alaska, USA // *Arctic, Antarctic and Alpine Res.* – 2001. – 33. – P.140–148.
3. Камнев Я.К., Синицкий А.И., Гребенец В.И., Петров Б.В. Создание площадки для мониторинга глубины сезонно-талого слоя вблизи п. Харп // *Научный вестник ямало-ненецкого автономного округа*. – 2016. – № 4(93). – с. 25-28.
4. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Георадиолокационные исследования верхней части разреза. Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ. – 1999. – 90 с.
5. Sudakova M.S., Sadurtdinov M.R., Tsarev A.M., Skvortsov A.G., Malkova G.V. Ground-penetrating radar for studies of peatlands in permafrost // *Russian Geology and Geophysics*. – 2019. – I. 60. – № 7. – P. 793-800.

REFERENCES

1. Brown J., Hinkel K. M., Nelson F. E. The Circumpolar Active Layer Monitoring (CALM) Program: Research designs and initial results // *Polar Geography*. – 2000. – vol. 24. – 3. – P.258.
2. Klene, A.E., Nelson, F.E., Shiklomanov, N.I. The N-factor in natural landscapes: variability of air and soil-surface temperatures, Kuparuk River basin, Alaska, USA // *Arctic, Antarctic and Alpine Res.* – 2001. – 33. – P.140–148.

3. Kamnev YA.K., Sinickij A.I., Grebenec V.I., Petrov B.V. Sozdanie ploshchadki dlya monitoringa glubiny sezonno-talogo sloya vblizi p. Harp // Nauchnyj vestnik yamalo-neneckogo avtonomnogo okruga. – 2016. – № 4(93). – s. 25-28.

4. Vladov M.L., Starovojtov A.V. Georadiolokacionnye issledovaniya verhnej chasti razreza. Uchebnoe posobie. – M.: Izd-vo MGU. – 1999. – 90 s.

5. Sudakova M.S., Sadurtdinov M.R., Tsarev A.M., Skvortsov A.G., Malkova G.V. Ground-penetrating radar for studies of peatlands in permafrost // Russian Geology and Geophysics. – 2019. – I. 60. – № 7. – P. 793-800.

© А. Н. Шейн, Я. К. Камнев, 2021