

ИЗУЧЕНИЕ ГЛУБИНЫ СЕЗОННОГО ОТТАИВАНИЯ НА ПЛОЩАДКЕ ЦИРКУМПОЛЯРНОГО МОНИТОРИНГА ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ

Алина Владимировна Григоревская

Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, студент 1-го курса магистратуры геолого-геофизического факультета, кафедры геофизики, тел. (913)468-70-91, e-mail: grig_ali@mail.ru

Владимир Владимирович Оленченко

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, старший научный сотрудник, тел. (383)330-79-08, e-mail: olenchenkovv@yandex.ru

Александр Николаевич Шеин

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-41-22, e-mail: SheinAN@ipgg.sbras.ru

Ярослав Константинович Камнев

Государственное казенное учреждение Ямало-Ненецкого автономного округа «Научный центр изучения Арктики», 629008, Россия, Ямало-Ненецкий автономный округ, г. Салехард, ул. Республики, 73, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, тел. (34992)4-64-21, e-mail: KamnevYK@gmail.com

Представлены результаты определения глубины сезонного оттаивания на площадке циркумполярного мониторинга деятельного слоя методом георадиолокации в сравнении с данными шупового опробования. По данным площадных исследований построены карты мощности сезонно-талого слоя и проведен их анализ. Установлены латеральные изменения диэлектрической проницаемости, связанные с влажностью деятельного слоя, построена карта распределения влажности. Показана взаимосвязь глубины сезонного оттаивания с поверхностными условиями (растительностью).

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, CALM, георадар, сезонно-талый слой, влажность.

STUDYING OF DEPTH OF THE SEASONAL THAWING AT THE CIRCUMPOLAR ACTIVE LAYER MONITORING AREA

Alina V. Grigorevskaya

Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, 2 Pirogova St., First-year Student of Magistracy of Geological and Geophysical Faculty, Geophysical Department, tel. (913)468-70-91, e-mail: grig_ali@mail.ru

Vladimir V. Olenchenko

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptyug Prospect 3, Ph. D., Assistant Professor, tel. (383)330-79-08, e-mail: olenchenkovv@yandex.ru

Aleksander N. Shein

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3 Koptyug Prospect 3, Ph. D., Senior Researcher, tel. (383)330-41-22, e-mail: SheinAN@ipgg.sbras.ru

Yaroslav K. Kamnev

Arctic Research Center of the Yamal-Nenets autonomous district, 629008, Russia, Salekhard, Republica Str. 73, Ph. D., Senior Researcher, tel. (34992)4-64-21, e-mail: KamnevYK@gmail.com

The results of determining the depth of seasonal thawing at the site of the circumpolar active layer monitoring by GPR and by manual probing. The maps of the thaw depth were created and analyzed. The map of the water soil content was created by comparing GPR and manual data. The possibility of using GPR for detailing of manual probing was demonstrated.

Key words: dielectric permittivity, CALM, GPR, active layer, humidity.

В настоящее время в районах распространения многолетнемерзлых пород георадиолокация применяется для решения широкого спектра задач [4, 6]. Основными преимуществами этого метода являются оперативность, простота проведения работ и относительно невысокая стоимость аппаратуры [1]. Циркумпольярный мониторинг деятельного слоя (Circumpolar Active Layer Monitoring – CALM) может стать одной из наиболее успешных областей применения георадиолокации, поскольку из-за значительных различий в значениях диэлектрической проницаемости воды и льда (81 и 3 соответственно) на радарограммах хорошо выделяются высококонтрастные границы между талыми и мерзлыми породами, что позволяет с высокой точностью определять мощность сезонно-талого слоя (СТС) [5, 8, 9, 10]. CALM проводится с целью выявления трендов изменения мощности слоя сезонного оттаивания на фоне происходящего потепления и анализа связи этих трендов с климатическими показателями [3]. Существует стандартизированная методика определения мощности деятельного слоя с помощью металлического щупа [7]. Однако использование метода георадиолокации совместно с щуповым опробованием дает более полную информацию с места съемки, позволяющую оценивать не только мощность СТС, но и концентрацию влаги в нем. Основная цель данной работы – определение мощности и влажности СТС на площадке CALM, построение карт их распределения, сравнение и анализ.

Измерения проводились 18.08.2016 на площадке CALM стационара Парисенто, расположенной на полуострове Гыдан, координаты 70°07'N 75°35'E. По данным щупового опробования глубины сезонного оттаивания в центральной части площадки (100×100 м) было установлено значение диэлектрической проницаемости, необходимое для точного определения глубины залегания подошвы СТС. При полевых работах применялся георадар серии «Око-2» с антенной центральной частоты 250 МГц. Георадиолокационные измерения были выполнены по 21 профилю, расположенному на расстоянии 5 м друг от друга. Шаг измерений по профилю составлял 5 см. Обработка данных проводилась с помощью программы GeoScan 32. Данные щупового опробования представляют

собой гораздо более редкую сеть измерений, состоящую из 11 профилей на расстоянии 10 м друг от друга, расстояние между точками опробования – 10 м.

Сравнение георадарных данных и результатов щупового опробования показало (рис. 1), что разница установленных разными способами значений глубины сезонного оттаивания не превышает 20 см. Важно отметить, что самые большие величины расхождения данных являются закономерными (3 и более точек вдоль профиля), что указывает на изменение диэлектрической проницаемости вдоль профиля. Чтобы избавиться от этих неточностей определения глубины границы, необходимо внести изменения в значения диэлектрической проницаемости вдоль профиля. Рассмотрим это на примере профиля 10 (рис. 2), где представлены исходная радарограмма и точки щупового опробования. На интервале 70–100 м значения мощности СТС, полученные по георадарным данным, меньше мощностей по данным щупового опробования на 13–17 см. Также видна разница значений СТС в промежутке 20–50 м, однако здесь, по георадиолокационным данным, мощность деятельного слоя завышена на 7–12 см.

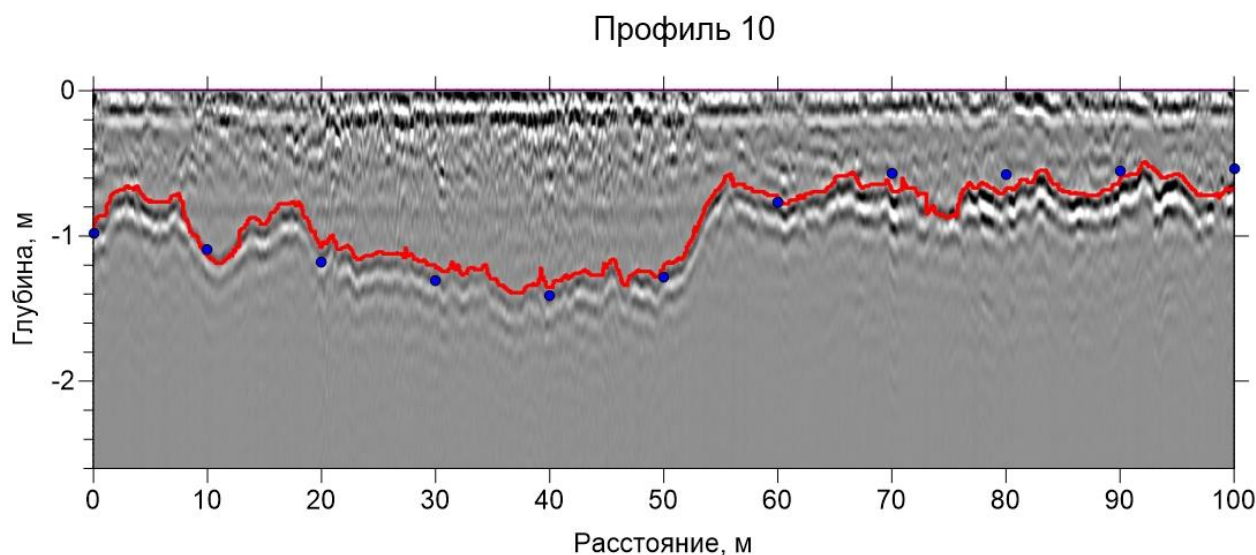


Рис. 1. Радарограмма и данные щупового опробования (синие точки)

Чтобы границы СТС совпадали, необходимо в выделенных участках изменить значения диэлектрической проницаемости. На интервале 70–100 м значение ϵ составило 26, а в промежутке 20–50 м – 17. Всего на данном профиле выделено 4 участка с разными значениями диэлектрической проницаемости (рис. 2).

Важно отметить, что в данных условиях, где в толще деятельного слоя отсутствуют резкие вертикальные границы, диэлектрическая проницаемость не будет меняться скачком вдоль профиля, так что выделенные границы являются достаточно условными, но необходимыми для отображения реального положения подошвы СТС. Одним из критериев проведения таких границ может быть волновая картина.

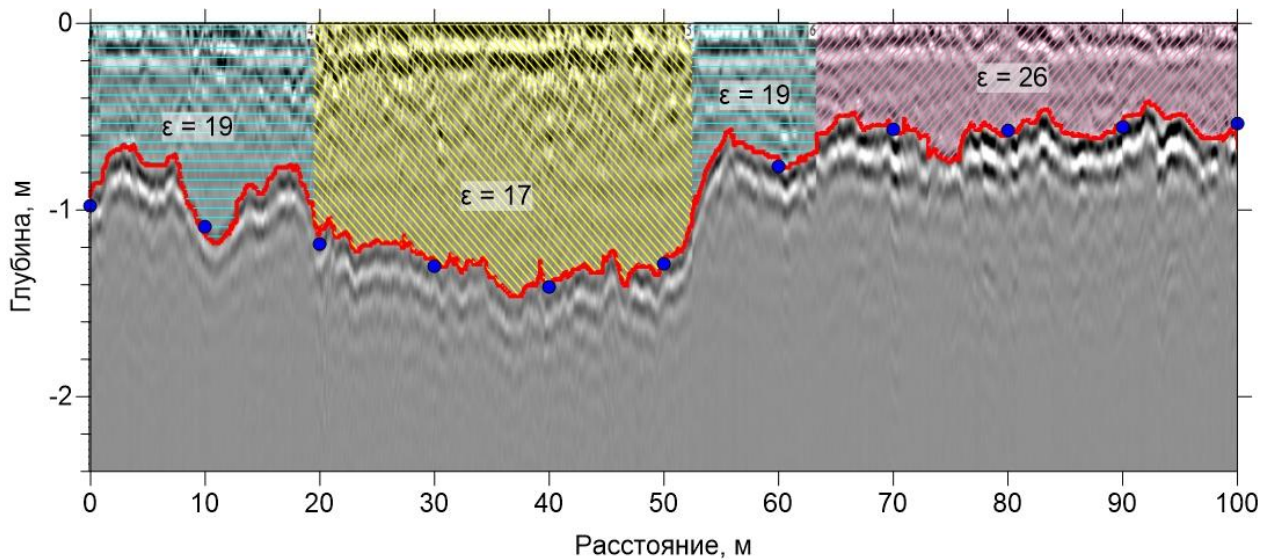


Рис. 2. Радарограмма и точки щупового опробования после корректировки диэлектрической проницаемости вдоль профиля № 10

На рис. 1 отчетливо видно, что в приповерхностной части характер волновой картины на участках 20–50 и 70–100 м значительно отличается. В промежутке 20–50 м, где наблюдаются пониженные значения диэлектрической проницаемости, в приповерхностной части импульс сигнала приповерхностной волны имеет вид «максимум-минимум-максимум», после 50 м происходит смена фазы сигнала, выражающаяся в изменении окраски радарограммы, также уменьшается и амплитуда сигнала приповерхностной волны.

По данным ГРЛ было установлено, что диэлектрическая проницаемость талых пород для данной площадки варьирует в пределах 16–26. Затем по эмпирической формуле [2] были получены значения весовой влажности и построена карта ее распределения на площадке исследования. Сравнение распределения влажности с глубиной залегания подошвы СТС по щуповому опробованию показало отсутствие прямой зависимости этих параметров. Среднее значение влажности на площадке изменяется в пределах 12–16 %. На юго-востоке площадки выделяется зона повышенной влажности (до 21 %), которой соответствуют ожидаемо малые глубины оттаивания пород (30–60 см). Однако на юго-западе тем же значениям глубины соответствуют относительно невысокие значения влажности, достигающие 8 %, т. е. на глубину оттаивания влияет не только влажность пород, но и растительный покров, разный тип которого присутствует в указанных частях площадки.

Результаты исследований показали, что для площадки CALM на стационаре Парисенто метод георадиолокации является оптимальным для мониторинга мощности СТС, поскольку верхняя часть разреза представлена породами, обеспечивающими достаточную глубину зондирования и контрастную отражающую границу от кровли мерзлоты. При комплексировании георадиолокации и щупового опробования увеличивается детальность измерений, появляется

возможность оценить не только глубину залегания подошвы деятельного слоя, но и содержание влаги в нем, что является ключевым фактором при расчетах глубины сезонного оттаивания или предсказании криосолифлюкции [1].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бричёва С.С., Крылов С.С. Георадиолокационные исследования приповерхностных многолетнемёрзлых пород на Гыданском полуострове // Инженерные изыскания. – 2014. – № 9–10. – С. 38–44.
2. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию: учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 153 с.
3. Мажитова Г.Г., Каверин Д.А. Динамика глубины сезонного протаивания и осадки поверхности почвы на площадке циркумполярного мониторинга деятельного слоя (CALM) в европейской части России // Криосфера Земли. – 2007. – Т. 11, № 4. – С. 20–30.
4. Нерадовский Л.Г. Технология изучения многолетнемёрзлых пород методом динамической георадиолокации // Труды 29-й Российской школы «Наука и технологии». – М.: Изд-во РАН, 2009. – С. 228–240.
5. Результаты экспериментальных исследований криогенного состояния горных пород методом георадиолокации в условиях открытой разработки месторождений криолитозоны / Д.В. Саввин, М.Р. Никифорова, А.В. Омеляненко, Л.Л. Федорова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 5. – С. 192–196.
6. Эффективность использования импульсной электроразведки при изучении криопэгов в нетрадиционных для геофизики условиях / Л.Г. Нерадовский, А.В. Омеляненко, Ю.А. Ним и др. // Наука и образование. – 2002. – № 3. – С. 36–41.
7. 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. 165–258.
8. Doolittle J.A., Hardisky M.A., Gross M.F. A Ground-Penetrating Radar Study of Active Layer Thicknesses in Areas of Moist Sedge and Wet Sedge Tundra near Bethel, Alaska, U.S.A. // Arctic and Alpine Research. – 1990. – Vol. 22, N 2. – P. 175–182.
9. Multi-channel ground-penetrating radar to explore spatial variations in thaw depth and moisture content in the active layer of a permafrost site / U. Wollschlager, H. Gerhards, Q. Yu, K. Roth // The Cryosphere. – 2010. – Vol. 4. – P. 269–283. doi:10.5194/tc-4-269-2010.
10. Westermann S., Wollschlager U., Boike J. Monitoring of active layer dynamics at a permafrost site on Svalbard using multi-channel ground-penetrating radar // The Cryosphere. – 2010. – Vol. 4. – P. 475–487.

© А. В. Григорьевская, В. В. Оленченко, А. Н. Шейн, Я. К. Камнев, 2017