

## Результаты обследования малококонтрастных газогидратных включений на полуострове Ямал георадаром ГРОТ 12н

Л.Б.Волкомирская<sup>1,2</sup>, В.В. Варенков<sup>1,2</sup>, О.А. Гулевич<sup>1,2</sup>, В.И. Сахтеров<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН

142190, г. Москва, г. Троицк. E-mail: [mila@izmiran.ru](mailto:mila@izmiran.ru)

<sup>2</sup> ЗАО «Таймер»

142190, г. Москва, г. Троицк, ул. Лесная 4Б.

*В работе обсуждается возможность дистанционной локализации залежей газогидратов в зоне многолетнемерзлых грунтов с помощью георадаров ГРОТ 12Н. Представлены экспериментальные данные первого георадиолокационного исследования гигантского провала грунта, обнаруженного в июле 2014 года на полуострове Ямал.*

*The paper deals with the problem of the distant location of gas hydrate deposits in the permafrost zone with a use of GROT 12H georadars. The experimental data presented were collected during the first GPR study of the giant crater found in Yamal peninsula in July 2014.*

Обнаруженная в июле 2014 года на Ямале, в 30 километрах южнее Бованенковского нефтегазоконденсатного месторождения, гигантская воронка поставила перед научной общественностью ряд вопросов. Необходимо понять природу опасного природного явления, выяснить причины и механизм его образования и, по возможности, предотвратить угрозу для человека и хозяйственной деятельности.

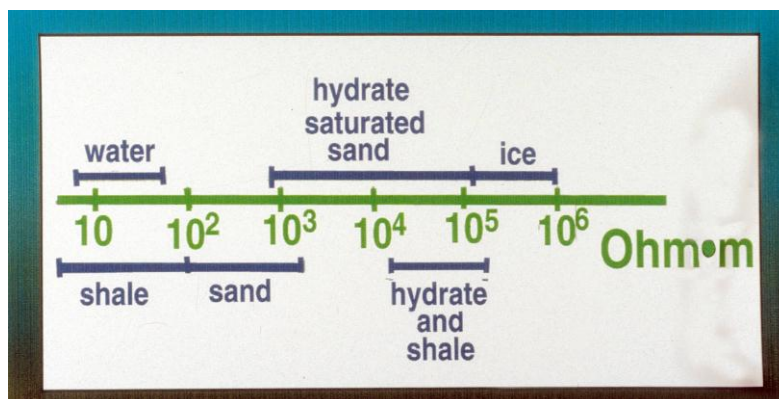
Одной из предполагаемых причин образования воронки называют подземный взрыв газа. В настоящее время работы по исследованию воронки, координируются некоммерческим партнёрством «Российский центр освоения Арктики» в г. Салехард.

Впервые метод георадиолокации был применен на таком уникальном природном объекте в ходе экспедиции в ноябре 2014 года, в составе которой был и сотрудник ЗАО «Таймер». В ходе однодневного обследования с георадарами ГРОТ 12 и ГРОТ 12Н и при поддержке своих коллег из других организаций, ему удалось получить первые георадарные данные с окрестностей воронки и её дна.

Газовые гидраты представляют собой метастабильный минерал, визуально похожий на рыхлый снег и лед, который образуется путем соединения молекул воды и газа при определенных давлениях и температурах [1,2]. В природе газовые гидраты могут формироваться в донных отложениях морей и океанов, а также в областях распространения многолетнемерзлых пород (ММП). В криолитозоне зона стабильности газогидратов начинается с глубин 200–250 м и распространяется в подмерзлотные горизонты до 800–1500 м. Гидратопроявления в толщах мерзлых пород и подмерзлотных горизонтах отмечены во многих районах севера Сибири, арктического побережья Аляски, Канады, а также на арктическом шельфе [3; 4,5]. Термодинамически благоприятные условия для образования гидратов возникают в разрезе, если мощность ММП превышает **260-300 м**, а для шельфовых арктических гидратов (в отсутствие мерзлоты), глубина воды должна превышать **300 м**. Метастабильные (реликтовые) гидраты существуют в разрезе ММП с первых метров глубины [6].

Для электромагнитных волн многие углеводороды: нефть, газогидраты, газ имеют весьма контрастную границу, как правило, обусловленную низкой проводимостью, по отношению к вмещающим горным породам.

Значительные проблемы возникают при определении границ раздела природных сред содержащих газогидраты и включения льда. Для сейсмических волн границы в этом случае, также как и в случае границы нефть-вода, являются малококонтрастными, коэффициенты акустической жёсткости различаются на проценты, как правило, недостаточные для чёткого определения этих границ. Различие в удельном сопротивлении по Ю.Ф. Макогону [1] (рис.1) предполагает для решения задачи дистанционного определения и оконтуривания месторождений газогидратов использование, прежде всего электромагнитных методов зондирования.



**Рис. 1. Соотношение удельного сопротивления глинистого сланца, песка, воды, льда и насыщенных гидратами песка и глинистого сланца. При насыщении газогидратами удельное сопротивление песка возрастает в среднем более чем в 10 раз, а глинистого сланца более чем в 100 раз.**

Априорные данные о составе грунтов, степени их обводнённости и засоленности заранее не были известны и не было времени на предварительное изучение объекта чтобы подобрать оптимальную конфигурацию прибора, поэтому, было принято решение провести работы двумя георадарами ГРОТ 12 и ГРОТ 12Н, которые вместе практически полностью перекрывают рабочий диапазон частот современных георадаров.

Антенны использовались: конструктивно гибкие, 10 метровые на поверхности (бруствер) и жёсткие, 2 метровые на дне воронки. На снимке А. Шерстнёв с ГРОТ 12 и 10 метровыми антеннами на бруствере.



**Рис.2. Процесс съемки**

При обследовании поверхности вне воронки было пройдено несколько профилей представленных схематично на рис.3



**Рис. 3. Схема профильной съемки**

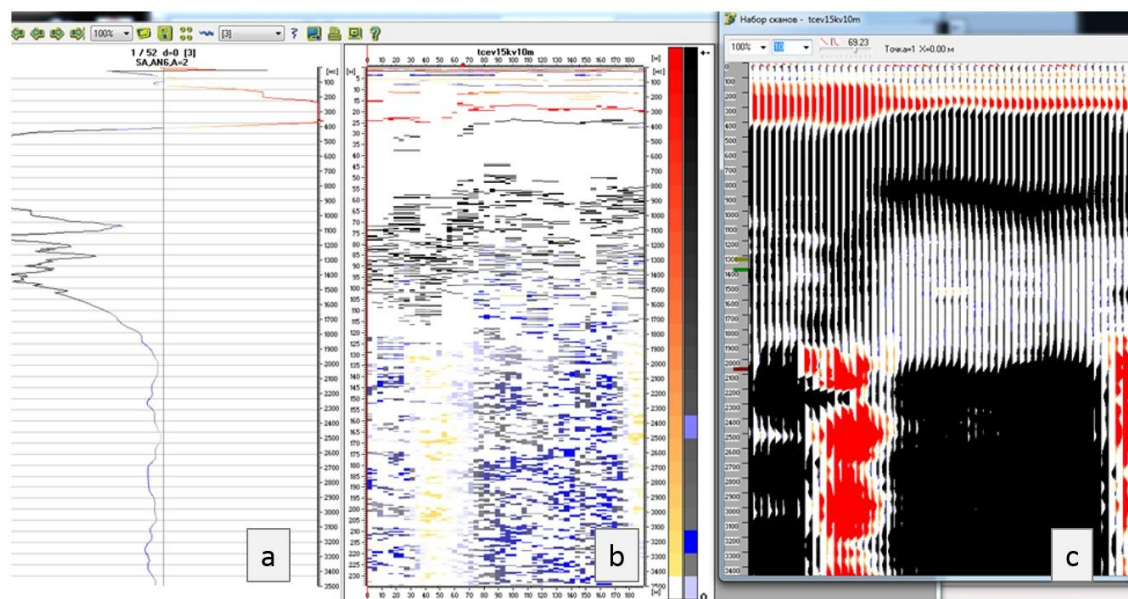
Съемка на поверхности проводилась в основном низкочастотным георадаром ГРОТ 12 с 10 метровыми антеннами, два профиля было пройдено с высокочастотным георадаром ГРОТ 12Н с 10 метровыми антеннами. Технические характеристики этих модификаций представлены в таблице 1

Таблица 1. Характеристики георадаров

	<b>ГРОТ 12</b>	<b>ГРОТ 12Н</b>
Диапазон частот, МГц	1 - 200	15-1000
Энергетический потенциал дБ,	140	190
Диапазон регистрируемых временных задержек, нс	до 10240	20000-64000
Входное сопротивление, Ом	100	100
Импульсная мощность передатчика,	1	1

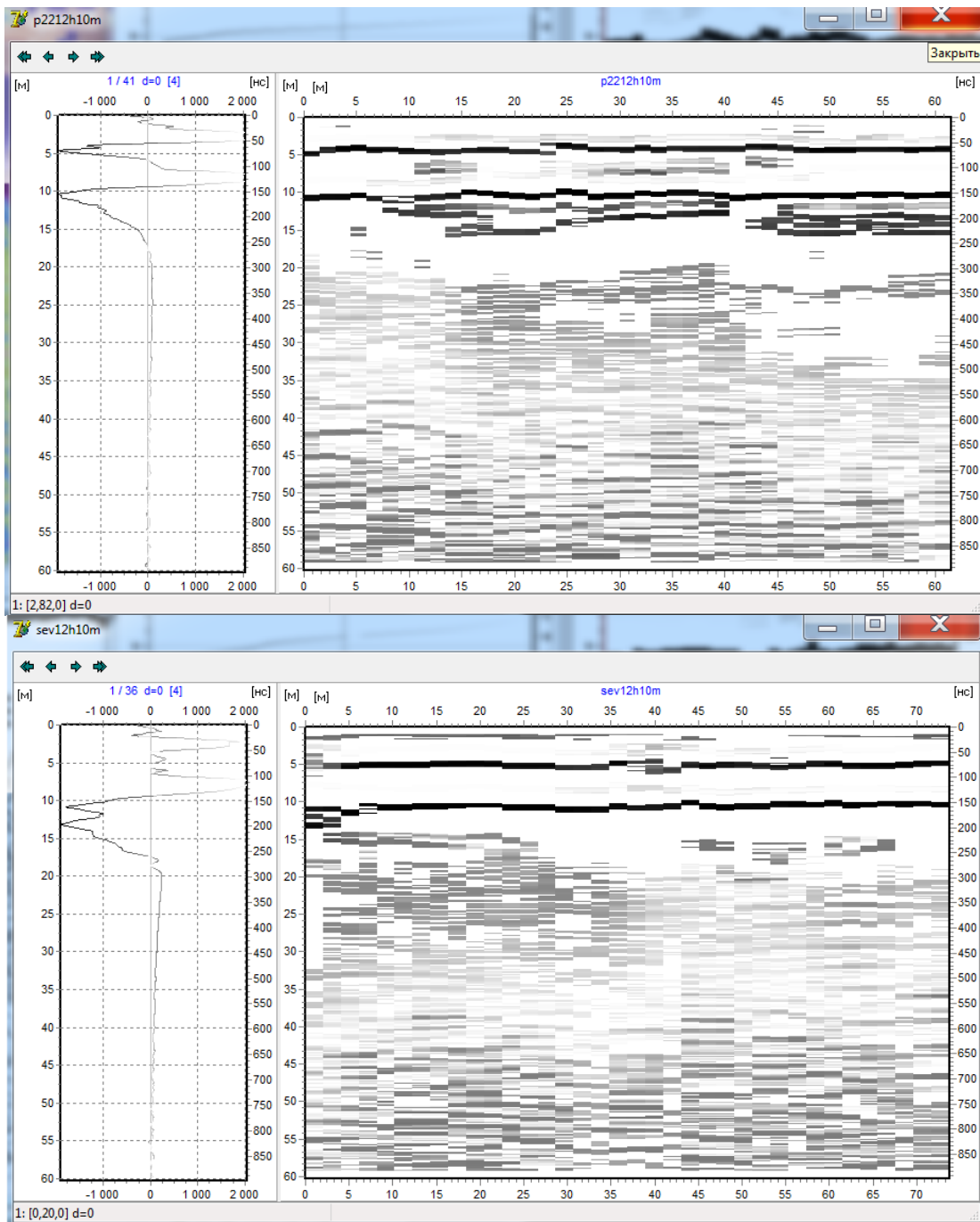
МВт, не менее		
Длина импульса передатчика, нс	5-20	1-5
Чувствительность приемника, мкВ не менее	100	50
Диапазон рабочих температур, гр.С	-20 +50	-20 +45
Потребляемая мощность, Вт, не более	3	6
Вес георадара с аккумуляторами, кг, не более	3,5	3,0
Скорость передачи данных МБ/с, не менее	1	1
Обработка в реальном времени, с	< 1	< 1
Управление программное через ноутбук	RS232, USB, беспроводное (Bluetooth)	RS485, USB, беспроводное (Bluetooth)

На рис.4. видны структуры грунта, имеющие аномалии, связанные с изменением проводимости как по профилю, так и по глубине. На отметках 750-1030нс проявляются аномалии имеющие линзовый характер. Для усредненного значения диэлектрической проницаемости равной 5, глубина этих аномалий на данной радарограмме составляет 50-70 метров. Отчетливо проявляется граница, связанная с затуханием сигнала на отметках 2000нс, что при усредненном значении коэффициента диэлектрической проницаемости равной 5, соответствует глубине 135 метров. Можно интерпретировать эту границу как границу оттайки многолетнемерзлых грунтов (ММГ). Проявляющиеся вертикальные аномалии в поведении отраженного сигнала являются следствием имеющих вертикальных разломов.



**Рис. 4. Волновая форма (а), радарограмма в представлении «максмин» (b) и радарограмма сканов (с) профиля tcev15kv10m, пройденного к воронке, выполненного георадаром ГРОТ 12 в представлении программы GROT [7]**

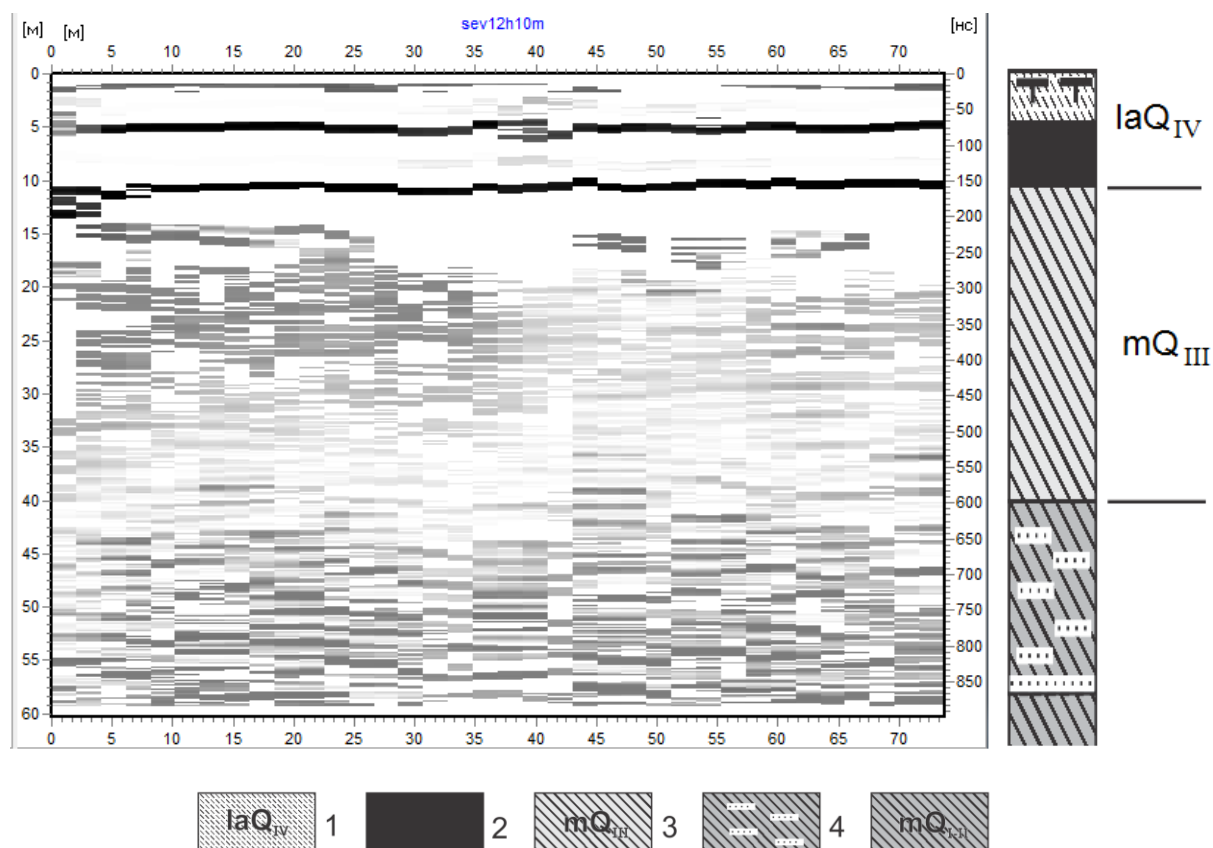
При исследованиях с помощью георадара ГРОТ 12Н получили картину подповерхностной структуры с большим разрешением по глубине, позволяющую более подробно проанализировать слои до отметок 900нс.



**Рис. 5. Волновая форма и радарограммы с двух профилей около воронки. Вверху - профиль пройден в направлении от воронки на восток, внизу - на север**

Слои грунта, а также их изменчивость по профилю хорошо прослеживаются на радарограмме.





**Рис. 6. Сопоставление радарограммы с литологическим разрезом. 1-супесь озерно-аллювиальная, 2-лед, 3- суглинки морские, 4- суглинки с прослоями песка пылеватого, газогидратные, 5- суглинки морские слабо- и среднесоленные**

Полученные данные позволяют идентифицировать слой с отметок 600нс, который выделяется наличием неоднородных включений, создающих переотражения сигнала. Такая картина характерна для пород с прослоями. В данном случае, анализируя слабое ослабление сигнала внутри слоя, можно говорить о прослоях песка с газогидратными включениями. Метод георадиолокации позволил определить линзовый характер слоя предположительной газогидратной залежи и локализовать границы линз по характерным признакам затухания отраженного сигнала.

Одна из рабочих гипотез, объясняющих аномальные явления в области воронки, связывает их появление с бурным выделением метана из активно разлагающихся придонных залежей газогидратов [8].

С помощью георадара можно анализировать состояние газогидратного слоя, а также определять наличие трещиноватости и тектонических нарушений, которые могут явиться спусковым механизмом для начала разложения газогидратов.

### Литература

1. Макогон Ю.Ф. Гидраты природных газов. М., Недра, 1974, 208 с.
2. Газовые гидраты в природных условиях /В.А. Истомина, В.С. Якушев. М., Недра, 1992, 235 с
3. Якушев В.С., Перлова Е.В., Махонина Н.А. и др. Газовые гидраты в отложениях материков и островов // Рос. хим. журн., 2003, т. XLVII, № 3, с. 80–90.
4. Smith S.L., Judge A.S. Estimates of methane hydrate volumes in Beaufort-Mackenzie region, Northwest Territories // Geol.Surv. Can. Current Res. 1995-B, 1995, p. 81–88.
5. Dallimore S.R., Chuvilin E.M., Yakushev V.S. Field and laboratory characterization of interpermafrost gas hydrates, Mackenzie Delta, N.W.T., Canada // Proc. of the 2nd Intern.

Conf. on Gas Hydrates, France, Toulouse, 1996, p. 525–531.

6. Чувилин Е.М., Козлова Е.В. Исследования формирования мерзлых гидратосодержащих пород // Криосфера Земли, 2005, т. IX, № 1, с. 73–80.

7. L.V. Volkomirskaya, V.V. Varenkov, G.A. Lyakhov, D.N. Musalev, A.E. Reznikov, E.A. Rudenchik, V.I. Sakhterov Numerical and Natural Experiment on Georadiolocation: Prospects of Applications for Lunar Soil Sensing. //Physics of Wave Phenomena, 2013, Vol.21, No. 3, pp.1-17

8. М.И. Эпов И.Н. Ельцов, В.В. Оленченко, В.В. Потапов, О.Н. Кушнарченко, А.Е. Плотников, А.И. Сеницкий, Бермудский треугольник Ямала, Новости науки №5 (59), 2014г.