



## БЕРМУДСКИЙ ТРЕУГОЛЬНИК ЯМАЛА

*Экспедиция Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН (Новосибирск) при участии ООО «Газпром ВНИИГАЗ», состоявшаяся в сентябре 2014 г., провела комплексные геолого-геофизические и геохимические исследования на уникальном геологическом новообразовании – Ямальском кратере. Официальная точка зрения сибирских ученых на природу феномена, взорвавшего летом 2014 г. информационные каналы традиционных и электронных СМИ, базируется на первых, предварительных, результатах анализа собранной информации. Выдвинута гипотеза, что возникновение кратера обязано лавинному выбросу метана в узле пересечения тектонических разломов*

Главным «оператором» Ямала является госкорпорация ОАО «Газпром», с которой Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН имеет давние партнерские отношения. Для этого в институте создано специальное подразделение – Временный междисциплинарный научный коллектив (ВМНК) ЯМАЛ. Поэтому именно к новосибирским геологам обратилось руководство Газпрома с предложением организовать научную экспедицию для изучения необычного и, безусловно, потенциально опасного феномена. Близость огромной воронки к уже действующему газовому промыслу Бованенковского месторождения объясняет тревогу, которую Ямальский кратер вызвал у газовиков.

Институт организовал и финансировал экспедицию, а Газпром обеспечил ее инфраструктурной и транспортной поддержкой. Интересы науки и бизнеса сошлись в одной точке. Так и хочется сказать «горячей», но, поскольку взрыва в обычном смысле не было, точка оказалась не горячей, а холодной.

Собирая необычную и довольно дорогую экспедицию на Ямал, исследователи хотели прежде всего установить

природу «дыры» и снять «метафизические» покровы с тела вполне банального явления в истории катастроф, которыми так богата геологическая история нашей планеты.

Эта научная экспедиция к Ямальскому кратеру, кстати сказать, была далеко не первой. Первыми на Ямал прибыли геологи из Института криосферы земли СО РАН (Тюмень), они и развенчали метеоритную и техногенную гипотезы возникновения кратера. Новая экспедиция отличалась от предшествующих более комплексным характером, качественным аппаратным оснащением и хорошо подготовленной исследовательской программой.

Главной задачей геологов было установить причины и механизм образования кратера на основе изучения геоморфологического и геокриологического строения объекта, его геофизических особенностей и геохимических условий в пределах кратера и на прилегающей территории. Для этого были использованы стандартные для данного класса задач методы и инструменты научных исследований.

**Ключевые слова:** п-ов Ямал, кратер, газовые гидраты, геофизические методы, электротомография, метод зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ)

**Key words:** Yamal Peninsula, crater, gas hydrates, geophysical methods, electrical resistivity tomography (ERT), time-domain electromagnetics (TEM)

Ямальский кратер представляет собой зияющую «дыру» в земле, окруженную ледяными стенами, с которых стекают ручейки талой воды. В метрической системе измерений WGS 84 кратер имеет следующие GPS-координаты: северная бровка кратера – N69 58.280 E68 22.239; центральная часть – N69 58.268 E68 22.2





### «Пробка» от шампанского?

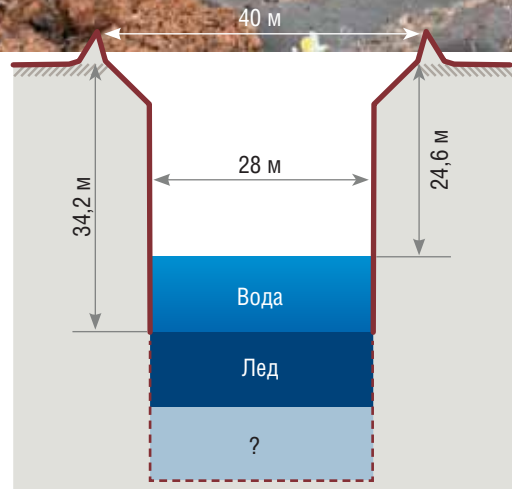
Вся экспедиция заняла чуть больше недели. За это время удалось провести исследование ландшафтных условий территории и геоморфологических особенностей кратера, включая инструментальные измерения его линейных размеров (в том числе – глубину затопленной части). В районе расположения кратера были исследованы нарушения растительного и почвенного покрова объекта, проведено картирование трещин и просадок поверхности, а также ареала разброса грунта.

Были проведены исследования геокриологического строения разреза многолетнемерзлых пород, произведен отбор проб почвы, грунта, воды из кратера и с прилегающей территории для проведения химических и радиологических анализов. Кроме того было выполнено исследование глубины сезонного оттаивания пород и определена



Экспедиция ИНГГ СО РАН состоялась 11—19 сентября 2014 г. На самом Ямале новосибирские исследователи провели пять насыщенных дней. Погода и продолжающийся полярный день способствовали стахановским методам работы – про отдых некогда было даже думать





Форма Ямальского кратера – правильный цилиндр, немного расширенный у поверхности. Прямые инструментальные измерения показали, что больший диаметр воронки составляет около 40 м, малый – 28 м. Глубина сезонно талого слоя по периметру была равна 0,8 м (температура воды в период работ составляла +0,4 °С). Чтобы измерить глубину воды, к специальному тросу с метками привязывали груз и опускали в воронку кратера до тех пор, пока груз не коснется дна. Несколько раз груз ложился на какое-то препятствие, тогда весь процесс приходилось повторять сначала. Но в конце концов удалось выяснить, что глубина воды, заполняющей дно кратера, равна 9,6 м

глубина озер на прилегающей территории. Также были собраны пробы вещества, выброшенного из кратера, и из окружающей кратер неизменной среды.

Воронка заполнялась водой, ее края подтаивали и осыпались. Прямые измерения показали, что глубина кратера до поверхности воды составляет более 30 м. Что же находится ниже этой отметки, выяснить не удалось: как ни велико было искушение спуститься на дно воронки, ученые отказались от этой мысли из соображений безопасности.

Сам кратер представляет собой правильной формы цилиндр диаметром около 40 м, немного расширенный у поверхности. Так и напрашивается аналогия с горлышком бутылки шампанского, из которого вылетела пробка. Впрочем, причиной «взрыва», очевидно, послужил именно газ, давление которого достигло критической величины, что и спровоцировало выброс этой самой «пробки».

Когда видишь перед собой такую гигантскую яму, то первая мысль, которая приходит в голову – а где все то вещество, которое там находилось внутри?! Материал, выброшенный из воронки, разлетелся практически рав-

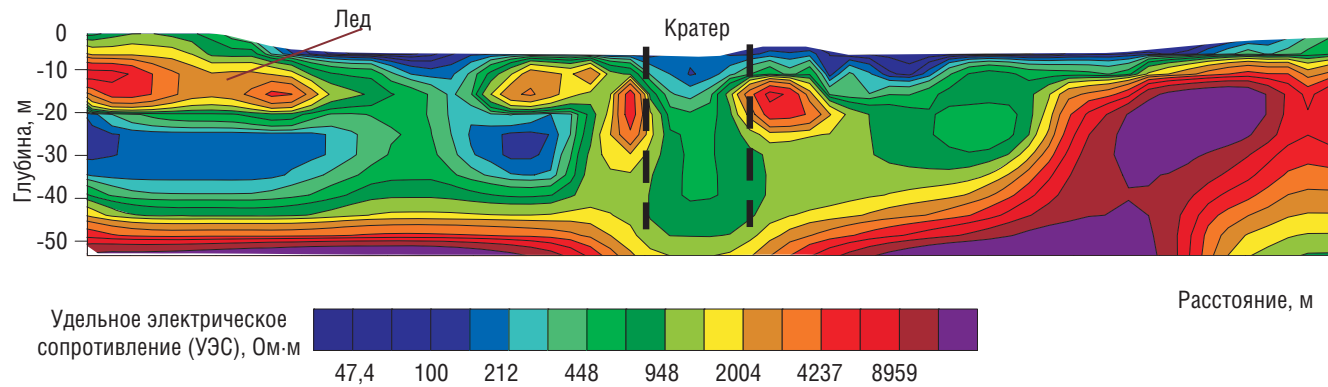


номерно во всех направлениях. Наибольшая концентрация обломков была обнаружена по окружности на расстоянии 140 м от центра кратера, а отдельные обломки разлетелись на расстояние более 180 м!

Однако дело в том, что объем разбросанных по окружности грунтов оказался несопоставим с объемом «дыры» – он гораздо меньше. Если присмотреться к стенкам кратера, то можно увидеть, что разрез сложен практически чистым льдом. При визуальном осмотре местности были обнаружены угловатые углубления на поверхности земли, которые представляли собой отпечатки от ударов глыб льда, разлетевшихся при выбросе. Лед быстро растаял, поэтому от вещества, ранее заполнявшего кратер, не осталось практически никаких следов, кроме отпечатков во мху.

В выброшенном материале были обнаружены камни – окатанные песчаники и сланцы, что удивительно для тундры. По-видимому, льды, в которых были «погребены» камни, когда-то путешествовали у скалистых берегов и пляжей с окатанной галькой





Разрез по одному из профилей электротомографии показывает сопротивление пород в разрезе. Высокие удельные сопротивления соответствуют чистым льдам, а самые низкие – мерзлым глинам. В центральной части разреза выделяется аномалия пониженного удельного электрического сопротивления, вероятно, связанная с самим кратером



С помощью электроразведочных методов удалось получить детальную информацию о геологическом строении территории. На фото – руководитель экспедиции Владимир Оленченко за установкой многоэлектродной станции «Тундра48»

**Газовые гидраты – кристаллические соединения, образующиеся при определенных термобарических условиях из воды и газа. В результате молекулярного уплотнения один кубометр природного метан-гидрата в твердом состоянии содержит около 164 м<sup>3</sup> метана в газовой фазе и 0,87 м<sup>3</sup> воды**

### Вооруженным «глазом»

Большая роль в экспедиционных исследованиях отводилась геофизическим методам, которые позволяют заглянуть вглубь земной коры без выемки грунта и бурения скважин.

Анализ данных магнитометрических исследований не выявил никаких аномалий, связанных с кратером, что исключает гипотезу, связанную с падением метеорита. Все выявленные изменения геомагнитного поля вполне объясняются особенностями геологического строения территории.

Наибольший объем измерений был выполнен методом электротомографии. Этот электроразведочный

метод основан на разном удельном сопротивлении различных горных пород, грунтов и льдов. Полученные геоэлектрические профили-разрезы сопротивления грунтов несут достаточно детальную информацию о геологическом строении территории.

В нашем случае методом электротомографии удалось прозондировать разрез до глубины 55–60 м. Всего было сделано 12 электротомографических профилей, суммарная длина которых составила около 6 км. В результате удалось закартировать границы распространения пластовых льдов и определить их мощность, а также провести литологическое расчленение разреза и установление границ литологических разностей.

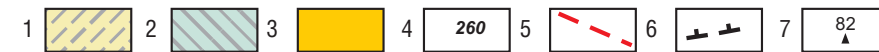
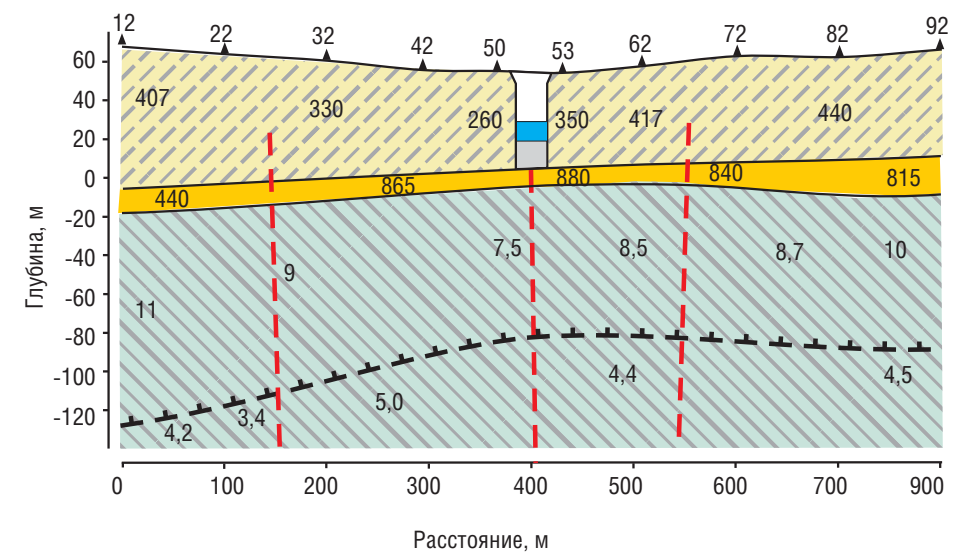
Заглянуть еще глубже удалось с помощью метода зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ). С помощью этого метода можно выделить геоэлектрические комплексы разного литологического состава, определить наличие засоленных грунтов, подземных соленых вод с отрицательной температурой, а также потенциальных коллекторов газогидратов.

В результате были получены геоэлектрические разрезы на глубину до 200 м, которые позволили выделить слои пород с разным удельным электрическим сопротивлением, тектонические нарушения, определить нижнюю границу мерзлоты. На глубине около 60–70 м был обнаружен слой аномально высокого сопротивления. Была выдвинута гипотеза, что этот слой представляет собой горизонт, насыщенный газогидратами.

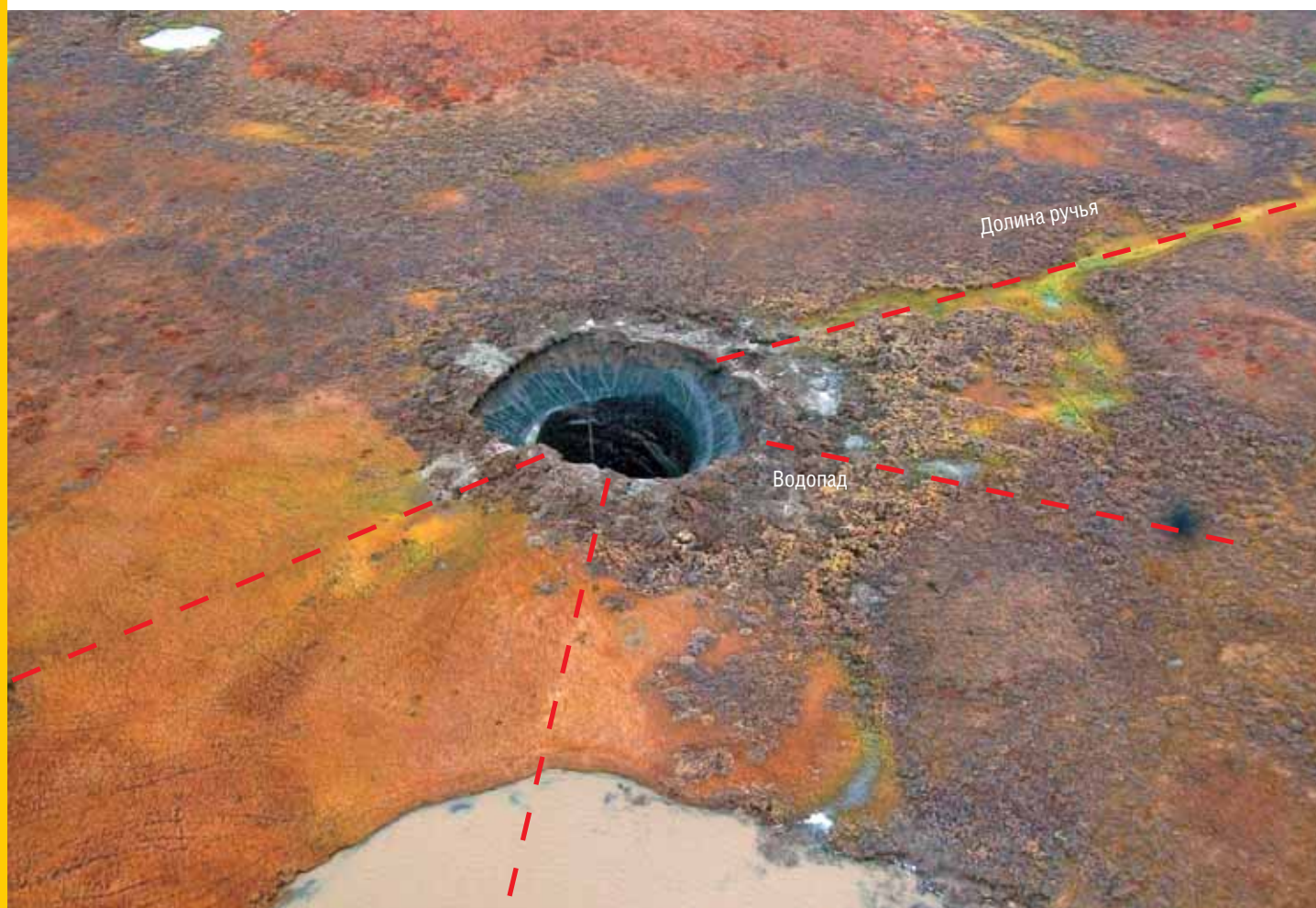


Оборудование для зондирования становлением поля в ближней зоне. Приемный датчик ПДИ-50 – эквивалент петли 50×50

На основе геологической интерпретации данных геофизических измерений с помощью метода ЗСБ (зондированием становлением поля в ближней зоне) был построен уже геологический разрез



1 – супесь; 2 – суглинок; 3 – коллектор газогидратов; 4 – УЭС пород; 5 – линия разлома; 6 – нижняя граница многолетнемерзлой толщи (ММТ); 7 – пункт ЗСБ



## Как образовался кратер?

Как известно, *газовые гидраты* (гидраты природных газов, или клатраты) – это кристаллические соединения, образующиеся из воды и газа при определенных термобарических условиях. Известные советские геологи А. А. Трофимук и Н. А. Черский вместе с коллегами еще в 1961 г. зарегистрировали открытие, согласно которому газовые гидраты могут образовываться и существовать в природных условиях. Почти сразу оно было подтверждено лабораторными экспериментами.

Запасы углеводородов в гидратах в земной коре составляют, по разным оценкам, от  $1,8 \cdot 10^{14}$  до  $7,6 \cdot 10^{18}$  м<sup>3</sup> (Соловьев, 2003). Характерной особенностью гидрата метана является его нестабильность при повышении температуры и понижении давления. Причем при переходе его из твердого в газообразное состояние объем увеличивается более чем в 160 раз!

Основные залежи газогидратов метана на Ямале сосредоточены на глубинах первых сотен метров. Однако там обнаружены и реликтовые гидраты, глубина залегания которых в районе Бованенковского месторождения в среднем равна 50–70 м (Чувиллин и др., 1999).

Согласно мнению новосибирских исследователей, причиной появления Ямальского кратера стало разрушение газогидратов на глубине 60–80 м.

Судя по совокупности геоморфологических и геофизических признаков, Ямальский кратер расположен в зоне пересечения тектонических разломов (оси разломов показаны красными штриховыми линиями). Именно поэтому место, где произошел выброс метана и грунта, могло оказаться на этой территории самым «слабым звеном»

Авторы благодарят Генерального директора ООО «Газпром Добыча Надым» С. Н. Меньшикова; зам. директора Инженерно-технического центра ООО «Газпром Добыча Надым» А. Б. Осокина техническую и моральную поддержку при проведении исследований

При этом многократно возросло пластовое давление, что и привело к выбросу грунта и льда.

Разрушение газогидратов возможно при повышении температуры. Что же вызвало этот температурный подъем в глубине земной коры? Известно, что источником повышенного теплового потока может быть крупная залежь нефти – обычно над такими залежами отмечается сокращение мощности многолетнемерзлой толщи. Другими словами, нефтяная залежь как бы растапливает мерзлоту снизу. А поскольку полуостров Ямал богат залежами углеводородов, то вполне вероятно, что под кратером находится крупная нефтегазоносная структура, тепловой поток от которой и разогрел газогидраты в верхней части разреза.

Кроме того, на исследуемой площади были выявлены явные геоморфологические и геофизические признаки тектонических нарушений, в узле пересечения которых и расположен кратер.

Таким образом, самый вероятный сценарий появления кратера таков: повышенный тепловой поток привел к разрушению газогидратов и возрастанию пластового давления, при этом выброс грунта произошел в самой ослабленной зоне – в месте пересечения тектонических разломов.

Во многих публикациях в СМИ журналисты связывают деградацию газогидратов и образование Ямальского кратера с глобальным потеплением. Но газогидраты находятся гораздо глубже слоя годовых теплооборотов – ко времени образования кратера туда еще не дошла тепловая волна, порожденная жарким летом 2012 г. Тем не менее, по данным немецких исследователей с научной станции ИНГГ СО РАН «о. Самойловский» в дельте Лены, в тех же высоких широтах на глубине около 30 м температура повысилась на 3°C за последние 10 лет. Это означает, что фактор глобального потепления необходимо принимать во внимание наряду с тепловым потоком из недр Земли.

Как бы то ни было, совершенно очевидно, что солнечная радиация и «ядерный реактор» планеты вывели гидрат метана из стабильного состояния. Специалистам еще предстоит ответить на вопрос о том, как это произошло. Ученые из ИНГГ СО РАН совместно со специалистами новосибирского Института гидродинами-

ки СО РАН будут строить модель этого уникального явления для точного определения его механизма.

Нужно сказать, что с подачи самих авторов этой статьи журналисты начали активно муссировать тему родства Ямальского кратера и Бермудского треугольника. Действительно, ученые – люди прозаичные, и их не устраивает потустороннее объяснение причин исчезновения кораблей. Одна из рабочих гипотез, объясняющих аномальные явления в Бермудском треугольнике (кстати сказать, подтвержденная экспериментально!), действительно связывает его с выделением газогидратов. Когда последние начинают активно разлагаться в придонном слое, метановый лед превращается в газ, причем это происходит лавинообразно, как ядерная реакция. Начинают выделяться огромные объемы газа – океан как бы вскипает, и в этой воде с растворенным в ней газом тонут суда.

Строгие научные данные не оставляют сомнения в том, что Ямальский кратер – геологическое новообразование. Остается лишь уточнить вклад каждого из многих факторов, определивших катастрофический сценарий развития событий.

Когда готовилась эта статья, стало известно, что в начале ноября на кратер была организована еще одна экспедиция, в которой участвовали специалисты из иркутского Института земной коры СО РАН, Московского государственного университета и ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Исследователям удалось проникнуть в кратер и отобрать пробы льда со стенок, а также выполнить георадиолокационное зондирование грунтов в окрестностях кратера. Сейчас эти данные анализируются.

Авторы надеются, что объединение всех достоверных научных результатов поможет приблизиться к окончательной разгадке тайны образования «Бермудского треугольника» Ямала.

Академик РАН, д. т. н. М. И. Эпов, д. т. н. И. Н. Ельцов, к. г.-м. н. В. В. Оленченко, к. т. н. В. В. Потапов, О. Н. Кушнаренко, А. Е. Плотников (Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск), А. И. Синицкий (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

### Литература

Маловичко А. А., Виноградов А. Н., Виноградов Ю. А. Применение сейсмоинфразвукового метода мониторинга природной среды для контроля геодинамического режима в зонах активного освоения недр в Западной Арктике // Геофизическая служба Российской академии наук (ГС РАН), г. Обнинск ПОЛАР-2014

Клеркс Я. Газогидраты пресноводного «океана» // НАУКА из первых рук. 2004. №2 (3). С. 82–91  
Чувиллин Е. М., Якушев В. С., Перлова Е. В. и др. Газовая компонента толщ мерзлых пород в пределах Бованенковского газоконденсатного месторождения (полуостров Ямал) // ДАН. 1999. Т. 369. № 4. С. 522–524.