

**ВОЗМОЖНЫЕ ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ КРАТЕРОВ НА ЯМАЛЕ****М.Г. ИВАНОВ, Г.М. ЧУДАКОВ, И.А. ТЕРЕЩЕНКО**

*Кубанский государственный технологический университет,  
350072, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. Московская, 2.  
электронная почта: geriatr-kgmu@mail.ru*

Ямальские провалы грунта до сих пор считались не полностью познанной аномалией природы, случайным феноменом. Ученые из научного центра изучения Арктики и института криосферы Земли установили, что провал грунта имеет природное происхождение, а не является следствием какого-либо техногенного воздействия, например, взрыва, или падения метеорита. В результате нескольких экспедиций на Ямал ученые установили, что возможной причиной происхождения загадочных газовых кратеров стал пневмохлопок, вызванный разложением газогидратов в связи с глобальным потеплением климата арктической тундры. Исследование «бованенковского» газового кратера продолжается для того, чтобы понять процесс выброса газа и предсказать вероятность его появления в других районах Арктики. Единственное, что в состоянии сделать ученые - это предсказать, где и когда они появятся, чтобы вовремя эвакуировать людей. Ведь вечная мерзлота распространена более чем на 60% территории России. На ней построены такие крупные города, как Якутск, Воркута и Норильск.

**Ключевые слова:** газовые кратеры, провалы грунта, воронки Ямальской тундры, газовые гидраты.

О "бованенковском" провале общественность округа узнала из видеоролика от 10 июля 2014 г., полученного с борта вертолета [5]. В 30 км от Бованенковского газоконденсатного месторождения вблизи поймы реки Морды-Яха обнаружен гигантский провал грунта (Рис. 1).



Рисунок 1. Гигантский провал грунта на Ямале

По мнению ученых, это явление не могло быть спровоцировано производственной деятельностью человека, так как возникло на расстоянии 28 км от газового месторождения и в 4 км от ближайшего газопровода [6, 7].

Ставшие свидетелями образования другого провала грунта в конце сентября 2013 г. диаметром 15 м в Тазовском районе ЯНАО в 90 км от села Антипаюта оленеводы-кочевники утверждают, что это явление сопровождалось появлением густого дыма, последующей яркой вспышкой и содроганием земли [8].

Ямальские кратеры относятся не к «чистым» карстовым провалам грунта и не к аномалиям природы. Этот загадочный феномен природы требует более полного изучения в связи с глобальным потеплением климата арктической тундры. Происхождение газового кратера не совсем понятно. Можно предположить, что вначале был взрыв (естественный или метеоритный), затем почва под газовым кратером провалилась в довольно широкую подземную реку - внизу видны потоки воды. О произошедшем взрыве говорят следующие факты: хорошо виден взрывной разлет кусков земли, образование взрывного вывала грунта и потемневшие края кратера с последующим провалом грунта.

Для изучения этого феномена было организовано несколько экспедиций. Во время первой экспедиции 16 июля 2015 г. было зафиксировано состояние многометрового провала - внешний диаметр 30 м, глубина 50 м, куски грунта разбросаны до 120 м, вода с глиной и песком по стенкам провала ручьями стекала в глубокую темную бездну [4, 5]. Участники экспедиции констатировали, что наружный диаметр и глубина гигантского провала постоянно увеличиваются. За минувшую зиму и весну кратер заполнен на десять метров талой и дождевой водой.

Для исследований взяты пробы грунта, воздуха и воды, на дно воронки опускали специальные датчики.

Образцы, взятые во время первой экспедиции, показали высокое содержание метана. Концентрация метана на дне провала составила около 9,6 %, в то время как на поверхности (в воздушном окружающем пространстве) она

не превышает 0,000179 %. Это служит дополнительным аргументом в пользу правильности термогазовой теории происхождения Ямальских провалов грунта.

Однако полностью исследования объекта не были завершены - отбору проб из кратера мешали постоянные сползания грунта и обрушения стен. Провал стал непредсказуем, и спускаться в него было очень опасно [9] .

Только 10 ноября 2015 г, когда стенки и дно провала основательно промерзли, а снежный покров был еще не слишком велик, ученым удалось впервые спуститься на дно газового кратера. Для безопасного спуска группу исследователей экспедиции сопровождали спасатель и альпинист.

Представленные фотографии (Рис. 2) наглядно демонстрируют, как проходил спуск исследователей на дно провала, и что им удалось найти. Ученые обследовали внутреннюю часть газового кратера и взяли пробы грунта, воздуха и льда для проведения химического и изотопного анализов. Специальным зондом была проведена георадиолокация на глубину до 200 метров, чтобы получить наглядную структуру и получить 3D модель, а в дальнейшем - способствовать прогнозированию появления данного природного явления.

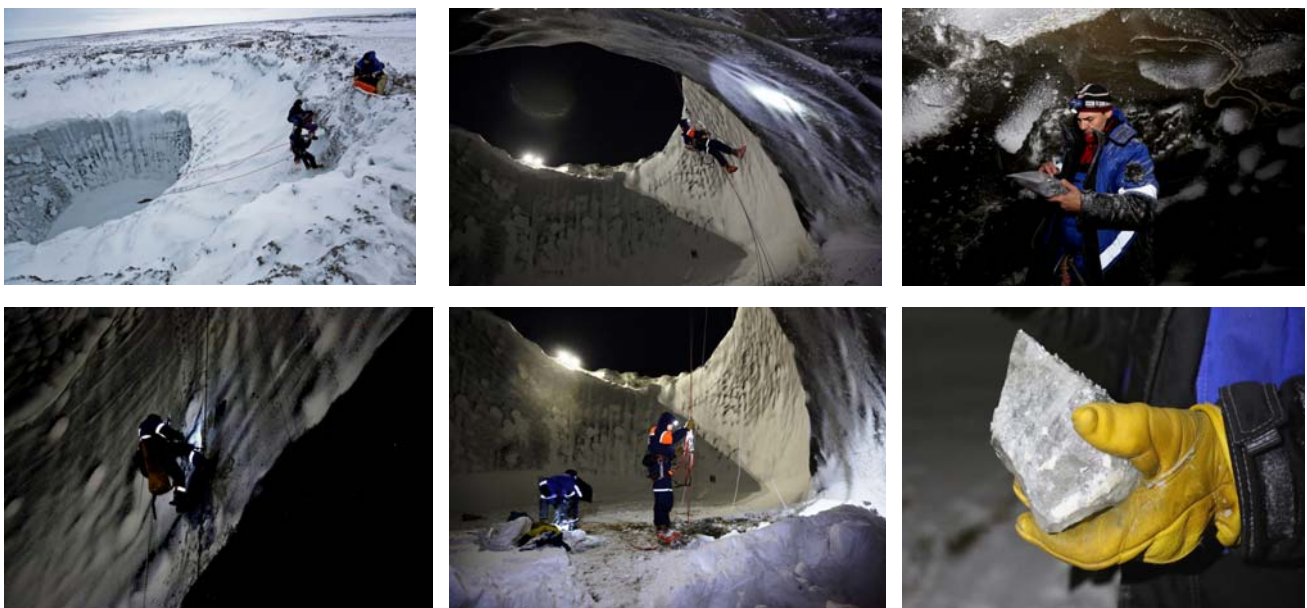


Рисунок .2 Действия исследователей при спуске в газовый кратер провала

Активный участник трех экспедиций по исследованию объекта директор российского центра освоения Арктики Владимир Пушкарев вспоминает: «Впервые мы спустились на дно воронки. Ощущения не передать словами. В очередной раз поразила ее форма, которая напоминает конус. Стены воронки состоят, в основном, из льда с частицами породы. Видно, что летом по стенам воронки стекала вода. Ее дно уже превратилось в небольшое озеро, которое теперь замерзло. Мы спокойно ходили по льду и брали образцы грунта для исследования». По его словам, ученым предстоит провести серию лабораторных исследований, чтобы понять какой газ находится в грунте кратера: исследовать лед на химический состав, сделать замеры на скопление вредных газов на дне кратера. Было установлено, что на дне кратера скопился обогащенный метаном воздух без вредных примесей и опасных газов, которые могли бы пагубно сказаться на состоянии живых организмов [4, 6].

Ученые из научного центра изучения Арктики и института криосферы Земли установили, что провал грунта имеет природное происхождение, а не является следствием какого-либо техногенного воздействия, например, взрыва, или падения метеорита. Если бы провал образовался от падения метеорита, то в этом месте отмечался бы повышенный радиационный фон. Научная группа не выявила опасных излучений.

Гигантский кратер продолжает увеличиваться в размерах и заполняется водой, превращаясь в озеро. Ученые высказывали мнение, что через пару лет он превратится в одно из озер Ямальской тундры, имеющих аналогичное происхождение (Рис. 3) [8].

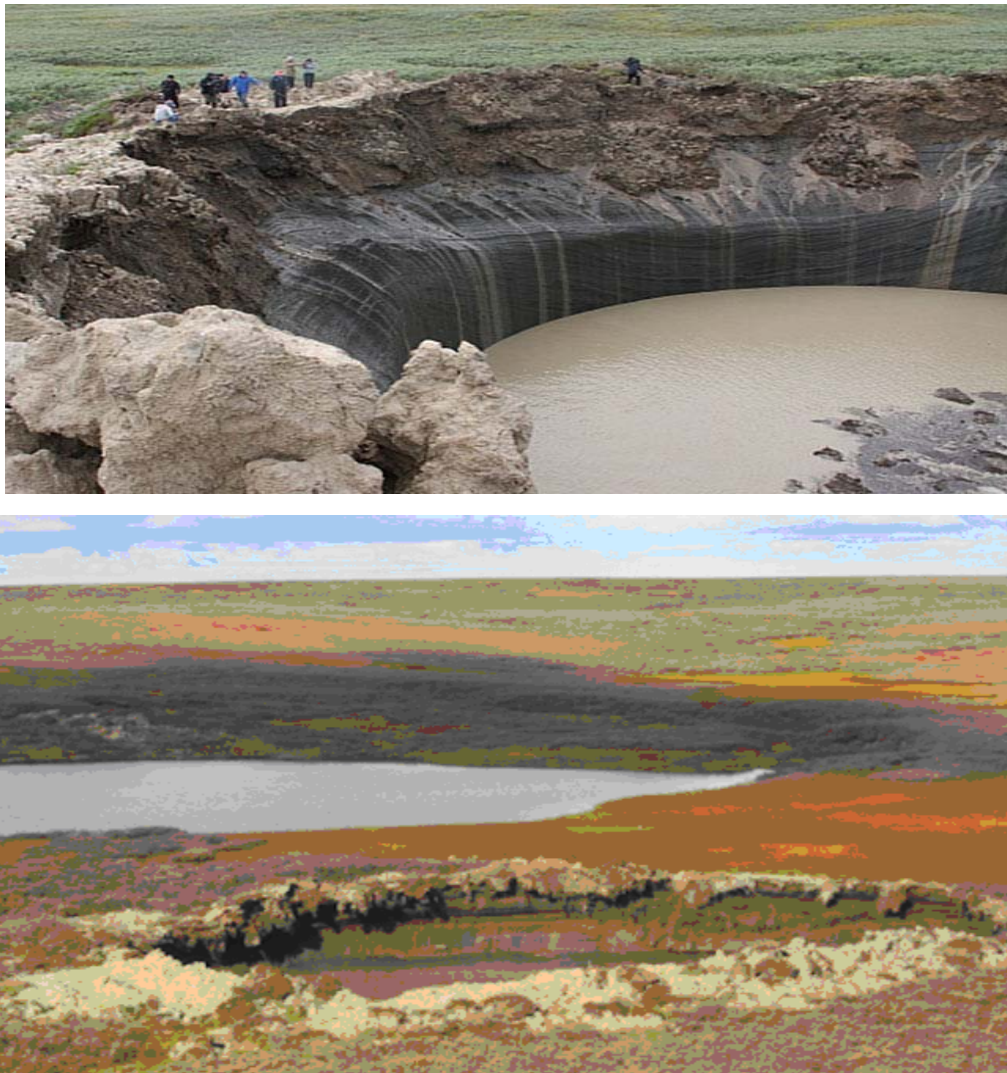


Рисунок 3. Провалы грунта со временем заполняется водой, превращаясь в озера

По мнению председателя президиума тюменского научного сообщества СО РАН академика Владимира Мельникова, провалы грунта на Ямале образовались в десятилетний пик периода потепления климата 2012 г. и 2013 г. На Ямале начал оттаивать мерзлый грунт. Местами он стал менее плотным, и через него нашел выход, встречающийся по всему шельфу Субарктики сланцевый газ. Это, предположительно, стало причиной образования газовых кратеров на Ямале [9].

После нынешней экспедиции куратор научно-исследовательских работ замдиректора по научной работе института проблем нефти и газа, член-корреспондент РАН Василий Богоявленский выдвинул гипотезу, что газовые кратеры имеет термогазовое происхождение, как и большинство тундровых

озер округлой формы на полуострове Ямал. Как пояснил академик, такие процессы происходят на территориях, где существуют палеомерзлота и подземные льды, и в связи с глобальным потеплением на этих территориях образуются бугры пучения. Постепенно эти объекты под действием температур разрушаются [10].

Как сообщают специалисты института нефтегазовой геологии и геофизики (ИНГГ), предпосылкой для появления провала грунта стала совокупность совпавших природных явлений: в первую очередь, провал расположен на стыке двух тектонических разломов, пересекающих полуостров, а отсюда следует, что среда была разогрета теплом, поднимающимся из трещин земной коры. Сравнительно теплое лето повлияло на среднюю температуру почвы на поверхности. Разогретые газогидраты, содержащиеся в глубоком и поверхностном слое, и послужили причиной случившегося пневмохлопка. Участник экспедиции Владимир Потапов сообщил, что были еще какие-то факторы, которые спровоцировали случившийся пневмохлопок.

Участник исследования, заведующий геологическим сектором комплексных исследований ООО "Газпром ВНИИГАЗ" Антон Сеницкий сравнил Ямальские газовые кратеры с Бермудским треугольником. Если залегающие на дне моря газовые гидраты по какой-то причине теряют стабильность, то начинают активно выделяться пузырьки метана. По мере их движения к поверхности воды и снижения давления пузырьки газа увеличиваются в размере. Когда пузырьки газа достигают поверхности, вода превращается в кипящую пену, бурлит, а ее плотность падает. В такой среде корабли не могут удержаться на плаву и погружаются на дно. Экипажи самолетов, оказавшихся в облаке метана, погибают от удушья или взрыва. Это происходит из-за присутствия на дне огромной массы газовых гидратов [7].

Участница исследований, главный научный сотрудник института криосферы Земли Сибирского отделения РАН Марина Лейбман считает, что возникновение газового кратера - природное явление, например, результат «пневмохлопка», вызванного разложением газовых гидратов. Это чисто

механический выброс. Произошел он из-за повышения давления при промерзании и изменении объема некоторой полости с запасами болотного газа [10].

Член-корреспондент РАН Валерий Носков, поясняет, что бугры пучения, или пинго, как их принято называть в мировой геологической науке, образуются в результате многолетнего промерзания глинистых грунтов, а также при оттаивании палеомерзлоты из-за глобального потепления Арктики. Их высота может достигать 80 м, а диаметр - нескольких километров. Метан содержится в вечномерзлых грунтах в форме газогидратов - твердых кристаллических соединений из воды и низкомолекулярных газов, образованных при определенных термобарических условиях [1-3].

Газогидраты или клатраты (от лат. clat(h)ratus - «закрытый решёткой или посаженный в клетку») при повышении температуры и при понижении давления нестабильны; имеют широкое распространение в океанах и криолитозоне материков; по различным оценкам запасы земных углеводородов в гидратах составляют от  $1,8 \cdot 10^5$  км<sup>3</sup> до  $7,6 \cdot 10^9$  км<sup>3</sup>; могут рассматриваться как потенциальный источник топлива. Для сравнения можно отметить, что по оценкам некоторых экспертов объем разведанных запасов природного газа составляет 173 триллиона м<sup>3</sup> и ещё около 120 триллионов м<sup>3</sup> предположительно до сих пор скрыто (т. е. всего – 293 1012 м<sup>3</sup> или 2,9 10<sup>5</sup> км<sup>3</sup>). Природного газа хватит человечеству только на 65 лет. Но уже ведутся активные исследования по совершенствованию технологий промышленного производства сланцевого и газогидратного газа.

В 1940-е годы советские учёные высказывали гипотезу о наличии залежей газовых гидратов в зоне вечной мерзлоты. В 1960-е годы они же обнаружили первые месторождения газовых гидратов на севере СССР. В 1969 г. началась разработка Мессояхского месторождения в Сибири, где впервые удалось извлечь природный газ непосредственно из гидратов (до 36 % от общего объёма добычи). Подсчитано, что в арктической зоне вечной мерзлоты и под водой удерживается 1,4 тератонн газа (1,4 10<sup>12</sup> т), из которых 5-10 %

может вырваться на поверхность при всемирном потеплении, вызывая парниковый эффект.

Сейчас природные газовые гидраты привлекают особое внимание как возможного источника ископаемого топлива, так и участника изменений климата [1, 3]. Гидраты успешно применяют для хранения газов и захоронения парниковых газов на дне океана. Использование газогидратов для опреснения морской воды позволяет значительно снизить энергозатраты, благодаря принципиальному отличию от мембранных и испарительных технологий - отсутствие поверхности тепло- и массообмена. Кроме того, удалось избежать отложения солей, а также биологических загрязнителей на мембранах и теплообменниках, снизить износ мембран.

Исследование «бованенского» газового кратера продолжается для того, чтобы понять процесс выброса газа и предсказать вероятность его появления в других районах Арктики. Замечено, что из-за влияния потепления в заполярных широтах перед извержением газовых кратеров в многометровом слое ледяной тверди и на поверхности бугров пучения появляются небольшие трещины.

Экологическая катастрофа произойдет, если кратеры возникнут под месторождением или трубопроводом. Оттаивание палеомерзлоты под воздействием глобального потепления неизбежно повлечет появление новых кратеров, аналогичных Ямальскому, поскольку в арктическом регионе имеется множество газосодержащих пород. Причем из-за повышения температуры они могут возникать все чаще. Единственное, что в состоянии сделать ученые - это предсказать, где и когда они появятся, чтобы вовремя эвакуировать людей. Ведь вечная мерзлота распространена более чем на 60% территории России [3]. На ней построены такие крупные города, как Якутск, Воркута и Норильск.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Запорожец Е.П., Шостак Н.А. Гидраты: монография. – Краснодар: Издательский Дом-Юг. 2014. – 460 с.
2. Тетельмин В.В., Язев В.А. Энергия нефти и газа. Учебное пособие. - Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2009. -325 с.



3. Российская газовая энциклопедия. /Гл. ред. Вяхирев Р.И./ Науч. изд. «Большая советская энциклопедия». – М., 2005. 525 с.

4. Ученые заглянули внутрь гигантской воронки на полуострове Ямал. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://informing.ru/2014/07/17/uchenye-zaglyanuli-vnutr-gigantskoy-voronki-na-poluostrove-yamal.html>

5. Видео. Ученые заглянули внутрь гигантской воронки на полуострове Ямал. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://altapress.ru/story/video-uchenie-zaglyanuli-vnutr-gigantskoy-voronki-na-poluostrove-yamal-138218>

6. В Сети появилось видео гигантской воронки на Ямале.[Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ruscrr.ru/themes/0/00/59/5928.shtml?news/0/03/86/38650>

7. СМИ: рядом с месторождением газа на Ямале обнаружена «черная дыра». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.eprussia.ru/news/base/2014/101204.htm>

8. Гигантская воронка на Ямале за год превратилась в глубокое озеро. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http://www.e1.ru/news/spool/news\\_id-426682.htm](http://www.e1.ru/news/spool/news_id-426682.htm)

9. Аномальная Россия. Странные воронки. Удивительный Ямал. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://rustur.ru/article/anomalnaya-rossiya>

10. Бованенковская воронка на полуострове Ямал. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://yandex.ru/images/search?text=Бованенковская%20воронка%20на%20полуострове%20Ямал&stype>

#### REFERENCES

1. Zaporozhets E.P., Shostak N.A. Gidraty: monografiya. – Krasnodar: Izdatelskiy Dom-Yug. 2014. – 460 s.

2. Tetelmin V.V., Yazev V.A. Energiya nefiti i gaza. Uchebnoe posobie. - Dolgoprudnyy: Izdatelskiy Dom «Intellect», 2009. -325 s.

3. Rossiyskaya gazovaya entsiklopediya. /Gl. red. Vyakhirev R.I./ Nauch. izd. «Bolshaya sovetskaya entsiklopediya». – М., 2005. 525 s.

4. Uchenye zaglyanuli vnutr gigantskoy voronki na poluostrove Yamal. [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: <http://informing.ru/2014/07/17/uchenye-zaglyanuli-vnutr-gigantskoy-voronki-na-poluostrove-yamal.html>
5. Video. Uchenye zaglyanuli vnutr gigantskoy voronki na poluostrove Yamal. [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: <http://altapress.ru/story/video-uchenie-zaglyanuli-vnutr-gigantskoy-voronki-na-poluostrove-yamal-138218>
6. V Seti poyavilos video gigantskoy voronki na Yamale. [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.ruscur.ru/themes/0/00/59/5928.shtml?news/0/03/86/38650>
7. SMI: ryadom s mestorozhdeniem gaza na Yamale obnaruzhena «chernaya dyra». [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: <http://www.eprussia.ru/news/base/2014/101204.htm>
8. Gigantskaya voronka na Yamale za god prevratilas v glubokoe ozero. [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: [http://www.e1.ru/news/spool/news\\_id-426682.htm](http://www.e1.ru/news/spool/news_id-426682.htm)
9. Anomalnaya Rossiya. Strannye voronki. Udivitelnyy Yamal. [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: <http://rustur.ru/article/anomalnaya-rossiya>
10. Bovanenkovskaya voronka na poluostrove Yamal. [Elektronnyy resurs] – Rezhim dostupa: <https://yandex.ru/images/search?text=Bovanenskaya%20voronka%20na%20poluostrove%20Yamal&stype>

*POSSIBLE CAUSES OF GAS FORMATION  
OF CRATERS ON THE YAMAL PENINSULA*

**M.G. IVANOV, G.M. CHUDAKOV, I.A. TERESHCHENKO**

*Kuban State Technological University,  
2, Moskovskaya st., Krasnodar, Russian Federation, 350072,  
e-mail: geriatr-kgmu@mail.ru*

The Yamal failures soil is still considered not fully known anomaly of nature, random phenomenon. Scientists from the research center for the study of the Arctic and the Earth Cryosphere Institute found that the sinkhole has a natural origin, and not a consequence of NE-any man-made effects, such as an explosion or a meteorite. As a result of several expeditions to the Yamal scientists have found that a possible cause of the origin of the mysterious gas edge-ters became pnevmohlopok caused by the decomposition of gas hydrates

in connection with the global arctic tundra climate warming. The study "bovanenskogo" gas crater continues to understand the gas ejection process and to predict the likelihood of its occurrence in other parts of the Arctic. The only thing that scientists are able to do - is to predict where and when they become available in time to evacuate people. After all, permafrost extended by more than 60% of the territory of Russia. It built large cities such as Yakutsk, Vorkuta and Norilsk.

**Key words:** gas craters, ground failures, funnel Yamal tundra, gas hydrates.