

# Проблемы бурения и добычи в газонасыщенной вечной мерзлоте

Владимир Якушев

По мере продвижения нефтегазодобывающих предприятий в арктические регионы нарастает число осложнений на скважинах, связанных с особенностями вечной мерзлоты. Если такие осложнения не прописаны в нормативных документах и не привели к аварии, то зачастую они признаются несущественными и замалчиваются. Однако отсутствие серьезных аварий сейчас не означает их отсутствия в будущем при освоении прибрежных и шельфовых месторождений Арктики. Одна из таких «несущественных» проблем — внутримерзлотные газ-газогидратные скопления, генерирующие выбросы газа при бурении или при небольшом тепловом воздействии. Наличие реликтовых газогидратов в приповерхностных слоях вечной мерзлоты в арктических регионах приводит к пересмотру представлений о вечной мерзлоте как о неблагоприятном для газонакопления интервале. Недоучет наличия внутримерзлотных газ-газогидратных скоплений уже привел к ряду аварийных ситуаций на скважинах, однако целенаправленных систематических исследований этого явления с бурением специализированных скважин с отбором мерзлого керна до сих пор не проводится.

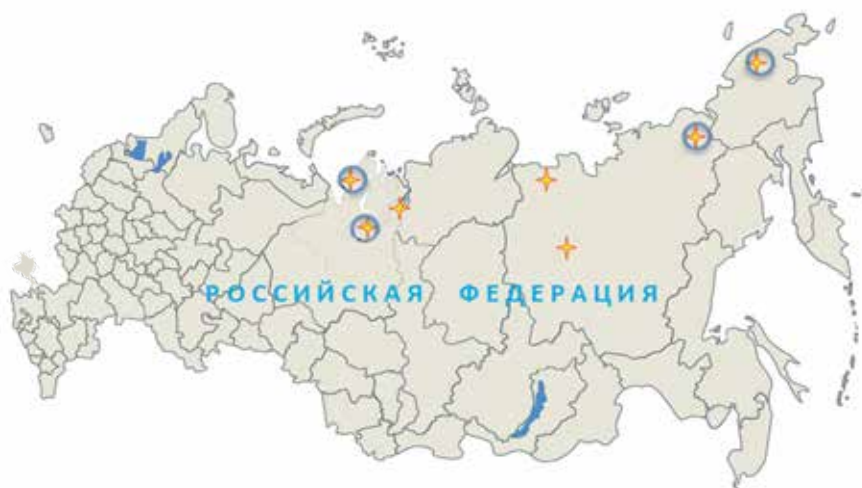
Ключевые слова: арктические регионы, бурение вечной мерзлоты, выбросы внутримерзлотного газа, реликтовые газогидраты.

Строительство и эксплуатация нефтяных и газовых скважин в вечной мерзлоте Крайнего Севера с самого начала столкнулись с рядом проблем, нехарактерных для областей отсутствия мерзлоты. Прежде всего это было обратное промерзание массива пород вокруг остановленной скважины, что приводило к деформации и даже сломам обсадных труб, недоподъем цемента до устья в связи с его поглощением в слоях вечной мерзлоты, просадки мерзлых пород вокруг устьев в процессе эксплуатации скважин с последующей деформацией ствола скважины и ряд других.

Каждый раз, когда на скважине возникала проблема, которая не была описана в инструктивных материалах по строительству и эксплуатации скважин, еще в советские времена она поначалу замалчивалась производственными предприятиями по принципу «не выносить сор из избы» или «это единичный случай». И только когда проблема нарастала со временем, грозя срывом планов бурения или даже авариями на скважинах, ей начинали уделять внимание, проводя исследования и составляя новые методические указания. Так было и с обратным промерзанием,

Рисунок 1

Места обнаружения природных газовых гидратов в арктических и приарктических регионах России



○ — реликтовые, законсервировавшиеся в вечной мерзлоте, гидраты

и с просадками грунтов вокруг устьев. По мере продвижения предприятий газовой и нефтяной промышленности к арктическому побережью проблем, связанных с вечной мерзлотой, становится больше и по числу, и по частоте проявлений. Однако зачастую промысловый подход к их исследованию и предотвращению остается прежним: раз их описание отсутствует в нормативных документах, это «несущественные» проблемы.

### «Консервированные» реликтовые газогидраты

Такой нарастающей «несущественной» проблемой в последние годы являются внезапные газовыделения и выбросы горючего газа из зоны вечной мерзлоты с небольших глубин (от 15 до 200 м) при бурении и эксплуатации скважин. Исследования компонентного состава показали, что это преимущественно метан или болотный газ (92–99%) с примесью азота (1–8%) [1]. Однако еще с начала 1980-х годов буровые бригады, сталкивавшиеся с этими выбросами во время разбуривания Уренгойского, Ямбургского месторождений, связывали их причину с наличием в вечной мерзлоте небольших газогидратных залежей, так как газовыделения активизировались при интенсивном тепловом воздействии скважины на мерзлый массив и затухали при отсутствии потока тепла [2]. Это предположение не находило поддержки в научной среде, поскольку было хорошо известно, что на таких глубинах гидраты газовой смеси указанного состава существовать не могут вследствие неблагоприятных термобарических условий. Более того, предполагалось, что это локальные прорывы глубинного газа, хотя состав газа не всегда соответствовал нижележащим продуктивным толщам.

Газопроявления обычно бывали небольшой интенсивности и были видны либо при разгазировании бурового раствора при бурении, либо лишь по весне при залипании талой водой приустьевых воронок протаивания на эксплуатируемых скважинах. Это привело к практике замалчивания подобных событий, если только они не заканчивались авариями (выбросами бурового раствора и инструмента, возгораниями). Такая практика продолжается на ряде месторождений и сегодня, приводя к установившемуся мнению, что да, проблема есть, но она несущественная. Исключение составляют аварийные случаи, которые уже невозможно игнорировать и сведения о которых просачиваются в СМИ [3].

Между тем сначала экспериментально, а затем и в природе было обнаружено свойство газовых гидратов, и прежде всего гидрата метана, консервироваться, защищаться от внешней неблагоприятной среды при температурах ниже 0°C. Это свойство было названо «эффект самоконсервации газогидратов» [4]. Исследования, проведенные сотрудниками «Газпром ВНИИГАЗа» и МГУ им. М. В. Ломоносова, позволили установить широкое распространение проявлений этого эффекта в природе и его применимость для создания новых технологий хранения и транспорта природного газа [5]. Исследования мерзлого ядра ненарушенного сложения, извлеченного из верхних слоев вечной мерзлоты на севере Западной Сибири и Канады [1, 6], показали, что были правы члены буровых бригад, утверждавшие, что

**Владимир Якушев** — д. г.-м. н., профессор кафедры разработки и эксплуатации газовых и газоконденсатных месторождений РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина. Область профессиональных интересов: поиск, разведка, разработка, подготовка и хранение природного газа.

### DRILLING AND OPERATION OF WELLS IN PERMAFROST

#### Another challenge of the development of Arctic fields

As oil and gas companies make advances in the Arctic region, the permafrost-related drilling complications there increase in number. If such complications are not specified in regulatory documents and have not resulted in an accident, they are frequently deemed to be minor and are suppressed. However, the fact there are no serious incidents today does not mean there will not be any when near-shore and offshore fields are developed in the Arctic in the future. One such "minor" problem is intra-permafrost gas hydrate formations, which cause gas emissions during drilling or with slight thermal stimulation. The presence of connate gas hydrates in the near-surface permafrost layers in Arctic regions is now making us rethink our approach to permafrost as one that is unfavorable interval for gas formations. Failure to take the presence of intra-permafrost gas and gas hydrate formations into account has already resulted in a number of downhole incidents, however no dedicated, systematic studies of this phenomenon by drilling specialized wells and collecting frozen core have yet been carried out.

Keywords: Arctic regions, permafrost drilling, intra-permafrost emissions, connate gas hydrates.

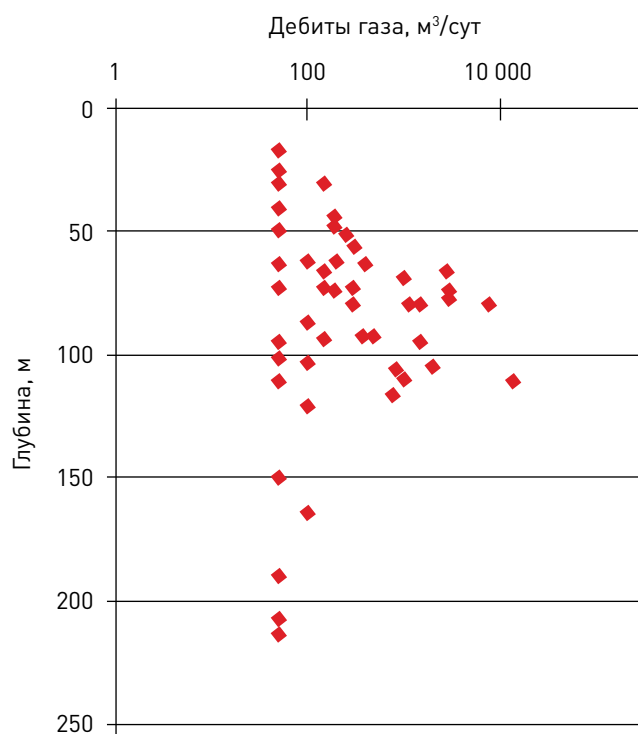
**Vladimir Yakushev**

ряд газопоявлений при бурении верхних горизонтов вечной мерзлоты связан с внутримерзлотными газогидратными залежами. Только газогидраты там не стабильные, находящиеся в благоприятных термодинамических условиях, а законсервированные, метастабильные, залегающие в многолетнемерзлых породах (ММП) с первых метров по глубине. Так как они сформировались когда-то в прошлом, в благоприятных термодинамических условиях, а потом эти условия исчезли и теперь гидраты находятся в неблагоприятных условиях, они получили название «реликтовые».

Именно эти гидраты представляют наибольшую опасность при бурении и эксплуатации скважин, так как залегают на небольших глубинах (5–200 м) и содержат гораздо больше газа, чем если бы он находился в свободном состоянии (1 м<sup>3</sup> гидрата содержит около 160 м<sup>3</sup> метана).

На рисунке 1 показаны районы обнаружения континентальных газогидратов в арктических и приарктических регионах России. Кружочком выделены случаи залегания неглубоких внутримерзлотных, реликтовых, гидратов.

**Рисунок 2**  
Дебиты газа из интервала вечной мерзлоты на мерзлотно-параметрических скважинах Бованенковского НГКМ



Источник: данные НТФ «Криос»

**Потенциал газонасыщенности и компонентный состав**

Фактически вся территория распространения ММП является потенциально гидратоносной. Гидраты могут быть рассеяны в порах мерзлых пород, и их удельное содержание может быть менее 1%, или они могут формировать внутримерзлотные газ-газогидратные скопления, которые при вскрытии скважинами активно начинают выделять газ, прежде всего из газовой части. Так, на Бованенковском нефтегазоконденсатном месторождении на п-ове Ямал усилиями буровой компании «Криос» были проведены испытания

нескольких скважин, вскрывших газ-газогидратные скопления в интервале вечной мерзлоты [7]. В результате проведенных исследований было установлено, что дебиты газа на скважинах могут достигать более 10 тыс. м³/сут (рис. 2), а газовыделения могут продолжаться неопределенно долгое время, свидетельствуя о значительных запасах газа. Проведенные исследования компонентного состава газа и изотопного состава углерода метана показали, что газ местный, микробиаальный, образовавшийся из захороненной в четвертичных отложениях органики (табл. 1).

**Наблюдение и борьба с газопроявлениями**

Многочисленность зафиксированных внутримерзлотных газопроявлений (практически каждая вторая скважина на месторождении при бурении встречала внутримерзлотные газ-газогидратные прослой) и генезис газа в них дали основания утверждать, что явление имеет широкое распространение по площади и не связано с вертикальной миграцией более глубинного газа из продуктивных толщ Бованенковского НГКМ. Это заставило при массовом разбуривании месторождения эксплуатационными скважинами производить опережающее бурение неглубоких дегазационных скважин в местах расположения скважинных кустов. Но полностью такой подход проблему не снял, и на ряде бурящихся эксплуатационных скважин все же случались задержки в графике бурения, связанные с внезапными выбросами внутримерзлотного газа.

Наличие внутримерзлотных газ-газогидратных скоплений породило и другие проблемы на скважинах, например застывание цемента в газопроявляющих интервалах ММП, которое, по-видимому, происходило в условиях газонасыщения, что привело к плохому контакту цемента и окружающих пород, кавернообразованию в цементном кольце и возможности проникновения внутримерзлотного газа в межколонное пространство или его прорыву вверх вдоль контакта цемент – порода. Косвенно это подтверждают как определения изотопного состава углерода метана в некоторых (не всех!) межколонных

**Таблица 1**  
Компонентный состав газа и изотопный состав углерода метана из внутримерзлотных газ-газогидратных скоплений на п-ове Ямал [1]

№ скв.	Глубина, м	Возраст	$\delta^{13}C$ (‰)	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
51-П-1	28-33	Qm <sub>3</sub>	-73,9	99,82	0,09	0,07	0,02
51-П-1	59-64	Qm <sub>2</sub>	-74,6	98,17	1,63	0,15	0,05
51-П-3	62-69	Qm <sub>2</sub>	-72,3	99,57	0,35	0	0,08
52-П-1	119-123	Qm <sub>2</sub>	-71,8	98,02	1,9	0	0,08
52-П-1	63-70	Qm <sub>2</sub>	-71,0	98,24	1,64	0	0,12
52-П-2	46-52	Qm <sub>2</sub>	-70,4	99,98	0,02	0	0
52-П-2	114-120	Qm <sub>2</sub>	-70,4	99,49	0,51	0	0

газопроявлениях (например, скв. 2907 Бованенковского месторождения), так и наблюдения заколонных выходов газа при тепловом воздействии работающей скважины на окружающие ММП (фото 1).

Заколонные газопроявления наиболее интенсивны в начальный период эксплуатации скважин, когда идет наиболее быстрое оттаивание ММП вокруг нетеплоизолированных скважин. Однако и через многие годы эксплуатации можно наблюдать такие выходы газа в приустевых воронках, заполненных водой в весенне-летний период. Например, на некоторых скважинах Ямбургского НГКМ заколонные газопроявления отмечаются и через 20 лет эксплуатации и отстоят от устья скважины на 3–5 м. Связано это с ростом радиуса оттаивания ММП вокруг скважины и соответствующим оттаиванием внутримерзлотных газогидратов.

Совершенно очевидно, что пока не будет решена проблема поиска и оконтуривания подобных внутримерзлотных газ-газогидратных скоплений, всегда будет существовать опасность возгорания на устье или отравления обслуживающего персонала.

### Ямальская воронка

Другая опасность связана с внезапным прорывом газа внутримерзлотного скопления на поверхность и формированием воронки взрыва, или «ледяного кратера» (по В. И. Богдавленскому, [8], фото 2).

Механизм формирования таких кратеров до конца пока не изучен, но совершенно очевидно, что он сформирован водогазовым прорывом из толщи ММП. Одной из причин возникновения высокого давления в толще ММП может являться частичное оттаивание внутримерзлотных, реликтовых, гидратов, которое должно сопровождаться выделением значительных объемов газа. То есть фактически на

Фото 1

**Заколонные проявления внутримерзлотного газа около работающей газовой скважины**



Фото Н. Р. Аветова

Фото 2

**Ямальская воронка — результат выброса водогазовой смеси из вечной мерзлоты**



Фото В. И. Богдавленского

поверхность прорывается небольшое газовое месторождение. Как показали недавние эксперименты с гидратсодержащими глинистыми грунтами из стенки кратера, проведенные в РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина (в печати), оттаивание реликтовых гидратов может быть спровоцировано температурными изменениями в доли °С при температурах существенно ниже 0°С. Это зависит от состава, засоленности и влажности/льдистости пород, вмещающих гидраты.

Учитывая площадное распространение внутримерзлотных газ-газогидратных скоплений по территории п-ова Ямал, предсказать места возникновения новых воронок взрыва без поиска и разведки этих скоплений практически невозможно. К счастью, подобные прорывы отмечаются редко и пока не нанесли вреда оборудованию и персоналу на северных месторождениях.

### Пути решения проблемы

Как можно было бы решить проблему прогноза таких выбросов внутримерзлотного газа? По опыту компании «Криос», хорошие результаты дает бурение мерзлотно-параметрических скважин с отбором мерзлого керна в газоопасных интервалах вечной мерзлоты. Керна должен храниться при температурах -20...-15°С и исследоваться на газосодержание и проницаемость. Хотя такая процедура уже неоднократно применялась на скважинах компании в инициативном порядке и привела к открытию ряда внутримерзлотных газ-газогидратных скоплений на п-ове Ямал, она до сих пор не вошла в какие-либо обязательные нормативные документы при проектировании и проведении буровых работ на вводимых в разработку арктических месторождениях из-за нежелания компаний-операторов нести дополнительные расходы на подобные процедуры.



## Заключение

Отсутствие серьезных аварий, связанных с выделениями внутримерзлотного газа, порождает отношение к этой проблеме как к несущественной. Однако очевидно, что проблема нарастает с продвижением вглубь арктических регионов, где эти газопроявления становятся все чаще и интенсивнее. Освоение месторождений Арктического шельфа к востоку от архипелага Новая Земля будет связано с необходимостью сооружения добывающих скважин в условиях подводной вечной мерзлоты — аналога ММП на п-ове Ямал. Соответственно, можно ожидать подобных выбросов внутримерзлотного газа при операциях на шельфе. Первый случай дегазации подводной мерзлоты при бурении на Арктическом шельфе, которая чуть не привела к потере бурового судна, уже зафиксирован в Печорском море [9]. Последствия недоучета проблемы внутримерзлотных газогидратных скоплений на Арктическом шельфе будут значительно тяжелее, чем на суше. И, чтобы не столкнуться в будущем с этой проблемой на шельфе, ее нужно вывести из разряда «несущественных» уже сейчас, на суше. 💧

*Исследования проведены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках выполнения проектной части государственного задания в сфере научной деятельности (Задание № 13.290.2014/К).*

## Литература

1. Якушев В.С. Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне. – М.: ВНИИГАЗ, 2009. – 192 с.
2. Якушев В.С., Истомина В.А., Колушев Н.Р. Методические рекомендации по особенностям сооружения и эксплуатации скважин в мерзлых и талых породах, содержащих газовые гидраты. – М.: ВНИИГАЗ, 1989. – 54 с.
3. <http://www.rbc.ru/rbcfreenews/5558b27d9a79473ce445c1cd>
4. Якушев В.С. Газовые гидраты в криолитозоне // Геология и геофизика, 1989, № 11. – С. 100–105.
5. Ершов Э.Д., Лебедеко Ю.П., Чувиллин Е.М., Истомина В.А., Якушев В.С. Проблемы устойчивости газогидратных залежей в криолитозоне // Вестник Московского университета, 1992, сер. 4 «Геология», № 5. – С. 82–87.
6. Dallimore S.R., Collett T.S. Intrapermmafrost gas hydrates from a deep core hole in the Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada // Geology, 1995, Vol. 23, No. 6. – P. 527–530.
7. Чувиллин Е.М., Якушев В.С., Перлова Е.В., Кондаков В.В. Газовая компонента толщ мерзлых пород в пределах Бованенковского газоконденсатного месторождения (п-ов Ямал) // Доклады РАН, 1999, том 369, № 4. – С. 522–524.
8. Богоявленский В.И. Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала // Бурение и нефть, 2014, № 9. – С. 13–18.
9. Мельников В.П., Спесивцев В.И., Куликов В.Н. О струйной дегазации углеводородов как источнике новообразований льда на шельфе Печорского моря // Международная конференция, Пуццино, 23–26 апреля 1996 года. – Новосибирск: Наука, 1997. – С. 259–269.

**EAGE**



## Совместный семинар EAGE/SPE 2017: Наука о сланцах Проблемы разведки и разработки

10-11 апреля 2017 г. – Москва, Россия

### Темы научных сессий:

- Региональная геология и бассейновое моделирование
- Технологии разведки
- Модель коллектора
- Технологии разработки и геомеханика
- Геологические модели и методы оценки запасов и ресурсов

Программа семинара на сайте: [www.eage.ru](http://www.eage.ru)

### Цели семинара:

- обсуждение актуальных вопросов и современных достижений
- обмен опытом экспертов широкого круга геолого-геофизических специальностей и создание платформ для сотрудничества
- определение приоритетных направлений в области изучения и разработки нетрадиционных скоплений нефти и газа

[www.eage.ru](http://www.eage.ru)  
[www.eage.org](http://www.eage.org)

**Предварительная регистрация — до 30 марта 2017 г.**  
**E-mail: [wsh@eage.org](mailto:wsh@eage.org)**

Реклама