

УДК 548.562

DOI 10.29222/ipng.2078-5712.2018-23.art71

## МЕХАНИЗМЫ КОНЦЕНТРАЦИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА В КРИОЛИТОЗОНЕ

Якушев В.С., РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина  
E-mail: yak\_you@mail.ru

**Аннотация.** Выделения природного газа из интервала криолитозоны при бурении и эксплуатации скважин на северных месторождениях нефти и газа показали, что вечная мерзлота не только не является непроницаемым барьером для вертикальной и латеральной миграции газа, но и сама может приводить к формированию газовых и газогидратных скоплений по мере своей эволюции. Рассмотрены механизмы формирования газовых и газогидратных скоплений при промерзании разреза рыхлых отложений: формирование ядра многолетнего бугра пучения, выделение в свободную фазу и отжатие порового водорастворенного газа вниз по разрезу при многолетнем промерзании, рассеянное гидратообразование из водорастворенного газа в тонких порах глинистых пород при промерзании.

**Ключевые слова:** криолитозона, внутримерзлотные газовые и газогидратные скопления, водорастворенный газ, объемное промерзание.

## MECHANISMS OF NATURAL GAS CONCENTRATION IN THE CRYOLITHOZONE

Yakushev V.S., Gubkin Oil and Gas University  
E-mail: yak\_you@mail.ru

**Abstract.** Natural gas emissions from the permafrost during drilling and well operation in the northern oil and gas fields showed that permafrost is not only an impermeable barrier to vertical and lateral gas migration, but can lead to the formation of gas and gas hydrate accumulations itself as it evolves. The mechanisms of gas and gas hydrate formation and accumulations during freezing of the loose sediment sections are considered: the multiyear pingo core formation, the free phase release and dissolved gas release from pore water down the section during multiyear freezing, scattered hydrate formation from water-soluble gas in thin pores of the mud during freezing.

**Keywords:** cryolithozone, gas and gas hydrate accumulations inside the permafrost, water-soluble gas, bulk freezing.

Достаточно долгое время слой рыхлых мерзлых отложений априори принимался практически непроницаемым для газа, что ставило под сомнение существование каких-либо значительных газовых ресурсов в толще вечной мерзлоты. Однако, многолетние исследования газопроявлений из мерзлой толщи показали, что в интервале криолитозоны вполне могут формироваться и длительное время существовать газовые и газогидратные скопления различного масштаба [5]. При этом газ в этих скоплениях может иметь совершенно разный генезис: он может быть микробиальным, катагенетическим, угольным, сланцевым или даже иметь неорганическое происхождение [6]. Однако, остается открытым вопрос: каковы механизмы концентрации газа в разрезах криолитозоны, приводящие к формированию газовых и газогидратных скоплений?

Очевидно, что если при эпигенетическом промерзании разреза в интервал криолитозоны попадает обычная газовая или нефтегазовая залежь, то вопрос о формировании такой залежи не стоит: эта проблема хорошо изучена геологами – нефтяниками и газовиками. Хотя стоит отметить, что до сих пор в разрезе криолитозоны в мире не задокументирована ни одна газовая залежь с промышленными запасами газа. И не потому, что их нет, а потому, что не ставятся поисковые работы. Вполне вероятно накопление газа вокруг газоматеринского пласта (угольного, сланцевого), частично попавшего в криолитозону [6]. Но наиболее интересным представляется механизм концентрации местного, микробиального газа, наиболее широко распространенного в мерзлых рыхлых отложениях, приводящий порой к выбросам водогазовой смеси из недр вечной мерзлоты [1].

Так как формирование «ледяных кратеров» достаточно тесно связано с формированием многолетних бугров пучения («пинго» или «булгунняхов»), то имеет смысл рассмотреть эволюцию концентрации внутримерзлотного газа при формировании такого бугра. В целом, механизм формирования многолетних бугров пучения хорошо изучен и изложен во многих публикациях (например, [3]). Объемное промерзание подозерного талика должно приводить к постепенному накапливанию водрастворенного газа в ядре бугра пучения. Прежде всего, за счет понижения растворимости газа на порядок при переходе воды из жидкого в твердое состояние. Замыкание фронта промерзания и образование замкнутой области промерзания неизбежно должно приводить к росту давления внутри остающегося талого ядра, которое уменьшается в объеме со временем. Далее возможны 2 сценария: либо произойдет прорыв водогазовой смеси из

этого ядра, либо, если перекрывающие породы достаточно упрочнились в ходе промерзания, давление в промерзающем ядре должно превысить давление гидратообразования и произойдет формирование газогидратов. После этого давление уже расти не будет (газ ушел в гидратное состояние) и полное промерзание талика будет сопровождаться формированием ледово-гидратного ядра, как это наблюдалось в экспериментах [2].

Подобный механизм может проявиться и при активном фронтальном эпигенетическом промерзании больших территорий (например, вышедших из-под арктического океана), когда фронт промерзания «гонит» перед собой вниз по разрезу «облако» газа, выделяющегося из водорастворенного состояния в порах промерзающих пород. Встретив проницаемый пласт, газ вполне может в нем «разместиться» сформировав внутримерзлотную газовую или газ-газогидратную залежь [4].

Но наиболее слабо изучен механизм газопроявлений при оттаивании мерзлых глинистых кернов, извлеченных из интервала криолитозоны. Такие газопроявления отмечались, например, из мерзлых суглинков, извлеченных из мерзлотно-параметрических скважин на п-ове Ямал [5]. Известно, что глинистые породы часто являются покрышками для обычных газовых залежей вследствие малой проницаемости по газу. Выделения газа при оттаивании мерзлых глинистых пород могут быть объяснены только существованием рассеянных в порах реликтовых (метастабильных) внутримерзлотных газогидратов, способных хранить газ в концентрированном состоянии (до 160–170 куб. м на 1 куб. м гидрата). Учитывая, что газовыделения происходили из образцов с практически полным заполнением пор льдом и незамерзшей водой, можно предполагать, что формирование мельчайших кристаллов гидратов в порах глинистых пород происходило также в результате кристаллизационного давления при переходе воды из жидкого в твердое состояние, но уже на уровне поры. Водорастворенный газ не имел возможности уходить из поры и при полном промерзании связывался с водой, формируя гидраты.

Как показали недавние экспериментальные исследования стабильности таких внутримерзлотных гидратов при небольших изменениях температуры [7], именно они могут формировать площадные выходы газа (мерзлотные «покмарки»), особенно при развитии термокарстовых озер.

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. ММП проницаемы для метана, особенно в нижней, слабо льдонасыщенной зоне и могут являться коллекторами газа.
2. Газ внутри разреза криолитозоны может быть микробиальным, катагенетическим, угольным, сланцевым.
3. Газ может быть местным (например, при промерзании обычной газовой залежи), а может быть мигрировавшим из подмерзлотной части разреза.
4. Промерзание разреза оказывает концентрирующее влияние на растворенный в поровой влаге газ, что может приводить к повышению давления и гидратообразованию.
5. Объемное промерзание таликов в ядрах бугров пучения может приводить к выбросам водогазовой смеси (в т.ч. периодическим), либо к гидратообразованию и консервации бугра.
6. Разложение реликтовых внутримерзлотных гидратов может иметь массовый характер при малых изменениях температуры разреза криолитозоны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Богоявленский В.И.* Выбросы газа и нефти Выбросы газа и нефти на суше и акваториях Арктики на суше и акваториях Арктики и Мирового океана // Бурение и нефть. 2015. №6. С. 4–9.
2. *Ершов Э.Д., Лебедеко Ю.П., Чувиллин Е.М. и Якушев В.С.* Экспериментальные исследования микростроения агломерата лед-гидрат метана. // Инженерная геология, 1990. №3. С. 38–44
3. *Общее мерзлотоведение (геокриология)*, изд. 2. Учебник. Под ред. В.А. Кудрявцева, М., Изд-во МГУ, 1978.
4. *Якушев В.С.*, Одна из возможных причин газовых выбросов в толщах многолетнемерзлых пород // Геология нефти и газа, 1989. №4. С. 45–46.
5. *Якушев В.С.* Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне/ М., ВНИИГАЗ, 2009, 192 с.
6. *Якушев В.С.* Генетические типы углеводородных газов в многолетнемерзлых толщах. // Криосфера Земли. 2015. Т. XIX, № 3. С. 71–76
7. *Yakushev V.S., Semenov A.P., Bogoyavlensky V.I., Medvedev V.I., Bogoyavlensky I.V.* Experimental modeling of methane release from intrapermafrost relic gas hydrates when sediment temperature change // Cold Regions Science and Technology, Volume 149, May 2018, P. 46–50.