

ЭВОЛЮЦИЯ КРИОГЕННЫХ СКОПЛЕНИЙ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА В АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ В КВАРТЕРЕ*

В. А. Друщиц, Т. А. Садчикова

ФГБУН Геологический институт РАН, г. Москва

Аннотация

Скопления криогенных гидратов природного газа встречаются в гляциальных и перигляциальных условиях в различных регионах Арктики. В течение четвертичного периода смена ледниковий на межледниковья способствует циклическому развитию газогидратов, превращая их в возобновляемый сырьевой ресурс. Мощности четвертичных отложений, многолетнемерзлых пород и зоны стабильности гидратов газа раскрывают эволюционный ход существования гидратов газа. Особенно благоприятные обстановки для развития газогидратов складываются в перигляциальных областях смежных с ледниковыми, когда они долгое время не подвергались оледенению. Эти области отличаются стабильными условиями для развития скоплений гидратов газа, что способствует их сохранению в течение четвертичного периода.

Ключевые слова:

криогенные гидраты природного газа, ледниковые, перигляциальные обстановки, Арктика, квартал.

PERMAFROST NATURAL GAS HYDRATE DEVELOPMENT IN THE ARCTIC REGIONS FOR QUATERNARY

Valentina A. Drouchits, Tamara A. Sadchikova

Geological Institute of RAS, Moscow, Russia

Abstract

Permafrost natural gas hydrates are distributed in glacial and periglacial environments of the Arctic regions. Glacial and periglacial conditions create gas hydrate cyclic development in Quaternary, and they become the renewable natural resources. The thicknesses of quaternary sediments, permafrost, and gas hydrate stability zone show clathrate evolution in different arctic regions. Climate and tectonics influence on conservation and volume increasing both in glacial and periglacial environments. The best conditions for gas hydrate development are in periglacial areas, which are adjacent with glacial ones, especially if they were out of glacier for a long time. These areas are Mackenzie delta and adjacent offshore and Northern part of the Western Siberia, where there is significant field of relict gas hydrates. Vast periglacial regions have good stable conditions for gas hydrate formation. It maintains them during quaternary. Permafrost gas hydrates in similar environments decay more rapidly in tectonic active zones.

Keywords:

permafrost natural gas hydrates, glacial and periglacial environments, Arctic, quarter.



Введение

В Арктике на суше и в акваториях распространены криогенные гидраты природного газа, главным образом метана. Интерес к исследованиям этих образований вызван их принадлежностью к нетрадиционным углеводородным ресурсам, участием в глобальном цикле углерода и генерацией опасных природных явлений. Следует подчеркнуть, гидраты газа (ГГ) относятся к возобновляемым

* Исследования проведены в соответствии с планами научно-исследовательской работы ГИН РАН (№ 0135-2016-0022, № 0135-2016-0009) при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-00795).

природным ресурсам. Залежи и скопления клатратной формы метана, как правило, приурочены к нефтегазоносным бассейнам. Проведено сравнение природных обстановок квартера для известных и доказанных по косвенным признакам скоплений ГГ.

Изучение природных обстановок квартера дает возможность пролить свет на проблему образования, сохранения и восстановления этого типа нетрадиционных ресурсов углеводородов.

Природная среда квартера разделяется на гляциальные и перигляциальные условия, которые сопровождаются трансгрессивно-регрессивными циклами, неотектоническими процессами, гляциоизостазией. Наиболее достоверные количественные данные по природным обстановкам четвертичного периода, относятся к позднему неоплейстоцену, поэтому основные выводы, полученные в ходе работы, основаны количественных характеристиках именно этого времени, которые экстраполируются на весь четвертичный период.

Гидраты природного газа в гляциальных и перигляциальных условиях

Гляциальные условия характеризуются развитием мощных ледниковых покровов, строение и динамика которых определяет пограничные условия существования ГГ. Ледниковый покров имеет очень сложную структуру, начиная с таких показателей, как мощность, боковые границы, скорость движения, наличие озер, и заканчивая такими аспектами, как, строение и динамика краевой зоны, температурный режим подошвы ледника. В межледниковье возникают изменения термобарического режима, мощная активизация эрозионных процессов. В результате в ходе резкой смены условий седиментации изменяются рельеф, литология, мощности отложений, сокращаются криолитозона, зона стабильности гидратов газа (ЗСГГ) или исчезают совсем (табл. 1, по [1–6]).

Проявления клатратной формы метана могли находиться в зонах разгрузки термогенного газа в области Балтийского щита, на площадях нефтегазовых месторождений Баренцева моря, однако скоротечный коллапс ледникового щита в период межледниковья приводил к диссоциации ГГ. Особо стоит отметить развитие процессов гляциоизостазии, которое привело к воздыманию центральной части Балтийского щита на 800 м в постгляциальное время [7]. Центр Кольского п-ова испытал изостатическое поднятие на 80 м 9000 лет назад [8]. На современном этапе Балтийский щит поднимается со скоростью 2–8 см/год от периферии к центру и вся его площадь и прилегающий шельф подвергаются землетрясениям [9]. Такие же скорости характерны и для Кольского п-ова. Все это свидетельствует об активной тектонике в послеледниковье.

Известны острова вечной мерзлоты на Кольском п-ове, сведений о ГГ нет. Шельф Баренцева моря также подвергался покровному оледенению. Изменение термобарических условий приводят к диссоциации ГГ. На шельфе наблюдаются множество факелов разгрузки метана, развитие специфических форм рельефа, пингоподобные структуры, покмарки. Многолетнемерзлые породы отсутствуют, распространены многолетнеохлажденные породы [2].

Возможно, ГГ существовали в западной части моря Лаптевых, в позднем валдае, на периферии Таймырского и Северо-Земельского ледников [3].

В области Канадского щита, по косвенным признакам, предполагается наличие клатратов метана в районе золоторудной шахты Люпин (зона сплошного распространения многолетнемерзлых пород). Судя по скорости воздымания, эта область находится под влиянием гляциоизостазии [4]. Также известны проявления ГГ на островах Канадского Арктического архипелага в интервале 470–930 м при сплошной криолитозоне мощностью 10–726 м [10]. По данным сейсмопрофилирования, ГГ, вероятно, сохранились на западном шельфе Гренландии, предполагается, что мощность гидратосодержащей толщи составляет 70 м [6].

Эти данные свидетельствуют о том, что при суровом климате таяние ледника не приводит к полному уничтожению ГГ, более того формируется или сохраняется мощная криолитозона, с которой они связаны.

Таблица 1
 Table 1

 Характеристики гляциальных обстановок распространения ГГ
 Characteristics of gas hydrate glacial environments

Характеристика Characteristic	Север Европы Northern Europe		Море Лаптевых, зап. часть Laptev Sea, western part	Гренландия Greenland		Север Канадского щита, шахта Люпин North of Canadian Shield, Lupin mine
	Суша Land	Море Sea		Суша Land	Море Sea	
Мощность ледника, м Glacier thickness, m	2000–3000	2000	200	2000– 3500	1500	≥3500
Мощность ММП, м Permafrost thickness, m	Островная Island		50–350	Сплошная Continuous 200–400		Сплошная Continuous 400–600
Мощность четвертичных осадков, м Quaternary sediment thickness, m	0–170	0–150	≥100	0–10	40	0
Современные тектонические движения, мм/год Recent tectonic movement, mm/yr	8,1–8,5	-12,9...-11,0	1,1–3,0	Побережье shore 0,0–8,0 центр centre -2,0...-5,0	-1,0...-8,0	10,85
Мощность ЗСГГ, м Thickness of gas hydrate stability zone, m		500–1000				540–1130

Перигляциальные условия. Необходимо отметить, что клатратные образования существовали с начала формирования криолитозоны в позднем плиocene и могли консервироваться и сохраняться в межледниковые эпохи, что мы и наблюдаем в настоящее время [11]. Природные обстановки перигляциальных зон довольно разнообразны (табл. 2).

Печорское море отличается от остальной акватории Баренцева моря наличием островных массивов многолетнемерзлых пород. Предполагается, что наблюдаемая интенсивная эмиссия метана вызвана диссоциацией ГГ. Север Западной Сибири, помимо Мессояхских месторождений, обладает крупным полем метастабильных реликтовых ГГ в четвертичных отложениях ряда газоконденсатных месторождений. Их образование может объясняться суровыми природными условиями перигляциальных областей, смежных с ледниковыми покровами. Это может быть следствием и пассивного оледенения [1, 6].

Таблица 2
Table 2Характеристики перигляциальных обстановок распространения ГГ (по [2, 11–14])
Characteristics of gas hydrate periglacial environments (after [2, 11–14])

Характеристика Characteristic	Печорское море Pechora Sea	Север Западной Сибири Northern part of Western Siberia		Северное побережье Аляски Alaska North Slope		Дельта р. Маккензи Mackenzie Delta	
		Суша Land	Море Sea	Суша Land	Море Sea	Суша Land	Море Sea
Мощность ММП, м Permafrost thickness, m	Островная Island 30–40	Сплошная Continuous 320–350	Островная Island	Сплошная Continuous 600	Островная Island 300	Сплошная Continuous 700	Сплошная Continuous 400–700
Мощность четвертичных осадков, м Quaternary sediment thickness, m	120	≥ 200	0–120	100		22–55	
Мощность ЗСГГ, м Thickness of gas hydrate stability zone, m	100–300	200–550		180–900	180–900	500–700	600–1300
Интервал ГГ, м Gas hydrate interval, m		730–770 40–150*		210–950		890–1100	550–1450

*Метастабильные ГГ.

*Metastable gas hydrates.

Наиболее крупные скопления ГГ находятся в море Бофорта, на северном побережье Аляски и в районе дельты р. Маккензи. В этих регионах, помимо залежей ГГ на суше, доказано наличие клатратов на шельфе. Эти территории не подвергались оледенению, но дельта Маккензи находилась в непосредственной близости к леднику во время последнего ледникового максимума. На шельфе, прилегающем к дельте, сформировалась мощная и значительная по площади субаквальная криолитозона, к ней приурочены мощные скопления ГГ. Северное побережье Аляски занимает более скромное положение относительно распространения ГГ в акватории: многолетнемерзлые породы и сопряженные с ними газогидраты выклиниваются к 20-метровой изобате [12, 13].

Восточная Арктика находилась в перигляциальной обстановке в течение четвертичного периода. Мощность криолитозоны может достигать 800 м. Здесь обнаружены только проявления ГГ на суше и косвенные признаки их присутствия в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском. Море Лаптевых с рифтовой системой (расположение границы Североамериканской и Евразийской литосферных плит) является современной активной геодинамической областью, где разрушается криолитозона, фиксируются очаги разгрузки метана, частые землетрясения [11]. Чукотское море отличается также активной тектоникой и находится под влиянием Тихого океана. На основании расчетов предполагается, что ГГ могут сохраняться в береговой зоне западной части Чукотского п-ова [15].

Заключение

Выделенные обстановки (ледниковые и перигляциальные), в которых распространяются ГГ, обладают значительным разнообразием вследствие взаимодействия многих природных факторов (климата, тектонической активности, геологической ситуации, палеогеографии квартера).

Примером является континентальная окраина севера Европы. Здесь на фоне резкого потепления наблюдается тектоническая активность на границах с Северо-Атлантическим срединно-океаническим хребтом и хребтом Гаккеля, что вызывает разгрузку метана из ГГ. В море Лаптевых, где распространялись и гляциальные, и перигляциальные условия, фиксируется мощная эмиссия метана, возможно связанная с разложением ГГ. В то же время на месте прошлых ледников, существует криолитозона, содержащая или покрывающая ГГ (север Канадского щита, Канадский Арктический архипелаг). Наиболее ярким примером широкого распространения ГГ на суше и на море является дельта р. Маккензи, которая долгое время развивалась в перигляциальной области, граничащей с ледниковым щитом. На севере Западной Сибири сформировался крупный массив реликтовых ГГ, возможно связанный с пассивным оледенением.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Peltier W. R.* Ice age paleotopography // *Science*. 1999. Vol. 265. P. 195–201.
2. *Мельников В. П., Степичев В. И.* Инженерно-геологические и геокриологические условия Баренцева и Карского морей. Новосибирск: Наука, 1995. 198 с.
3. *Разумов С. О., Спектор В. Б., Григорьев М. Н.* Модель позднекайнозойской эволюции криолитозоны шельфа западной части моря Лаптевых // *Океанология*. 2014. Т. 54, № 5. С. 679–693.
4. *Lambeck K., Purcell A., Zhao S.* The North American Late Wisconsin ice sheet and mantle viscosity from glacial rebound analyses // *Quaternary Science Reviews*. 2017. Vol. 158. P. 172–210.
5. Роль новейших вертикальных тектонических движений в формировании рельефа побережий Российской Арктики: дис. ... канд. геол. наук / *А. В. Баранская*. СПб., 2015. 250 с.
6. Methane and possible gas hydrates in the Disko Bugt Region, central West Greenland / *N. Mikkelsen [et al.]* // *Geol. Surv. of Denmark and Greenland bul.* 2012. Vol. 26. P. 59–72.
7. *Mörner N. A.* Glacial Isostasy: Regional — Not Global // *Intern. J. Geosciences*. 2015. No. 6. P. 577–592.
8. *Евзеров В. Я.* Четвертичный период в Кольском регионе (вопросы стратиграфии и тектоники) // *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2016. № 1. С. 3–14.
9. *Богданов В. И., Малова Т. И.* Проблемы современной концепции изостазии и масштабные эффекты трещиноватой земной коры континентов и океанов // *Фундаментальная и прикладная гидрофизика*. 2016. Т. 9, № 3. С. 3–17.
10. *Majorowicz J., Osadetz K., Safanda J.* Gas Hydrate Formation and Dissipation Histories in the Northern Margin of Canada: Beaufort-Mackenzie and the Sverdrup Basins // *J Geol. Res.* 2012. Article ID 879393. 17 p.
11. *Друщиц В. А., Садчикова Т. А.* Природные условия образования и сохранения континентальных гидратов метана на арктических континентальных окраинах // *Бюлл. комис. по изуч. четв. периода*. М.: ГЕОС. 2017. № 75. С. 135–146.
12. Permafrost — associated natural gas hydrates occurrences on Alaska North Slope / *T. S. Collett [et al.]* // *Marine and Petroleum Geology*. 2011. 28 (3). P. 279–294.
13. Evidence for gas hydrate occurrences in the Canadian Arctic Beaufort Sea within permafrost-associated shelf and deep-water marine environments / *M. Riedel [et al.]* // *Marine and Petroleum Geology*. 2017. Vol. 81. P. 66–78.
14. Gas Hydrate Stability Zone of the Barents Sea and Kara Sea Region / *P. Klitzke [et al.]* // *Energy Procedia*. 2016. Vol. 97. P. 302–309.
15. Перспективы газогидратоносности Чукотского моря / *Т. В. Матвеева [и др.]* // *Зап. Горн. ин-та*. 2017. Т. 226. С. 387–396.

Сведения об авторах

Друщиц Валентина Александровна — кандидат географических наук, старший научный сотрудник Геологического института РАН

E-mail: drouchits@ginras.ru

Садчикова Тамара Александровна — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Геологического института РАН

E-mail: tamara-sadchikova@yandex.ru

Author Affiliation

Valentina A. Drouchits — PhD (Geography), Senior Researcher, Geological Institute of RAS

E-mail: drouchits@ginras.ru

Tamara A. Sadchikova — PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher, Geological Institute of RAS

E-mail: tamara-sadchikova@yandex.ru

Библиографическое описание статьи

Друщиц, В. А. Эволюция криогенных скоплений гидратов природного газа в арктических регионах в квартере / *В. А. Друщиц, Т. А. Садчикова* // *Вестник Кольского научного центра РАН* // *Вестник Кольского научного центра РАН*. — 2018. — № 3 (10). — С. 147–151.

Reference

Drouchits Valentina A., Sadchikova Tamara A. Permafrost Natural Gas Hydrate Development in the Arctic Regions for Quaternary. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2018, vol. 3 (10), pp. 147–151 (In Russ.).