

**РОЛЬ ВОДЫ В ФОРМИРОВАНИИ МОРСКИХ ГАЗОГИДРАТОВ,  
В ТОМ ЧИСЛЕ В МОРЯХ АРКТИКИ**

**Н.М. Недоливко, доцент**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск, Россия*



*Доцент ТПУ  
Н.М. Недоливко*

КРАТКАЯ СПРАВКА

*Недоливко Наталья Михайловна – кандидат геолого-минералогических наук, доцент Института природных ресурсов Томского политехнического университета. Направления научной деятельности – литология нефтегазоносности Западной Сибири, автор 90 научных публикаций, трех учебников по грифом УМУ. Награждена медалью I степени «За участие в развитии ТПУ», Почетной грамотой Министерства природных ресурсов и экологии РФ, Почетной грамотой Администрации Кировского района г. Томска*

В статье рассмотрена роль воды в формировании морских газогидратов; охарактеризовано распределение газогидратов на Земном шаре; приведены физические свойства газогидратов и условия их образования; описаны четыре генетических типа морских газогидратов: биогенные, пиролизные, смешанного и неорганического происхождения; проанализировано влияние распада газогидратов на экологическую среду.

Газогидраты представляют собой конгломерат воды и газа, чаще всего метана. Они похожи на лед, только они обладают свойством гореть на ладони и при этом не обжигать. При повышении температуры газогидраты легко распадаются на воду и газ.

В настоящее время изучение образования и использования газогидратов является одним из ключевых вопросов нефтегазовой геологии. Это связано как с положительными, так и с отрицательными моментами. К положительным моментам относятся: огромные мировые запасы газогидратов, составляющие  $1,8-2,1 \cdot 10^{16} \text{ м}^3$  [5]; их возобновляемость; а также то, что газогидраты представляют собой экологически чистый источник энергии. К отрицательным относится тот факт, что разложение газогидратов может вызывать геологические бедствия: оползни, цунами, землетрясения и т.д.

### **1. Распределение газогидратов**

Официально газогидраты открыли советские ученые в конце 1970-х годов в Западной Сибири, где были обнаружены 30 залежей промышленного значения. В мире газогидраты широко распространены: скопления газогидратов обнаружены на шельфе, материковом склоне океанов, во внутриматериковых морях, на суше [3]. Шельфовые газогидраты встречаются в Атлантическом океане (Мексиканский залив, побережье штатов Техас и Луизиана США; дельта Нигера, Нигерия), Северном Ледовитом океане (грязевой подводный вулкан Хакон Мосби, Норвегия), Тихом океане (шельф Сахалина, Россия) и др. Месторождения, приуроченные к материковому склону, отмечены в Тихом океане (впадина близ побережья Коста-Рики, Центральноамериканский глубоководный желоб, Калифорнийский разлом, Перуанская впадина; Курильская гряда, желоб Нанкай в Японском море и др.); газогидраты встречены в крупных озерах (оз. Байкал) и на дне внутриматериковых морей: в Черном, Каспийском, Средиземном (подводные горы Анаксимандра, побережье района Кула).

Широкое распространение залежи газогидратов получили в Арктике (район дельты Маккензи), а также на суше в районах вечной мерзлоты: Мессояхское месторождение в Сибири, Прадхо Бей, Цинхай-Тибетское нагорье. Запасы морских газогидратов в 100 раз больше, чем материковых (рис. 1 [3]).

## 2. Вода как основной фактор формирования морских газогидратов

Газогидраты (или газовые гидраты) – ажурные кристаллические соединения, образующиеся при определённых термобарических условиях из молекул воды (хозяина) и молекул  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и т.д. (гости) [2]. Один метр кубический газогидрата может содержать до 164–180 м<sup>3</sup> чистого газа. Вода является важной составляющей и одновременно одним из основных условий образования газогидратов. Благодаря водородным связям, из молекул воды образуются различные ажурные каркасы (водный клатратный каркас). Молекулы газов (гости) входят в решетку воды (хозяина) и закрепляются в ней посредством слабых межмолекулярных (ван-дер-ваальсовых) связей. В зависимости от пространственной структуры газогидраты делятся на три типа [2], характеризующиеся разной химической формулой молекул: 1) Газ·5,75H<sub>2</sub>O; 2) Газ·5,83H<sub>2</sub>O; 3) Газ·5,80H<sub>2</sub>O, где газ представлен  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  и т.д. Все эти формулы молекул газогидратов содержат воду в качестве основного компонента.

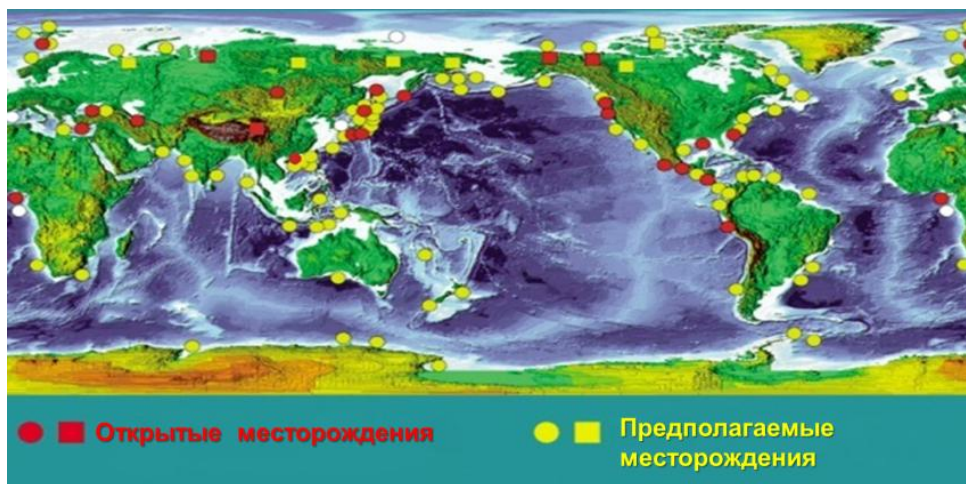


Рис. 1. Открытые и предполагаемые месторождения газогидратов

Кристаллы газогидратов представляют термодинамически устойчивые соединения, в которых вода и гидратообразующие вещества, заключенные в водный клатратный каркас, сохраняют свою химическую индивидуальность.

При изменении термобарических условий каркасы газогидратов разлагаются с образованием газа и воды. Таким образом, образование газогидратов и разложение газогидратов являются динамическим процессом равновесия. Если скорость образования газогидратов больше, чем скорость разложения, запасы газогидратов будут увеличиваться. В случаях противоположных, наоборот, запасы будут уменьшаться. Если скорость образования равна скорости разложения, то запасы не изменяются.

## 3. Типы газогидратов и роль воды в их образовании

Условия формирования морских газогидратов: низкая температура (0–10 °С) и высокое давление (1–10 МПа); высокое содержание газа и воды. В зависимости от

источника газа подводные газогидраты по генезису делятся на: биогенные, пиролизные, смешанного и неорганического происхождения.

*Биогенные газогидраты* (пример: газогидраты подводного плато Блейка [4]) являются наиболее распространенными. Они формируются в неглубоко залегающих морских отложениях за счет метана, образованного при разложении органического вещества анаэробными (сульфат- и азот-редуцирующими) и автотрофными бактериями. Роль воды при формировании биогенных газогидратов определяется тем, что реакции протекают непосредственно в водной среде, и поступлением водорода из органического вещества и из окружающей воды. Метан ( $\text{CH}_4$ ) образуется, как за счет восстановления углекислого газа и соединения его с водородом окружающей воды ( $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ), так и за счет ферментации уксусной кислоты ( $\text{CH}_3\text{COOH} + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$ ), при этом  $\frac{1}{4}$  водорода поступает из окружающей воды и  $\frac{3}{4}$  из органических веществ [6]. Количество запасов газогидратов биогенного происхождения зависит от количества органических веществ и степени микробиальной деятельности. Для метана микробного генезиса величина  $R$  – соотношение  $\text{C}_1/(\text{C}_2+\text{C}_3)$ , более 1000, и по изотопному составу углерода  $\delta^{13}\text{C}$  биогенные газогидраты являются легкими ( $\delta^{13}\text{C}$  от -90 ‰ до -55 ‰ [1]).

*Пиролизные газогидраты* (пример: газогидраты в Каспийском море) формируются за счет метана, выделенного при термическом преобразовании органического вещества при катагенезе глубоко погруженного осадка и миграции метана из поровых вод. Вода играет роль растворителя и транспортирующего средства, сначала, накопившиеся пирогенные газы метана глубоких горизонтов осадочных бассейнов растворяются в воде, а затем переносятся водными миграционными потоками в поверхностные слои. Для метана пиролизного генезиса величина  $R < 100$ , изотопный состав  $\delta^{13}\text{C}$  газогидратов этого типа более тяжелый (от -55 ‰ до -29 ‰ [1]).

*Газогидраты смешанного генезиса* (пример: газогидраты Мексиканского залива) образуются за счет биогенного и пиролизного метана.

*Газогидраты неорганического генезиса* (месторождения не известны) могут образовываться за счет метана, порожденного глубинными источниками Земли.

Необходимым условием газогидратов является также скорость движения воды, поставляющей метан: при ее увеличении, скорость образования газогидратов увеличивается; при снижении – скорость образования газогидратов уменьшается.

**4. Влияния распада газогидратов на экологическую среду.** Распад газогидратов в природной среде может привести к катастрофическим последствиям. Это связано в первую очередь с образованием подводных оползней, обвалов, цунами и т.д. Кроме того, активно протекающие процессы разложения газогидратов вызывают уменьшение содержания кислорода в океанической воде, что может привести ухудшению условий жизнедеятельности морских организмов, вплоть до кислородного голодания, и, в конечном итоге, приведет к значительному сокращению морской жизни и катастрофическим бедствиям в морских экосистемах.

Большое количество газогидратов, поступающих в систему циркуляции атмосферы, серьезно повлияет на глобальные изменения климата. Так как парниковый эффект метана в 20 раз выше, чем у углекислого газа. Чтобы избежать бедствий в экологической среде, при добыче газогидратов должны использоваться современные технологии, сохраняющие экологию окружающей среды, и специальная техника.

**Вывод**

Таким образом, роль воды при образовании газогидратов, трудно переоценить. Вода является средой, в которой образуются газогидраты и формируются их залежи; принимает непосредственное участие в строении газогидратов, входя в состав их химических формул; отвечает за скорость образования, сохранность и разрушение залежей газогидратов.

Литература

1. Bernard B., Brooks J.M., Sackett W.M. A geochemical model for characterization of hydrocarbon gas sources in marine sediments. / Proceeding 9th Annual Offshore Technology Conference. – Houston: Off shore Technology Conference, 1977. – P. 435 – 438.
2. Chen Duofu, Xu Wenxin, Zhao Zhenhua. Gas hydrate structure and hydration numbers and its densities. / Acta Mineralogica Sinica, 2001. – №21 (2). – P. 159 – 163.
3. He Jiaxiong, Yan Wen, et al. Genetic types of gas hydrate in the world and their main controlling factors. / Marine Geology and Quaternary Geology, 2013. – №33. – P. 121 – 126.
4. Kvenvolden K.A. A review of geochemistry of methane in nature gas hydrate. / Organic Geochemistry, 1995. – №23 (11/12). – P. 997 – 1008.
5. Kvenvolden K.A. Gas hydrate as a potential energy resource – A review of their methane content. / Howell, DG. (ed): The Future of Energy Gases, USGS Professional Paper 1570. – London: Academic Press, 1993. – P. 555 – 561.
6. Wu Houbo, Su Xiaobo, Yan Wen. The microbial genesis of submarine gas hydrate and its microbiological indication. / Marine Sciences, 2008. – №32 (3). – P. 96 – 99.

**DEVELOPMENT OF OIL-AND-GAS RESOURCES OF ARCTIC SHELVES  
IN THE 21<sup>ST</sup> CENTURY: CHALLENGES AND PROSPECTS**

**N.P. Zapivalov, professor**

**Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,  
Novosibirsk, Russia**

**Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia**



КРАТКАЯ СПРАВКА

*Запивалов Николай Петрович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, действительный член Российской академии естественных наук (РАЕН), главный научный сотрудник Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, профессор Новосибирского государственного университета, Почетный профессор Уральского государственного горного университета, Заслуженный геолог России, первооткрыватель месторождения, Лауреат межгосударственной академической премии им. академика В.А. Коптюга*

**Профессор СО РАН  
Н.П. Запивалов  
(г.Новосибирск)**

***The mightiness and power of Russia will be getting accretion  
through Siberia and the Arctic Seas***

*(M.V. Lomonosov, a great Russian scientist, 1763)*

At present, the population of the Earth is over 7 billion people, and it is rapidly growing. By 2050, it will reach 9 billion.