



УДК 551.35(479.24)

## О СТРАТИГРАФИЧЕСКОМ ПОЛОЖЕНИИ ЗАЛЕЖЕЙ МОРСКИХ ГАЗОГИДРАТОВ

**Ш.А.Бабаев** (Институт геологии и геофизики НАНА), **А.Ш.Бабаев** (Управление геофизики ГНКАР)

В настоящее время расширяется фронт исследований газогидратов, имеющих большое энергетическое будущее. Важное место среди них имеют исследования залежей морских газогидратов, как наиболее перспективных для разработки.

Статья посвящена анализу фактических материалов, относящихся к стратиграфическому положению залежей морских газогидратов. Этот вопрос до сих пор остается неясным и допускался как современный, так и насчитывающий десятки тысяч или миллионы лет.

В результате детального анализа фактических и литературных данных сделан вывод о начале образования газогидратов в морских кайнозойских водоемах в постэоцен-раннемиоценовое время.

По мнению авторов статьи, дальнейшие исследования в комплексе с определением относительного и абсолютного возраста дадут возможность более четко определить время, масштабы и скорость гидратообразования в различных частях Мирового океана и направить исследования для реализации попыток освоения этих нетрадиционных богатств нашей Земли.

**Ключевые слова:** стратиграфия; возраст; морские газогидраты; кайнозой.

Газогидраты являются горючими ископаемыми, имеющими большое энергетическое будущее. В настоящее время, в связи с растущим дефицитом нефти и газа, увеличивается интерес к газогидратам во всем мире из-за большого количества содержащегося в них газа (в основном метана). Основное количество (~98 %) известных ныне залежей газогидратов расположено в субмаринных отложениях морей и океанов.

В природных условиях морские газовые гидраты впервые были вскрыты в Черном [1] и Каспийском морях [2]. В настоящее время в Мировом океане известно не менее 70 районов с признаками разгрузки флюидов на дне (рис. 1) [3].

Установлено, что из 1 л «твердого топлива» можно получить 168 л газа. Поэтому в ряде стран, таких как США, Япония, Индия, уже разработаны национальные программы исследования промышленного использования газовых гидратов в качестве перспективного источника энергии. Так, индийская национальная программа нацелена на широкомасштабное исследование месторождений природных газовых гидратов, находящихся в пределах континентального склона вокруг п-ва Индостан (рис. 2) [3].

Имеется два типа скоплений субмаринных газогидратов: залежи, связанные с очагами разгрузки флюидов на дне морей, которые формируются вблизи дна и контролируются флюидопроводниками (грязевые вулканы, диапиры, разломы), и скопления, напрямую не связанные с очагами разгрузки (находящиеся на значительной поддонной глубине), но также контролируемые потоками флюидов [4].

Действительные масштабы газогидратоносности неясны, так как их оценка составляет от  $2 \cdot 10^{14}$  до  $7,6 \cdot 10^{18}$  м<sup>3</sup> [4]. Еще менее ясны стратиграфическое положение залежей газогидратов, этапы их образования в геологической истории Земли, скорость образования газогидратных залежей и др.

Настоящая статья посвящена анализу фактических материалов, относящихся к стратиграфическому положению морских залежей газогидратов.

В акваториях Мирового океана зона гидратообразования начинается от дна океана и обычно составляет несколько сот метров. Субмаринные залежи приурочены главным образом к глубоководному шельфу и океаническому склону при глубине воды от 200 м для условий Приполярья и от 500–700 м для экваториальных регионов.

Газогидратные залежи, сформировавшиеся в акваториях, слабо подвержены влиянию изменения температуры на поверхности Земли. Однако газогидратные залежи в акваториях зависят от изменения уровня Мирового океана, вызванного формированием крупных объемов льда и его таянием за геологическое время.

В период крупных оледенений уровень Мирового океана понижался при практически неизменных придонных температурах. Снижение гидростатического давления приводило к разложению гидрата в придонных осадках.

В осадочном чехле пород газовые залежи формируются только из свободного газа, выделяющегося из пересыщенного раствора при изменении давления и температуры. Но газогидратные залежи могут накапли-

Рис. 1. НАБЛЮДЕНИЯ ГИДРАТОВ ГАЗА И ИХ ПРИЗНАКОВ В НЕДРАХ МИРОВОГО ОКЕАНА



Скопления газовых гидратов: 1 – на дне акваторий, 2 – в зоне вечной мерзлоты

ваться и стабильно существовать в условиях дефицита растворенного газа в пластовых водах. Именно это свойство обеспечило сохранение на Земле огромных ресурсов природных газов в пределах акваторий Мирового океана за геологическое время и определяет интервалы глубин существования газовых и газогидратных залежей в различных термобарических условиях.

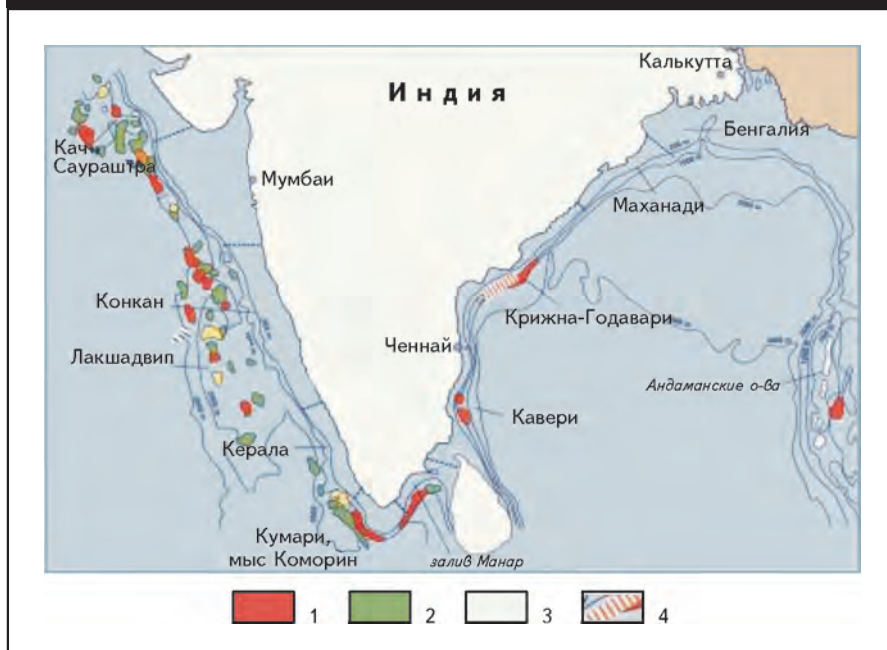
лорода, отсутствие которых может свидетельствовать о возможности образования газовых гидратов.

В океанических водах большое значение имеют два важных «барьера»: граница между водами, насыщенными и недонасыщенными карбонатом кальция, а также граница между водами, обогащенными и бедными кислородом. В этой связи компенсационная глубина картируется по уровню, на котором процентное содержание  $\text{CaCO}_3$  стремится к 0 [6]. Понятие лизоклина было введено В.Х.Бергером [7] для обозначения отчетливо выраженного в поверхностных глубоководных осадках уровня максимального изменения состава известковых биогенных остатков, обусловленного разным их растворением.

Охлаждение, увеличение давления и потребление  $\text{CO}_2$  приводит к образованию придонных вод, недонасыщение которых достаточно для начала растворения биогенного  $\text{CaCO}_3$ , поставляемого из теплых поверхностных слоев.

Нужно отметить, что измерение изотопного состава кислорода в колонках глубоководных осадков [8] показало, что на границе эоцена и олигоцена произошло быстрое падение температуры, за которым последовало значительное увеличение компенсационной глубины  $\text{CaCO}_3$  [9].

Рис. 2. КАРТА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПО ГАЗОГИДРАТОНОСНОСТИ РАЙОНОВ ШЕЛЬФА ИНДИИ



Газогидратоносность: 1 – высокоперспективная, 2 – умеренно перспективная, 3 – низкоперспективная; 4 – полевые определения

Граница между богатыми кислородом верхними водами океана и его обедненными нижними слоями (рис. 3) является важным химическим барьером. Участки с заметным дефицитом кислорода расположены вблизи областей апвеллинга. Осадки, отлагающиеся ниже бескислородных водных масс, обогащены ОВ и обычно являются аналогами черных сланцев. Эти осадки представляют собой важный потенциальный источник газа. Бескислородные водные массы существуют также в водоемах, имеющих ограниченную связь с открытым океаном. Так, в Черном море бескислородный режим постоянно существует с глубины примерно от 150 м до его дна. Его донные отложения очень богаты ОВ, что является результатом слабой вертикальной циркуляции. По мнению авторов статьи, в такой бескислородной и ниже компенсационной глубины карбонатов геохимической среде с участием действия грязевых вулканов и их грифонов в основном происходил процесс образования газогидратов в морских водоемах.

Весьма вероятно, что именно газогидраты являлись родоначальниками простейших представителей биологической жизни на нашей планете, так как массовые соотношения воды и газа в гидратах и живых организмах очень близки.

Но время жизни газогидратов в залежах в естественном залегании до сих пор достоверно не определено. Возраст газогидратов в зависимости от условий нахождения и предполагаемого механизма образования допускается как современный [4], так и насчитывающий десятки тысяч [5] и даже миллионы лет [11]. Так, скорость осадконакопления в Черном море составляет 5-30 см/тыс. лет, а время образования гидратов здесь датируется 7000-8000 лет. По В.А.Ломтеву, А.В.Литвиновой [12], у подводной окраины Северного Сахалина газогидраты у края шельфа с кратными отражениями зон реверберации формировались в позднем плейстоцене, 0,1 млн лет назад, в связи с его абразией и осушением как слой сезонной, а затем и вечной мерзлоты. И напротив, склоновые придонные газогидраты сформированы в подводных, хотя и относительно неглубоких условиях, но практически в то же время.

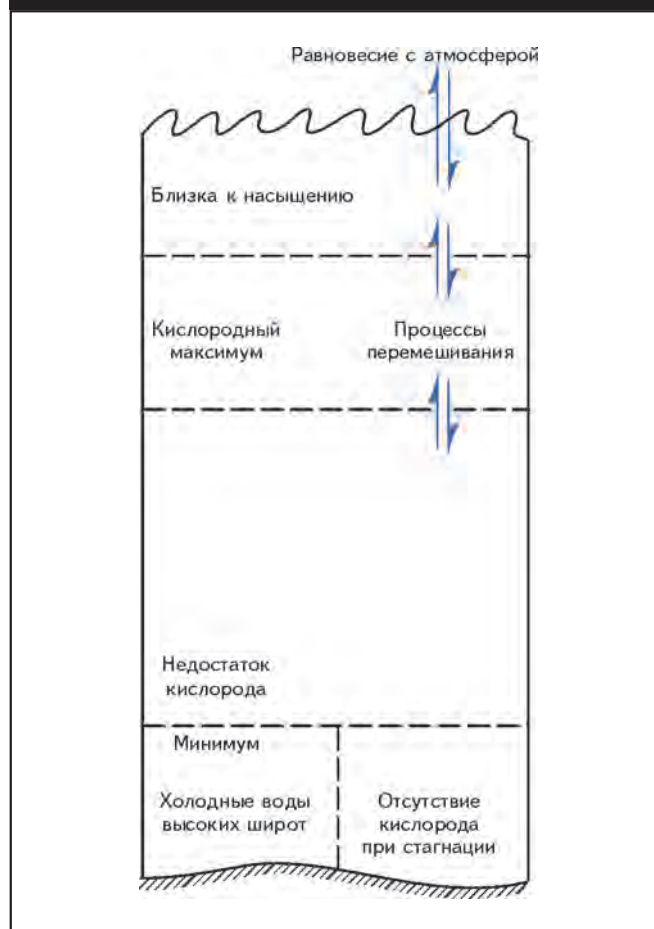
Скорость осадконакопления в Южном Каспии достигает 18-20 см/тыс. лет. В Южном Каспии на подводном грязевом вулкане Буздаг обнаружены газогидраты. По оценкам В.А.Соловьева [4], продуктивность газогидратов ( $q$ ) составляет здесь  $4 \cdot 10 \text{ м}^3/\text{км}^2$ . Диаметр поля газогидратов равен 0,5 км, площадь распространения

$$S = \pi R_{\text{Буздаг}}^2 = 3,14 \cdot 0,25^2 = 0,196 \text{ км}^2.$$

В таком случае объем газогидратов составит

$$V = 0,196 \cdot 4 \cdot 10^6 = 0,784 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

Рис. 3. СХЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАСТВОРЕННОГО  $\text{O}_2$  В ОКЕАНСКИХ ВОДАХ [10]



Средняя объемная скорость гидратообразования на структуре Обжиров Охотского моря составляет  $3,2 \cdot 10^2 \text{ м}^3/\text{год}$ . Предполагая, что средняя объемная скорость гидратообразования будет соизмерима со значением, полученным для очага разгрузки в Охотском море, можно вычислить время образования газогидратов Буздага

$$t = 0,784 \cdot 10^6 \text{ м}^3 / 320 \text{ м}^3/\text{год} = 2420 \text{ лет}.$$

Следует отметить, что время, требуемое для образования скопления газогидратов на структуре Обжиров, по мнению этих авторов, составляет около 2000 лет, что соответствует представлениям о периоде активности отдельно взятых очагов разгрузки газа в других районах Мирового океана, в том числе, как видно и из расчетов авторов статьи, и грязевого вулкана Буздаг.

Средняя скорость подъема грязевулканического флюида может достигать первых метров в год.

По геологическим условиям потенциальные газогидратоносные акватории должны находиться либо в границах бассейнов с мощным осадочным чехлом,

либо быть приуроченными к областям с большими скоростями кайнозойского осадконакопления, либо располагаться в пределах зон субдукции и аккреционных комплексов. Как правило, они ассоциируют с нефтегазоносными регионами [4].

В Атлантическом океане во время 11-го рейса «Гломар Челленджер» (DSDP) на своде и крыльях Внешнего хребта плато Блейк были пробурены скважины 102, 103 и 104. Здесь было зафиксировано, что ПДО (псевдодонные отражения, соответствующие BSR) на глубине около 600 м под дном океана в скв. 103 и 104 проходят по отложениям среднего миоцена, а в скв. 102 соответствовал границе между миоценом и плиоценом.

В юго-западной части Мексиканского залива ПДО зафиксированы на континентальном склоне на глубине 200-300 м ниже дна. Здесь в скв. 90 10-го рейса DSDP на глубине моря 3067 и 130-767 м под дном океана отмечались газопроявления из песчаных прослоев мела — плиоцена.

Отражения ПДО, характерные для гидратосодержащих отложений, были зафиксированы в заливе Делавер, в верхней части континентального подножья на глубине 170-600 м под дном океана при глубине воды 2300-3500 м. Предполагается, что газогидраты здесь приурочены к отложениям миоцена — голоцена.

Наибольшее число гидратопроявлений из акваторий Земли наблюдалось в Тихом океане. Для Центрально-Американского желоба в прибрежье Гватемалы и Коста-Рики типично тяготение гидратопроявлений к нижним частям вскрытых разрезов. Наибольшее число проявлений приурочено к отложениям плиоцена (13), далее следуют миоцен (8) и плейстоцен (6), по одному приходится на нерасчлененный олигоцен — миоцен и эоцен [13].

Уникальные данные получены в этом районе в скв. 570 84-го рейса DSDP. Здесь гидраты обнаружены в интервале поддонных глубин от 211 м до забоя скважины на глубине 402 м. В диапазоне глубин 249-259 м залегает почти сплошное газогидратное тело толщиной 3-4 м, которое приурочено к границе миоцена и плиоцена и перекрыто слоем практически непроницаемого доломита.

В скважинах 568 и 565, расположенных западнее Гватемалы, на глубине 2744 м и 3099 м соответственно вскрыты миоцен-четвертичные глинистые сланцы, пористые глины и прослои песков, содержащих газогидраты в диапазоне глубин под дном океана 250-318 м.

Площадное распространение ПДО, соответствующих подошве ЗСГ, отмечено у северного побережья Калифорнии на верхней половине континентального склона при глубине моря 800-1200 м. Верхняя часть разреза представлена деформированными плиоцен-четвертичными отложениями.

В Индийском океане, в Тиморском море, признаками гидратоносности осадочных отложений служат интенсивные газопроявления в скв. 262 27-го рейса DSDP,

зафиксированные в алевролитах плейстоцена, и относительно низкая соленость поровых вод с глубины 5-310 м ниже дна при глубине моря 2315 м.

Газогидраты обнаружены в отложениях шельфа моря Росса у побережья Антарктиды в скв. 271 и 273 DSDP при глубине моря 500 м, в прослоях алевролитов отмечены газогидраты в отложениях верхнего миоцена с глубины 150 м и плиоцена с глубины 285 м под дном [14].

М.Л.Сен-Жермес и другие исследователи провели анализ «Rock-Eval» майкопских отложений из разреза р. Белой. Получены результаты, что наиболее генерационным потенциалом обладают надостракодовые слои нижнего майкопа. Это объясняется сравнительно невысокими скоростями осадконакопления (от 10 до 60 м/млн лет), оптимальными для фоссилизации.

Зона термогенной газогенерации в кайнозойских прогибах обладает широким стратиграфическим диапазоном — от эоцена до верхнего миоцена и имеет мощность несколько километров. Наиболее благоприятные параметры газогенерации характерны для глин эоцена и нижнего майкопа. Следовательно, образование газогидратов, по-видимому, началось в постэоцен-нижнемайкопское время.

Все это в комплексе с определением относительно (по ископаемым остаткам фауны и флоры в гидратовмещающих слоях) и абсолютного возраста даст возможность более четко определить эпохи, масштабы и скорость гидратообразования в различных частях Мирового океана и направить исследования для реализации попыток освоения этих нетрадиционных богатств нашей Земли.

#### Литература

1. **Ефремова А.Г.** / А.Г.Ефремова, Б.П.Жижченко // Докл. АН СССР. — 1974. — Т. 214. — № 5.
2. **Ефремова А.Г.** К вопросу о роли газогидратов в формировании газопроизводящих отложений / А.Г.Ефремова, Н.Д.Гритчина. Методы оценки нефте- и газоматеринского потенциала седиментитов. — М.: Изд-во МГУ, 1979.
3. **Основы** нефтегазового дела: Конспект лекционных занятий по курсу для студентов 131000 бакалаврской подготовки по направлению «Нефтегазовое дело». — М., 2013.
4. **Соловьев В.А.** Природные газовые гидраты как потенциальное полезное ископаемое / В.А.Соловьев // Российский химический журнал — 2003. — Т. XLVII. — № 3.
5. **Макогон Ю.Ф.** Природные газовые гидраты: распространение, модели, ресурсы / Ю.Ф.Макогон // Российский химический журнал — 2003. — Т. 47. — № 3.
6. **Bramlette M.N.** Pelagic sediments / M.N.Bramlette / ed. M.Sears // Publ. Am. Assoc. — Adv. Sci. — 1961. — No 67.
7. **Berger W.H.** Sedimentation of planktonic foraminifera / W.H.Berger // Mar. Geol. 11.
8. **Kennett J.P.** Oxygen isotope evidence for the development of the psychrosphere 38 M ago / J.P.Kennett, N.J.Shackleton // Nature 260. — 1976.

9. **Andel T.H.** Depositional history of the S. Atlantic Ocean during the last 125 years / T.H.Andel, van, J.Thiede, J.G.Sclater, W.W.Hay // J. Geol. — 1977. — 85.

10. **Horne R.A.** Marine chemistry / R.A.Horne. — New York: Wiley, 1969.

11. **Истомин В.А.** Газовые гидраты в придонных условиях / В.А.Истомин, В.С.Якушев. — М.: Недра, 1992.

12. **Ломтев В.Л.** Новые данные о строении подводной окраины Северного Сахалина / В.Л.Ломтев, А.В.Литвинова // Геодинамика и тектонофизика. — 2011. — Т. 2. — Вып. 1.

13. **Гинсбург Г.Д.** Субмаринные газовые гидраты (образование и распространение) / Г.Д.Гинсбург: автореф. дисс... докт. геол.-минер. наук. — Спб., 1994.

14. **Зубова М.А.** Гидраты природных газов в недрах Мирового океана / М.А.Зубова // Обзорная информация ВНИИэконом. минер. сырья и геологоразвед. работ (ВИЭМС). Сер. Морская геология и геофизика. — 1988. — Вып. 2.

© Ш.А.Бабаев, А.Ш.Бабаев, 2017

*Шехали Алишкрам Бабаев,*  
заведующий отделом,  
доктор геолого-минералогических наук,  
shekhababayev@yandex.ru;

*Али-Икрам Шехали Бабаев,*  
инженер,  
кандидат геолого-минералогических наук,  
fregat40@yandex.ru.

#### ON STRATIGRAPHIC POSITION OF SEA-BOTTOM GAS HYDRATE DEPOSITS

*Babaev Sh.A.* (Geology and Geophysics Institute of NAS Azerbaijan),  
*Babaev A.Sh.* (Geophysical Department of State Oil Company of Azerbaijan Republic)

At present the study of gas-hydrates becomes more intensive owing to the gas-hydrate potential significance for power industry, particularly important being investigations of gas hydrate deposits of the sea bottom, as they are most promising for commercial development .

The article is devoted to analysis of factual data on stratigraphic position of the sea-bottom gas hydrates accumulations. This problem still remains unsolved, and the age of the accumulations is assumed as recent or accounting for several ten thousand or million years.

Detailed analysis of actual and literature data has permitted to conclude that in the Cenozoic seas the formation of gas hydrates started in the post-Eocene - Early Miocene times.

The authors believe that further research combined with determination of relative and absolute age would provide for more accurate evaluation of time, extent and rate of gas hydrate formation in various areas of the World Ocean and direct the investigations to practical development of these nonconventional reserves.

**Key words:** stratigraphy; age; sea bottom gas hydrates; Cenozoic.

## Памяти Михаила Борисовича Келлера

20 января 2017 г. после тяжелой и продолжительной болезни скончался Михаил Борисович Келлер – крупный российский геолог-нефтяник, внесший большой вклад в организацию и производство научно-исследовательских и геолого-разведочных работ на территории России.

Научная деятельность Михаила Борисовича была связана с ВНИГНИ, где он в общей сложности проработал почти 25 лет – с 1971 по 1992 г. и с 2010 по 2014 г. За эти годы он сформировался как видный ученый и крупный специалист в области геологии и ресурсного потенциала УВ Восточно-Европейской платформы и Северного Кавказа. Он автор более 40 опубликованных научно-исследовательских работ и 20 отчетов.

Михаил Борисович много внимания уделял проблемам направления и стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации, разработке нормативно-правовой базы недропользования. Среди крупных разработок с его участием находится действующая Государственная программа воспроизводства минерально-сырьевой базы России и Классификация ресурсов и запасов нефти и горючих газов.

Полученный опыт Михаил Борисович блестяще использовал в своей работе в центральном аппарате Геологической службы России (1992-1996), где он возглавлял направление геолого-разведочных работ и лицензирования по нефти и газу, а затем на руководящих должностях в системе НК «ЮКОС».

Редкая память, всесторонняя образованность и интеллигентность отличали Михаила Борисовича как очень интересного и глубокого человека, обеспечили ему известность среди геологической общественности России и ряда зарубежных стран.

За большой вклад в развитие минерально-сырьевой базы России, многолетний добросовестный труд и активную общественную деятельность он был награжден медалью «В память 850-летия Москвы», удостоен звания «Заслуженный геолог Российской Федерации», знаками «Почетный разведчик недр» и «300 лет горно-геологической службе России», почетными грамотами Роскомнедр, ВНИГНИ и НК «ЮКОС» и другими правительственными и ведомственными наградами.

Михаил Борисович Келлер навсегда останется в наших сердцах как хороший товарищ, очень светлый, интересный и неравнодушный человек.



Редколлегия журнала "Геология нефти и газа"