

Роль газогидратообразования в геологических процессах фанерозоя

Афанасьева М.А.¹, Самойлова А.В.²

¹РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия; ²Институт проблем нефти и газа Российской академии наук, Москва, Россия
anna-samoilova@mail.ru

Аннотация

Работа связана с изучением роли газовых гидратов в фанерозойском зоне и с рассмотрением новых аспектов древних процессов, которые могли служить катализатором изменения глобальных явлений в геологическом прошлом. На основе опубликованных данных сделаны заключения о значении процессов образования и разрушения газовых гидратов и их влиянии на изменения климатических параметров и органический мир. Изучение и анализ процессов, происходящих с газовыми гидратами, обусловлены не только процессами их разработки, а в большей мере вопросами их образования и воздействия на окружающую среду. Исследования позволяют расширить спектр фактов влияния на процессы прошлого, важнейшими из которых являются изменения климата и, как следствие, этапы развития органического мира в фанерозойском отрезке времени.

Материалы и методы

База аналитических и научных данных по геологическим особенностям скоплений газогидратов в нефтегазоносных бассейнах мира. Сравнительный анализ природных условий формирования залежей газогидратов и установление взаимосвязи их скоплений конкретными природными объектами.

Ключевые слова

реликтовые газовые гидраты, изменения климата, фанерозойский эон, газогидратные системы, мегарезервуары, формирование залежей газогидратов

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания по теме: «Научно-методические основы поисков и разведки скоплений нефти и газа, приуроченных к мегарезервуарам осадочного чехла, 122022800253-3».

Для цитирования

Афанасьева М.А., Самойлова А.В. Роль газогидратообразования в геологических процессах фанерозоя // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 6. С. 36–40. DOI: 10.24412/2076-6785-2024-6-36-40

Поступила в редакцию: 08.08.2024

The role of gas hydrate formation in the geological processes of the phanerozoic

Afanasyeva M.A.¹, Samoilova A.V.²

¹Gubkin Russian state university of oil and gas, Moscow, Russia; ²Oil and gas research institute Russian academy of sciences, Moscow, Russia
anna-samoilova@mail.ru

Abstract

The work is related to the study of the role of gas hydrates in the Phanerozoic Eon and the consideration of new aspects of ancient processes that could serve as a catalyst for changes in global phenomena in the geological past. Based on the published data, conclusions are drawn about the importance of the processes of formation and destruction of gas hydrates and their impact on changes in climatic parameters and the organic world. The study and analysis of the processes occurring with gas hydrates is due not only to the processes of their development, but to a greater extent to the issues of their formation and environmental impact. Research allows us to expand the range of facts of influence on the processes of the past, the most important of which are climate change and, as a result, the stages of development of the organic world in the Phanerozoic period of time.

Materials and methods

A database of analytical and scientific data on the geological features of gas hydrate accumulations in the oil and gas basins of the world. A comparative analysis of the natural conditions of the formation of gas hydrate deposits and the establishment of the relationship of their accumulations with specific natural objects.

Keywords

relict gas hydrates, climate change, Phanerozoic eon, gas hydrate systems, mega reservoirs, formation of gas hydrate deposits

For citation

Afanasyeva M.A., Samoilova A.V. The role of gas hydrate formation in the geological processes of the phanerozoic. Exposition Oil Gas, 2024, issue 6, P. 36–40. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2024-6-36-40

Received: 08.08.2024

Вопросы формирования, накопления и разрушения газовых гидратов (ГГ) имеют важнейшее значение в сфере поисков, разведки и разработки углеводородного сырья в связи с изменившейся структурой топливно-энергетического комплекса в сторону газопотребления. Существование гидратов природных газов в недрах Земли открыто немногим более полувека назад, хотя с техногенными гидратами человечество столкнулось значительно раньше. В настоящее время существование природных ГГ является объективной реальностью, при этом они могут образовываться как в атмосфере, так и на поверхности других планет, также в просторах Вселенной [1].

Исследование палеогеологических факторов, влияющих на образование крупных резервуаров нефти и газа, представляет собой сложную задачу для специалистов в области геологии и геофизики. Палеогеологические факторы включают в себя разнообразные аспекты, такие как эволюция осадочных образований, геологические процессы и условия древнего климата, которые все вместе определяют, как формируются и распределяются запасы углеводородов. Так как экономически целесообразно разрабатывать крупные месторождения, необходимо научно обосновать ключевые геологические характеристики для прогнозирования существования месторождений-гигантов и больших запасов углеводородов [2].

При благоприятном сочетании геологических, технических и экономических условий залежи верхней части разреза представляют ценность для промышленной добычи углеводородов. Исследование и разработка мегарезервуаров газовых гидратов являются одними из актуальнейших направлений, которые привлекают внимание ученых в последние годы. Месторождения-гиганты газогидратов представляют собой обширные и высокоэффективные запасы газогидратов, которые расположены в морских или многолетнемерзлых породах. Они являются потенциальными источниками метана. Месторождения такого масштаба имеют важное

значение для энергетической безопасности стран, предоставляя доступ к альтернативным источникам энергии, важнейшими из которых в настоящее время являются крупные скопления ГГ.

Ниже приведены основные месторождения-гиганты газовых гидратов мира и их особенности.

1. Месторождение Берингова моря (США и Россия):
 - находится на континентальном шельфе Берингова моря;
 - содержит значительные запасы метана, но технологические и экологические вопросы все еще требуют решения.
2. Месторождение Мицубиси в Японии:
 - один из первых в мире проектов по добыче газогидратов;
 - Япония активно исследует газогидраты для снижения зависимости от традиционных источников энергии.
3. Месторождения у берегов Индии:
 - индийские ученые обнаружили обширные запасы газогидратов в Коралловом море, что открывает новые возможности для энергетической автономии страны.
4. Месторождения в Южно-Китайском море:
 - месторождения имеют большие потенциальные запасы и находятся в центре международных споров, что добавляет политический контекст к их разработке.
5. Квебекские газогидраты (Канада):
 - интерес к пробной добыче газогидратов в этом регионе растет в связи с инновациями в технологиях добычи.
6. Промышленная добыча газогидратов из залежей в верхней части разреза на шельфе Нидерландов [3].
7. Проект разработки месторождения Реоп на шельфе Норвегии.
8. Прогнозируемые месторождения в акваториях морей Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского, Карского и Бофорта, где установлено широкое распространение потенциально газонасыщенных

объектов, в основном с верхними границами газонасыщения на глубинах до 100–300 м от поверхности дна [4–9].

В России наличие ГГ подтверждено на месторождениях Бованенковском и Уренгойском. По косвенным признакам наличие ГГ предполагается на месторождениях Мессояхском и Заполярном, а также прогнозируется их наличие на побережье Средней Сибири в устье р. Оленек, в Западной Якутии на южной окраине Анабарской антеклизы, на Колымо-Индигоирской низменности и на севере полуострова Чукотка. Стоит отметить, что акватории арктических регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока нашей страны слабо изучены, и новые результаты изучения роли газогидратообразования в геологических процессах фанерозоя имеют большое научно-практическое значение.

Обширные залежи ГГ фанерозойского возраста распределены по всему миру неравномерно (рис. 1), но характеризуются специфическими особенностями в разных регионах.

Мировые запасы сланцевого газа оцениваются примерно в 20 000–21 000 трлн м³, и благодаря своей структуре единичный объем газового гидрата может содержать до 160–180 объемов чистого газа, так что разработка месторождений газогидратов из фанерозоя представляет собой перспективное направление в энергетической отрасли [10–13].

Развитие ГГ установлено в морских условиях и на суше в зонах развития многолетнемерзлых пород северных районов.

Морские распространения газогидратов связаны в основном с континентальными окраинами, где сосредоточены наиболее крупные залежи. Здесь происходит активное накопление органического вещества и создаются благоприятные термобарические условия. Примеры: побережье Северной и Южной Америки, восточное побережье Африки, шельфы Индии, Китая, Японии.

Газогидраты вечной мерзлоты связаны с Арктической и Субарктической зонами, где имеются обширные территории вечной мерзлоты, где недра содержат значительные запасы газогидратов. Примеры: Сибирь (Россия), Аляска (США), Канада.

Следует также отметить, что в высокогорных областях ГГ могут формироваться на значительных высотах.

Проведем сравнительный анализ двух основных геологических обстановок, благоприятных для образования скоплений газогидратов и разработки месторождений.

1. Глубоководные осадки на континентальных окраинах.

Преимущества:

- высокая концентрация органического вещества в донных отложениях, что обеспечивает постоянный приток метана;
- стабильные термобарические условия, способствующие длительному существованию газогидратов;
- обширные площади распространения потенциальных зон гидратообразования.

Недостатки:

- сложность доступа и высокая стоимость разработки месторождений на большой глубине;
- повышенный риск дестабилизации донных отложений при добыче газа;
- потенциальная угроза морской

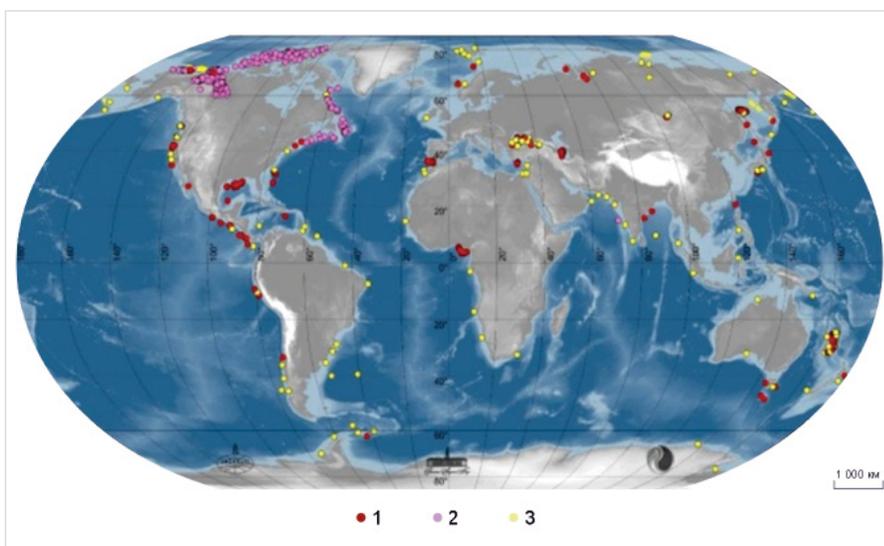


Рис. 1. Схематическая карта распространения ГГ в Мировом океане и на суше Арктики на основе данных ГИС «АМО» ИПНГ РАН [14]: 1 — подтверждены прямыми исследованиями, 2 — прогнозируются по каротажным данным, 3 — прогнозируются по другим косвенным методам, включая сейсмические

Fig. 1. Schematic map of the distribution of GHG in the World Ocean and on the Arctic land based on GIS data from the AMO IPNG RAS [14]: 1 — confirmed by direct studies, 2 — predicted by logging data, 3 — predicted by other indirect methods, including seismic

экосистеме в случае аварийных ситуаций.

2. Области вечной мерзлоты.

Преимущества:

- более простая и дешевая добыча в сравнении с морскими месторождениями;
- отсутствие влияния на морскую экосистему.

Недостатки:

- меньшие запасы газогидратов в сравнении с морскими осадками;
- высокая уязвимость вечной мерзлоты к изменениям климата, что может привести к дестабилизации газогидратов и выбросам метана в атмосферу;
- сложности доступа к месторождениям в отдаленных районах.

Каждая из рассмотренных геологических обстановок обладает своими преимуществами и недостатками с точки зрения перспектив добычи газогидратов. Выбор оптимальной стратегии освоения этого потенциального источника энергии требует комплексного учета всех факторов: палеогеологических, геологических, экологических, экономических и технологических.

Анализ современных ГГ показал, что повышение температуры и изменение давления вызывают внезапное адиабатическое расширение газа, протекающее с поглощением тепла. В естественных условиях гидратообразование и разложение описаны при выбросах подводных грязевых вулканов, формирующих на поверхности дна вокруг жерла грязевого вулкана разномасштабные поля метангидратов.

Аспекты изучения газовых гидратов лежат в плоскости изучения механизмов и условий их формирования, основанных на базовых принципах, применяемых в геологии, а именно — на принципе актуализма.

Установлено, что процесс гидратообразования — это практически единственный химический процесс, который характерен для всех распространенных в природе газов.

В природе преимущественно встречаются газогидраты природных газов: гомологи метана, H_2S , CO_2 , O_2 , N_2 и др. Например, благородные газы более не вступают ни в какие реакции в природе, кроме гидратообразования. При моделировании процессов древней среды необходимо учитывать также состав древней атмосферы, поскольку, по имеющимся данным, он был иной. В этой связи необходимо понимать, что в геологическом прошлом установить газовые составляющие крайне затруднительно, можно лишь установить факторы влияния, последствия образования и разрушения. Следует различать газовые гидраты (при этом состав газа может быть различен) и метангидраты, в состав которых входит преимущественно метан. По понятным причинам основное внимание в настоящее время уделено именно изучению метангидратов, но исключать образование других гидратов не стоит, поскольку их образование могло также отражаться в процессах прошлых геологических эпох.

Все природные газогидраты представляют собой метастабильный материал, образование и разложение которого зависят от температуры и давления, состава газа и воды, от свойств пористой среды, в которой они образуются.

Установлено, что на процессы газогидратообразования в недрах влияет литолого-фациальный состав газопродуктивных пород [15]. При этом активность процессов газогидратообразования в недрах может изменяться в любую сторону, вплоть до их прекращения в зависимости от степени проницаемости отложений. Наиболее благоприятными считают условия для образования и накопления газогидратов в хорошо проницаемых чистых тонкозернистых песках. С увеличением примесей глинистых частиц отклонения в термодинамических параметрах газогидратообразования возрастают. В тяжелых глинах чем ниже влажность, тем меньше вероятность газогидратообразования, поскольку связанная пленочная вода, а также капиллярная и осмотическая вода

в этих процессах практически не участвуют, а в тяжелых глинах с высокой влажностью гидратообразование происходит и при более мягких термодинамических условиях в сравнении с равновесными.

Выявление временных промежутков, благоприятных для максимального развития газовых гидратов, дает возможность обнаружить их взаимосвязь с глобальными перестройками среды обитания и, как следствие, органического мира прошлого. При изучении данных аспектов наибольшее значение имеют субаквальные ГГ.

В современных акваториях Мирового океана (МО) зона гидратообразования начинается от дна океана и составляет несколько сотен метров. Субмаринные залежи приурочены главным образом к глубоководному шельфу и океаническому склону при глубине воды от 200 м для условий приполярных и от 500–700 м для экваториальных регионов. При этом гидратные залежи, расположенные в МО, слабо подвержены влиянию изменения температуры на поверхности Земли, однако сохранность их местоскопления напрямую зависит от уровня МО, связанного с формированием крупных объемов льда и его растепления. Важным аспектом также является изменение положения полюсов в фанерозое и, соответственно, расположения климатических зон на поверхности планеты.

Известно, что газовые гидраты могут содержать катагенный и микробиальный газ. Газогидраты с катагенным газом должны быть распространены локально, в местах миграции этого газа в неглубокие слои через ЗСГ или в обычных газовых залежах, находящихся в ЗСГ. Катагенные газогидраты могут быть встречены только в районах нефте- и газосносных бассейнов. Микробиальный газ обычно распространен на небольших глубинах (0–300 м) и генерируется ферментативной переработкой микробами захороненного органического вещества. Поэтому микробиальный газ может формировать гидраты не только в пределах осадочных бассейнов, но везде, где есть захороненное органическое вещество и благоприятные условия для гидратообразования. Как было установлено в ходе неглубокого бурения и керноотбора из многолетнемерзлых пород, основная часть неглубоких метастабильных (реликтовых) гидратов сформирована микробиальным газом. Предполагается, что катагенные газогидраты приурочены к региональным газоносным горизонтам в местах их воздымания в интервал ЗСГ. Также они могут концентрироваться в местах миграции газа к дневной поверхности (морские грязевые вулканы и сипы, разломные зоны в мерзлоте) (рис. 2).

Во многом не ясны до сих пор условия и механизмы образования газогидратных залежей в природе и их значение в геологическом масштабе времени. К настоящему времени наиболее проработанными являются следующие механизмы формирования ГГ.

Органическая теория предполагает, что источником метана в ГГ являются процессы разложения ОВ осадочных пород, где особое значение имеет деятельность бактерий, а неорганическая связана с поступлением к поверхности глубинных УВ газов, образующихся в процессах серпентинизации пород органической коры [16].

Ниже представлен возможный механизм формирования. Известно, что газовые факелы функционируют на шельфе и континентальных склонах материковых окраин.



Рис. 2. Места образования залежей газовых гидратов [17]
Fig. 2. Places of formation of gas hydrate deposits [17]

Формирование осадков происходит здесь главным образом за счет речного стока. Вместе с обломочным материалом реки выносят и большое количество органического вещества. Под действием силы тяжести накопленные массы осадков перемещаются к подножию континентального склона по долинам каньонов и накапливаются в виде турбидитовых конусов выноса. Иногда они сливаются и образуют обширные фены, где мощность отложений измеряется многими километрами. Вкупе это формирует огромные осадочные толщи (мощностью до 10–12 км), обогащенные органикой (до 25 %), которые, попав в благоприятные термобарические условия, начинают продуцировать углеводороды. Возникающий углеводородный поток мигрирует вверх из очага нефтегазообразования по восстанию пластов. Попав в благоприятные условия (ловушки, покрышки и др.), углеводороды накапливаются в залежи, а непревращенный миграционный поток, достигнув морского дна, разгружается в виде газовых струй, факелов, грязевых вулканов и т. п. Также хорошо известна гипотеза о подземном суббаквамаринном стоке, при этом ГГ рассматриваются продуктом циркуляции подвижного углерода биосферы через земную поверхность с участием вод климатического круговорота [18].

Образование твердого гидрата не происходит до тех пор, пока концентрация метана не превысит концентрацию насыщения. Только в определенных участках донных отложений концентрация метана настолько высока, что он начинает проникать в пустоты между частицами породы. Картирование данных зон видится важной задачей в вопросах исследования осадочных толщ в прошлом.

Как отмечают С.Ш. Бык и другие [19], при исследовании кинетики гидратообразования целесообразно рассматривать отдельно два случая: гидратообразователь практически не растворим в воде (большинство неполярных газов); гидратообразователь хорошо растворим в воде (как правило, это летучие органические жидкости).

В первом случае основное влияние на скорость гидратообразования оказывает абсорбция гидратообразователя водой, т. е. процесс массопередачи, во втором — отвод теплоты от растущих гидратных образований, т. е. процесс теплопередачи. Для природных условий представляется более реальным первый, более сложный случай.

Известно, что распространение газовых гидратов в значительной степени связано с развитием многолетнемерзлых пород, большое значение имеет геокриологическое районирование этих территорий и акваторий. Данные о развитии ледниковых покровов могут быть положены в основу выделения перспективных зон, благоприятных для гидратообразования прошлого. На протяжении фанерозой климатические пояса меняли свое положение, в связи с чем происходило чередование безледниковых эпох с эпохами континентальных оледенений.

Изучение палеогеографических обстановок фанерозой позволяет выделить временные промежутки, которые характеризовались значительными колебаниями климатических характеристик. В этом вопросе необходимо обратить внимание на картирование и изучение зон формирования древних ледниковых отложений — тиллитов [20].

В отложениях фанерозойской зонотемы существовало широкое развитие ГГ в шельфовой зоне, дестабилизация которых могла

привести к изменению химизма океанических вод, температурного режима и других факторов, на фоне которых можно объяснить этапы развития органического мира и дополнить недостающие звенья в восстановлении условий существования прошлого.

Итоги

Исследование газогидратов — многообещающее направление современной науки, открывающее новые горизонты в энергетике. Огромные запасы углеводородов, заключенные в этих кристаллических структурах, способны существенно повлиять на мировой энергетический баланс.

Проведенный анализ показал следующее:

- газогидраты — потенциальный источник энергии будущего: объемы газа в газогидратах значительно превышают разведанные запасы традиционного природного газа, что делает их привлекательным объектом для дальнейших исследований и разработок;
- геологические условия играют ключевую роль: формирование и стабильность газогидратов напрямую зависят от специфических термобарических условий, характерных для глубоководных морских отложений и зон вечной мерзлоты;
- необходим комплексный учет при выборе оптимальной стратегии освоения ГГ — совместный анализ палеогеологических, геологических, экологических, экономических и технологических факторов.

Выводы

В статье проведен обзор актуальной информации о газогидратах и подведены некоторые итоги. Сформулированы основные условия образования газогидратов в фанерозое: ключевыми факторами являются наличие источника углеводородов (в основном метана), специфические термобарические условия и наличие воды. Подчеркнута необходимость дальнейших исследований и выявления закономерностей распределения потенциально газонасыщенных объектов в верхней части осадочного разреза по глубине и площади.

Литература

1. Макогон Ю.Ф. Газовые гидраты, предупреждение их образования и использование. М.: Недра, 1985. 232 с.
2. Самойлова А.В. Палеогеологические особенности распределения скоплений нефти и газа, приуроченных к мегарезервуарам осадочного чехла // Экспозиция Нефть Газ. 2024. № 4. С. 12–15.
3. Voogaard M., Hoetz G. Seismic characterisation of shallow gas in the Netherlands. Abstract FORCE Seminar Stavanger, 8–9 April, 2015. (In Eng).
4. Евдокимова Н.К., Яшин Д.С., Ким Б.И. Углеводородный потенциал отложений осадочного чехла шельфов восточно-арктических морей России (Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского) // Геология нефти и газа. 2008. № 2. С. 3–12.
5. Бородкин В.Н., Курчиков А.Р., Недосекин А.С. и др. Характеристика геологической природы инверсионных коллективных структур в пределах арктических районов Западной Сибири как критерия нефтегазоносности // Геология нефти и газа. 2017. № 3. С. 69–75.

6. Боговяленский В.И., Янчевская А.С., Боговяленский И.В., Кишанков А.В. Газовые гидраты на акваториях Циркумарктического региона // Арктика: экология и экономика. 2018. № 3. С. 42–55.
7. Лобусев М.А., Лобусев А.В., Бочкарев А.В., Антипова Ю.А. Состояние и геолого-ресурсные предпосылки укрепления сырьевой базы Арктической газоносной провинции Западной Сибири // Территория Нефтегаз. 2020. № 5–6. С. 42–51.
8. Дзюбло А.Д., Алтухов Е.Е., Бенько Г.А. Поверхностный газ как риск при освоении нефтегазовых месторождений в Обской и Тазовской губах Карского моря // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2021. № 6. С. 52–58.
9. Кишанков А.В. Распространение потенциальных газонасыщенных объектов в верхней части разреза арктических акваторий. Диссертация. М.: 2022. 180 с.
10. Щebetов А.В. Месторождения газовых гидратов: ресурсы и возможные методы разработки // Технологии ТЭК. 2006. № 4. С. 12–16.
11. Курикова П.Р. Проблемы освоения газогидратов // SCI-ARTICLE. 2015. № 28. URL: <https://sci-article.ru/stat.php?i=1448229952&ysclid=m0nm805v1x351707382> (дата обращения 01.08.2024).
12. Воробьев К.А., Пятакова М.Е., Щерба В.А., Воробьев А.Е., Чекушина Т.В. Перспективы освоения месторождений газовых гидратов на территории Российской Федерации // LXXV Герценовские чтения. География: развитие науки и образования. 2022. Т. 2. С. 174–180.
13. Воробьев А.Е., Лисов В.И., Мелентьев Г.Б. Нанотехнологии в освоении газогидратных ресурсов // Редкие земли. 2016. № 1. С. 140–151.
14. Боговяленский В.И. Арктика и Мировой океан: современное состояние, перспективы и проблемы освоения ресурсов углеводородов: Монография. М.: ВЭО, 2014. 175 с.
15. Якушев В.С. Природный газ и газовые гидраты в криолитозоне. М.: ВНИИГаз, 2009. 192 с.
16. Дмитриевский А.Н., Каракин А.В., Баланюк И.Е., Матвеев В.В. Гидротермальный механизм образования углеводородов в срединно-океанических хребтах (на примере Баренцева и Норвежского морей) // Геология нефти и газа. 1997. № 8. С. 4–16.
17. Кудрявцева Е., Грачев М.А. На Байкале бесполезных открытий не бывает // Огонек. 2010. № 29. С. 34.
18. Баренбаум А.А. О возможной связи газогидратов с субмаринными подземными водами // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 5. С. 620–625.
19. Бык С.Ш., Макогон Ю.Ф., Фомина В.И. Газовые гидраты. М.: Химия, 1980. 296 с.
20. Конюхов А.И. Черные глины и другие отложения со значительным содержанием ОВ в климатических циклах фанерозой. Сообщение 1. Черные глины на Гондванском этапе развития биосферы // Литология и полезные ископаемые. 2015. № 5. С. 420–444.

Results

The study of gas hydrates is a promising area of modern science, opening up new horizons in the energy sector. The huge reserves of hydrocarbons contained in these crystalline structures can significantly affect the global energy balance.

The analysis showed the following:

- gas hydrates are a potential energy source of the future: the volume of gas in gas hydrates significantly exceeds the proven reserves of traditional natural gas, which makes them an attractive object for further research and development;
- geological conditions play a key role: the formation and stability of gas hydrates directly depend on the specific thermobaric conditions characteristic of deep-sea sediments and permafrost zones;
- a comprehensive account is needed when choosing the

optimal strategy for the development of GG – a joint analysis of paleogeological, geological, environmental, economic and technological factors.

Conclusions

The article provides an overview of current information on gas hydrates and summarizes some results. The main conditions for the formation of gas hydrates in the Phanerozoic are formulated: the key factors are the presence of a source of hydrocarbons (mainly methane), specific thermobaric conditions and the presence of water.

The necessity of further research and identification of patterns of distribution of potentially gas-saturated objects in the upper part of the sedimentary section by depth and area is emphasized.

References

1. Makogon Yu.F. Gas hydrates, prevention of their formation and use. Moscow: Nedra, 1985, 232 p. (In Russ).
2. Samoilova A.V. Paleogeological features of the distribution of oil and gas accumulations confined to megareservoirs of the sedimentary cover. Exposition Oil and Gas, 2024, issue 4, P. 12–15. (In Russ).
3. Boogaard M., Hoetz G. Seismic characterisation of shallow gas in the Netherlands. Abstract FORCE Seminar Stavanger, 8–9 April, 2015. (In Eng).
4. Evdokimova N.K., Yashin D.S., Kim B.I. Hydrocarbon potential of sedimentary cover deposits of the shelves of the Eastern Arctic seas of Russia (Laptev, East Siberian and Chukchi). Oil and gas geology, 2008, issue 2, P. 3–12. (In Russ).
5. Borodkin V.N., Kurchikov A.R., Nedosekin A.S. et al. Characterization of the geological nature of inversion ring structures within the Arctic regions of Western Siberia as a criterion of oil and gas potential. Oil and gas geology, 2017, issue 3, P. 69–75. (In Russ).
6. Bogoyavlensky V.I., Yanchevskaya A.S., Bogoyavlensky I.V., Kishankov A.V. Gas hydrates in the Circum-Arctic region aquatories. Arctic: ecology and economy, 2018, issue 3, P. 42–55. (In Russ).
7. Lobusev M.A., Lobusev A.V., Bochkarev A.V., Antipova Yu.A. State and geological and resource prerequisites for strengthening the raw material base of the Arctic gas-bearing province of Western Siberia. Territory Neftegaz, 2020, issue 5–6, P. 42–51. (In Russ).
8. Dzyublo A.D., Altukhov E.E., Benko G.A. Near-surface gas as a risk when developing oil and gas fields in the Ob and Tazov bays of the Kara Sea. Construction of oil and gas wells on land and at sea, 2021, issue 6, P. 52–58. (In Russ).
9. Kishankov A.V. Distribution of potential gas-saturated objects in the upper part of the section of the Arctic waters. Dissertation. Moscow: 2022, 180 p. (In Russ).
10. Shchebetov A.V. Deposits of gas hydrates: resources and possible methods of development. Fuel and energy technologies, 2006, issue 4, P. 12–16. (In Russ).
11. Kurikova P.R. Problems of gas hydrate development. SCI-ARTICLE, 2015, issue 28, URL: <https://sci-article.ru/stat.php?i=1448229952&ysclid=m0nm805v1x351707382> (accessed: 01.08.2024). (In Russ).
12. Vorobyov K.A., Pyatkova M.E., Shcherba V.A., Vorobyov A.E., Chekushina T.V. Gas hydrate deposits on the territory of the Russian Federation: development prospects. LXXV Herzen readings. Geography: development of science and education, 2022, Vol. 2, P. 174–180. (In Russ).
13. Vorobyov A.E., Lisov V.I., Melentyev G.B. Nanotechnology in the development of gas hydrate resources. Rare Earth, 2016, issue 1, P. 140–151. (In Russ).
14. Bogoyavlensky V.I. The Arctic and the World Ocean: current state, prospects and problems of hydrocarbon resources development: Monograph. Moscow: VEO, 2014, 175 p. (In Russ).
15. Yakushev V.S. Natural gas and gas hydrates in the cryolithozone. Moscow: VNIIGaz, 2009, 192 p. (In Russ).
16. Dmitrievsky A.N., Karakin A.V., Balanyuk I.E., Matveenkov V.V. The hydrothermal mechanism of hydrocarbon formation in the mid-oceanic ridges (on the example of the Barents and Norwegian seas). Oil and gas geology, 1997, issue 8, P. 4–16. (In Russ).
17. Kudryavtseva E., Grachev M.A. There are no useless discoveries on Lake Baikal. Ogonek Magazine, 2010, issue 29, P. 34. (In Russ).
18. Barenbaum A.A. On possible relationship between gas-hydrates and submarine groundwater. Water resources, 2007, Vol. 34, issue 4, P. 620–625. (In Russ).
19. Byk S.Sh., Makogon Yu.F., Fomina V.I. Gas hydrates Moscow: Chemistry, 1980, 296 p. (In Russ).
20. Konyukhov A.I. Black shales and other sediments with high organic matter contents in phanerozoic climatic cycles: communication 1. Black shales at the gondwanan stage of biosphere evolution. Lithology and minerals, 2015, issue 5, P. 420–444. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Афанасьева Мария Александровна, к.г.-м.н.,
доцент кафедры общей и нефтегазопромысловой геологии,
РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Москва, Россия
Для контактов: anticline@mail.ru

Самойлова Анна Васильевна, к.г.-м.н.,
научный сотрудник Институт проблем нефти и газа
Российской академии наук, Москва, Россия
Для контактов: anna-samoilova@mail.ru

Afanasyeva Maria Alexandrovna, ph.d. of geologo-mineralogical sciences, associate professor of the department of general and oil and gas field geology, Gubkin Russian state university of oil and gas, Moscow, Russia
Corresponding author: anticline@mail.ru

Samoilova Anna Vasilyevna, ph.d. of geologo-mineralogical sciences, art. researcher, Oil and gas research institute Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
Corresponding author: anna-samoilova@mail.ru