

---

doi: <https://doi.org/10.15407/gpimo2018.03.117>

**Э.А. Максимова**

Национальный технический университет «Днепровская Политехника», Днепр

## **УЧЕТ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ ДНА МИРОВОГО ОКЕАНА ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ ЗОН ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ**

---

*Залежи месторождений газовых гидратов в Мировом океане рассматриваются как дополнительный не традиционный источник углеводородов. Показана зависимость распространения месторождений газовых гидратов в различных типах вмещающих пород от структур дна Мирового океана. Отмечена приуроченность большинства месторождений газовых гидратов к зонам стыков континентальных плит и океанических впадин. Рассмотрены термодинамические зоны распространения месторождений газовых гидратов. Представлены термобарические параметры образования газовых гидратов, полученных искусственным путем. В зависимости от структурных особенностей газогидратных залежей в Мировом океане, литологического состава вмещающих пород, особенностей тектонических и геологических структур земной коры, выделены 5 типов месторождений газовых гидратов.*

**Ключевые слова:** Мировой океан, газовый гидрат, метан, горно-геологические условия, зоны тектонических нарушений, донные отложения.

### **Введение**

В современных условиях интенсивного энергопотребления становится очевидным, что в будущем человечество исчерпает все месторождения природного газа, позволяющие его добычу традиционными способами. В связи с этим мировым научным сообществом активно ведутся исследования альтернативных видов топлива, поиск дополнительных источников традиционных и не традиционных энергоресурсов. Пока не создан еще вид топлива, способный стать достойной заменой традиционным его видам, поэтому актуальным направлением в этом аспекте является разработка способов добычи не традиционных энергоресурсов. Именно таким энергоресурсом, является метаносодержащий газовый гидрат [1, 7, 10].

По самым пессимистичным оценкам ученых, гидраты углеводородных газов, запасы которых составляют 250 трлн кубиче-

© Э.А. МАКСИМОВА, 2018

ческих метров, рассматриваются как самый перспективный и вероятный энергетический ресурс будущего. Для сравнения, по текущим данным BP Statistical Review, запасы традиционного газа в недрах Земли оценены в 188 трлн. кубических метров.

За последние 50 лет резко возрос интерес к исследованиям газовых гидратов. Учеными многих стран обсуждаются условия образования в природе газовых гидратов, проблемы их генезиса, геолого-структурной позиции, литологии, геоморфологии, тектоники, а также вопросы размещения газогидратов в пространстве и во времени. За этот период учеными Ю.Ф. Макогоном, К. Kvenvolden, S. Dallimore, Y. Okuda, Е.Ф. Шнюковым, А.П. Зиборовым, В.П. Коболевым, Э.А. Бондаревым и др. установлено наличие газогидратов в материковой части Земли и широкое распространение гидрато-содержащих залежей в недрах ложа Мирового океана [1, 2, 3, 4, 7].

Ю.А. Дядин, Г.Д. Гинзбург, E.D. Sloan (USA) в своих работах утверждают, что запасы газовых гидратов ( $2 \cdot 10^{16} \text{ м}^3$ ) соизмеримы с количеством кислорода в атмосфере Земли ( $8 \cdot 10^{17} \text{ м}^3$ ). Принимая во внимание высокую удельную концентрацию газа в природных гидратах (до  $160 \text{ м}^3/\text{м}^3$ ), их относительно неглубокое залегание (под морским дном, начиная с глубин воды 300—500 м) [11], донные газогидраты рассматриваются как реальная альтернатива газу, добываемому традиционными способами.

В настоящее время разработкой технологий добычи газовых гидратов занимаются все промышленно развитые страны: Великобритания, Германия, Канада, Китай, Россия, США, Норвегия и Япония.

Успешный опыт разработки месторождений газовых гидратов к настоящему времени имеется у российских, японских и канадских исследователей. В России (Мессояхское месторождение, Якутия) и Канаде был получен газ из месторождения газовых гидратов зоны вечной мерзлоты. На Мессояхском месторождении проведена успешная отработка практически всех запасов газовых гидратов, а канадским разработчикам стабильный выход газа удалось поддерживать лишь на протяжении шести суток и этот эксперимент обошелся 48 млн канадских долларов. Эти события были восприняты научным сообществом как настоящий прорыв в области добычи газогидратов, поскольку Россия и Канада, в своей арктической части, располагают запасами газовых гидратов, достаточными для удовлетворения потребностей их внутреннего рынка на несколько столетий.

В 2012 году Япония начала работу по одной из крупнейших и приоритетных национальных программ в мире с огромным бюджетным финансированием, направленной на разработку морских газогидратных месторождений трога Нанкай с глубины 950 м [9]. Японским газовым предприятиям впервые за всю историю удалось добыть газ из газовых гидратов со дна океана.

## Результаты исследований

Целью работы было установить и показать взаимосвязь особенностей строения дна Мирового океана с распространением месторождений газовых гидратов, в зависимости от состава вмещающих пород и геоморфологических структур. Выполнен анализ существующих месторождений газовых гидратов, доказана возможность и, в силу труднодоступности проведения де-

тальной разведки, разработан теоретический подход к предварительной оценке горно-геологических условий распространения таких месторождений.

На основании этих исследований становится возможным прогнозировать месторасположение месторождений совершенно нового энергетического ресурса на дне Мирового океана и выполнить предварительную оценку способа их разработки.

Практическая значимость таких исследований выражается в том, что на современном этапе исследований нового дополнительного и наиболее перспективного источника энергетических ресурсов, имеет большую ценность классификационный подход к поиску, разведке и разработке лишь экономически целесообразных, с точки зрения извлечения метана, зон дна Мирового океана.

Научная новизна заключается в том, что впервые показана взаимосвязь различных зон дна Мирового океана с типами залежей газовых гидратов на основе их генетического происхождения и состава вмещающих пород.

Актуальность исследований подтверждается отсутствием косвенных методов по поиску и разведке месторождений газовых гидратов в недрах дна Мирового океана. Учитывая особенности их залегания и распространения, для обнаружения таких месторождений современной наукой широко используются геофизические методы. Однако, для планирования геофизических исследований важно предварительно наметить конкретные зоны поисков и разведки, а для дальнейшей оценки запасов газогидратов необходим новый подход, учитывающий анализ порового пространства, трещиноватость и структуру вмещающих пород.

### **Теоретический подход к определению закономерностей образования месторождений газовых гидратов в Мировом океане**

Было проведено обобщенное и комплексное исследование состояния вопроса по обнаружению и обследованию месторождений газовых гидратов мировыми экспедициями различных стран по результатам научных работ Ю.Ф. Макогона, А.А. Трофимука, М.В. Толкачева, Е.Ф. Шнюкова, Л.Ф. Смирнова, В.П. Коболева и др. [1, 2, 3, 4, 11]. Результаты исследования приведены в табл. 1.

В основу теоретических рассуждений о закономерностях образования месторождений газовых гидратов положена основная концепция: генезис и приуроченность залежи к той или иной структуре океанического дна определяют термобарические условия как для начала гидратообразования и накопления залежи, так и диссоциации при разработке, с учетом соответствующего состава литологических разностей вмещающих пород. Отмечено, что все литологические разновидности вмещающей толщи, от мелкодисперсных алюмосиликатных отложений до кварцевых мелкозернистых песков и крупнообломочных брекчий различного минералогического состава породообразующих толщ, будут иметь уникальные для каждого месторождения показатели теплопроводности, удельной теплоемкости, пористости и проницаемости. Эти показатели являются определяющими в расчетах скорости продвижения теплового поля,

движения воды и газа в поровом пространстве вмещающих пород. Впоследствии эти параметры необходимо учитывать при выборе способа разработки каждого конкретного месторождения.

Анализ и сопоставление множества карт и материалов аэрофотосъемок обнаруженных проявлений газовых гидратов подтверждает приуроченность большинства этих месторождений к зонам стыковок океанического дна и континентальных поднятий (рис. 1, 2).

А эти зоны, в свою очередь, в силу различного генезиса, возраста и структурной позиции сложены соответствующими разновидностями продуктов осадконакопления [3—6]. И в каждом океане существуют свои особенности донных осадочных отложений. Как известно из геотектоники, плиты материков погружены в верхние слои мантии. Чтобы океаническая плита зашла под континентальную, ей необходимо опуститься ниже материка и его основания. Таким образом образуется желоб. Например, на границах двух тектонических плит, где Тихоокеанская плита уходит под Филиппинскую, в западной части Тихого океана, расположена Марианская впадина или Марианский желоб. По данным, полученным из глубоководных аппаратов установлено, что на ее дне полностью отсутствуют песчаные частицы. Дно представлено лишь останками животных, раковин и планктона, залегающим на базальтовом основании. Это указывает на то, что на глубину 10994 м эти отложения поступили вместе с погружающейся плитой. Таким образом, в подобных зонах вмещающие газогидраты породы будут аналогичны породам океанического дна.

При детальном изучении особенностей осадконакопления и рельефа дна Тихого, Атлантического, Индийского и Северного Ледовитого океанов, с уче-

Таблица 1. Установленные месторождения газовых гидратов в Мировом океане

Тип залежи	Место расположения месторождения
Глубоководные залежи	Глубоководная впадина вблизи побережья Коста-Рики Центральноамериканский глубоководный желоб, Гватемала Мексиканский район Центральноамериканского глубоководного желоба Тихоокеанская впадина, Орегон Курильская гряда, Охотское море Желоб Нанкай, Японское море Глубоководная Перуанская впадина, Тихий океан Калифорнийский разлом, США Шельф Сахалина, Охотское море Побережье Японии
Шельфовые залежи	Мексиканский залив, США Подводное плато Блейк, Атлантический океан Грязевой подводный вулкан Хакон Мосби, Норвегия Шельф дельты Нигера, Атлантический океан
Континентальные залежи	Осадочные породы Черного моря, Украина Осадочные породы Каспийского моря, Россия Озеро Байкал, Россия Подводные горы Анаксимандра, Средиземное море Побережье района Кула, Турция
Арктические залежи	Район у дельты Маккензи, Северный Ледовитый океан

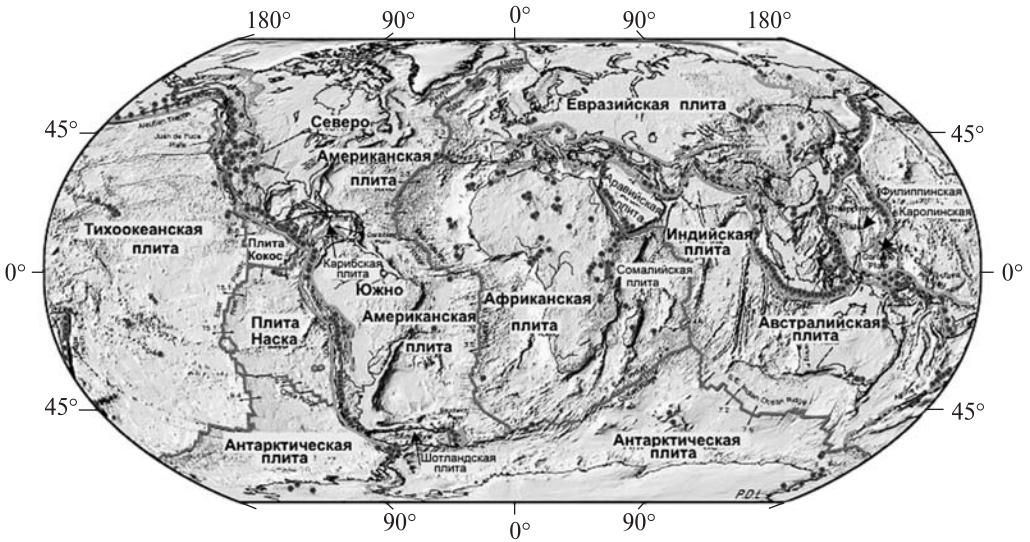
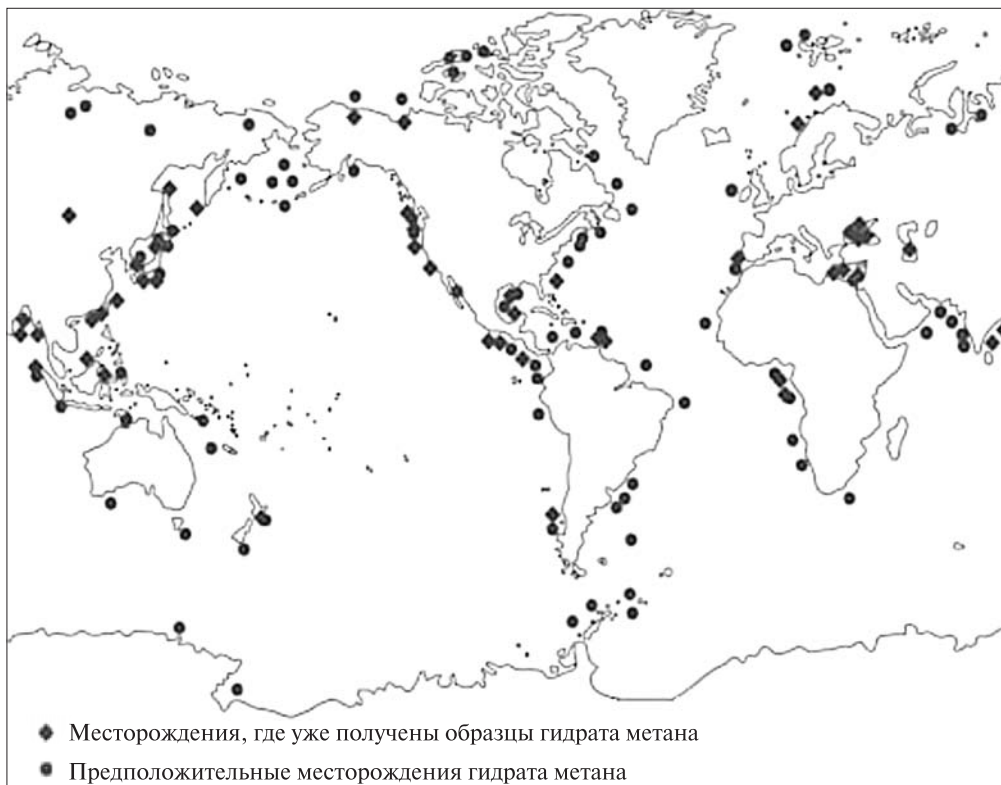


Рис. 1. Карта стыкочек плит океанического дна и континентальных поднятий, по контурам которых получили распространение месторождения газовых гидратов, представленные на рис. 2. По материалам сайта <http://core2.gsfc.nasa.gov/>

том температурного режима и глубин, которые являются уникальными для каждого, установлено, что при выделении зон гидратообразования необходимо сопоставлять ряд факторов, определяющих гидратообразующий режим. К таким факторам относятся температура среды, давление, соленость воды, степень насыщения среды газом, вещественный и гранулометрический состав вмещающих пород, особенности порового пространства и геоморфологических структур.

В результате изучения вещественного состава современных донных отложений установлено, что в определенных условиях среды осадкообразования формируются определенные типы осадков. Они формируются в зависимости от рельефа зон шельфа в местах выноса осадочного материала реками, седиментационного бассейна, тектонического и геологического строения дна и берегов, глубин, химического состава и температуры морской воды, гидродинамического режима бассейна и климата. Исходя из этих особенностей формирования гидратообразующих толщ в различных частях Мирового океана, выявлены закономерности формирования месторождений газовых гидратов по их генетическому типу [8].

подавляющее большинство скоплений газовых гидратов находится на континентальных склонах и подводных поднятиях, в условиях высокого давления и низких температур. Они могут образовываться и стабильно существовать в широком интервале давлений и температур (от 1 МПа до 200 МПа при температуре от  $-30$  до  $+40$  °С). В лаборатории инновационных технологий Национального горного университета, под руководством Заслуженного деятеля науки и техники Украины профессора Бондаренко В.И., автором был проведен комплекс лабораторных исследований по получению газогидратов различных газов искусственным способом. Были получены образцы метаногидратов в широком диапазоне давлений и температур. Лабораторными исследованиями



**Рис. 2.** Месторождения газовых гидратов, обнаруженные различными экспедициями и предположительные [<https://www.washingtonpost.com/news>]

были смоделированы природные термобарические параметры различных зон океанических впадин — от шельфа до глубоководных желобов. Была получена термобарическая зона стабильного гидратообразования для метана, которая представлена на рис. 3.

Термодинамическая зона образования и стабильного существования гидратов колеблется от нескольких сот метров до трех-четырех километров, что соответствует величинам давлений от 5 МПа до 30–40 МПа и температурам от  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Верхняя граница существования газогидратных залежей в акваториях обычно находится у поверхности дна независимо от состава газа и минерализации воды. Нижняя — во вмещающих породах под дном до пятикилометровых глубин. С точки зрения разведки и разработки, такие глубины на сегодняшний день не представляют практического интереса, но с научной точки зрения играют важную роль в систематизации процессов гидратообразования. Месторождения гидратов метана встречаются в виде различных структур от рассеянных крупинки или тонких пластов до массивных однородных или брекчиевидных залежей. Именно это обстоятельство, описанное во многих материалах экспедиций, послужило основной гипотезой для проведения серии экспериментов и разработки генетической классификации месторождений природных газовых гидратов по геолого-структурным признакам, в зависимости от типа вмещающих пород. Экспериментально установлено, что струк-

тура газовых гидратов обусловлена структурой порового пространства вмещающих пород. Крупные залежи гидратов метана образуются в пределах верхних 1,5 км отложений морского дна, при этом интервал глубины 200—800 метров ниже уровня морского дна рассматривается перспективным для их промышленной разработки. Устойчивость состояния океанических гидратов метана зависит не только от величины давления (глубины залегания) и окружающей температуры, но также от уровня концентрации или растворимости метана в морских отложениях. Давление и температура, необходимые для устойчивого существования в природе гидрата метана, встречаются в районах вечной мерзлоты и на дне океана. Например, условия континентального шельфа у восточного побережья США обеспечивают возможность для существования в природе гидратов метана в верхних слоях морских отложений (на глубине нескольких сотен метров) и практически на всех глубинах, за исключением прибрежных. Однако, твердый гидрат не образуется до тех пор, пока концентрация метана не превысит концентрацию насыщения. Только в определенных участках донных отложений, имеющих в кровле малопроницаемые покрывки, концентрация метана настолько высока, что он начинает проникать в пустоты между частицами породы, образуя при этом клатратные структуры.

В целом, помимо геотектонических структур, на условия гидратообразования и вмещающие гидраты породы, влияют особенности строения дна Мирового океана.

Строение дна Мирового океана принято рассматривать как двухслойную модель, состоящую из верхнего осадочного слоя и нижнего базальтового слоя [5]. В результате проведенных детальных сейсмических исследований, бурения многочисленных скважин и неоднократного драгирования, учеными геологами было значительно уточнено строение океанической литосферы. По современным данным, в своей верхней части океанская земная кора имеет трехслойное строение при мощности от 6 до 12 км. Некоторое увеличение мощности наблюдается под островами, расположенными в океане. Таким образом, если эти сведения систематизировать, то верхний, первый слой океани-

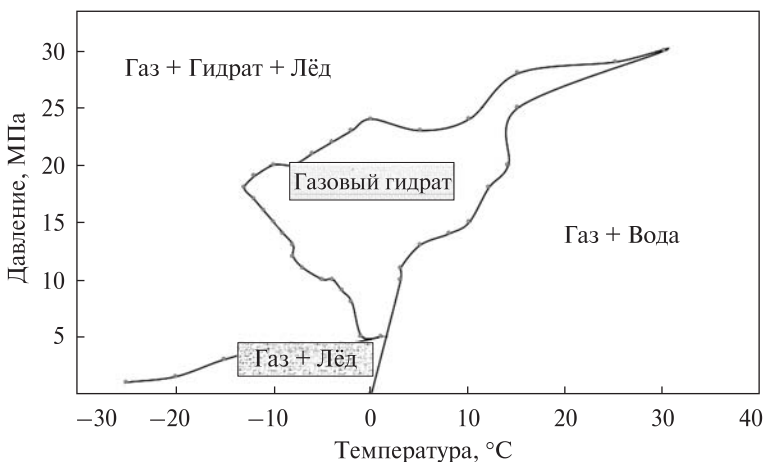


Рис. 3. Диаграмма термобарических параметров фазовой устойчивости газового гидрата

ческой коры — осадочный, состоит преимущественно из различных осадков, находящихся в рыхлом состоянии. Его мощность от нескольких сот метров до 1 км. Этот слой автором рассматривается как основной для гидратонакопления, поскольку, начиная с глубины 800 м наблюдаются необходимые термобарические условия. В этом слое возможна локализация газогидратов 1 и 2 типов.

Второй океанический слой сложен преимущественно базальтами с прослоями карбонатных и кремнистых пород. Мощность его от 1,0—1,5 до 2,5—3,0 км. Этот слой автором рассматривается как «хранитель» газогидратных залежей 3 типа.

Третий, нижний, высокоскоростной океанический слой бурением еще не вскрыт. Но, по данным драгирования, проводимого с исследовательских судов, он сложен основными магматическими породами типа габбро с подчиненными ультраосновными породами (серпентинитами, пироксенитами). Его мощность по сейсмическим данным от 3,5 до 5,0 км.

Субокеанический тип земной коры приурочен к котловинным частям (с глубиной более 2 км) окраинных и внутриконтинентальных морей (Средиземное, Японское, Охотское и Черное). По строению этот тип близок к океаническому, но отличается от него повышенной мощностью (4—10 и больше км) осадочного слоя, располагающегося на третьем океаническом слое. Суммарная мощность земной коры в морях 10—20 км, местами до 25—30 км (за счет увеличения мощности осадочного слоя). Геофизические исследования показали, что ниже субокеанической коры располагается разуплотненная мантия. Это свидетельствует о тектонической активности данных впадин, возможно, об их спрединге. В этих зонах, в силу высокого термоградиента, гидратообразование возможно лишь при очень высоких давлениях.

Своеобразное строение океанической земной коры отмечается в центральных рифтовых зонах срединно-океанических хребтов, например, в Срединно-Атлантическом хребте. Здесь под вторым океаническим слоем располагается линза (или выступ) низкоскоростного вещества. Скорости сейсмических волн в нем в пределах 7,4—7,8 км/с, как бы промежуточные между коровыми и мантийными. Одни исследователи считают, что это низкоскоростное вещество представляет выступ аномально разогретой мантии, другие — смесь корового и мантийного материала. В этой зоне газовые гидраты могут иметь весьма ограниченное распространение или отсутствовать вовсе, в силу термоградиента и структур слагающих пород.

Такие факты, дают основания полагать, что в каждой такой структуре газовые гидраты будут иметь различное газонасыщение, плотность и фазовую устойчивость, поскольку они генетически сформировались при различных температурах, давлении и приурочены к разнообразным литологическим разностям вмещающих пород.

Для разведки и дальнейшей разработки месторождений газовых гидратов важную роль играют формы рельефа дна. В рельефе дна океанов и морей проявляется взаимодействие эндогенных и экзогенных процессов в различных структурных зонах. Мировым научным геологическим сообществом выделяются следующие планетарные формы рельефа: подводная окраина материков (шельф), материковый склон, материковое подножие, абиссальные равнины, представленные котловинами окраинных морей, глубоководными равнинами,



ложем океана, разделенным срединно-океаническими хребтами и островными дугами, и глубоководные желоба.

На шельфе производится добыча природного газа, совокупность термобарических параметров — не очень высокие давления и повышенный температурный режим, не создают должных условий для формирования стабильных газогидратных залежей.

*Материковый склон* распространен от бровки шельфа до глубин 2,0—2,5 км, а местами до 3 км. Уклон его поверхности составляет в среднем 3—5°, хотя местами достигает 25—40° и более.

Условия разработки месторождений газовых гидратов в таких зонах будут иметь свои особенности. По мнению автора, именно в этих зонах наступают необходимые фазовые границы гидратообразования, что подтверждается множеством отобранных проб разными экспедициями в различные года. В этих условиях газогидратные залежи будут иметь структуру и свойства, колеблющиеся в определенном диапазоне, поскольку генетические условия их образования различны, приурочены они к разным литологическим разностям, формировались при различных давлениях и температурных режимах. Характер рельефа материкового склона в ряде случаев отличается значительной сложностью. В нем наблюдается ступенчатость профиля — чередование уступов с субгоризонтальными ступенями, что по-видимому, связано с разрывными тектоническими нарушениями.

Второй особенностью материкового склона является система рассекающих его поперечных подводных каньонов, заложение части которых, возможно, также связано с тектоническими движениями или с эрозионной деятельностью мутьевых потоков, некоторые же представляют подводное продолжение речных долин. Именно к таким зонам приурочено множество месторождений нефти, газа и газовых гидратов. Следовательно, эти особенности необходимо брать за основу при поиске, разведке и дальнейшей разработке схем вскрытия месторождений газогидратов.

*Материковое подножие* выделяется в качестве промежуточного элемента рельефа между материковым склоном и ложем океана и протягивается до глубин 3,5 км и более. Оно представляет собой наклонную холмистую равнину, окаймляющую основание материкового склона и местами характеризующуюся осадками большой мощности за счет выноса материала мутьевыми потоками и периодически возникающими крупными оползнями.

*Абиссальные равнины* — глубоководные равнины океанических котловин и впадин краевых морей. Абиссальные равнины занимают ~40 % площади ложа океанов и лежат на глубинах 2,5—5,5 км. Они расположены между подножием континента и срединно-океаническим хребтом. На абиссальных равнинах, расположенных у пассивных континентальных окраин, осадконакопление происходит главным образом за счет мутьевых потоков, доставляющих обломки пород разрушенных эрозией континентов и формирующих наслоения из песка, алеврита и ила, т. е. так называемые турбидитовые отложения. Мутьевые потоки зачастую формируют абиссальные каналы. В относительно малоглубинных частях абиссальных равнин в осадках преобладают карбонаты, отлагающиеся непосредственно из воды и из раковин гибнущих морских организмов. Однако, с погружением в более глубокие зоны, осадконакопление постепенно

изменяется, в силу удаления от континента; осадки от континентальных эрозионных процессов отсутствуют. При увеличении глубин до значений, глубже которых кальцит растворяется, раковины морских организмов, погружающиеся из верхних слоев океана, так же полностью растворяются и на дне карбонатные осадки не формируются. Вследствие этих двух причин на абиссальных равнинах накапливаются весьма характерные осадки — океанические красные глины. Скорость их накопления очень низка — несколько сантиметров в тысячелетие.

*В целом, ложе Мирового океана* представлено обычно плоскими или холмистыми равнинами, расположенными на глубинах от 3,5 до 6,0 км. Местами они осложнены небольшими возвышенностями, иногда вплоть до подводных гор и больших вулканических построек типа Гавайских островов. В Тихом океане, например, особенно много подводных вулканических гор и, в частности, своеобразных плосковершинных гор различной размерности, называемых гайотами. Вершины некоторых гайотов, по данным А. Аллисона, достигают в ширину свыше 60 км и в длину 280 км. Большинство исследователей считают, что гайоты представляют собой вулканические горы, которые в прошлом подвергались интенсивной волновой абразии, о чем свидетельствует наличие на их срезанных вершинах скатанной волнами крупной гальки и остатков мелководной фауны. Вершины гайотов располагаются сейчас на глубинах 1,0—2,0 км, что, по-видимому, связано с тектоническим опусканием океанического дна. Аналогичная картина опускания подтверждается и данными бурения на атоллах, где породы коралловых рифов встречены на глубинах 1,2—1,4 км при нормальном жизненном развитии кораллов до 50—60 м.

*Глубоководные желоба*, которые, например, получили широкое распространение в Тихом океане, в его западной части образуют почти непрерывную цепь, протягивающуюся вдоль островных дуг от Алеутских, Курило-Камчатских до Новой Зеландии и разветвляющуюся в пределах Филиппинско-Марианского расширения. Вдоль восточного побережья располагаются Перуанско-Чилийский и Центральноамериканский глубоководные желоба, сопряженные с Андским поясом молодых кайнозойских горных сооружений.

В Индийском океане желоба приурочены главным образом к морям островного Индонезийского архипелага, в Атлантическом — к островным дугам, окаймляющим Карибское море. Глубина желобов от 7,0 до 11,0 км. С точки зрения месторождений газовых гидратов, желоба не исследованы должным образом, в силу их труднодоступности и огромных запасов углеводородов на меньших глубинах.

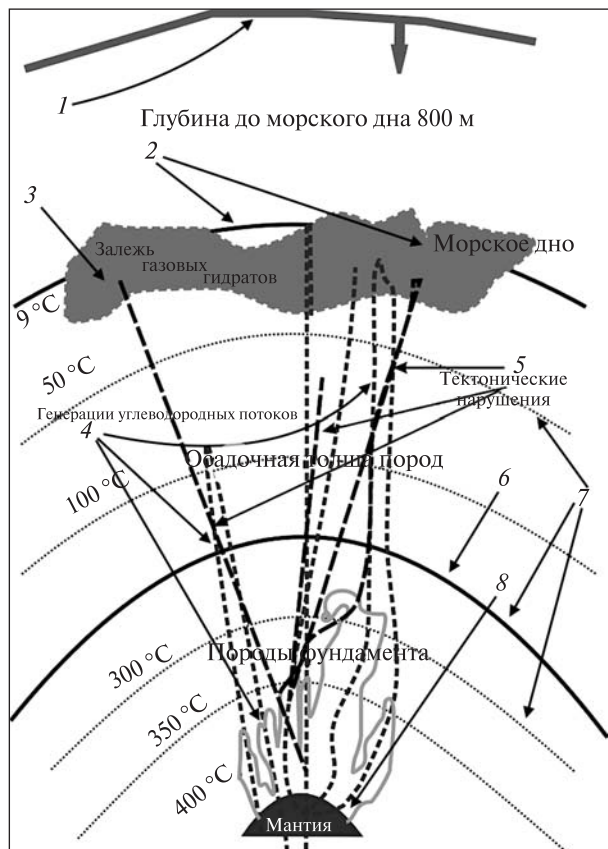
*Срединно-океанические хребты* образуют единую глобальную систему поднятий над абиссальными равнинами на 2—3 км, общей протяженностью свыше 60000 км. Вдоль осевой части Срединно-Атлантического и Индийского хребтов протягивается крупная депрессия — долинообразное понижение, ограниченное глубинными разломами и названное рифтовой долиной. Дно рифтов опущено до глубин 3,5—4,0 км, а окаймляющие хребты здесь находятся на глубинах 1,5—2,0 км. Срединно-океанические хребты пересечены многочисленными трансформными разломами с вертикальным смещением до 3—5 км. Эти глубинные разломы в горизонтальном направлении смещают также части осевых рифтов, — иногда на сотни километров. Благодаря процессам средин-

га или раздвигания блоков литосферы, здесь формируется новая океаническая кора. Магма, генерируемая в мантии, заполняет разломы перидотитами, дуниитами, габбро, базальтами и др. Возраст этих участков доходит до 180 миллионов лет, а самым древним, как например дно Средиземного моря, 280 миллионов лет. В этих зонах не отмечены месторождения газовых гидратов, что объясняется повышенным температурным фоном, вследствие которого отсутствуют необходимые для гидратообразования условия.

В зонах перехода или стыковок океанических впадин и континентальных поднятий, отмечается высокая тектоническая активность. Геологами давно доказана приуроченность месторождений нефти и газа осадочного чехла к тектоническим структурам земной коры (зонам разломов) и зонам перехода от континентов к океаническим впадинам, вдоль которых также зачастую идут крупнейшие тектонические нарушения. Разлом, проходящий через различные слои литосферы, будет иметь различные типы горных пород вдоль всей своей протяженности. Из-за смещения горных пород в них формируются ловушки, в которых зарождаются месторождения нефти и газа. Такая пространственная локализация нефти и газа в виде ловушек связывается учеными с наличием нефтегазопроводящих каналов в виде глубинных разломов, по которым происходит постоянная или периодическая подпитка месторождений. Это положение подтверждается множеством экспедиций и исследований, проводимых в Атлантическом, Индийском и Северном Ледовитом океанах, в западной и восточной части Тихого океана, на озере Байкал, Беринговом и Охотском морях [6].

Таким образом в активных, с точки зрения тектонической деятельности, участках перехода от океанических впадин к континентальным поднятиям, в зонах глубинных тектонических разломов, где формируются так называемые ловушки углеводородов, в совокупности образуются бассейны, в которых сосредоточено не менее 70—75 % запасов нефти и газа, открытых к настоящему времени. Например, Институтом проблем нефти и газа РАН детально исследуются процессы формирования и генезиса нефтегазоносных залежей. В условиях повышенных температур ( $T > 350$  °C) и давлений, под экраном серпентинитов фундамента Охотского моря идет накопление метана и его гомологов: этана, пропана, бутана, гексана и др. и создается автоклавная ситуация. Таким образом там же формируются все компоненты нефти. Высокая сейсмическая активность и высокое поровое давление приводит к нарушению целостности экрана фундамента серпентинитовых слоев в очаговых зонах землетрясений. Поскольку флюиды концентрируются в сжатом виде, поровое давление в зонах высокой аккумуляции флюидов постоянно увеличивается и углеводородные экструзии и интрузии мигрируют по сдвиговым разломам, зонам трещиноватости и расщеливания в толщу осадочных пород — в так называемые осадочные ловушки присдвиговых прогибов. Этот вывод подтверждается работами ученых-геофизиков. По расчетам этих авторов по сдвиговому разлому постоянно бегут волновые энергетические импульсы, которые и формируют эффект повышенной энергетики, который и приводит к постоянным выделениям газа из недр Земли [3, 4].

По гипотезе автора, такое сочетание геолого-сейсмических особенностей и сложившейся термобарической обстановки объясняет, также, приуроченность залежей газовых гидратов именно к зонам глобальных тектонических разломов.



**Рис. 4.** Схема генерации газогидратной залежи: 1 — поверхность океана; 2 — дно океана; 3 — залежь газовых гидратов; 4 — генерации углеводородных потоков; 5 — зона тектонических нарушений; 6 — дно осадочной толщи пород; 7 — изотермы; 8 — мантия Земли. Рисунок автора

При разработке классификации месторождений газовых гидратов по типам было принято за основу, что именно в таких ловушках, при понижении температурной среды, но еще при высоком давлении и происходит формирование газогидратных залежей (рис. 4. [8]).

Среди подводных континентальных окраин по особенностям рельефа и тектонической активности выделяются три типа переходных зон от континента к океанам.

1. *Атлантический тип*, характерен для северной и южной Атлантики, Северного Ледовитого и значительной части Индийского океанов. Здесь четко выражена спокойная переходная подводная окраина: континент — шельф — континентальный склон — континентальное подножье — ложе океана. Термобарические параметры, необходимые для гидратообразования, в полной мере присутствуют в зоне атлантического типа. Разнообразие форм залежей обуславливается разными типами вмещающих пород и геолого-структурными зонами.

2. *Западно-Тихоокеанский тип*, где наблюдается иной переход: континент — впадины окраинных морей (Охотское, Японское и др.) — островные дуги (Курильская, Японская и др.) — глубоководные желоба — ложе океана. Для этого типа характерна высокая тектоническая активность, проявляющаяся в интенсивных вулканических извержениях, землетрясениях и современных тектонических движениях земной коры. Термобарические параметры, необходимые

для гидратообразования, присутствуют в зонах тектонических разломов. Разнообразие форм залежей обуславливается геолого-структурными зонами.

3. *Андский тип*, характерный для восточного и юго-восточного побережья Тихого океана, где переход от молодых горных сооружений Анд к ложу океана осуществляется непосредственно через Перуанско-Чилийский желоб. Здесь также проявляются активные эндогенные процессы. В зависимости от того или иного типа переходных зон изменяется строение земной коры. Термобарические параметры, необходимые для гидратообразования, присутствуют в зонах стыковки океанических впадин и континентальных поднятий. Разнообразие форм залежей обуславливается геолого-структурными зонами.

Среди окраинных и внутриконтинентальных морей выделяют плоские моря, глубины которых близки к глубинам шельфа. Это моря — Баренцево, Карское, Северное и Балтийское, представляющие собой опущенные под воду участки суши. Термобарические параметры, необходимые для гидратообразования, характерны в пределах дна; на плоских равнинах газогидратные толщи могут залегать в виде сплошных залежей на дне и под дном.

Также, следует отметить *котловинные окраинные* и внутриконтинентальные моря — Охотское, Японское, Черное и Средиземное, приуроченные к тектонически активным зонам. В них развиты шельф, континентальный склон и, главное, глубокие котловины-впадины (от 2,0 до 4,0—4,5 км), в которых газогидратные залежи приурочены к зонам дна и под ним.

Все три типа переходных зон характеризуются благоприятными условиями для стабильного нахождения газогидратных залежей во вмещающих породах, что подтверждается многочисленными экспедиционными морскими исследованиями.

По гипотезе автора, в этих морях происходит интенсивное гидратообразование, но при этом газовые гидраты имеют различные типы структур, текстур, кавернозность, трещиноватость, микро- и макропористость, фазовую проницаемость и физические свойства различных литологических разностей.

В целом, автором выделено 5 типов месторождений газовых гидратов, в зависимости от вещественного состава вмещающих пород, тектонических и геологических структур.

**1 тип.** Месторождения газовых гидратов, представляющие собой сплошные залежи на дне морей и океанов, в зонах шельфа, материкового склона, абиссальных равнин и впадин. Это аморфные залежи газовых гидратов в виде чистого льда большой мощности. Способ разработки, в этом случае, будет зависеть от геоморфологического расположения залежи, геотектонической структуры и не будет зависеть от состава и структуры подстилающей толщи.

**2 тип.** Месторождения газовых гидратов под дном в виде сплошных толщ из практически однородных, мелкозернистых структур массивов газовых гидратов, залегающих в зонах материкового склона, материкового подножия, абиссальных равнин и впадин морей и океанов, преимущественно в алевритовых, тонкодисперсных глинистых отложениях, мелкозернистых песках и на их контактах. Месторождения этого типа также возможны на континентах — в зонах вечной мерзлоты и в пределах погребенных разломов.

**3 тип.** Месторождения газовых гидратов, залегающие в пределах более глубоких абиссальных равнин, приуроченные к глинистым, глубоководным дон-

ным илам, супесчаным и суглинистым отложениям, поры которых насыщены газогидратом. Они представлены мощными слоистыми отложениями, покрывающими более глубокие структуры коренных пород дна океана.

**4 тип.** Месторождения газовых гидратов в обломочных горных породах брекчиевидных разновидностей. Этот тип залежей образуется в зонах тектонических разломов, стыковок океанических впадин и материковых поднятий, в различных геодинамических условиях. Этот тип характеризуется весьма разнообразным геологическим строением вмещающей толщи, образуется на плоскостях смещения массивов горных пород под дном морей и океанов.

**5 тип.** Месторождения газовых гидратов в виде жильных месторождений, сформированных в крупных массивах магматических горных пород, вдоль разломов-сбросов и сдвигов, перекрытых толщами осадочных пород дна. Газогидраты этого типа, соответственно, залегают в виде крупных жил, однако, залегают на больших глубинах и имеют смешанную структуру — от брекчиевидной и мелкозернистой — до аморфной.

## Выводы

Приведенные данные позволяют:

1. Рассматривать приуроченность месторождений газовых гидратов осадочного чехла к глубинным тектоническим структурам литосферы Земли. В этом аспекте они могут быть использованы в качестве дополнительного признака при поисках месторождений газовых гидратов;

2. Классифицировать природные месторождения газовых гидратов по типам, в зависимости от принадлежности их к различным тектоническим структурам земной коры, условиям залегания и вещественного состава вмещающих пород;

3. Разрабатывать методы и технологии добычи газа из природных месторождений газовых гидратов в соответствии с предложенными пятью типами таких месторождений.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев В.Г., Макогон Ю.Ф., Требин Ф.А. и др. Свойство природных газов находится в земной коре в твердом состоянии и образовывать газогидратные залежи. Открытия в СССР, 1968—1969 гг. *Сборник. Москва: ЦНИИПИ, 1970. 230 с.*
2. Конохов А.И. Мировой океан и глобальные пояса нефтегазоаккумуляции. Геология морей и океанов: *Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии*. Т. II. Москва, 16—20 ноября 2009. С. 61—64.
3. Конохов А.И. Окраины континентов — глобальные пояса нефтегазоаккумуляции. *Литология и полезные ископаемые*. 2009. № 6. С. 563—582.
4. Корчуганова Н.И. Геологические структуры на космических снимках. *Научн. изд. Московской государственной геологоразведочной академии: Науки о Земле*. 1998. С. 25—28.
5. Лапина Н.Н. Вещественный состав тонкодисперсной части донных отложений Северного Ледовитого океана. *Геология дна океанов и морей*. Новосибирск: Наука. 1964. 150 с.
6. Макогон Ю.Ф. Газогидраты — дополнительный источник энергии Украины. *Нефтегазовая и газовая промышленность*. 2010. № 3. С. 47—51.
7. Максимова Э. А. Типы месторождений газовых гидратов и их учет при подземной разработке. *Сборник научных трудов Донбасского государственного технического университета*. 2013. №. 40. С. 65—69.

8. Чжан Ю. Извлечение метана из газовых гидратов в морской среде путем пузырьковых извержений (англ.). *Геофизический научный сборник геологического Департамента Мичиганского университета*. Мичиган, США. 2003, т. 30, № 7. С. 511—514.
9. Шнюков Е. Ф., Гожик П. Ф., Краюшкин В. А., Клочко В. П. В трех шагах от субмаринной добычи газогидратов. *Геол. и полезн. ископ. Мирового океана*. 2007. № 1. С. 32—51.
10. Шнюков Е.Ф., Коболев В.П., Пасынков А.А. Газовый вулканизм Черного моря. К.: Логос, 2013. 384 с.
11. Dallimore S, Collett T., Uchida T. Scientific Results from JAPEX/JNOC/GSC Mallik 2L—38 Gas Hydrate Research Well. *Geological survey of Canada, Bulletin*. 1999. 403 p.

Статья поступила 11.02.2018

*Е.О. Максимова*

#### ВРАХУВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДОВИ ДНА СВІТОВОГО ОКЕАНУ ПРИ ВИДІЛЕННІ ЗОН ГІДРАТОУТВОРЕННЯ

Поклади родовищ газових гідратів в Світовому океані розглядаються як додаткове не традиційне джерело вуглеводнів. Показана залежність поширення родовищ газових гідратів в різних типах вміщуючих порід від структур дна Світового океану. Відзначено приуроченість більшості родовищ газових гідратів до зон стиків континентальних плит і океанічних западин. Розглянуто термодинамічні зони поширення родовищ газових гідратів. Представлено термобаричні параметри створення газових гідратів, отриманих штучним шляхом. Залежно від структурних особливостей газогідратних покладів в Світовому океані, літологічного складу вміщуючих порід, особливостей тектонічних і геологічних структур земної кори, виділено 5 типів родовищ газових гідратів.

**Ключові слова:** Світовий океан, газовий гідрат, метан, гірничо-геологічні умови, зони тектонічних порушень, донні відкладення.

*Е.А. Maksimova*

#### ACCOUNTING THE PECULIARITIES OF THE WORLD OCEAN FLOOR STRUCTURE WHEN SELECTING THE ZONE OF GAS HYDRATE FORMATION

Gas hydrate deposits in the World Ocean are considered as an additional non-traditional source of hydrocarbons. The dependence of the gas hydrates deposits spread in different types of host rock from the structures of the ocean bottom. The coincidence much of gas hydrate deposits to the zones of joints of continental plates and oceanic depressions was noted. Thermodynamic zones of distribution of gas hydrate deposits are considered. Presented thermobaric parameters of gas hydrate formation, obtained by artificial means. Depending on the structural characteristics of gas hydrate deposits in the oceans, surrounding rocks lithology, the characteristics of geological structures and tectonic crust allocated 5 types of gas hydrate deposits.

**Keywords:** World Ocean, gas hydrate, methane, mining and geological conditions, tectonic disturbance zones, ocean floor sediments.