

Э.А. МАКСИМОВА, канд. геол.-мин. наук
(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ОСОБЕННОСТИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

На протяжении последних 40 лет значительно возрос интерес науки к вопросам, связанным с местонахождением месторождений газовых гидратов, условиями их образования и существования [1-7]. Это связано с интенсивной эксплуатацией, усложнением условий разработки и истощением месторождений таких полезных ископаемых, как нефть, газовый конденсат, газ и уголь. Мировые цены на нефть постоянно растут, следовательно, растет цена и других энергоносителей. Таким образом очевидна необходимость перехода на альтернативные либо дополнительные источники энергии. Таким дополнительным, ранее не извлекаемым энергетическим ресурсом, с огромными потенциальными запасами, по мнению ученых многих стран, является газовый гидрат (рис. 1).

В настоящее время этими вопросами широко занимаются ученые физики, химики (супрамолекулярная теория клатратов) и экологи. Очевидна необходимость разработки методов освоения этого ресурса специалистами горной науки.

В этой связи, тема разработки методологии подземной/подводной технологии добычи газа из природных месторождений газовых гидратов весьма актуальна.

Для разработки методов и технологий добычи газа из природных месторождений газовых гидратов, с точки зрения основ горной науки и нефтедобывающей отрасли, необходимо досконально понимать горногеологические условия будущего месторождения полезного ископаемого. Исследования в этом направлении ведутся коллективом горных инженеров кафедры подземной разработки Национального горного Университета [1-3].

На кафедре подземной разработки создана лаборатория инновационных технологий, где ведутся исследования по госбюджетной тематике "Разработка методов и технологий добычи газа из природных газогидратов и получение искусственных газогидратов для оптимизации производственных процессов". Работы ведутся по двум основным направлениям: разработка методологии извлечения газа из газогидратных месторождений в различных горногеологических условиях Мирового океана и исследование фазовых переходов, с целью перевода газа дегазационных скважин угольных шахт в газогидратное состояние для его транспортировки и дальнейшего использования в качестве дополнительного энергоресурса.

Целью настоящей статьи является рассмотрение особенностей такого энергетического ресурса, как газовый гидрат.



Рис. 1. Образец газового гидрата, поднятый со дна оз. Байкал (фото сайта Российского географического общества)

Важнейшей особенностью газогидратов является то, что 1 м^3 этих кристаллов может содержать $0,87 \text{ м}^3$ воды и 164 м^3 метана. К сожалению, на сегодняшний день до сих пор не выявлен полный потенциал таких запасов, да и методика подсчета запасов в литературе отсутствует. По данным научной печати [4, 5], по предварительным оценкам, на суше содержится $14 \cdot 10^{12}$ - $34 \cdot 10^{15} \text{ м}^3$, в акватории Мирового океана $3,1 \cdot 10^{15}$ - $7,6 \cdot 10^{18} \text{ м}^3$ метана в газогидратах. Даже если лишь незначительную часть (10%) этих запасов считать извлекаемыми, они вдвое превысят сегодняшние мировые запасы традиционного природного газа. Идея получения метана из газогидратов не так уж нова. Первая информация о возможности существования в природе газовых гидратов появилась в конце 60-х годов прошлого столетия. В 1963 году в Якутии была пробурена Мархинская скважина, вскрывшая на глубине 1450 м газосодержащие породы с температурой 0°C , после чего и возникла гипотеза о существовании в природе нового полезного ископаемого – газового гидрата. Спустя несколько лет, в Заполярье было выявлено первое газ-газогидратное Мессояхское месторождение, которое в январе 1970 года было введено в промышленную разработку [5]. Изначально его запасы составляли около 30 млрд м^3 метана, из них на сегодняшний день добыто уже более половины. Мир получил новое подтверждение наличия газогидратных залежей и реальную возможность их промышленного освоения.

Молекула газовых гидратов описывается формулой $M \cdot n \text{H}_2\text{O}$, где M – молекула газа– гидратообразователя, n – число, показывающее количество молекул (рис. 2). Эти молекулы образуют в своей совокупности так называемые клатраты – кристаллические структуры, в которых газ находится в окружении молекул воды. Имя клатраты было дано Пауэллом в 1948 и происходит от латинского "clathratus", что значит "сажать в клетку" [6].

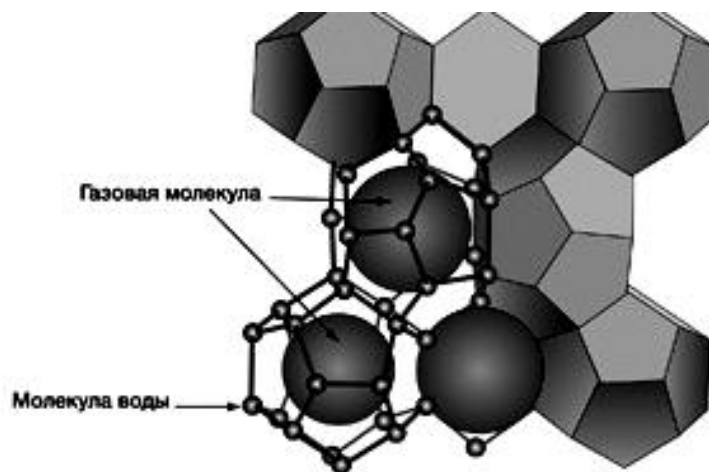


Рис. 2. Клатратная структура газового гидрата

Установлено наличие газогидратов в материковой части и широкое распространение гидратосодержащих пластов в Мировом океане. Современной наукой доказана приуроченность месторождений нефти и газа осадочного чехла к тектоническим структурам земной коры, причем к зонам перехода от континентов к океаническим впадинам. Пространственная локализация нефти и газа связывается с наличием нефтегазопроводящих каналов в виде глубинных разломов, по которым, как предполагают ученые, происходит постоянная или периодическая подпитка месторождений [7]. Разделяют три широтных пояса, которые включают окраины континентов в Атлантическом, Индийском и Северном Ледовитом океанах.

Три широтных пояса расположены на окраинах континентов, которые на протяжении большей части своей эволюции существовали в условиях спокойного тектонического режима. Первый широтный пояс – это Атлантическое побережье Северной Америки, Баренцевоморский, Норвежско-Гренландский и Североморский бассейны, а также бассейны Карского моря, моря Лаптевых, арктическая окраина Аляски и северная половина Западно-Сибирского бассейна. Второй и третий широтные пояса нефтегазонакопления – бассейны Персидского и Мексиканского заливов, Предкавказский, Туркменский, Бразильский, Западноафриканский, побережье Индийского океана и Суэцкий залив.

Помимо широтных глобальных поясов нефтегазонакопления, связанных с окраинами континентов, существуют два меридианальных пояса. Один из них приурочен к активным окраинам материков в восточной части Тихого океана и включает нефтегазоносные бассейны бордерленда Калифорнии, залива Кука и Гуаякильского залива. Район Калифорнийского бордерленда является самой крупной областью на Тихоокеанском побережье США. Здесь выделяется целый ряд крупных и мелких нефтегазоносных бассейнов (рис. 3).

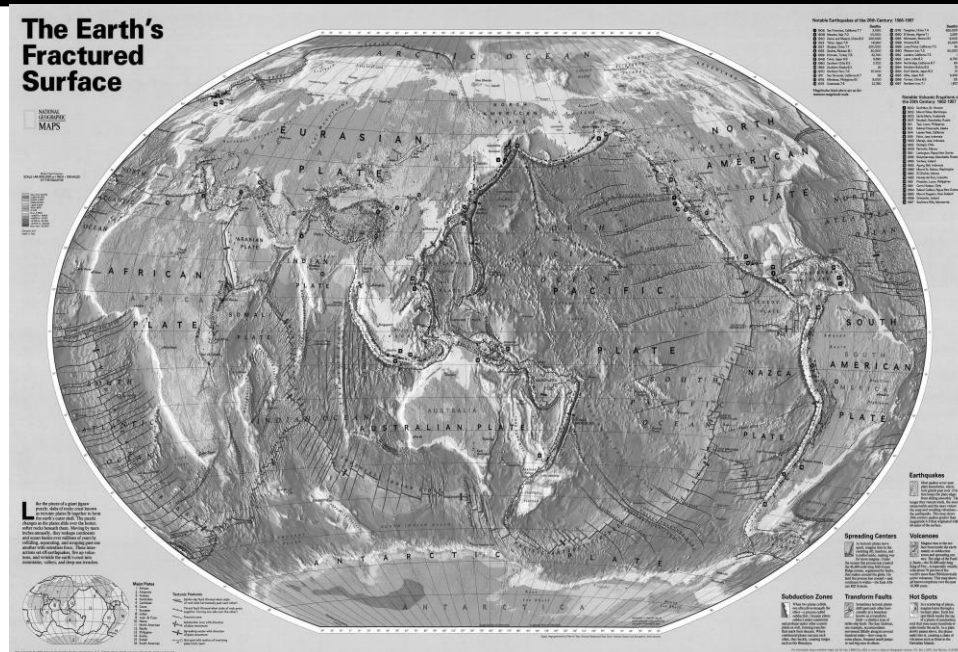


Рис. 3. Карта мира с указанием глобальных тектонических разломов и приуроченных к ним поясов нефтегазонакопления (по материалам издания "Карты Нэшнл Джеографик" National Geographic Society, Washington D.C. Distributed by MapQuest.com, Mountville, Pennsylvania, USA, 1999)

По литературным обзорам института океанологии им. П.П. Ширшова Российской Академии наук, на 01 января 2006 г., добыча нефти на Калифорнийском бордерленде составила 17,8 млн т нефти и более 1 млрд м³ газа. На тихоокеанском побережье США, в районе Калифорнийского бордерленда, не открытыми считаются еще до 1,4 млрд т нефти и 200 млрд м³ газа.

В другой, западный пояс входят нефтегазоносные бассейны сложной в структурном отношении зоны перехода от Азиатского континента к Тихому океану. В этих поясах исторически господствует активный тектонический режим, проявлениями которого были вулканизм и быстрое погружение блоков земной коры. Ко всем вышеперечисленным поясам нефтегазонакопления приурочены месторождения газовых гидратов.

В России, месторождения газогидратов, также приурочены к зонам глобальных тектонических нарушений. В 2009 году, при погружении на озере Байкал глубоководного обитаемого аппарата "МИР" в зоне тектонического разлома, с целью изучения подводных выделений газа, был обнаружен слой газовых гидратов в донных отложениях [8]. Они выглядели как прозрачный озерный лед без включений грунта, сверху залежь была прикрыта донным песком. Примечательно то, что выходы метана из донных отложений озера Байкал были обнаружены путешественниками еще в 17 веке. Затем это подтвердили исследователи Восточно-Сибирского отделения Русского Императорского Географического общества. Газовые гидраты в осадочной толще и грязевые вулканы на дне озера обнаружили лишь в конце XX века [9]. В этом районе была выполнена мелко-масштабная съемка глубин, которая показала наличие тектонического сброса.

Глубина до дна составила от 1385 м с северо-западной стороны разлома до 1435 м с юго-восточной его стороны. Факел газа в этом месте в октябре 2005 года был высотой более 950 м. Примечательно, что эти факты были обнаружены экспедицией ученых, которые занимаются выполнением научных программ, далеких от изучения выходов метана, а именно функционированием всей экосистемы озера Байкал [8].

В зонах тектонических нарушений повышена проницаемость горных пород, им характерны участки с пониженным горным давлением, и, естественно, в этих зонах создана благоприятная обстановка для проникновения магмы со всеми попутными продуктами метасоматоза и гидротермальной деятельности (рис. 4).

А поскольку, газовый гидрат образуется при определенных температурах и давлении (табл. 1) [1-3], путем внедрения молекулы газа в молекулу воды, то и месторождения, обнаруженные на Земле, как правило, приурочены к этим зонам. Этот факт подтверждается научными исследованиями последних 30-ти лет, ведущимися в этом направлении [1-5].

Российским институтом проблем нефти и газа РАН исследуются процессы формирования и генезиса нефтегазоносных залежей [10]. 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 и 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 акумуляции флюидов постоянно увеличивается и углеводородные экструзии и интрузии мигрируют по сдвиговым разломам, зонам трещиноватости и расщепления в толщу осадочных пород – в так называемые осадочные ловушки присдвиговых прогибов. Этот вывод подтверждается работами ученых-геофизиков [11-13]. По расчетам этих авторов по сдвиговому разлому постоянно бегут волновые энергетические импульсы, которые и формируют эффект повышенной энергетичности, который и приводит к постоянным выделениям газа из недр Земли. Когда же флюиды преодолевают зону высоких температур (рис. 4), то их газовая составляющая, при попадании в определенные термобарические условия, переходит в состояние газового гидрата (табл. 1, рис. 5).

Загальні питання технології збагачення

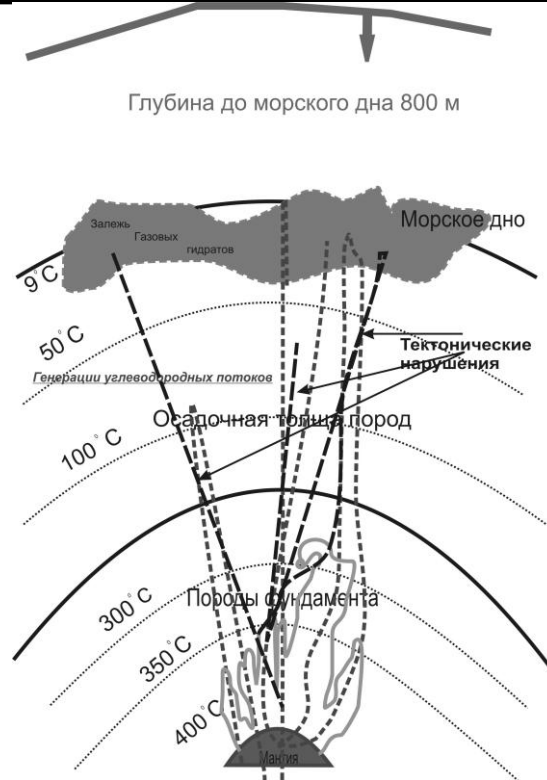


Рис. 4. Схема генерации залежи газовых гидратов

Таблица 1

Параметры процесса гидратообразования, установленные в процессе лабораторных исследований учеными ведущих стран мира

Страна, учреждение	Температура, °C	Давление, МПа
Япония	+7...+8	5,8...6,2
Россия, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука	-4 +3	4,5 5,3
Россия, Институт проблем нефти и газа СО РАН	-5	1,6
Россия, Тюменский государственный нефтегазовый университет	+1 +1	0,2 0,5
Россия, Тюменский государственный университет	+2	1,6
США, Государственный университет Миссисипи	-5	0,1
Германия, Научно-исследовательский проект "Sugar"	+7	7
Китай	+3,5	0,1
Украина, Национальный горный университет	+20 +19 +9	20 18,5 5

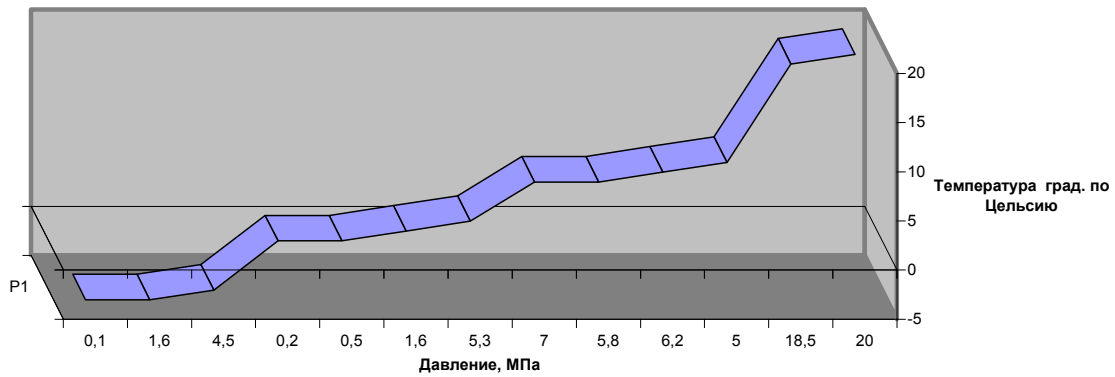


Рис. 5. Диаграмма термобарических условий формирования газовых гидратов

ОАО "Дальморнефтегеофизика" на глубинах Берингова моря от 600 до 2600 м региональной сейсморазведкой выявлены зоны распространения газовых гидратов площадью до 1600 кв.км. Основная их часть приурочена к континентальному склону. Залежи сосредоточены в рыхлых неконсолидированных осадочных отложениях. На глубине более 3500 м сейсмической разведкой выявлены скопления залежи порядка 26 трлн кубических метров. Данные геофизиков были подтверждены результатами глубоководного бурения. В 1987 году в Беринговом море была пробурена скв.185, устье которой было на глубине 2110 м, там была вскрыта 15-ти метровая залежь на глубине 610 м от дна моря [14].

В настоящее время разработкой технологий добычи газовых гидратов занимаются США, Англия, Япония, Китай и Норвегия, поскольку, как уже отмечалось, установлено наличие газогидратов на стыке материковых плит и океанических впадин в зонах крупных тектонических нарушений, вдоль побережий этих крупнейших стран-импортеров природного газа. Принимая во внимание высокую удельную концентрацию газа в природных гидратах, их относительно неглубокое залегание (под морским дном, начиная с глубин воды 300-500 м), природные газогидраты рассматриваются как реальная альтернатива поставкам газа в эти страны уже в ближайшем будущем. В Японии в 2012 году начала работу одна из наиболее крупнейших приоритетных национальных программ в мире с бюджетным финансированием, направленная на разработку морских газогидратных месторождений трога Нанкай с глубины 950 м. В марте 2013 года все информационные агентства мира сообщили о начале добычи газа из газогидратов японоской компанией Japan Oil, Gas and Metals National Corporation (Methane Hydrate R&D Division, Technical Department, Fax:+81-43-276-4062 mh21info@jogmec.go.jp, Public Relations Division, General Coordination Department, UEMATSU Fax:+81-3-6758-8008).

Учитывая все аспекты особенностей газогидратов, их интенсивного исследования мировым ученым сообществом, а также, в связи с постоянно растущими ценами на природный газ и актуальностью данной проблемы для Украины, очевидно, что внедрение научно обоснованных технологий разработки месторождений газовых гидратов и их добыча, позволят использовать данный энергетический ресурс.

Загальні питання технології збагачення

На території України, в силу її геолого-морфологічного строєння, відсутні материкові заклади газових гідратів. Особливий інтерес в умовах України, представляють місцезнаходження, виявлені в 90-х роках в глибоководній частині Чорного моря, в 20 км південніше міста Ялта. Об'єднанням "Южморгеологія" було організовано ряд експедицій, пробурено скважини, отримано породи з зразками газових гідратів. За даними А.Ю. Глебова і Р.П. Круглякової [15], газогідрати, підняті з глибоководної частини Чорного моря, к півдню від Ялти, містять в середньому 95% метану і до 4% етану.

Перспективна оцінка газонасиченості чорноморських надр найбільш чітко виражена в роботах О.Д. Корсакова, А.Ю. Бякова, С.Н. Ступака [16]. Почти вся глибоководна частина Чорноморської западини є сприятливою для гідратоутворення. Регіональні геофізичні дослідження цих авторів дозволили отримати просторову картину поширення газогідратів природного газу в Чорному морі. Термобарически їх утворення можливо на глибинах 300-350 м, а для чистого метану – починаючи з потужності водної товщі 700-750 м. Цими дослідниками визначено нижню межу розвитку гідратів в товщі осадових порід за геотермічними даними в межах 400-500 м. В окремих випадках, максимум цієї межі, за думкою вчених, знаходиться на глибині 800-1000 м нижче дна моря.

Зміцнення наукової активності в цій, ще декілька десятиліть тому майже академічній, області природознавства пояснюється рядом факторів різного характеру. Як і будь-яке відкриття нового виду корисного копалини, а тим більше намір його розробки, потребує всебічної оцінки впливу його видобутку на поверхнісні шари геосфери, особливо в зв'язі з можливим впливом на процеси, що призводять до глобальних кліматических змін. Різні технології видобутку газових гідратів, які сьогодні розробляються в світі, повинні враховувати загрозу неконтрольованого виділення газу при порушенні фазового рівноважності "температура-тиск".

Окрім цього, навіть при відносно невеликих змінах термобарических (кліматических) умов, близьких до межі фазової стійкості газових гідратів, неминуче виникнуть серйозні екологічні і кліматическі проблеми. Іншими словами, в результаті глобального потеплення і підвищення температури Мирового океану, залягаючі на дні газогідрати, можуть почати неконтрольовано розкладатися навіть без втручання людини, оскільки при зсуві фазового рівноважності при підвищенні температури середовища, виникне ланцюгова реакція звільнення газу. Це безпосередньо стосується і Чорного моря.

В висновку хотілося б зазначити, що це науково-дослідницьке напрямлення є надзвичайно актуальним для енергетическої ситуації в Україні, оскільки успішне технологічне рішення по видобутку природного газу з закладів газових гідратів Чорного моря дозволить вирішити ряд енергетических проблем. Окрім цього, дослідження процесів гідратоутворення в цілому, дозволить адекватно оцінювати ступінь впливу освоєння нового енергетического ресурсу на екосистему Землі.

Список літератури

1. Bondarenko V. Development of gas hydrates in the Black sea / V. Bondarenko, K. Ganushevych, K. Sai, A. Tyshchenko // New geoinformational and technical systems in Mining. – Materials of the V International scientific-practical conference "School of Underground Mining-2011" / – Dnipropetrovs'k / Yalta, Ukraine, 02-09 October 2011 Netherlands: CRC Press / Balkema – 2011. – P. 55-59.
2. Бондаренко В.И., Максимова Э.А. Разработка месторождений газовых гидратов Черноморской впадины – актуальная задача в современном поиске альтернативных источников энергии на территории Украины // Школа підземної розробки [Текст]: матеріали VI міжнар. наук.-практ.конф.24-28 вересня 2012 р. / редкол.: В.І. Бондаренко [та ін.] – Д.: Національний гірничий університет, 2012.– С. 294-298.
3. V. Bondarenko, E. Maksymova, K. Ganushevych, K. Sai. Gas hydrate deposits of the black Sea's trough: currency and features of development/– Materiały Konferencyjne "Szkoła Eksploatacji Podziemnej 2013". – Krakow, 18-22 lutego 2013. – P.66-69.
4. Dallimore S. Scientific Results from JAPEX / JNOC / GSC Mallik 2L-38 Gas Hydrate research Well / S. Dallimore, T. Collett, T. Uchida. – Canada: Geological survey of Canada, Bulletin, 1999. – 403 p.
5. Шнюков Е.Ф., Зиборов А.П. Минеральные богатства Черного моря // Научн. изд. НАН Украины. – 2004. – С. 95-96.
6. Бяков Ю.А., Круглякова Р.П. Газогидраты осадочной толщи Черного моря – углеводородное сырье будущего // Разведка и охрана недр. – 2001. – №8. – С. 14-19.
7. Конюхов А.И. Окраины континентов – глобальные пояса нефтегазонакопления // Литология и полезные ископаемые. – 2009. – №6. – С. 563-582.
8. Гранин Н.Г., Гранина Л.З. Газовые гидраты и выходы газов на Байкале // Геология и геофизика. – 2002. – Вып. 43(7). – С. 629-637.
9. Первая находка газогидратов в осадочной толще озера Байкал / М.И. Кузьмин, Г.В. Калмычков, В.Ф. Гелетий и др. // Докл. РАН. – 1998. – Вып. 362(4). – С. 541-543.
10. Юркова Р.М., Воронин Б.И. Абиогенные источники углеводородных флюидов для формирования залежей нефти и газогидратов в Охотском море // Геология морей и океанов : Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. II. – Москва, 16-20 ноября 2009. – С. 120-122.
11. Звездин В.Г. Нефтепромысловая геология: Учебное пособие. – Пермь: Пермский государственный университет, 2007. – С. 45-49.
12. Конюхов А.И. Мировой океан и глобальные пояса нефтегазонакопления. // Геология морей и океанов : Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. II. – Москва, 16-20 ноября 2009. – С. 61-64.
13. Дмитриевский А.Н., Володин И.А. Формирование и динамика энергоактивных зон в геологической среде // Докл. РАН. – 2006. – Т. 411, №3. – С. 395-399.
14. Петровская Н.А., Грецкая Е.В. Новое открытие газогидратов в Беринговоморском регионе // Геология морей и океанов : Материалы XVIII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. II. – Москва, 16-20 ноября 2009. – С. 86-87.
15. Глебов А.Ю., Круглякова Р.П., Шельтинг С.К. Естественное выделение газов в Черном море // Разведка и охрана недр. – 2001. – № 8. – С. 19-23.
16. Корсаков О.Д., Бяков Ю.А., Ступак С.Н. Газовые гидраты Черноморской впадины // Сов. геология. – 1989. – № 12. – С. 4-10.

© Максимова Э.А., 2013

*Надійшла до редколегії 22.02.2013 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*