
УДК 622.324.5

Максимова Э.А., канд. геол.-мин. наук
Ганушевич К.А.
Сай Е.С.
(ГВУЗ «НГУ»)

**ОСВОЕНИЕ ГАЗОГИДРАТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ – ПУТЬ К
ПОЛУЧЕНИЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ЭНЕРГОРЕСУРСА В УКРАИНЕ**

Максимова Е.О., канд. геол.-мин. наук
Ганушевич К.А.
Сай К.С.
(ДВНЗ «НГУ»)

**ОСВОЄННЯ ГАЗОГІДРАТНИХ ТЕХНОЛОГІЙ – ШЛЯХ ДО
ОТРИМАННЯ ДОДАТКОВОГО ЕНЕРГОРЕСУРСУ В УКРАЇНІ**

Maksymova E.O., Ph.D. (Geol.-Min.)
Ganushevych K.A.
Sai K.S.
(SHEI «NMU»)

**DEVELOPMENT OF GAS HYDRATE TECHNOLOGIES – THE WAY
TO GAINING AN ADDITIONAL ENERGY RESOURCE IN UKRAINE**

Аннотация. Дана краткая оценка состояния вопроса по поиску и разведке месторождений газовых гидратов. Рассмотрена актуальность освоения газовых гидратов как нового дополнительного источника энергии на территории Украины. Выполнен сравнительный анализ существующих методов извлечения метана из газогидратных залежей. Лабораторным путем установлены термобарические показатели образования и стабильности метаносодержащих гидратов. Предлагается разрабатывать экологически безопасные схемы освоения месторождений газовых гидратов Черноморской впадины. Разрабатывается методология получения газогидратных блоков искусственным путем из дегазационных скважин Донецкого региона, с целью рационального использования попутного газа и его оптимальной транспортировки в виде ледяных блоков.

Ключевые слова: газовые гидраты, разработка месторождений, добыча метана.

Введение. На протяжении последних 40 лет учеными многих стран обсуждаются вопросы существования и изучаются условия образования в природе такого полезного ископаемого как газовый гидрат. Способность образовывать газовые гидраты присуща многим газам. Это зависит от условий их образования – состава природного газа, температуры среды и давления. С точки зрения поиска дополнительного источника энергии, естественно, особый интерес представляет метаносодержащий газовый гидрат [1 - 3].

Первая информация о возможности существования в природе газовых гидра-

тов появилась в конце 60-х годов прошлого столетия. В 1963 г. 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 г. было введено в промышленную разработку [2]. Мир получил новое подтверждение наличия газогидратных залежей и реальную возможность их промышленного освоения. На крупнейшем в Заполярье металлургическом комбинате это месторождение обеспечило замену дорогостоящего привозного угля на экологически дешевый природный газ.

В настоящее время разработкой технологий добычи газовых гидратов занимаются США, Англия, Япония, Китай, Германия и Норвегия. Например, Конгрессом США выделено несколько миллиардов долларов из федерального бюджета на разработку газовых гидратов термическим способом. Там уже успешно протестирована такая технология добычи. В Японии в 2012 г. 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 [3].

В связи с постоянно растущими ценами на природный газ и актуальностью данной проблемы для Украины, в соответствии с Законом Украины «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» от 12.10.2010 № 2519-17, в Национальном горном университете на кафедре подземной разработки месторождений полезных ископаемых на протяжении последних трех лет ведутся исследования в этом направлении, создана лаборатория инновационных технологий, искусственным путем получены газовые гидраты.

Теоретическая часть. Для разработки месторождений газовых гидратов, необходимо отработать щадящую для окружающей природной среды технологию добычи газа из газогидратного месторождения. В данном случае, по мнению авторов, необходим комплексный подход к освоению такого специфического природного ресурса, необходимо будет разработать различные подходы и технологические схемы, с учетом конкретного геолого-морфологического строения каждой конкретной залежи. Трудности извлечения метана из газогидратов связаны с тем, что месторождения залегают на больших глубинах, а при их вскрытии становятся не стабильными. Чтобы получить метан, надо превратить газогидраты в газ, то есть разрушить лед, поднять газ на поверхность, аккумулировать его в емкости, а, возможно, перевести его обратно через фазовые переходы в ледяные блоки для дальнейшей оптимальной транспортировки.

В настоящее время рассматриваются только четыре основных метода вызова притока газа из газогидратного пласта, основной принцип которых заложен в смещении фазового перехода в сторону распада залежи: понижение давления ниже равновесного давления; нагрев гидратосодержащих пород выше равновесной температуры; закачка ингибиторов в пласт, а также их комбинация. Все эти методы основаны на процессе диссоциации стабильного газового гидрата, в ходе которого лед распадается на газ и воду.

Отдельным способом считаем необходимым рассматривать применение ингибиторов. При подаче ингибиторов внутрь газогидратного слоя, происходит изменение состава газового гидрата. В многочисленных работах, посвященных исследованию действия ингибиторов на процессы гидратообразования, установлено, что введение ингибитора определенной концентрации в газовый поток приводит к сдвигу равновесных условий гидратообразования, а именно – к сдвигу равновесной температуры гидратообразования на фронте газ-гидрат, способствуя диссоциации гидратов и высвобождению содержащегося в них метана.

При выборе того или иного ингибитора нужно учитывать большое количество факторов: геологические, физико-географические и климатические условия месторождения, технологические особенности ингибитора, коррозионную активность основного реагента, совместимость ингибитора с минерализованной (морской) водой и с другими реагентами.

Использование ингибиторов имеет ряд недостатков, к которым, прежде всего, относится высокая токсичность (как при действии паров, так и при попадании на кожные покровы и внутрь организма), а также их высокая взрывоопасность и стоимость.

Наибольшие перспективы, на наш взгляд, имеет комбинированный метод, состоящий в одновременном снижении давления и подводе тепла к скважине. Причем основное разложение гидрата происходит за счет снижения давления, а подводимая к забою теплота позволяет сократить зону вторичного гидратообразования, что положительно сказывается на дебите. Недостатком комбинированного метода является лишь большое количество попутно добываемой воды.

На территории Украины, в силу ее геолого-морфологического строения, отсутствуют материковые залежи газовых гидратов. Особый интерес в условиях Украины, представляют месторождения, обнаруженные в 90-х гг. в чаше Черного моря, в 40 км южнее города Ялта (рис. 1).

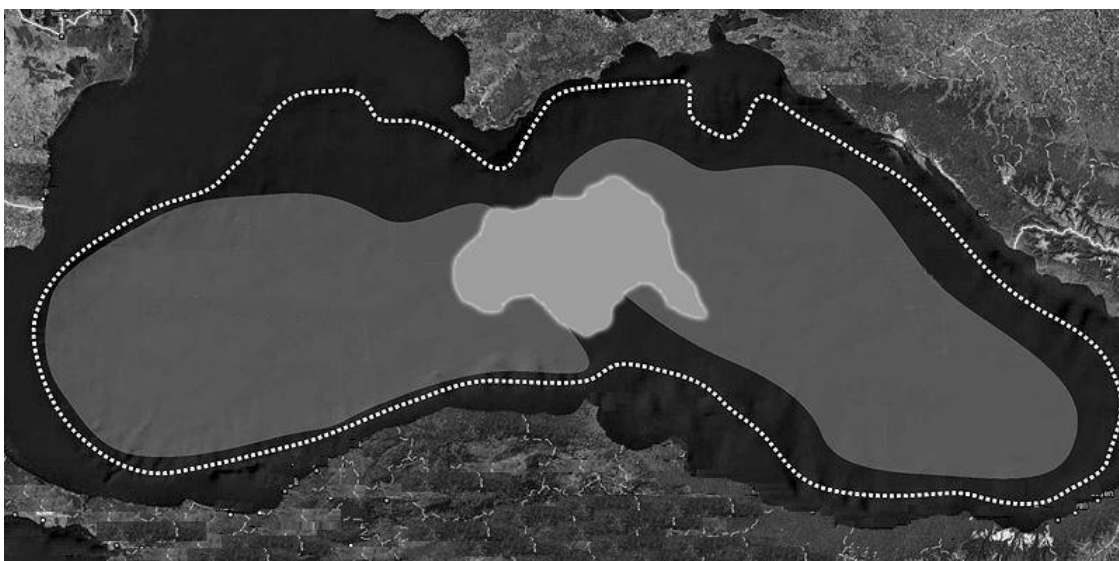


Рис. 1 – Перспективная зона месторождений газовых гидратов в Черном море

Объединением «Южморгеология» был организован ряд экспедиций, пробую-

рены скважины, получены керны с образцами газовых гидратов. По данным А.Ю. Глебова и Р.П. Кругляковой, газогидраты, поднятые в глубоководной части Черного моря, к югу от Ялты, содержат в среднем 95% метана до 4% этана и сконцентрированы на глубинах от 800 до 2000 м [4].

В этом регионе морского дна обнаружено около 15 месторождений газовых гидратов. Потенциальные запасы газа в них предположительно оцениваются в $50 \times 10^{12} \text{ м}^3$ [5]. Ресурсы метана в газогидратных залежах акватории, прилегающей к Крыму, оцениваются в $20\text{-}25 \times 10^{12} \text{ м}^3$.

Основная масса газовых гидратов в Черноморском регионе приходится на Украину и Румынию, в меньшем объеме – на Турцию, Болгарию, Россию и Грузию [6].

Источником образования и скопления черноморских газовых гидратов, является преимущественно глубинный газ, поступающий по тектоническим и литологическим каналам (рис. 2) [7].

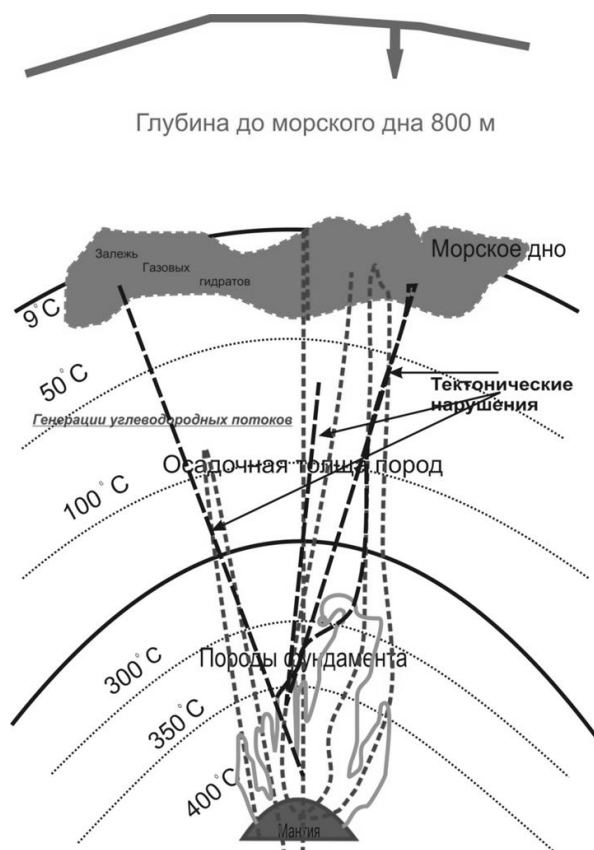


Рис. 2 – Схема генерации газовых гидратов [7]

Допустимая мощность залежей газовых гидратов в черноморских условиях достигает в среднем 300 м от поверхности дна. Плотность насыщения осадков газогидратами в этой толще возрастает с глубиной и достаточно велика. Температура воды Черного моря ниже уровня сезонных колебаний увеличивается с глубиной и на глубине 400-500 м составляет $+7\text{...}+8^\circ\text{C}$, а на глубинах 800-1000 м – $+9\text{...}+9.5^\circ\text{C}$. При этом давление находится в пределах 5-20 МПа.

Экспериментальная часть. В лаборатории инновационных технологий ка-

федры подземной разработки, одной из основных задач, при проведении экспериментов, было установление граничных условий равновесного состояния фаз: газ-вода-газовый гидрат-вода-газ (рис. 3). Затем были созданы соответствующие исходные параметры гидратообразования и путем аналогового моделирования были получены газовые гидраты искусственным путем в специальной климатологической камере.

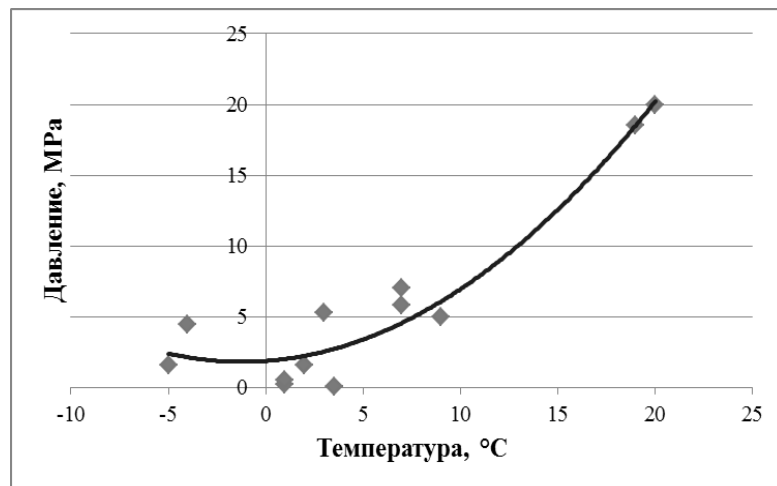


Рис. 3 – Диаграмма условий образования газовых гидратов

Исследователями кафедры была разработана стендовая установка (рис. 4), включающая газовый баллон (метан/углекислый газ), компрессор, трубу с подводом воды, прозрачную емкость для создания газового гидрата и хроматограф.

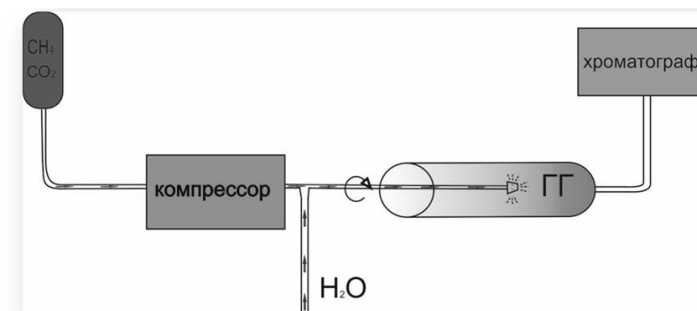


Рис. 4 – Схема лабораторной установки для моделирования процессов гидратообразования

В прозрачной емкости происходит формирование гидрата метана в условиях, аналогичных условиям Черного моря (давление 5-8 МПа, температура +7...+10°C). Емкость устанавливается в климатермокамере объемом 3 м³ и диапазоном температур -35...+100°C. На втором этапе эксперимента, баллон с метаном заменяется на баллон с углекислотой и моделируется процесс добычи метана методом замещения его на углекислый газ с параллельным образованием газогидрата CO₂.

В ходе лабораторных исследований получен ряд зависимостей, учитывающих основные технологические параметры процесса добычи газа метана.

По мнению авторов, способ добычи метана из сплошной газогидратной среды, путем закачки в этот гидрат углекислого газа под определенным давлением, является наиболее перспективным.

Предлагаемая технологическая схема представлена на рис. 5.

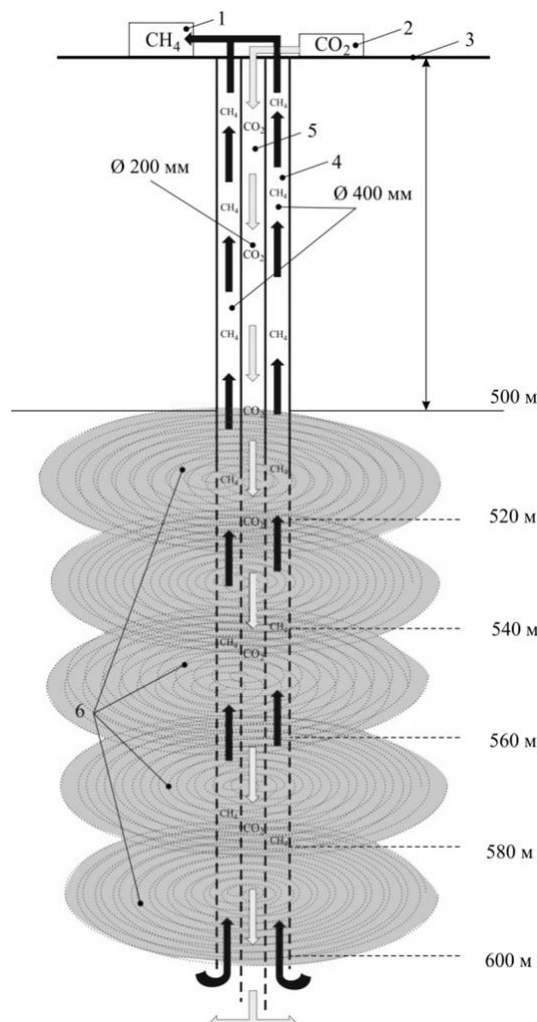


Рис. 5 – Технологическая схема добычи газа метана из природного газового гидрата посредством закачки углекислого газа

- 1 – резервуар для добытого газа метана; 2 – резервуар для углекислого газа; 3 – плавучая платформа; 4 – труба для извлечения метана; 5 – труба для закачивания углекислого газа; 6 – зоны обработки газогидрата

Авторами разрабатывается технология получения газовых гидратов из газозвушной смеси дегазационных скважин угольных шахт. Получены первые образцы. Данное направление является весьма актуальным, поскольку при разработке угольных месторождений подземным способом происходит интенсивное выделение попутного газа метана в окружающую среду.

Суть предлагаемой технологии состоит в переводе газа, который поступает из дегазационной скважины, в состояние газовых гидратов и их транспортировка в виде ледяных газогидратных блоков с последующей диссоциацией в закрытом объеме.

Выводы

1. Научно обоснованная технология разработки месторождений газовых гидратов в научной литературе не освещена, что позволяет сделать вывод, что она отсутствует и ее разработка сегодня чрезвычайно актуальна.

2. Чтобы рационально освоить дополнительный природный энергоресурс, необходимо отработать технологические схемы с учетом конкретного геолого-морфологического строения каждой конкретной залежи.

3. Необходимо в лабораторных условиях досконально исследовать скорость образования и степень устойчивости газовых гидратов в различных термодинамических условиях, изучить фазовые переходы газогидратных систем различного состава, что и выполняется в настоящее время на кафедре подземной разработки НГУ. По результатам таких исследований станет возможно отработать различные технологические схемы разработки месторождений газовых гидратов.

4. Успешное технологическое решение по добыче природного газа из залежей газовых гидратов Черного моря, позволит решить ряд энергетических проблем Украины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, В.И. К вопросу скважинной подземной разработки газовых гидратов // В.И. Бондаренко, К.А. Ганушевич, Е.С. Сай // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ. - 2011. – №1 (121). – С. 60-66.
2. Закиров, С.Н. Влияние процесса разложения гидратов на разработку Мессояхского месторождения / С.Н. Закиров, Д.А. Дубровский, В.М. Толкач // М.:ВНИИЭгазпром, 1989. – 23 с.
3. Бяков, Ю.А. Газогидраты осадочной толщи Черного моря – углеводородное сырье будущего / Ю.А. Бяков, Р.П. Круглякова // Разведка и охрана недр. – 2001. – №8. – С. 14-19.
4. Глебов, А.Ю. Естественное выделение газов в черном море / А.Ю. Глебов, Р.П. Круглякова, С.К. Шельтинг // Разведка и охрана недр. – 2001. – №8. – С. 19-23.
5. Макогон, Ю.Ф. Газогидраты. История изучения и перспективы освоения / Ю.Ф. Макогон // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2010. – №2. – С. 5-21.
6. Корсаков, О.Д. Газовые гидраты Черноморской впадины / О.Д. Корсаков, Ю.А. Бяков, С.Н. Ступак // Сов. геология. – 1989. – №12. – С. 4-10.
7. Максимова, Э.А. Особенности освоения месторождений газовых гидратов / Э.А. Максимова // Науково-технічний збірник «Збагачення корисних копалин». – Дніпропетровськ. - 2013. – №52(93).

REFERENCES

1. Bondarenko, V.I. Ganushevych, K.A. and Sai K.S. (2011), "To the question of the underground mining of gas hydrates", *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, [Scientific Bulletin of National Mining University], no.1 (121), pp. 60-66.
2. Zakirov, S.N. Dubrovskij, D.A. and Tolkach, V.M. (1989) *Vliyanie processa razlozheniya gidratov na razrabotku Messoyakhskogo mestorozhdeniya* [Influence of hydrates dissociation process on Messoyakha deposit], VNIIEgazprom, Moscow, USSR.
3. Bjakov, JU.A. and Krugljakova, R.P. (2001), "Gas hydrates of the Black Sea sedimentary strata – hydrocarbon raw material for the future", *Razvedka i Okhrana Nedr* [Prospecting and safety of the Earth bowels], no. 8, pp. 14-19.
4. Glebov, A.JU., Krugljakova, R.P. and Shelting S.K. (2001) "Natural emission of gases in the Black Sea", *Razvedka i Okhrana Nedr* [Prospecting and safety of the Earth bowels], no. 8, pp. 19-23.
5. Makogon, JU.F. (2010), "Gas hydrates. History of research and perspectives of development" *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana* [Geology and mineral deposits of the World Ocean], no. 2, pp. 5-21.
6. Korsakov, O.D. Bjakov, JU.A. and Stupak S.N. (1989), "Gas hydrates of the Black Sea trough", *Sovietskaya geologiya*, no. 12, pp. 4-10.

7. Maksimova, E.A. (2013) "Peculiarities of gas hydrate deposits development", *Naukovo – tekhnichnyi zbirnyk "Zbagachennya korysnykh kopalyn"* [Scientific-technical collection "Enrichment of mineral deposits"], no. 52(93).

Об авторах

Максимова Элла Александровна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры подземной разработки месторождений Государственного высшего учебного заведения «Национальный горный университет» (ГВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, elmaks@i.ua

Ганушевич Константин Анатольевич, ассистент кафедры подземной разработки месторождений Государственного высшего учебного заведения «Национальный горный университет» (ГВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, kosganush@gmail.com

Сай Екатерина Сергеевна, аспирант кафедры подземной разработки месторождений Государственного высшего учебного заведения «Национальный горный университет» (ГВУЗ «НГУ»), Днепропетровск, Украина, kateryna.sai@gmail.com

About the authors

Maksymova Ella Oleksandrivna, Candidate of Geological-Mineralogical Sciences (Ph.D.), Associate Professor of the Underground Mining Department, State Higher Education Institution «National Mining University» (SHEI "NMU"), Dnipropetrovsk, Ukraine, elmaks@i.ua

Ganushevych Kostjantyn Anatoliyovych, assistant of the Underground Mining Department, State Higher Education Institution «National Mining University» (SHEI "NMU"), Dnipropetrovsk, Ukraine, kosganush@gmail.com

Sai Kateryna Sergiivna, Post-Graduate of the Underground Mining Department, State Higher Education Institution «National Mining University» (SHEI "NMU"), Dnipropetrovsk, Ukraine, kateryna.sai@gmail.com

Анотація. Дана коротка оцінка стану питання з пошуку та розвідки родовищ газових гідратів. Розглянуто актуальність освоєння газових гідратів як нового додаткового джерела енергії на території України. Виконано порівняльний аналіз існуючих методів видобутку метану з газогідратних покладів. Лабораторним шляхом встановлені термобаричні показники утворення та стабільності метановміщуючих гідратів. Пропонується розробляти екологічно безпечні схеми освоєння родовищ газових гідратів Чорноморської западини. Розробляється методологія отримання газогідратних блоків штучним шляхом з дегазаційних свердловин Донецького регіону, з метою раціонального використання попутного газу та його оптимального транспортування у вигляді крижаних блоків.

Ключові слова: газові гідрати, розробка родовищ, видобуток метану.

Abstract. Short evaluation is given to the issue of searching and prospecting of gas hydrate deposits. Importance of gas hydrates development is considered as a new additional source of energy on the territory of Ukraine. Comparative analysis of existing methods for methane extraction from gas hydrate accumulations was performed. Thermobaric indicators of methane hydrates formation and stable existence were established by laboratory way. It is proposed to develop ecologically safe schemes for mining hydrate deposits in the Black Sea depression. Methodology is now in the process of designing with the aim to create artificial gas-hydrate blocks in degassing wells in Donetsk region and to rationally and optimally use and transport associated gas in the form of ice blocks.

Key words: gas hydrates, deposits development, methane extraction

*Стаття поступила в редакцію 12.09.2013
Рекомендовано к публікації д.т.н., проф. В.І. Бондаренко*