

4. Odum Ju. Osnovy jekologii : per. s angl. / Ju. Odum. – M. : Mir, 1975. – 740 s.
5. SNiP 11-02-96. Inzhenernye izyskanija dlja stroitel'stva. Osnovnye polozhenija. – M. : Ministroj Rossii, 1997. – 45 s.
6. SP 11-102-97. Inzhenerno-jekologicheskie izyskanija dlja stroitel'stva. – M. : Gosstroj Rossii, 1997. – 41 s.
7. Sukachev V. N. Osnovy tipologii i biogeocenologii (Izbrannye trudy) / V. N. Sukachev. – L. : Nauka, 1972. – T. 1. – 332 s.
8. Trofimov V. T. Jekologicheskaja geodinamika / V. T. Trofimov, M. A. Har'kina, I. Ju. Grigor'eva ; pod red. prof. V. T. Trofimova. – M. : KDU, 2008. – 473 s.
9. Trofimov V. T. Jekologicheskaja geologija / V. T. Trofimov, D. G. Ziling. – M. : Geoinformmark, 2002. – 415 s.
10. Trofimov V. T. Jekologo-geologicheskaja sistema, ee tipy i polozhenie v strukture jekosistemy / V. T. Trofimov // Vestnik Moskov. un-ta. – 2009. – № 2. – S. 48–52. – (Ser. 4: Geologija).
11. Trofimov V. T. Jekologo-geologicheskie uslovija i faktory, ih opredeljavajuwie / V. T. Trofimov // Vestnik Moskov. un-ta. – 2010. – № 1. – S. 52–55. – (Ser. 4: Geologija).
12. Chizhov N. A. Normativnaja baza i praktika inzhenerno-jekologicheskikh izyskanij / N. A. Chizhov // Inzhenernye izyskanija. – 2009. – № 9. – S. 68–71.
13. Chizhov N. A. Celi i zadachi inzhenerno-jekologicheskikh izyskanij v proektno-izyskatel'skom proizvodstve / N. A. Chizhov // Inzhenernye izyskanija. – 2009. – № 11. – S. 26–32.
14. Jekologicheskie funkicii litosfery / pod red. V. T. Trofimova. – M. : Izd-vo Moskov. un-ta, 2000. – 432 s.

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГИДРАТА МЕТАНА КАК ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

*Бабаев Али-Икрам Шехали*, кандидат геолого-минералогических наук, ГНКАР, az 1111, Азербайджан, г. Баку, ул. Сеидзаде, 2–26, e-mail: fregat40@yandex.ru

*Проанализировано состояние работ по поиску альтернативных источников энергии и замене ими традиционных. Отмечено, что из всех существующих на сегодняшний день заменителей традиционных видов ископаемого топлива по своим характеристикам и запасам газовые гидраты являются их наиболее приемлемой альтернативой. Дан обзор участия ведущих держав мира в поиске и разведке месторождений газовых гидратов в глубоководных областях морей и океанов, а также зонах вечной мерзлоты на суше. Описано состояние работ по изучению запасов газовых гидратов в Каспийском и Черном морях и их ориентировочные запасы для Черного моря. На основании анализа существующих технологий добычи газа из гидратов сделан вывод о том, что в ближайшие 10–20 лет рентабельная разработка месторождений газовых гидратов маловероятна. Рассмотрена возможность использования искусственных газовых гидратов в качестве аккумуляторов энергии в промышленности и транспорте.*

**Ключевые слова:** газовые гидраты, гидрат метана, поиск и разведка, рентабельность добычи, аккумулятор энергии, источники энергии, энергоносители, углеводородное сырье, искусственный гидрат, программы по освоению залежей.

## PROSPECTS OF USING NATURAL HYDRATE OF METHANE AS ENERGY SOURCE

*Babayev Ali-Ikram Sh., C.Sc. in Geology and Minerology, SOCAR, 2–26 Seidzade st., Baku, az 1111, Azerbaijan, e-mail: fregat40@yandex.ru*

*The author analyses a condition of operations on search of alternative energy sources and replacement by them traditional. It is noted, that from all substitutes of traditional kinds of mineral combustible existing on today under the characteristics and reserves gaseous hydrates are their most comprehensible alternative. The review of participation of leading powers of the world in search and exploration of deposits of gaseous hydrates in deep-water areas of the seas and oceans, and also zones of a permafrost on a land is given. The condition of operations on analysis of reserves of gaseous hydrates in the Caspian and Black seas and their rough reserves for Black sea is described. On the basis of the analysis of existing technologies of a mining of gas from hydrates it is made a conclusion that the nearest 10–20 years profitable mining of deposits of gaseous hydrates is improbable. The opportunity of use of artificial gaseous hydrates as accumulators of energy in the industry and transport is considered.*

**Key words:** *gaseous hydrates, a hydrate of methane, search and exploration, profitability of a mining, the accumulator of energy, energy sources, energy carriers, hydrocarbon raw material, an artificial hydrate, programs on development of deposits.*

На фоне повсеместного увеличения объемов производства различного рода продукции перед человечеством все острее встает вопрос обеспечения энергетических нужд. По мере того как цены на традиционные источники энергии растут, а его мировые запасы тают, во многих странах мира все больше средств выделяется на разработку коммерчески рентабельных методов добычи энергии из ее альтернативных источников.

Также уделяется внимание приспособливанию этих источников энергии к таким отраслям хозяйства, без которых нормальное функционирование современного общества было бы крайне затруднительным. Это различные виды транспорта, источники и накопители энергии для переносных и стационарных устройств и др. В печати то и дело появляются сообщения о разработке в той или иной лаборатории новых двигателей, аккумуляторов, генераторов и других видов техники, работающих на альтернативных видах энергоносителей, в числе которых энергия сгорания метана, выделяющегося при разложении его гидрата, солнечная энергия, механическое движение, биогаз, сжатый воздух и т.д.

В последние годы все большую популярность приобретает поиск и разведка залежей газа, сосредоточенного в виде гидратов на дне морей и океанов, а также в зонах вечной мерзлоты на суше, в местах, где существуют необходимые для обеспечения сохранности гидратов термобарические условия. Так, Япония на одну только геофизическую разведку и бурение 5 скважин в Охотском море в 1995 г. потратила из госбюджета 90 млн долларов США. Вообще, японская национальная программа по опробованию технологии добычи и началу коммерческой эксплуатации залежей газовых гидратов рассчитана до 2016 г. и включает в себя бурение скважины в желобе Нанкай на глубине моря 945 м. У большинства стран, имеющих выходы к глубоководным частям морей и океанов, а также к участкам суши с зонами вечной мерзлоты, есть свои программы по освоению залежей газовых гидратов [7].

В России основные направления поиска газовых гидратов сосредоточены в Охотском море и на озере Байкал, но наибольшие перспективы обнаружения их залежей с промышленными запасами связаны с Восточно-Мессояхским месторождением в Западной Сибири.

Немалый интерес к газовым гидратам проявляют также некоторые прикаспийские и причерноморские страны, в числе которых можно отметить Украину, Турцию и Азербайджан.

Однако безусловным лидером по вкладываемым в изучение и освоение газовых гидратов средствам является США. Здесь действовала национальная программа «Стратегия исследования и разработки метановых гидратов на 2000–2010 гг.». Принято соглашение о том, что общие расходы Агентства защиты окружающей среды, Военно-морского флота, университетов и частных компаний будут первоначально установлены на уровне 0,5–1 млрд долларов ежегодно и достигнут к 2015 г. 3 млрд долларов в год. Целью этой программы было разработать к 2010 г. технологию добычи газовых гидратов, а к 2015 г. начать их коммерческую эксплуатацию.

Надо отметить, что заинтересованность мирового сообщества газовыми гидратами как возможными энергоносителями ближайшего будущего вполне обоснована по ряду причин. Одной из них являются их огромные запасы, сосредоточенные у океанических побережий. Эти запасы намного выше запасов других видов углеводородного сырья (рис. 1).

Работа по выявлению залежей газовых гидратов уже приносит свои результаты. Составлены многочисленные карты, на которых отмечены разведанные месторождения или перспективные на гидраты районы. Пример такой карты приведен ниже (рис. 2).



Рис. 1. Сравнение ресурсов мирового органического углеродного сырья (по К.А. Квенволдену, Академия наук США) в гигатоннах (10<sup>9</sup> т) [7]

Очень интенсивно ведется поиск гидратов на Черном море. Запасы газа, сосредоточенные в гидратах на дне его глубоководной части, по оценкам разных авторов, колеблются от 80 млрд м<sup>3</sup> до 49 трлн м<sup>3</sup> [6]. Впервые газовые

гидраты здесь были обнаружены в 80-х гг. во время отбора проб под руководством акад. Е.Ф. Шнюкова. По его данным, газогидраты в Черном море встречаются на глубинах свыше 400 м.



Рис. 2. Карта некоторых выявленных газогидратных залежей [4]

Однако более поздние исследования показали, что из-за относительно высокой температуры вод этого водоема (около  $9^{\circ}\text{C}$  на глубине свыше 1000 м [3]) метан может существовать в газогидратной форме примерно с глубины 750 м (рис. 3). Понятно, что в данной ситуации при прочих равных условиях добыча здесь метана из гидратов окажется значительно менее рентабельной, чем даже в Каспийском море, где температура на глубине 500 м составляет примерно  $6^{\circ}\text{C}$  [2].

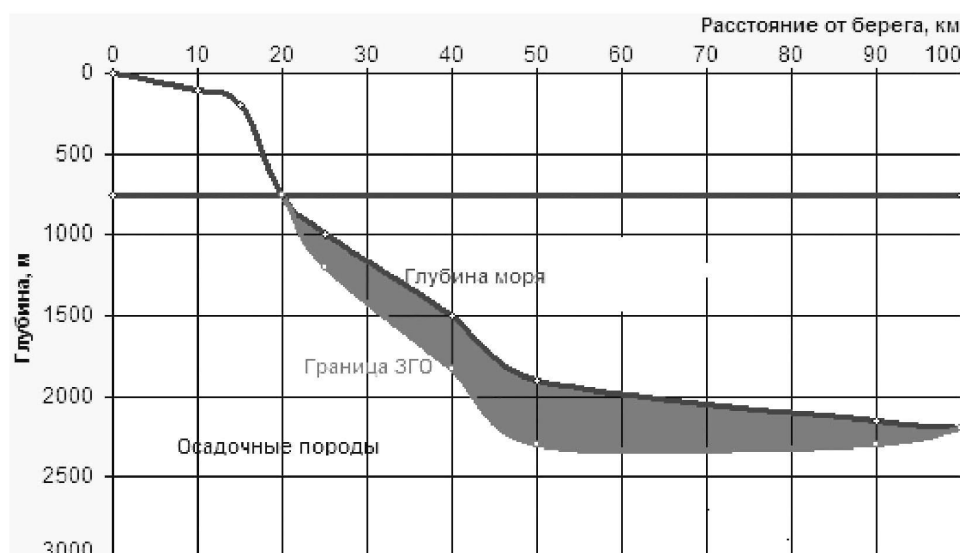


Рис. 3. Зона гидратообразования в Черном море [4]

Это обстоятельство, а также наличие богатых залежей углеводородов и некоторых других, способствующих гидратообразованию местных условий привели к тому, что в Каспийском море поиску газовых гидратов в 80-е гг. было уделено особое внимание. В 1986 г. Институт геологии Азербайджанской ССР совместно с ВНИИОкеан Геология провели совместную экспедицию в Южном Каспии и обнаружили на глубоководном вулкане хребет Шатского газогидраты, включенные в сопочную брекчию. Наименьшая глубина моря над грязевым вулканом составляла 460 м, а температура придонной воды – 6 °С. Работы проводились на поднятиях Абиха и Шатского с применением сейсмоакустического профилирования и грунтоотбора. Район работ был охвачен более 30 сейсмоакустическими профилями, на основании которых был выделен ряд объектов, морфологически напоминающих грязевой вулкан. Этот район характеризуется авторами как благоприятный для образования гидратных скоплений и термодинамически (глубины 300–1000 м, температура около 6 °С), и геологически [1].

Здесь были найдены и изучены скопления гидратов «Буздаг» и «Элм». Глубины, на которых находятся данные скопления, варьируют между 480–560 м. Содержание гидратов в поднятых образцах колеблется от 2–5 до 35 %. В структуре «Элм» отмечено неравномерное содержание гидратосодержания по разрезу [2]. Максимальная опробованность грунтовых колонок на вулканах составила 1,2 м. Время подъема трубки ото дна до палубы судна, с помощью которого проводились работы равнялось 4–5 мин., время извлечения керна – около 2 мин. После извлечения грунта газогидраты разлагались через 5–6 мин., при температуре окружающего воздуха около 30 °С. Включения гидратов встречались даже в поверхностном слое (0–10 см).

Авторы также проанализировали равновесные параметры гидратообразования (P, t) и пришли к выводу, что образование гидратов в условиях Каспийского моря возможно ниже изобаты 250 м [2].

На основании результатов проведенных исследований была составлена схема области распространения газогидратных скоплений на изученной территории ЮКВ. Здесь выделено более 70 прогнозируемых скоплений гидрата метана (рис. 4).

Немало усилий направлено также на разработку рентабельной технологии добычи газа, сосредоточенного в залежах гидратов. На этом пути есть много трудностей, связанных с физическими свойствами гидратов и природными условиями, в которых они находятся. Это достаточно устойчивые соединения воды с метаном, стабильно существующие при температурах 70–350 К и давлениях 20 нПа – 2 ГПа (рис. 5). Их плотность – около 900 кг/м<sup>3</sup>, т.е. примерно равна плотности льда. Кроме того, для разложения гидрата метана надо потратить значительное количество энергии (от 400 до 520–600 кДж/кг [5]), что тоже влияет на стоимость конечного продукта – метана.

На сегодняшний день, если исключить различные экзотические методы добычи газа из гидратов можно выделить 3 перспективных способа, которые предполагается использовать для этой цели:

- повышение температуры в залежи до точки разложения гидрата при существующем в пласте давлении;
- понижение давления до уровня, когда гидрат разлагается при температуре, существующей в пласте;
- закачка в пласт CO<sub>2</sub> с целью замещения им метана в гидрате.

Каждый из этих способов обладает своими достоинствами и недостатками, на которых мы остановимся ниже.

Повышение температуры в гидратной залежи можно осуществить закачкой в нее горячей воды, которая при контакте с гидратоносными породами будет вызывать в них разрушение гидратов с выделением смеси газов и воды. Состав выделяющихся газов индивидуален для каждой залежи, но в большинстве случаев основной компонентой образующейся газовой смеси является метан. Преимуществом данного метода является его простота, дешевизна расходного материала (вода), несложный контроль рабочего процесса и имеющегося в наличии оборудования, использовавшегося до этого в других целях (закачка горячей воды в соляные пласты и др.). Недостатки же обусловлены тем, что содержание гидратов в породах залежи находится обычно в пределах 30–70 %, и после их разложения в породах, непосредственно прилегающих к скважине, по которой в залежь поступает горячая вода, придется прилагать значительные усилия для ее дальнейшего проталкивания вглубь пласта. Более того, скелет пород пласта после разложения в них гидрата будет препятствовать передаче тепла конвекцией образовавшейся в ее порах воды в окружающее пространство, чем затруднит дальнейшую эксплуатацию залежи. Кроме того, поскольку газогидраты обладают значительной теплотой разложения (см. выше), на нагрев придется тратить большое количество энергии, что увеличивает себестоимость газа, добываемого из гидратной залежи.



Рис. 4. Южно-Каспийская впадина. Грязевулканическая газогидратная область (заштриховано), точки – прогнозируемые скопления гидратов [2]

Снижение давления в залежи – достаточно простой и дешевый способ разработки газогидратной залежи, что, безусловно, является его преимуществом. К недостаткам можно отнести то, что процесс разложения гидратов в залежи при этом крайне сложно контролировать. Кроме того, если в первом случае в залежи образовывался избыток воды, восполняющий образующиеся после разложения гидратов пустоты (объем воды после разложения гидрата на 26 % меньше, чем его исходный объем), то при снижении давления в пласте образующийся газ будет уносить с собой часть воды, которая ранее входила в состав гидрата, способствуя тем самым образованию дополнительных пустот в породах пласта. При такой ситуации, чтобы избежать обрушения пород в пласте, необходимо тщательно контролировать в нем давление.

Закачка в пласт  $\text{CO}_2$  с целью замещения им метана в гидрате, пожалуй, – наиболее дорогостоящий метод из всех рассмотренных. К его преимуществам можно отнести захоронение в породах углекислого газа, являющегося парниковым в устойчивом гидратном виде, и простоту контроля рабочего процесса. Недостатками являются дороговизна  $\text{CO}_2$  (не совсем ясно, как предполагается налаживать сбор этого газа в нужном количестве) и недоработанность технологии. В частности, при замещении метана в гидрате углекислым газом образуется значительно более устойчивый гидрат  $\text{CO}_2$ , который снова закупоривает поры, в которых до того находился гидрат метана, препятствуя тем самым поступлению свежих порций  $\text{CO}_2$  в породы, содержащие неразложившийся гидрат метана. Более того, при термодинамических условиях, в которых стабильно существуют природные газогидраты, углекислота находится в жидком виде, что приводит к необходимости ее нагрева перед подачей в пласт. Стоимость энергии, необходимой для нагрева  $\text{CO}_2$ , также будет сказываться на рентабельности добычи газа.

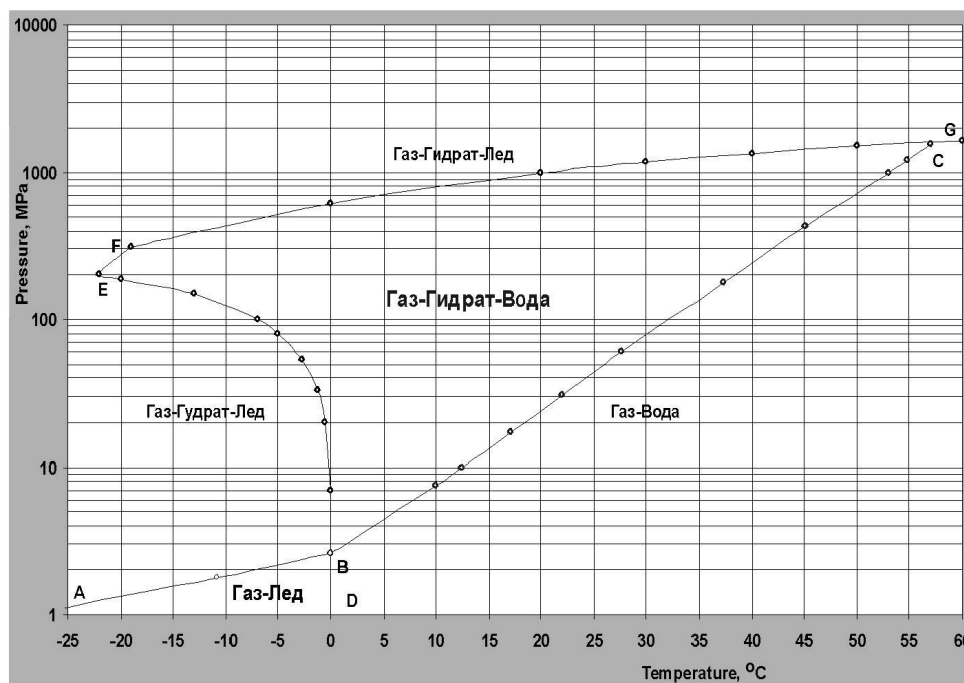


Рис. 5. Существование системы  $\text{CH}_4$  – вода в условиях образования гидратов [4]

Но все же основная трудность при эксплуатации залежей газовых гидратов связана с большой площадью и мощностью этих залежей. Рассмотрим пример. Предположим, что площадь скопления гидрата метана составляет 1 га, мощность – 10 м, а гидратонасыщенность – 50 %. Несложный расчет показывает, что при данных условиях в залежи содержится 50000 м<sup>3</sup> гидрата, что при пересчете на газ при н.у. (160 м<sup>3</sup> метана на 1 м<sup>3</sup> гидрата) составит 8 млн м<sup>3</sup> метана. При современных ценах на природный газ реализация этого его объема даст примерно 4 млн долларов США. Понятно, что при современных технологиях добычи газа из гидратов расходы на его извлечение из залежи могут быть намного выше указанной цифры. Особенно актуальна эта проблема при разработке морских и океанических гидратных залежей, расположенных на большой глубине. Здесь потребуется особое оборудование, большую часть которого еще только предстоит разработать и опробовать, а транспортные расходы и стоимость газопроводов будут на порядок выше, чем в условиях суши. Более того, даже установка обычной буровой платформы в условиях глубоководья чревата большими трудностями, а зачастую просто опасна и связана с огромными расходами (десятки, а иногда и сотни млн долларов США), и весьма сомнительно, чтобы в ближайшие 10–20 лет был найден способ преодоления всех этих трудностей.

Более оптимистическими выглядят перспективы использования гидрата метана (искусственного) в промышленности и транспорте как аккумулятора энергии. Здесь можно использовать то, что при его разложении выделяется огромное количество газа. Так, энергия сгорания метана, выделяющегося из 100 л гидрата, равна энергии сгорания 16 л бензина. При этом эквивалентное по теплотворной способности бензину количество метана вдвое дешевле, а продукты его сгорания в сотни раз менее токсичны, чем у бензина. Весьма существенным обстоятельством является и то, что, используя редуктор давления, автомобили можно было бы заправлять и от обычной линии, по которой в дома поступает природный газ, что позволило бы убрать большую часть автозаправок за пределы городов. При нынешнем дефиците площадей под строительство различных объектов эту возможность не стоит, на наш взгляд, сбрасывать со счетов.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать следующие выводы:

- потенциальные и разведанные запасы газовых гидратов составляют колоссальную величину (10<sup>14</sup> т), что вдвое выше всех прочих запасов органического сырья;
- развитые страны мира прилагают большие усилия для разработки способов рентабельной добычи газа из гидратных скоплений;
- существующие на сегодняшний день технологии не в состоянии обеспечить разработку месторождений газовых гидратов;
- искусственный гидрат метана имеет хорошие перспективы на использование в качестве аккумулятора энергии.

#### Список литературы

1. Гусейнов Р. А. Газогидратоносность осадочного чехла Южного Каспия / Р. А. Гусейнов, Ч. С. Мурадов // Мат-лы юбилейной сессии, посвящ. 50-летию Института геологии Академии наук Азербайджанской ССР. – Баку : Элм, 1989. – С. 63–66.
2. Гусейнов Р. А. Углеводородные газы Каспийского моря / Р. А. Гусейнов, Ф. Г. Дадашев. – Баку : Nafta-Press, 2000. – С. 128.



3. Егоров В. Н. Современные представления о средообразующей и экологической роли струйных метановых газовыделений со дна Черного моря / В. Н. Егоров [и др.] // Морський екологічний журнал. – 2003. – Т. II, № 3. – С. 5–26.
4. Макогон Ю. Ф. Газогидраты. История изучения и перспективы освоения / Ю. Ф. Макогон // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2010. – № 2. – С. 5–21.
5. Романовский Н. Н. Многолетняя динамика толщ мерзлых пород и зоны стабильности гидратов газов в рифтовых структурах Арктического шельфа Восточной Сибири (Сообщение 2) / Н. Н. Романовский [и др.] // Криосфера Земли. – 2006. – Т. X, № 1. – С. 29–38.
6. Совга Е. Е. Источники, стоки и перенос метана в Черном море / Е. Е. Совга, С. П. Любарцева. – Севастополь : Морской гидрофизический институт НАН Украины, 2006. – С. 530–546.
7. Режим доступа: <http://berg-privileg.com/archive/detail.php?ID=309>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

#### References

1. Gusejnov R. A. Gazogidratonosnost' osadochnogo chehla Juzhnogo Kaspija / R. A. Gusejnov, Ch. S. Muradov // Mat-ly jubilejnoj sessii, posvyaw. 50-letiju Instituta geologii Akademii nauk Azerbajdzhanskoj SSR. – Baku : Jelm, 1989. – S. 63–66.
2. Gusejnov R. A. Uglevodorodnye gazy Kaspijskogo morja / R. A. Gusejnov, F. G. Dadashev. – Baku : Nafta-Press, 2000. – S. 128.
3. Egorov V. N. Sovremennye predstavlenija o sredoobrazujuwej i jekologicheskoj roli strujnyh metanovyh gazovydelenij so dna Chernogo morja / V. N. Egorov [i dr.] // Mors'kij ekologichnij zhurnal. – 2003. – Т. II, № 3. – S. 5–26.
4. Makogon Ju. F. Gazogidraty. Istorija izuchenija i perspektivy osvoenija / Ju. F. Makogon // Geologija i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana. – 2010. – № 2. – S. 5–21.
5. Romanovskij N. N. Mnogoletnjaja dinamika tolw merzlyh porod i zony stabil'nosti gidratov gazov v riftovyh strukturah Arkticheskogo shel'fa Vostochnoj Sibiri (Soobwennie 2) / N. N. Romanovskij [i dr.] // Kriosfera Zemli. – 2006. – Т. X, № 1. – S. 29–38.
6. Sovga E. E. Istochniki, stoki i perenos metana v Chernom more / E. E. Sovga, S. P. Ljubarcewa. – Sevastopol' : Morskoy gidrofizicheskij institut NAN Ukrainy, 2006. – S. 530–546.
7. Rezhim dostupa: <http://berg-privileg.com/archive/detail.php?ID=309>, svobodnyj. – Zaglavie s jekrana. – Jaz. rus.

### ГЕНЕРАЦИЯ НЕФТЕМАТЕРИНСКИХ ПОРОД АСТРАХАНСКОГО СВОДА

*Халед Гамаль Эльмаадави, аспирант, Арабская Республика Египет,  
e-mail: geologi2007@yandex.ru*

*Изучение биомаркеров в системе органического вещества (ОВ), конденсата, нефти и газа имеет много показаний. Во-первых, оно признает генетические связи и различия между типами в системе. Во-вторых, это указывает на источники генерации и генетическую связь с выявленными стратиграфическими комплексами. В-третьих, оно определяет пути миграции углеводородов от зон генерации к зонам нефтегазонакопления.*

*На Астраханском своде активные процессы генерации начались после формирования соленосной толщи кунгура и продолжались в связи с интенсивным погружением в мезозое и кайнозое. Поток УВ осуществлялся из центральных районов Прикаспийской впадины, Сарпинского-Заволжского прогибов, где нефтематеринские породы (НМП) карбона – девона прогревались до температуры 58–116 °С, что обеспечивало условия интенсивной генерации УВ.*

**Ключевые слова:** биомаркеры, генерация, нефтематеринские породы, нефтегазонакопления.