

Э.А. Максимова

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ ГАЗА ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ

Выделены типы месторождений газовых гидратов по геолого-структурным признакам и литологическому составу вмещающих горных пород и обоснована необходимость их учета при разработке технологий извлечения газа.

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНІ ПЕРЕДУМОВИ ПРИ РОЗРОБЦІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУТКУ ГАЗУ З РОДОВИЩ ГАЗОВИХ ГІДРАТІВ

Визначені типи родовищ газових гідратів за геолого-структурними показниками та літологічному складу гірських порід, що їх вміщують, та обґрунтована необхідність їх врахування при розробці технологій видобутку газу.

GEOLOGICAL-STRUCTURED SUPPOSITIONS AT DEVELOPMENT OF GAS EXTRACTION TECHNOLOGY FROM GAS HYDRATES DEPOSITS

Identified types of deposits of gas hydrates by geological and structural attributes and lithological composition contains of rocks and the necessity of them into account in developing processes of gas extract.

Тема дополнительных источников энергии становится с каждым годом все более актуальной. Это связано с интенсивной разработкой и, как следствие, истощением таких полезных ископаемых как уголь, нефть, газ и газовый конденсат. В этой связи мировые цены на нефть постоянно растут, следовательно, растет цена и других энергоносителей. Таким образом очевидна необходимость поиска дополнительного источника энергетического ресурса. Именно поэтому, последнее время возрос интерес науки к вопросам, связанным с местонахождением месторождений газовых гидратов, условиями их образования и существования. В настоящее время этими вопросами широко занимаются ученые физики, химики (супрамолекулярная теория клатратов) и экологи. Однако, по-

скольку необходимо разработать основы разработки этих месторождений, определить технологии извлечения газа из газогидратных толщ, очевидна необходимость определения методов освоения этого ресурса специалистами горной науки.

В этой связи, тема методов подземной, либо подводной разработки природных месторождений газовых гидратов весьма актуальна.

Для разработки методов и технологий добычи газа из природных месторождений газовых гидратов, с точки зрения принципов горного производства и нефтедобывающей отрасли, необходимо досконально понимать горно-геологические условия будущего месторождения полезного ископаемого, а именно геологические и структурные особенности каждой конкретной

залежи природного газового гидрата.

Исследования в этом направлении ведутся коллективом горных инженеров кафедры подземной разработки Национального горного Университета [1, 2, 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».

Целью настоящей статьи является определение принципиального подхода при разработке технологии добычи, с учетом геолого-структурного строения каждой конкретной залежи газовых гидратов.

Современной наукой доказана приуроченность месторождений нефти и газа осадочного чехла к тектоническим структурам земной коры (зонам разломов) и зонам перехода от континентов к океаническим впадинам [4], вдоль которых также зачастую идут крупнейшие тектонические нарушения. Все разломы имеют измеримую толщину и протяженность, которые измеряют по величине деформированных пород. Разлом, проходящий через различные слои литосферы, будет иметь различные типы горных пород вдоль всей своей протяженности.

Разломы часто являются геохимическими барьерами, – поэтому к ним приурочены залежи твердых полезных ископаемых и скопления нефтегазоносных флюидов [5]. 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 (рис. 1).

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.

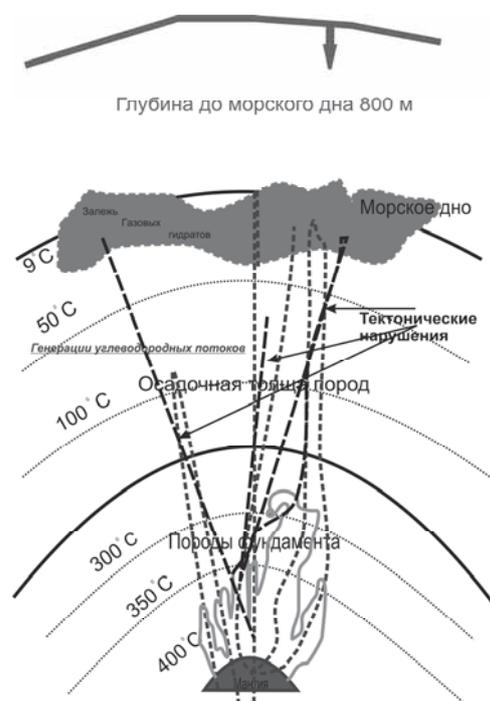


Рис. 1. Схема генерации залежи газовых гидратов

Вместе они объединяют бассейны, в которых сосредоточено не менее 70-75% запасов нефти и газа, открытых к настоящему времени [6, 7].

Например, российским институтом проблем нефти и газа РАН детально исследуются процессы формирования и генезиса нефтегазоносных залежей [8]. 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 расланцевания в толщу осадочных пород – в так называемые осадочные ловушки присдвиговых прогибов. Этот вывод подтверждается работами ученых-геофизиков. По сдвиговым разломам постоянно бегут волновые энергетические импульсы, которые и формируют эффект повышенной энергетики, который и приводит к постоянным выделениям газа из недр Земли.

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. 1, 2).



Рис. 2. Выделение газа из недр Земли с образованием газогидратной залежи. Снимок сделан Doug L. Hoffman, Allen Simmons (*The Resilient Earth: Science, Global warming and future of humanity, USA, 2007*)

Поскольку газовый гидрат формируется путем внедрения молекул газа в молекулы воды, то в основу разработки типов таких месторождений автором был положен принцип видов нахождения воды во вмещающих породах. А виды нахождения воды в породах, в свою очередь, зависят от структуры вмещающих пород.

Сопоставляя множество взаимоподтверждающих фактов генетического сходства различных месторождений газовых гидратов, увязывая в единую систему многочисленные мировые исследования вулканологов, геофизиков, химиков и физиков, автором предлагается при разработке технологий добычи газа из природных месторождений газовых гидратов, опираться на геолого-структурные особенности, литологический состав и фильтрационные свойства вмещающих пород каждого конкретного месторождения газовых гидратов.

Таким образом, были выделены **5 типов** месторождений газовых гидратов, в зависимости от вещественного состава вмещающих пород, геологических структур и соответственно их фильтрационных свойств.

1 тип. Месторождения газовых гидратов, представляющие собой сплошные залежи на дне морей и океанов, в зонах шельфа и впадин, в зоне крупных тектонических нарушений: вдоль сбросов, взбросов, сдвигов, внутри грабенов. Это аморфные залежи газовых гидратов в виде чистого льда (рис 3), залегающие в виде самостоятельных слоев большой мощности (от 2-3-х до 150-200 м). Для этих толщ проницаемость следует принимать близкой $1 \times 10^{-12} \text{ м}^2$, а при выборе технологии разработки учитывать большую и интенсивную удельную газоотдачу залежи, достигающую 80-90%.



Рис. 3. Образец газового гидрата в виде сплошной толщи, поднятый со дна оз. Байкал (фото сайта Российского географического общества)

2 тип. Месторождения газовых гидратов в виде сплошных толщ из практически однородных, мелкозернистых структур массивов газовых гидратов, залегающих в зонах шельфа и впадин морей и океанов, преимущественно в песках, перетертых крупнозернистых, раздробленных катаклазитах, на контакте и под дном, а также возможны на континентах в зонах вечной мерзлоты в пределах погребенных разломов. Это несцементированные или слабоцементированные терригенные отложения со сверхкапиллярными поровыми каналами, с диаметром пор 0,5-2,0 мм. В расчетах запасов и принятии технологии разработки месторождений 2 типа следует принимать значения пористости в диапазоне величин 35-45%, а удельная газоотдача будет достигать 50%.

3 тип. Месторождения газовых гидратов, приуроченные к супесчаным и суглинистым отложениям, имеющие капиллярные поры 0,0002-0,5 мм, которые насыщены газогидратом. Значения пористости находятся в пределах 3-20%. Могут слагать слоистые отложения, залегающие под различными углами падения антиклинальных или синклинальных складок, залегающие под дном морей и океанов, а также возможны в зонах вечной мерзлоты в пределах тектонических нарушений. В таких месторождениях удельная газоотдача будет составлять не более 10% (рис. 4).



Рис. 4. Образец газового гидрата с низкими показателями газоотдачи (фото сайта «Око планеты» <http://oko-planet.su>)

4 тип. Месторождения газовых гидратов в обломочных горных породах брекчиевидных разновидностей (рис. 5). Этот тип залежи образуется в различных геодинамических условиях, характеризуется весьма разнообразным строением вмещающей толщи, образуется на плоскостях смещения массивов горных пород под дном морей и океанов и в зонах вечной мерзлоты. Значения пористости и проницаемости будут колебаться в широком диапазоне, в зависимости от литологических разновидностей вмещающей толщи и тектонической раздробленности.



Рис. 5. Брекчиевидная структура газогидратной залежи. Образец со дна оз. Байкал (фото Российского географического общества)

5 тип. Месторождения газовых гидратов в виде жильных месторождений, сформированных в крупных массивах магматических горных пород, вдоль сбросов, сдвигов и, соответственно, газогидраты залегают в виде крупных жил. Они имеют смешанную структуру – от брекчиевидной, мелкозернистой – до аморфной, залегающие под дном морей и океанов, а также возможны в зонах вечной мерзлоты. Иными словами, в крупных жилах, кавернах или пещерах, газовый гидрат будет залегать в виде залежи 1 типа, в виде чистого льда, с самыми высокими значениями проницаемости и удельной газоотдачи. В межжильных пространствах, так называемых окраинных зонах тектонических нарушений, залежам газового гидрата, будут

присущи фильтрационные показатели как третьего, так и четвертого типов настоящей классификации.

Данная классификация предполагает дальнейшие дополнения и корректировки, учитывая результаты геологических разведок месторождений газовых гидратов, по результатам экспедиций, которые проводятся в последнее время в различных странах.

В заключение, необходимо отметить, что, пользуясь распространенной у нефтяников терминологией, каждый объект следует разрабатывать «своей сеткой скважин». Сама природа не создает объекты разработки — их выделяют специалисты, разрабатывающие месторождение. Исходя из состава вмещающих пород и геологических структур, учитывая их фильтрационные свойства, необходимо начинать с выбора объекта разработки. В объект разработки может быть включен один, несколько или все пласты месторождения, если

они приурочены к одному типу месторождений, а затем принята одна технология добычи. Этот шаг подразумевает искусственное выделение, в пределах разрабатываемого крупного месторождения, геологического образования (пласта, массива, структуры, совокупности пластов) одного типа по настоящей классификации, содержащего промышленные запасы газового гидрата, извлечение которых из недр будет осуществляется по одной, единой технологии. Исходя из единых фильтрационных параметров пласта, следует принять единую систему разработки выбранного объекта. Под системой разработки, в данном случае, понимается совокупность взаимосвязанных инженерных решений, а именно: последовательность разбуривания газогидратной залежи, число, соотношение и расположение добывающих скважин и скважин, воздействующих на пласт, число резервных скважин, управление разработкой, охрану недр и окружающей среды.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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, 02-09 October 2011. – Netherlands: CRC Press / Balkema – 2011. – P. 55-59.

2. Бондаренко, В.И. *Разработка месторождений газовых гидратов Черноморской впадины – актуальная задача в современном поиске альтернативных источников энергии на территории Украины* [Текст] / В.И. Бондаренко, Э.А. Максимова // *Материалы VI междунар. научн.-практ. конф. «Школа подземной разработки»*, 24-28 вересня 2012 р. – Днепропетровск: НГУ, 2012. – С. 294-298.

3. Bondarenko, V. *Gas hydrate deposits of the black Sea's trough: currency and features of development* / V. Bondarenko, Maksymova E., K. Ganushevych, K. Sai // *Materialy Konferencyjne "Szkoła Eksploatacji Podziemnej"*, 18-22

lutego 2013. – Krakow: Katedra Gornictwa Podziemnego. – 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. Звездин, В.Г. *Нефтепромысловая геология* [Текст]: учеб. пособие / В.Г. Звездин. – Пермский государственный университет, 2007. – С. 45-49.

6. Конюхов, А.И. *Мировой океан и глобальные пояса нефтегазоаккумуляции* [Текст] / А.И. Конюхов // *Геология морей и океанов: материалы XVIII Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии*, 16-20 ноября 2009. – Т. II. – М., 2009. – С. 61-64.

7. Конюхов, А.И. *Окраины континентов – глобальные пояса нефтегазоаккумуляции* [Текст] / А.И. Конюхов // *Литоология и полезные ископаемые*. – 2009. – № 6. – С. 563-582.

8. Юркова, Р.М. *Абиогенные источники углеводородных флюидов для формирования залежей нефти и газогидратов в Охотском море* [Текст] / Р.М. Юркова,

Б.И. Воронин // Геология морей и океанов: материалы XVIII Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии, 16-20 ноября 2009. – Т. II. – М., 2009. – С. 120-122.

ОБ АВТОРАХ

Максимова Элла Александровна – к.г.-м.н., доцент кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.