

Д-р техн. наук И.В. Антипов,
канд. техн. наук Р.В. Дегтярь,
(Институт физики горных процессов НАН Украины),
вед. геолог Л.Д. Кузнецова (ГП «Укруглегеология»)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ МЕТАНА В ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АНОМАЛЬНЫХ ЗОНАХ ДОНБАССА

Запропонована методика відкриває нові можливості підрахунку запасів метану в гірських масивах Донбасу для його великомасштабного видобутку.

METHODS OF METHANE PREDICTION RESOURCES DEFINITION IN GEOELECTRIC ABNORMAL ZONES OF DONETSK BASIN

The offered technique opens new opportunities of calculation of stocks of methane in hills of Donbass for its large-scale extraction.

По имеющимся прогнозам мировое потребление первичной энергии к 2020 г. может возрасти более чем в 1,65 раза [1]. В связи с этим наряду с основными органическими энергоресурсами: нефтью и природным газом из традиционных источников – возрастает роль метана из угольных пластов и угленосных толщ, который является высококачественным и экологически чистым энергоносителем.

По предварительной оценке мировые ресурсы метана оцениваются в 260 трлн. м³; Наиболее значительные ресурсы сосредоточены в КНР, России, США, Австралии, ЮАР, Индии, Польше, Германии, Великобритании и Украине [2].

В Украине недостаток энергоресурсов вызвал интерес к использованию метана угольных месторождений. Из 294 шахт Донбасса за год выделяется около 2,5 млрд. м³ метана. При этом используется в качестве топлива только 8% этого количества. Остальной газ выбрасывается в атмосферу [3]. Правительство Украины рассматривает первоочередные меры по организации промышленной добычи метана из угольных пластов. В Украине, как и в других странах, ведутся исследования, направленные на совершенствование технологий извлечения и использования метана. Поскольку метановыделения продолжаются в значительных объемах долгое время и после ликвидации шахт, украинские ученые пытаются на основании положительного опыта таких стран, как ФРГ, Бельгия, Великобритания разработать технологии извлечения метана из выработанных пространств закрытых и отработанных шахт для использования его в качестве источника энергии [4].

Одним из основных факторов, определяющим эффективность добычи метана, является проницаемость пластов, которая в значительной степени обуславливается их нарушенностью. Так, для углей с увеличением их нарушенности проницаемость заметно уменьшается [5], что свидетельствует о более сложном процессе извлечения метана, так как диффузия последнего происходит, в основном, по отдельным макротрещинам.

В процессе геологической разведки шахтных полей и в период эксплуатации шахты проницаемость и нарушенность углей не определяются, поэтому

информация об изменении этих показателей в пределах угольных пластов отсутствует. Для широкого внедрения принципов добычи шахтного метана угленосного массива, определения области их эффективного применения и определения рациональных параметров добычи метана целесообразно использовать общие закономерности изменения нарушенности углей. Породы, в частности песчаники, под воздействием напряжений уплотнялись, ухудшались их коллекторские свойства, увеличивались объемная плотность и дефектность кварцевых зерен. Два крупных геологических фактора - тектоника и метаморфизм являются основными составляющими региональных изменений нарушенности углей [6]. Пористость песчаников Донбасса уменьшается в направлении Главной антиклинали; соответственно в этом направлении возрастают сложности при добыче метана из угленосного массива.

Кроме региональных горно-геологических условий, определяющих эффективность добычи метана, существенное влияние оказывают локальные условия:

- ориентировка доминирующей системы трещин относительно добывающих скважин;

- наличие мелкоамплитудной нарушенности.

Объемы содержания метана в геоэлектрических аномальных зонах зависят от естественной газонасыщенности, параметров залегания и физико-механических свойств геологических объектов. Однако, в настоящее время не разработана методика, регламентирующая подсчет запасов метана в ненарушенном горными работами угленосном массиве. Тем не менее, некоторые исследования в этом направлении были проведены и взяты за основу для приближенного определения запасов свободного метана в зонах геоэлектрических аномалий поля Донецкого угольного бассейна.

Так, Узиок В.И., Бык С.И. и Ильчишин А.В. [7], выполнив комплексный подсчет ресурсов метана в отложениях Донецкого угольного бассейна с учетом рассеянной органики, сделали вывод о том, что газ угольных месторождений содержится в четырех основных типах коллекторов: в угле - свободном и сорбированном состоянии; в породах - пористых песчаниках, которые сосредоточены в антиклинальных структурах, в техногенных отложениях - трещиноватых песчаниках и в угольных прослойках.

Известно, что каждое месторождение полезных ископаемых вообще и углегазовое, в частности, отличается горно-геологическими условиями. Запасы газа на отработанных и не отработанных площадях также имеют свои отличия.

Согласно классическому представлению нефтегазовой геологии, всякая "газовая ловушка" определяется тремя основными факторами: коллектором, геологической структурой и газозакрывающим покрытием. Относительно углегазовых залежей, существенно отличающихся от традиционных газовых месторождений, указанные представления можно интерпретировать таким образом. Коллектор формируется в зоне развития стержневой части палеопотока, поскольку эта часть характеризуется большими размерами породообразующих зерен, повышенными значениями пористости и значительным содержанием цемента, который сорбирует газ.

Геологическая структура может быть представленная разными типами: литологическим, тектоническим, классической замкнутой антиклиналью, незамкнутой антиклиналью.

Газозакранирующие покрытия (газозакранирующие интервалы) ранее исследователи не выделяли, поскольку Донецкий бассейн не рассматривался как газовое месторождение и в таких исследованиях не было необходимости.

В отличие от типичных нефтегазовых месторождений, Донецкий угольный бассейн испытал значительные тектонические преобразования вследствие имевшей место инверсии, которая послужила причиной формирования очень малой пористости (от 10-15 % в породах раннего и среднего катагенеза до 4-8 % в подобных отложениях центральных районов) и низкой газопроницаемости. К этому добавляется повышенная, относительно типичных нефтегазовых месторождений, плотность и прочность пород.

По результатам исследований, выполненных Лукиновым В.В., Пимоненко Л.И., Барановым В.А. и др. [8, 9], естественная пористость песчаников, глинистых и песчаных сланцев Донецкого угольного бассейна (особенно открытая и эффективная) в некоторых геологических структурах составляет до 15 %, но в большинстве своей низкая - коэффициент открытой пористости пород разного генетического типа и степени катагенеза находится в пределах от 1,5 до 8-9 %, а газопроницаемость нетронутых горными роботами пород - 0, 01-0,6 мД, которые не попадают даже в класс с низкой газопроницаемостью - до 10 мД.

По данным Айруни А.Т., Галазова Р.А. и др. [10], а также по результатам газового каротажа, песчаники, глинистые и песчаные сланцы Донецкого угольного бассейна характеризуются низкими фоновыми значениями, природная метанообильность составляет $15-25 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{т}$. При этом, указанные породы залегают в кровле и почве угольных пластов на площади до 90-95%. Это характерно и для поля шахты "Суходольская-Восточная". Например, непосредственная кровля пласта i_3' сложена преимущественно песчаным сланцем - до 70 % площади и глинистым сланцем - до 20 % площади. Известняк имеет незначительное пространственное распространение. Основная кровля пласта i_3' почти по всей площади состоит из песчаного сланца, в восточной и центральной частях на обособленных участках из песчаников. Глинистый сланец имеет незначительное распространение в западной части шахтного поля. Почву пласта i_3' слагают песчаный (33%) и глинистый (45%) сланцы, а также песчаник (5%), который встречается на участках небольших размеров. Выше и ниже пласта i_3' залегают преимущественно глинистые, песчаные сланцы и песчаники.

Деформационные характеристики песчаников, глинистых и песчаных сланцев Донецкого угольного бассейна высокие. Однако, исследования, выполненные Абрамовым Ф.А. и Шевелевым Г.А. [11] показали, что нагрузки образцов от 0 до 40 МПа приводит к уменьшению открытой пористости с 8-9 до 7, 5-8,5 %, т.е. всего на 5-6 %.

Для определения количества и мест скопления метана в недрах впервые применены современные геотехнологии геоэлектрических исследований [12].

Метод фиксирования короткоимпульсного поля (ФКИП) основан на изучении процесса генерации и затухания электромагнитного сигнала в приемных антеннах, после прохождения электромагнитного импульса в антенне генератора. В методике ФКИП используются центрированные антенны типа "петля в петле" небольших размеров. Одна из петель генераторная, вторая приемная. Антенна представляет собой вертикальный диполь длиной 0,5 метра, на одном конце которого расположена генераторная петля. После подачи импульсным генератором сигнала и прохождения его через первичную антенну в приемной антенне индуцируется вторичный сигнал. Временные характеристики процесса нарушения сигнала и его дальнейшее затухание зависят от состояния внешней среды в околоземном пространстве. Время становления поля и характеристика затухания зависят от плотности атмосферного заряда в приземном слое и от знака этого заряда.

Структурные и литологические неоднородности пород в естественном квазистационарном электрическом поле Земли за счет процессов поляризации образуют аномальные зоны в поле E_z (вертикальный компонент напряженности электрического поля Земли). В зависимости от знака поляризации объектов над поляризованными объектами образуются положительные или отрицательные ионные зоны, которые фиксируются сигналами становления. Данный эффект используется для картирования зон разных по знаку поляризации пород. Участки газовых скоплений проявляются как зоны повышенного времени становления сигнала положительного знака.

Для определения глубины залегания аномальных геоэлектрических объектов использован метод вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ), наиболее полно изложенный в работах Левапова С.П., Якимчука Н.А., Корчагина И.Н. и др. [13, 14].

Метод вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) основан на изучении спектральных характеристик естественного электромагнитного поля и используются принципы поляризации геоэлектрических неоднородностей разреза в естественном квазистационарном электрическом поле Земли.

Метод низкочастотных вариаций естественного электромагнитного поля Земли (НЧВ ЕЭМПЗ) является электрическим аналогом сейсмоакустической методики, которая регистрирует собственные микросейсмические колебания залежей метана. Поскольку в естественном электрическом поле Земли сама залежь поляризуется, то сейсмическое колебание поляризованного объекта вызывает образование низкочастотных электромагнитных колебаний той же частоты. На этом принципе основанный метод НЧВ ЕЭМПЗ.

В проведении исследований современных геотехнологий на шахтах "Суходольская-Восточная" ОАО "Краснодонуголь", им. М.И. Калинина ГП "Донецкая угольная энергетическая компания" приняли участие ученые и специалисты Института прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, Центра менеджмента и маркетинга в области наук о Земле ИГН НАН Украины, Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Института геотехнической механики им. С.Н. Полякова НАН Украины, Института физики горных процессов НАН Украины и др.

В результате проведенных геоэлектрических исследований в пределах поля шахты "Суходольская-Восточная" выделено шесть локальных геоэлектрических зон типа "зоны повышенного газосодержания" (рис. 1). Выделенные зоны проявляются как аномалии повышенной поляризации и повышенного геоэлектрического сопротивления пород угленосного массива. Выявленные аномалии образованы за счет скопления свободного метана в тектонически ослабленных зонах, при условии существования вышележащих отложений экранирующих залежь газа.

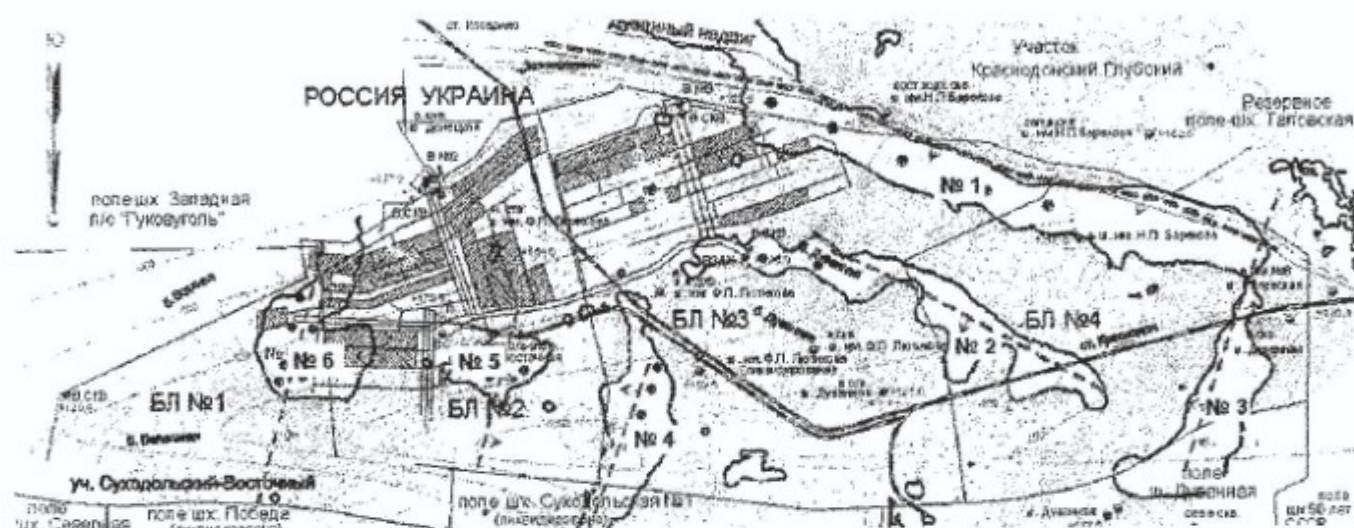


Рис. 1 – Карта зон свободного содержания метана в пределах поля шахты "Суходольская-Восточная" ОАО "Краснодонуголь"

Наибольшая по площади зона расположена вдоль лежащего крыла надвига; ширина зоны изменяется от 300 до 500 м. Параллельно этой зоне расположена зона со слабой интенсивностью. Остальные четыре зоны расположены вдоль тектонических нарушений субмеридионального направления. В пределах двух зон скопления свободного метана были пробурены дегазационные скважины, из которых до подхода горных работ наблюдалось интенсивное газовыделение, чем подтверждается точность определения аномальных зон.

По результатам вертикального зондирования проведенного в зоне геоэлектрической аномалии № 1 в разрезе в интервале глубин от -350 до -1000 метров выделен ряд аномально поляризованных пластов типа "газосодержащий пласт" средней мощностью около 74 м. Суммарная мощность газосодержащих пластов в южной части аномальной зоны № 1, примыкающей к надвику, максимальна и достигает 116 м. В северном направлении мощность газосодержащих пластов постепенно уменьшается до 57 м. В районе геоэлектрической аномалии № 1 скопление свободного метана обусловлено комбинированной ловушкой антиклинального типа и тектонически экранированным нарушением Дуванного надвига. При необходимости использования газа в промышленных целях рекомендуется бурение скважин в точках расположенных в лежащем крыле Дуванного надвига.

По данным геоэлектрических съёмок методом становления короткоимпульсного поля (СКИП) и методом вертикального

электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) подготовлены карты геоэлектрических аномальных зон повышенного газосодержания свободного метана на плане горных работ.

Многолетний опыт работ по изучению газовых коллекторов в угленосной толще Донбасса показал, что пластовые давления ($P_{на}$) составляют 0,7...0,9 (H_z) от гидростатического. Соответственно, при подсчетах прогнозных ресурсов принимаем:

$$Q = S \cdot m \cdot n_{откр.} \cdot 0,7 \cdot 0,1 H_z, \quad (1)$$

где $n_{откр.}$ - открытая пористость, в долях ед.; H_z - глубина залегания газового коллектора, м.

Таким образом, объемы содержания прогнозных ресурсов свободного метана в геоэлектрических аномальных зонах можно определить двумя способами - по средневзвешенной пористости и метанообильности пород в углепородном массиве.

Объемы содержания метана в геоэлектрических аномальных зонах углепородного массива по средневзвешенной пористости пород (Q_1 , м³) определяется по формуле:

$$Q_1 = S \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot p \cdot k_n \cdot 0,7 H_z, \quad (2)$$

где S - площадь геоэлектрической аномальной зоны, м²; m_i - мощность i -го аномально поляризованного пласта, м; n - количество аномально поляризованных пластов; p - средневзвешенная пористость пород, в долях ед.; k_n - поправочный коэффициент, учитывающий неоднородность геоэлектрической аномальной зоны, $k_n = 0,7$.

Объемы содержания метана в геоэлектрических аномальных зонах углепородного массива по средневзвешенной метанообильности пород (Q_2 , м³) определяется по формуле:

$$Q_2 = S \cdot \sum_{i=1}^n m_i \cdot \gamma \cdot q \cdot k_n, \quad (3)$$

где γ - средневзвешенная плотность пород, т/м³; q - средняя природная метанообильность пород, м³/т.

Таким образом, разработанная методика открывает новые возможности прогноза метаносности углепородных массивов Донбасса для крупномасштабной добычи метана из угольных пластов. Это направление будет неуклонно развиваться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Major GHG Emissions Savings at Moura Coal Mine.
http://www.wci.oal.com/pdf/gns/3_ura.pdf. 17.10.2001. Oil and Gas Journal. 1999. V.97, № 27.
2. И в шахте безопасно, и воздух чище.
<http://www.mega.kemerovo.su/WEB/HTML/920.HTM>. 12.10.2000.
3. Правительство Украины утвердило первоочередные меры по промышленной добыче метана.
<http://www.rbc.ru/lawnews/2000/10/03/20001003115906.shtml>. 12.10.2001.
4. Извлечение метана из угольных пластов.
<http://www.oilcapital.ru/nik/regions/98/1.html>. 2.10.2001.
5. Физико-химия газодинамических явлений в шахтах / Под ред. В.В. Ходота. - М.: Наука, 1973. - 140 с.
6. Забигаило В.Е., Васючков Ю.Ф., Репка В.В. Физико-химические методы управления состоянием угольно-породного массива. - К.: Наук. Думка, 1989. - 192 с.
7. Узіюк В.І., Бик С.І., Личинин А.В. Газогенераційний потенціал кам'яновугільних басейнів України // Геологія і геохімія горючих копалин, 2001. - №2. - С.110-121.
8. Лукинов В.В., Пимоненко Л.И. Сравнительная оценка степени тектонической дислоцированности угленосных отложений юго-восточной части Донбасса // Геол. і геохім. горюч. копалин. - 1992. - №1. - С.41-46.
9. Лукинов В.В., Пимоненко Л.И., Баранов В.А. Соотношение тектонической нарушенности угля и пород на микро- и макроуровнях // Геол. і геохім. горюч. копалин. - 1996. - №1-2. - С. 94-95.
10. Газообильность каменноугольных шахт СССР. Комплексное освоение газоносных угольных месторождений / А.Т. Айруни, Р.А.Галазов, И.В. Сергеев и др. - М.: Наука, 1990. - 216 с.
11. Абрамов Ф.А., Шевелев Г.А. Свойства выбросоопасных песчаников как породы-коллектора. - К.: Наукова думка, 1972. - 98 с.
12. Антипов И.В., Гладкая Е.В., Дегтярь Р.В. Методы геоэлектрических исследований и их применение на угледобывающих шахтах // Физико-техн. пробл. горн. произ. - ва. - Донецк: ИФГП НАНУ, Вып.8, 2005. - С.201-206.
13. Левашов С.П., Якимчук М.А., Корчагин И.М., Дегтярь Р.В., Песчаный Ю.М., Божжежа Д.М. О возможности выявления и картирования зон повышенного газонасыщения угля и горных пород геоэлектрическими методами. // Геоинформатика. - 2005. - № 3. - С. 19-23.
14. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Электрорезонансное зондирование и его использование для решения задач экологии и инженерной геологии // Геологический журнал. - 2003. - № 4. - С. 24-28.

УДК 622.7:552.57:622.234.5

Канд. техн. наук А.В. Бурчак
(ИГТМ НАН Украины)

КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ УГОЛЬ-ГАЗ КАК КРИТЕРИИ СОСТОЯНИЯ СТРУКТУРЫ УГОЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА

Розглянуто перспективи дослідження молекулярної структури вугілля за кінетичними характеристиками системи «вугілля-газ». Представлено результати оцінки впливу гідродинамічної дії на вугілля на молекулярному рівні.

KINETIC CHARACTERS OF THE SYSTEM COAL-GAS LIKE THE CRITERIONS OF THE CONDITION COAL'S MATTER STRUCTURE

The perspectives of research of coal's molecular structure by kinetic characters of system «coal-gas» examined. The results of the appraisalment influence of the hydro dynamical effect on coal in molecular level submit.

Вопросы исследования структуры угольного вещества и изменений, проходящих в ней под влиянием внешних факторов, остаются весьма актуальными. Принципиально важным остается получение экспериментального подтверждения теоретическим предположениям, высказанным различными исследователями в своих работах.