

УДК 622.324:550.8.01

ОПЫТ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ГАЗОНОСНОСТИ УГЛЕНОСНЫХ ТОЛЩ НА БАЗЕ ФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА

**Майборода А. А., Анциферов В. А., Иванов Л. А.,
Савченко А. В.**

(УкрНИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Шпак В. Ю.

(ГП «Макеевуголь», г. Макеевка, Украина)

Наведено результати практичного застосування «Методичних рекомендацій щодо оцінки газоносності вугленосних товщ Донбасу на базі формаційного аналізу» на шахти ім. В. М. Бажанова ДП «Макіїввугілля».

The results of practical use of “Methodological recommendations for evaluation of gas content in coal-bearing series of the Donets Coal Basin based on the formation analysis” at the minefield of V. M. Bazhanov Mine (State-Owned Company “Makeevugol”) are described.

Характерным направлением развития угледобывающей промышленности в Донбассе является значительное увеличение глубин (более 1000 м) отработки угольных пластов и подготовка к угледобыче новых перспективных глубоких участков шахтных полей. Это требует уточнения оценки газоносности угленосных толщ с прогнозом мест вероятного скопления метана для обеспечения повышения безопасности ведения горных работ и возможной попутной добычи метана. До настоящего времени для этой оценки использовались прямые методы газового опробования или каротажа в процессе геологоразведочного бурения, направленные, прежде всего, на изучение метаноносности угольных

пластов и требующие больших затрат и времени. Это обусловило необходимость в поисках, обосновании и разработке мобильной и малозатратной методологии косвенной оценки газоносности угленосных толщ, опирающейся на уже имеющуюся геологическую информацию по данным геологической разведки. В этом направлении УкрНИМИ НАН Украины проведены исследования, завершившиеся разработкой такой методологии, представленной во введенных в действие Методических рекомендациях [1].

Методология базируется на не применявшемся ранее при изучении газоносности фашиально-геотектоническом методе формационного анализа угленосных толщ, методе наиболее полно и научно обосновано раскрывающем закономерности формирования ритмичного (циклического) строения угленосных формаций, отражающего особенности угле- и газообразования.

Основные положения концепции методологии заключаются в следующем:

- формирование газоносности угленосных формаций Донбасса происходило в два крупных периода его геологического развития: доинверсионный (газогенерирующий) и постинверсионный (дегазационный);

- факторами первичной газоносности бассейна являются насыщенность угленосных толщ газогенерирующим органическим веществом, сконцентрированным в угольных пластах (КОВ) и рассеянным во вмещающих породах (РОВ) и его метаморфизм, результаты воздействия которого однозначны для КОВ и РОВ;

- количество газогенерирующего органического вещества (пределы его процентного содержания) в определенных литотипах пород, как и гранулометрия этих пород неизменны и обусловлены гидродинамическими условиями осадконакопления, зависящими от геотектонического режима в определенных фашиальных обстановках;

- современное распределение углеводородных газов сложилось в течение длительного геологического времени в постинверсионный период (начиная с конца палеозоя), характеризующегося практически полным прекращением процессов углефикации и газогенерации и мощной дегазацией с потерей свыше 90 % первичных объемов метана. Причем, как показали расчеты, дегазация

прошла для бассейна в целом с практически однозначным уменьшением почти в 15 раз доинверсионного газогенерирующего потенциала как для промышленных и непромышленных угольных пластов, так и для вмещающих пород, содержащих РОВ, но с различной интенсивностью в разных угленосных районах;

- закономерны современные изменения газоносности пологозалегающих угленосных отложений с глубиной, выразившиеся в наличии зональности: газового выветривания, интенсивного нарастания метаноносности, замедленного нарастания и на глубинах свыше 1000 м – стабилизации метаноносности равнометаморфизованных угольных пластов.

Методология оценки газоносности угленосных толщ включает [1]:

- построение моделей газоносности угленосных толщ исследуемых массивов горных пород, позволяющих производить ритмический формационный анализ;

- определение количественных показателей сорбированной природной газоносности углей и классифицированных по гранулометрии и содержанию органического вещества пород, находящихся на определенных стадиях метаморфизма и эпигенеза;

- оценку газонасыщенности порового пространства песчаников, т.е. наличия свободного метана.

Методология в целом предусматривает возможность количественной оценки доинверсионного газогенерационного потенциала угленосных формаций Донбасса и на глубинах свыше 1000 м - постинверсионной (современной) природной газоносности угленосных толщ.

В настоящей статье приводятся результаты практического применения рассматриваемой методологии оценки газоносности угленосных толщ и анализа его эффективности.

Предварительный всесторонний анализ шахтных полей действующих шахт Донбасса показал, что для постановки начальных практических исследований наиболее благоприятными, отвечающими требованиям Методических рекомендаций, являются горно-геологические условия полей шахт ГП «Макеевуголь».

В качестве первоочередного объекта исследований был определен перспективный участок обработки на глубинах свыше 1200 м угольного пласта m_3 на поле шахты им. В. М. Бажанова.

Результаты анализа геологоразведочных данных по этому участку показали целесообразность выделения в его пределах двух оценочных блоков: Восточного (площадь 2,04 км²) и Западного (площадь 2,94 км²) (рис. 1). В стратиграфическом отношении углепородный массив этих блоков ограничен толщиной пород мощностью порядка 100 м выше угольного пласта m_3 и 50 м ниже его, что было продиктовано положениями «Инструкции» [2].

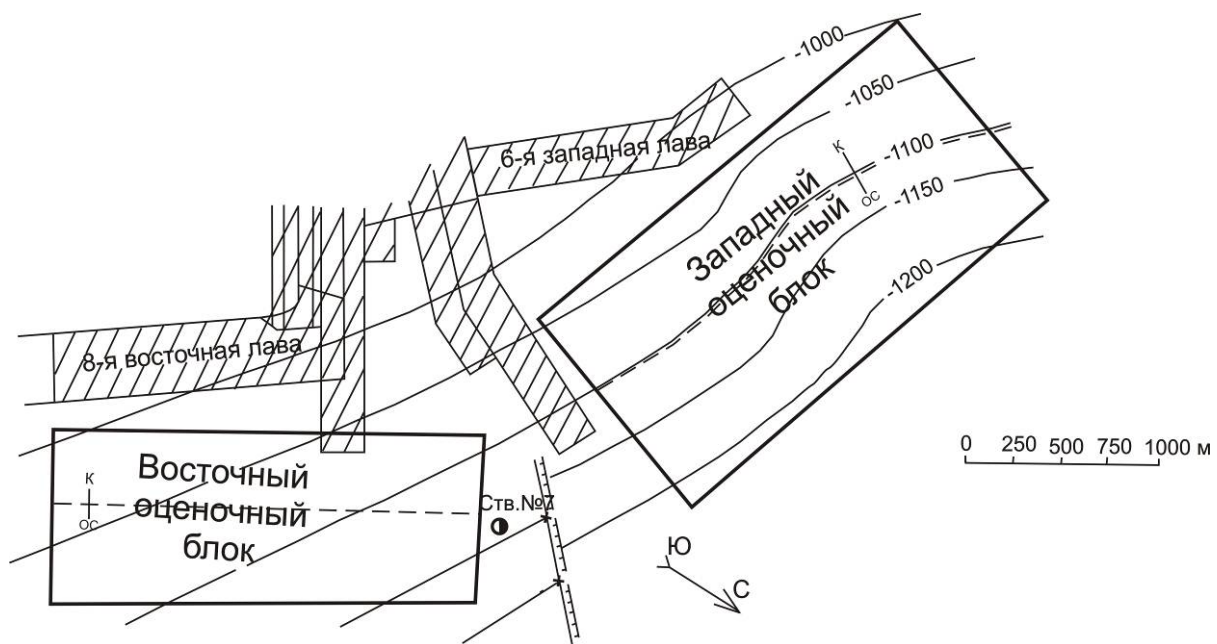


Рис. 1. Схема расположения участков оценки газоносности массива горных пород (на основе плана горных выработок по пласту m_3 шахты им. В. М. Бажанова)

Выделенные оценочные блоки охватывают значительные площади с большим количеством геологоразведочных скважин. Отдать предпочтение какой-либо одной из них, придав статус опорной для проведения формационного анализа было бы не обоснованным. Поэтому для каждого блока разработана обобщенная модель, характеризующая строение углепородного массива в целом, в основу которой заложены расчетные данные глубин залегания и мощностей маркирующих горизонтов (угольных

пластов, пропластков, известняков) и, соответственно, мощностей определенных типов вмещающих пород, полученные путем усреднения показателей в колонках по скважинам.

Следует отметить, что стратиграфические колонки моделей для обоих оценочных блоков практически дублируют друг друга, что свидетельствует о выдержанности слоев пород и углей (за исключением колебаний в их мощностях) и о спокойном строении перспективной площади в целом, благоприятствующим проведению формационного ритмического анализа и оценке газоносности изучаемых углепородных массивов.

Поскольку все операции по изучению углепородных массивов Восточного и Западного блоков по последовательности и содержанию абсолютно идентичны, в настоящей статье в качестве показательного примера производства оценки газоносности приводятся её результаты по одному из них – Восточному (рис. 2).

По географическому положению шахта им. В.М. Бажанова относится к центральной части Донецко-Макеевского угленосного района. Поэтому при изучении газоносности угленосных толщ использованы данные таблицы в «Приложении К» [1]. Однако, в этой (и во всех других) таблице значения газоносности углей и вмещающих пород даны для средних частей зон эпигенеза. Исследуемый же интервал разреза массива горных пород расположен на границе двух зон эпигенеза, включающей угли марки К и марки ОС (см. рис. 1). Поэтому для получения более точных данных произведены расчеты значений газоносности (приведены в табл. 1) для этой граничной зоны (усредненные между показателями зон К и ОС).

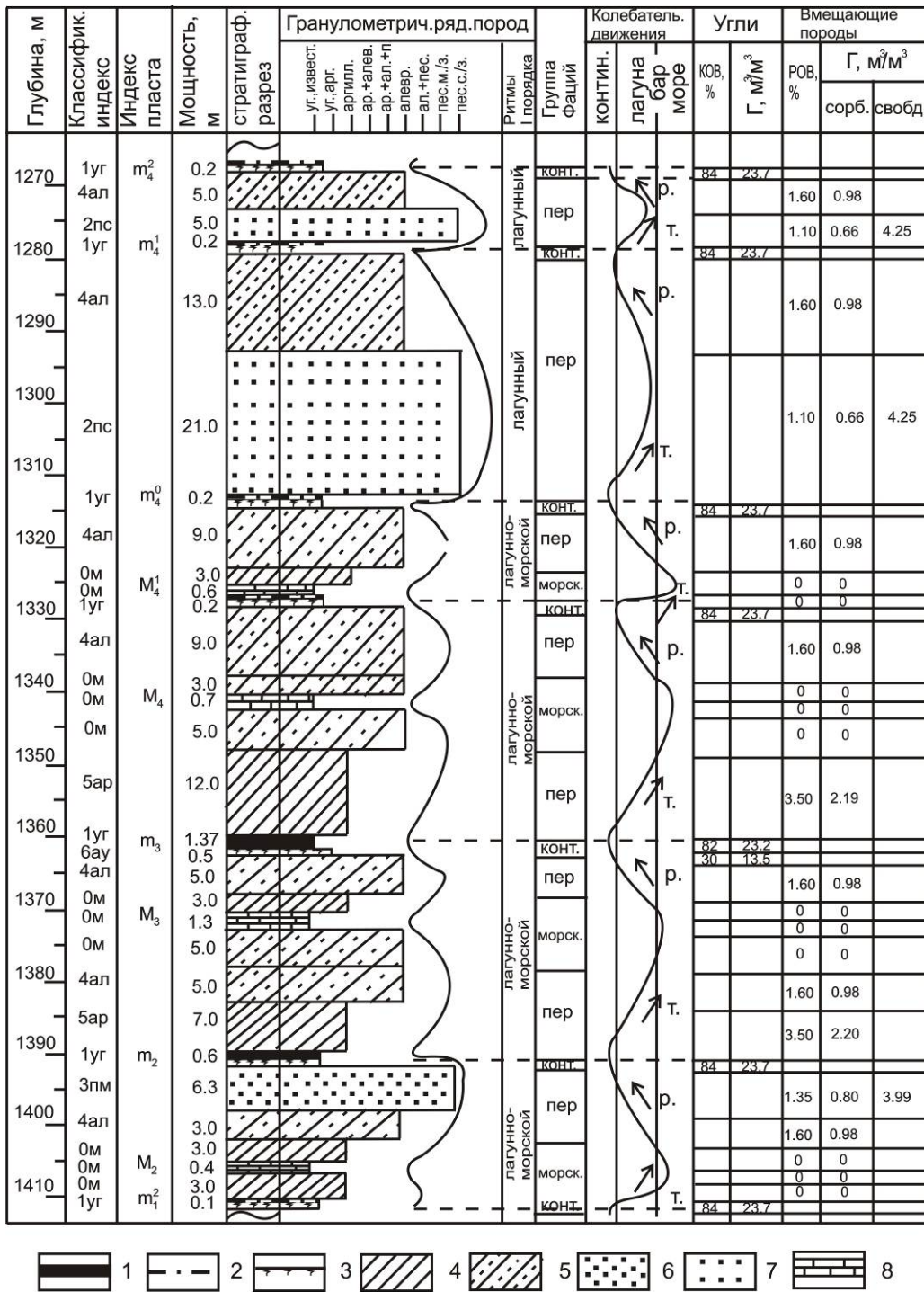
Расчет свободного метана в поровом пространстве песчаников произведен с учетом специфики разреза угленосной толщи на исследуемых глубинах, заключающийся в отсутствии влаги на этих глубинах [3, 4], т.е. расчет газонасыщенности пор сухих песчаников произведен по формуле 9.1 [1]:

$$G = P \times K_{по},$$

где G – газоносность, $\text{м}^3/\text{м}^3$;

P – давление газа, атм.;

$K_{по}$ – коэффициент открытой пористости, в долях единицы.



1 – уголь; 2 – угольный пропласток; 3 – «кучерявчик»; 4 – аргиллит; 5 – алевролит; 6 – песчаник м/з; 7 – песчаник с/з; 8 – известняк

Рис. 2. Обобщенная модель газоносности угленосных отложений Восточного оценочного блока (включающих угольный пласт m_3)

Таблица 1

Среднее содержание сорбированного метана в вошедших в анализ породах граничной зоны эпигенеза, включающей угли марок К-ОС

Индекс	Литологический тип породы	Марка углей		
		К	ОС	К+ОС
		Газоносность		
		$\frac{M^3/T}{M^3/M^3}$	$\frac{M^3/T}{M^3/M^3}$	$\frac{M^3/T}{M^3/M^3}$
1уг	уголь	$\frac{21,28}{25,80}$	$\frac{25,14}{30,72}$	$\frac{23,21}{28,26}$
2пс	песчаник с/з	$\frac{0,24}{0,60}$	$\frac{0,28}{0,72}$	$\frac{0,26}{0,66}$
3пм	песчаник м/з	$\frac{0,29}{0,74}$	$\frac{0,33}{0,86}$	$\frac{0,31}{0,80}$
4ал	алевролит	$\frac{0,34}{0,90}$	$\frac{0,41}{1,05}$	$\frac{0,37}{0,98}$
5ар	аргиллит	$\frac{0,74}{1,98}$	$\frac{0,90}{2,41}$	$\frac{0,82}{2,20}$
6ау	«кучерявчик»	$\frac{6,38}{12,33}$	$\frac{7,54}{14,63}$	$\frac{6,97}{13,48}$
0-м	все породы морской группы фаций	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{0}{0}$

Данные о P , атм. и $K_{по}$, % рассчитаны исходя из «Приложения С» [1]. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

При оценке содержания метана в углях определены средние значения зольности углей пласта m_3 и, соответственно, содержание в нем КОВ (концентрированного органического вещества), составляющие:

$$A^d, \% = 17,8 \%; \quad \text{КОВ}, \% = 82,2 \%$$

Далее выполнен формационный анализ на базе фациально-геотектонического метода, в результате которого выделены два ритма I порядка лагунного типа с литологическими слоями переходной группы фаций, содержащих РОВ (рассеянное органическое вещество) и четыре ритма I порядка лагунно-морского типа, в пределах которых слои пород морской группы фаций характеризуются отсутствием РОВ.

Таблица 2

Расчет газонасыщенности порового пространства песчаников,
 полностью заполненного свободным метаном

Марка углей	K _{по} , %	Глубина, м			
		1300		1400	
		давление газа, атм.	Г, м ³ /м ³	давление газа, атм.	Г, м ³ /м ³
среднезернистый песчаник ($m_4^0 \sim m_4^1, m_4^1 \sim m_4^2$)					
К	4,4	110,5	4,86	119,0	-
ОС	3,3	110,5	3,65	119,0	-
К-ОС	3,85	110,5	4,25	119,0	-
мелкозернистый песчаник ($M_2 \sim m_2$)					
К	3,6	110,5	-	119,0	4,28
ОС	3,1	110,5	-	119,0	3,69
К-ОС	3,35	110,5	-	119,0	3,99

Дальнейшие операции заключались во внесении всей информации в обобщенную модель газоносности угленосных отложений Восточного блока (см. рис. 2), в определении суммарной мощности и объемов литологически однородных газосодержащих типов пород и углей и в непосредственном подсчете газоносности в пределах Восточного блока, используя рекомендации раздела 10 документа [1]. В том числе по оценке:

- сорбированной метаноносности угольных пластов и пропластков (табл. 3);
- сорбированной метаноносности углевмещающих пород (табл. 4);
- свободного метана в поровом пространстве песчаников (табл. 5);
- природной метаноносности массива горных пород Восточного оценочного блока в целом (табл. 6).

Таблица 3

Оценка сорбированной метаноносности угольных пластов и пропластков

Марка углей	Индекс Пласта	Средняя мощность угольных пластов и пропластков, м				Общ. объем углей, млн. м ³	Метаноносность		
		0,1-0,3	0,3-0,5	0,5 и более	всего		без учета A ^d , %	с учетом A ^d , %	всего млн. м ³
К-ОС	$m_1^2 - m_4^2$	0,1-0,2	-	-	0,90	1,84	м ³ /м ³		43,61
	m_3	-	-	1,37	1,37	2,79	28,26	23,2	
	m_2	-	-	0,60	0,60	1,22	28,26	23,7	
Всего по блоку					2,87	5,85			137,3

Таблица 4

Оценка сорбированной метаноносности углевмещающих пород

Марка углей	Классификац. индекс пород (литология)	Средняя мощность слоев пород, м			Общ. объем пород, млн. м ³	Метаноносность	
		3-10	10 и более	всего		м ³ /м ³	всего млн. м ³
К-ОС	2пс-песчаник с/з	1	1	26,0	53,04	0,66	35,0
	3пм-песчаник м/з	1	-	6,3	12,85	0,80	10,3
	4ал-алевролит	6	1	48,4	98,74	0,98	96,8
	5ар-аргиллит	1	1	19,0	38,76	2,20	85,3
	6ау-кучерявчик	-	-	0,5	1,02	13,48	13,7
Всего по блоку					204,4		241,1

Таблица 5

Оценка свободного метана в поровом пространстве песчаников

Средняя глубина, м	Классификационный индекс песчанка	Средняя мощность песчаников, м				Общ. объем песч., млн. м ³	Метаноносность	
		3-5	5-10	10 и более	все-го		м ³ /м ³	всего млн. м ³
~1300	2пс-песч.с/з $m_4^1 \sim m_4^2$	1	-	-	5,0	10,20	4,25	43,4
~1300	2пс-песч.с/з $m_4^0 \sim m_4^1$	-	-	1	21,0	42,80	4,25	181,9
~1400	3пм-песч.м/з $M_2 \sim m_2$	-	1	-	6,3	12,85	3,99	51,3
Всего по блоку						65,85		276,6

Таблица 6

Оценка природной метаноносности массива горных пород Восточного оценочного блока (интервал разреза $m_1^2 - m_4^2$ с угольным пластом m_3)

Сорбированного, млн. м ³		Свободного в песчаниках, млн. м ³	Всего в массиве горных пород, млн. м ³
в угольных пластах и пропластках	во вмещающих породах		
137,25	241,1	276,6	654,95
в том числе в m_3 64,73	в том числе в кровле m_3 53,86	в том числе в песчаниках $m_4^0 \sim m_4^1$ 181,9	

Всего в массиве горных пород Восточного блока содержание метана оценивается в 654,95 млн. м³, в том числе сорбированного в угольном пласте m_3 64,73 млн. м³ и свободного в основном среднезернистом русловом песчанике $m_4^0 \sim m_4^1$ средней мощностью 21 м - 181,9 млн. м³.

Подсчет свободного метана выполнен для ненарушенных песчаников, т.е. оценена природная газоносность, обусловленная гранулярными коллекторами. В зонах развития повышенной

трещиноватости пород, связанных с дизъюнктивами, получает дополнительно развитие динамическая газоносность, обусловленная наличием трещинно-поровых коллекторов, которая повышает метаноносность в среднем на 35 % [1]. Для песчаника $m_4^0 \sim m_4^1$ такая зона может быть связана, с надвигом «С», аккумулируя повышенные скопления метана (между Восточным и Западным блоками, см. рис. 1), и явиться участком оптимального заложения газодобывающих скважин, ориентировочно, в пределах целика под ствол № 7.

Следует обратить внимание также на волнистый характер гипсометрии угольного пласта m_3 в средней части Западного блока (см. рис. 1), свидетельствующей о проявлении пликативной (возможно и не выявленной дизъюнктивной) нарушенности. Т.е. в этой части блока, очевидно, следует ожидать повышенную трещиноватость углепородного массива и вполне вероятное проявление дополнительной динамической газоносности со свободным метаном.

В качестве информации отмечаем, что поскольку содержание метана в угольном газе в метановой зоне составляет 98,5 % [5], применяемые в тексте и таблицах термины «газоносность» и «метаноносность» следует рассматривать, как синонимы.

Оценка эффективности практического применения Методических рекомендаций [1] осуществлена в двух направлениях:

- оценка геологической эффективности рекомендуемой методологии, характеризующая полноту и достоверность прогнозных расчетов газоносности в сопоставлении с имеющимися фактическими данными, полученными традиционными геологоразведочными методами;

- оценка экономической эффективности методологии.

Геологическая эффективность методологии оценена в зависимости от наличия экспериментальной геологоразведочной информации в следующих направлениях [6]:

- сравнительная оценка газоносности угольного пласта m_3 ($23,21 \text{ м}^3/\text{т}$ с.б.м. или $28,26 \text{ м}^3/\text{м}^3$) с данными в работах [4, 5] показала отклонение средних значений расчетных от экспериментальных от 0,01 до $0,98 \text{ м}^3/\text{т}$ с.б.м. или от 0,04 до 4,41 %. Следует отметить, что на этом участке разброс экспериментальных

данных от средних значений составляет от 3,9 до 4,1 м³/т с.б.м. или от 17,5 до 18,4 % [4], что существенно хуже наших расчетных показателей;

- сравнительная оценка подсчета запасов метана по угольному пласту m_3 в среднем на 1 км² с данными работы [5] показала разницу расчетных данных от экспериментальных 138 тыс. м³ на 1 км² или порядка 0,42 %;

- наиболее сложно было определить достоверность оценки газоносности вмещающих пород из-за низкой надежности традиционных экспериментальных методов. Так, в работе [3] говорится, что газоносность пород, определяемая различными геологоразведочными методами, имеет существенные расхождения в 5-10 раз. Указывается неприемлемость для этих целей газового каротажа и весьма сомнительная возможность применения керногазонаборника КА-61 [3]. Сравнение рекомендуемых [3] к использованию средних для вмещающих пород в целом данных МакНИИ по газовым съемкам в горных выработках шахты им. В. М. Бажанова (1,63 м³/м³) с такими же нашими расчетными средними значениями (1,43 м³/м³) показало разницу 0,20 м³/м³ или 12 %;

- особо важное значение, на наш взгляд, имеют результаты оценки достоверности прогноза газоносности песчаника $m_4^0 \sim m_4^1$, как наиболее перспективного для добычи свободного метана (на глубине 1300 м – 4,25 м³/м³ или 1,65 м³/т, по нашим данным). Именно для этого песчаника имеется информация в работе [4]. Сравнения с расчетными показателями на сопоставляемых глубинах показали разницу в 0,02 м³/т (0,05 м³/м³) или 0,9 %.

Можно считать, что достоверность полученных прогнозных данных вполне удовлетворительная. Отклонения расчетных показателей от средних экспериментальных, полученных традиционными геологоразведочными методами, не превышают, а зачастую существенно ниже допустимых погрешностей.

Что касается экономической эффективности применения рекомендуемой методологии [1], то она может составлять условно порядка 1700,0 тыс. грн. за счет исключения необходимости бурения дополнительно только одной скважины.

В целом, практическое применение методологии в соответствии с Методическими рекомендациями [1] дало вполне удовлетворительный результат, дополнительную информацию по оценке газоносности изучаемого массива горных пород и она может быть рекомендована к дальнейшему использованию на других шахтных полях и угледобывающих предприятиях.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Методичні рекомендації щодо оцінки газоносності вугленосних товщ Донбасу на базі формаційного аналізу. – Донецьк: вид-во «Цифрова типографія», 2011. – 88 с.
2. Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах. – М.: Недра, 1977. – 96 с.
3. Геологический отчет о детальной разведке каменного угля на участке «Бутовская-Глубокая» (1977-1983 гг.): отчет (заключит.) / № ГР 39-77-129/7. – Щегловская ГРЭ ПГО «Донбассгеология», Артемовск, 1984.
4. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины т. 1 Геология и газоносность Западного, Юго-Западного и Южного Донбасса / А. В. Анциферов, А. А. Голубев, В. А. Канин, М. Г. Тиркель, Г. З. Задара, В. Ю. Узиюк, В. А. Анциферов, В. Г. Суярко. – Донецк; изд-во «Вебер», 2009. – 453 с.
5. Геологический отчет о переоценке запасов каменных углей поля шахты им. В. М. Бажанова ПО «Макеевуголь» (по состоянию на 01.01.1988 г.): отчет (заключит.) / № ГР 38-88-7/1. – Тематическая экспедиция ПО «Укруглегеология». Донецк, 1988.
6. Впровадження «Методичних рекомендацій, щодо оцінки газоносності вугленосних товщ Донбасу на базі формаційного аналізу» на одному з шахтних полів та виявлення скупчень метану: звіт по НДР(заключ.)/УкрНДМУ НАНУ; рук. А. О. Майборода. – ГР 011/У 004089 инв. № 2392. – Донецьк, 2011. – 74 с.