

4. Привалов В.А. Метан в угленосной толще Донбасса: геологические аспекты генерации, миграции и условия сохранности // Геология і геохімія горючих копалин. - 2002. - № 2. - С. 65–83.
5. Привалов В.А, Саксенхофер Р., Шпигель К., Панова Е.А, Жикаляк Н.В. Перспективы обнаружения залежей постинверсионного метана в Донбассе: результаты анализа фишн-трековых данных // Уголь Украины. – 2004. – № 9. – С. 12–17.
6. Лизун С.О., Іванців О.Є., Дудок І.В., Наушко І.М., Кухар З.Я. Закономірності розподілу метану у кам'яновугільних басейнах України та перспективи його видобутку та використання // Геология і геохімія горючих копалин. – 2001. – № 2. – С. 122–127.
7. Привалов В.А., Анциферов В.А., Панова Е.А., Изар А., Саксенхофер Р.Ф. Параметризация органического вещества газоматеринских толщ Донецкого бассейна // Наукові праці ДонНТУ: Серія гірн. – геол. – 2005. – Вип. 96. – С. 137–145.
8. Сорокин А. Г. Плотные низкопроницаемые осадочные породы – резервный источник горючего газа // Геология нефти и газа. – 1992. – Вып. 1 – С. 44–58.
9. Триплетт Д.Р., Лукинов В.В., Филиппов А.Э., Писаренко А.А. Метан угольных месторождений Украины: производственный и инвестиционный потенциал шахт Донбасса. - К.: Логос, 2000, 132 с.
10. Espitalie J., Deroo J., Marquis F. La pyrolyse Rock-Eval et ses applications // Rev. l'Inst. du Fr. Petrole. - 1985. -Vol. 40. - № 5. - P. 563–579.
11. Привалов В.А. Изар А., Саксенхофер Р., Жикаляк Н.В., Панова Е.А. Нефтегазогенерационный потенциал углей Донбасса по результатам термолитической газовой хроматографии // Геолог України. - 2003. - № 3-4. - С. 56–59.
12. Izart A., Sachsenhofer R.F., Privalov V.A., Elie M., Panova E.A., Antsiferov V.A., Alsaab D., Rainer T., Sotirov A., Zdravkov A., Zhykalyak M.V. Stratigraphic distribution of macerals and biomarkers in the Donets basin: Implications for paleoecology, paleoclimatology and eustasy // International Journal of Coal Geology. - 2006. - Vol. 66. - P. 69 – 107.
13. Sykes R., Snowdon L.R. Guidelines for assessing the petroleum potential of coaly source rocks using Rock-Eval pyrolysis // Org. Geochem. - 2002. - Vol. 33. - P. 1441–1455.
14. Peters K.E., Moldowan J.M. The biomarker guide. Interpreting molecular fossils in petroleum and ancient sediments. - New Jersey: Prentice Hall, 1993. - 363 p.
15. Горягина Т.А. Геолого-геохимические условия нефтегазоносности олигоценых отложений Центрального и Восточного Предкавказья. Автореф. дис... канд. геол. –мин. наук. – Ставрополь, 2005. – 27 с.
16. Flores R.M. Coalbed methane: from hazard to resource // International Journal of Coal Geology. - 1998. - Vol. 35. – P. 3–26.
17. Привалов В.О., Изар А., Альсааб Д., Панова О.А., Рудник О.В. Визначення обсягів генерації вуглеводневих газів у процесі штучної вуглефікації вугілля Донбасу за методом обмеженого піролізу // Геотехническая механика. - 2006. - Вып. № 67. - С. – 136–142.
18. Alsaab D., Elie M., Izart A., Sachsenhofer R.F., Privalov V.A., Suarez-Ruiz D., Martinez L. Comparison of hydrocarbon gases (C1–C5) production from Carboniferous Donets (Ukraine) and Cretaceous Sabinas (Mexico) coals // International Journal of Coal Geology. - 2008. - Vol. 74. - No. 2. - P. 154–162
19. Звягильский Е.Л., Грязнов В.С., Бокий Б.В., Назимко В.В. Определение критической ширины угольного целика // Физико-технические проблемы горного производства. - 2001. - Вып. 3. - С. 30-35.
20. Лукинов В.В. Прогнозная оценка глубин максимальной газоносности песчаников / В.В. Лукинов, Н.В. Жикаляк // Геотехническая механика. – Днепропетровск. – 2005. – Вып. № 53. – С. 13–20.

**УДК 550.834:622.411**

Канд. геол. - минерал. наук Л.Л. Шкуро,  
вед. инж. Г.Н. Горбачева  
(ИГТМ НАН Украины)

## **ВОЗМОЖНОСТИ ОЦЕНКИ ГАЗОНОСНОСТИ ПЕСЧАНИКОВ ПО ДАННЫМ АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА**

Розглянуто результати аналізу можливого застосування акустичного каротажу для оцінки газоносності пісковиків. Показано перспективність його застосування на ділянках розвідки, в свердловинах яких спостерігається підвищений вміст газу.

## **EVALUATION OF GAS-CONTENT IN THE SANDSTONES BY RESULTS OF ACOUSTIC LOGGING**

Results of analysis of acoustic logging used to evaluate gas content in the sandstones are discussed. Possibilities of the logging applied for the sites of exploration with wells with high content of gas are demonstrated.

В последние годы большое внимание стало уделяться проблеме добычи и использования газа, находящегося в углях и породах угленосных месторождений.

Многолетние исследования газоносности угленосных отложений Донецкого бассейна позволили выявить региональные закономерности изменения газоносности угольных пластов и вмещающих пород с изменением современной глубины залегания, структурно – тектонического фактора, степени метаморфизма углей и установить основные оптимальные условия скопления углеводородных газов: приуроченность к максимальному угленакоплению, невысокий катагенез вмещающих пород, связь с газодинамическими явлениями, приуроченность пластов – коллекторов к русловым и дельтовым песчаникам, влияние условий осадконакопления и наличие газоупорных толщ [1 – 5].

Однако, учитывая то, что в углевмещающих породах наблюдается большая изменчивость переслаивания песчаников, алевролитов и аргиллитов в разрезе и отдельный песчаник делится на различные по коллекторским свойствам слои, то прогнозировать в таких песчаниках на локальном уровне конкретную газовую ловушку представляется довольно сложно. Одним из перспективных направлений при решении задач связанных с оценкой газоносности горных пород на стадии поисково – разведочных работ является применение геофизических методов исследования скважин. Определение газоносности горных пород по данным промышленной геофизики можно проводить как прямыми, так и косвенными методами.

К прямым методам изучения газоносности пород относятся газометрия скважин и отбор проб пластовых флюидов испытателями пластов. Однако прямые методы являются очень трудоемкими в работе и применяются довольно ограниченно. Использование косвенных методов, к которым прежде всего относятся электрические, радиоактивные и акустические геофизические методы, позволяют оперативно и надежно определять коллектора в нефтяных и газовых скважинах [6].

Необходимо отметить, что коллекторами нефтяных и газовых месторождений в основном являются песчаники, но они существенно отличаются по пористости и проницаемости от песчаников угольных месторождений [7]. Песчаники нефтегазовых месторождений слабосцементированные, кавернозно – трещиноватые, обладают повышенными значениями пористости и проницаемости, пониженным содержанием кварца. При этом определение газоносных слоев в таких песчаниках осуществляется главным образом путем подсчета пористости, используя, в основном, данные акустического каротажа. Коэффициент пористости рассчитывается по диаграммам интервального времени, измеренного приборами акустического каротажа (АК).

В отличие от песчаников нефтегазовых месторождений, песчаники угольных месторождений являются сцементированными, с пониженными значениями пористости, содержащие 50 – 70 % зерен обломочного кварца и обладают высокими упругими свойствами. Установлено, что с увеличением газонасыщенности, песчаники с высоким содержанием обломочного кварца, повышенной протяженностью контактов между зернами, склонны к большим объемным деформациям, вызывающим значительные внутренние напряжения [8].

Это указывает на то, что давление газа, в зависимости от вещественного состава и структуры песчаников, оказывает влияние на деформируемость среды, следовательно, и на степень изменения ее напряженного состояния. Повышенное напряженное состояние массива горных пород в свою очередь ведет к увеличению скорости распространения продольных волн. Подтверждением этого могут являться выводы работ [8, 9], указывающие на то, что с увеличением содержания газа в песчаниках, скорость распространения продольных волн ( $V_p$ ) возрастает. Поэтому на угольных месторождениях скорость распространения продольных волн в газоносных слоях песчаника, при прочих равных условиях (марка угля, глубина залегания, структурно – тектонические условия) должна иметь повышенные значения в отличие от не газоносных песчаников.

Исследования проводились на участках разведки и шахтных полях, на которых во время поисково–разведочных работ в углеразведочных скважинах наблюдались выделения газа.

В качестве исходной информации использованы данные скорости распространения продольных волн, зарегистрированные приборами акустического каротажа в углеразведочных скважинах на участке разведки: «Брагиновский», поле шахты им. А.Г. Стаханова и участке разведки «Чапаевский», которые расположены в различных структурно – тектонических зонах. Объектами исследования выбраны песчаники, которые вмещают угли марки Г. Исследовались песчаники, выдержанные по площади и в разрезе, которые представляют интерес как потенциальные коллектора природного газа.

На участке «Брагиновский», который расположен в Павлоградско - Петропавловском геолого - промышленном районе и по структурно – тектоническому фактору относится к зоне Новомосковско – Петропавловской моноклинали, исследовались песчаники  $c_1Sc_2$ ,  $c_2Sc_4$ ,  $c_4Sc_5$ ,  $c_5Sc_6$ ,  $c_7Sc_8$ ,  $c_{10}Sc_{12}$ .

В результате проведения поисковых работ на участке выявлены локальные скопления газа. Максимальные газопроявления отмечены в скважине 1902, (песчаник  $c_{10}Sc_{12}$ ), где дебит достигал  $1000 \text{ м}^3/\text{сутки}$ , минимальные - в скважинах 23762 и бп. Газопроявления отмечены в скважинах 711п, 183п и целом ряде других скважин.

В этих скважинах, а также в скважинах, где газопроявления не наблюдались, был проведен акустический каротаж и определены значения скорости распространения продольных волн в песчаниках.

Для установления существенных различий дисперсий и средних значений скорости распространения продольных волн, измеренной приборами акустического каротажа в газоносных и негазоносных песчаниках, было проведено их статистическое сравнение по критерию Стьюдента ( $t$  - критерию) и критерию Фишера ( $F$  - критерию). Объем выборок при этом составил 30 значений. Результаты статистической обработки данных приведены в табл. 1.

При этом к газоносным отнесены песчаники, в скважинах которых наблюдались притоки газа, а к негазоносным относились песчаники, в скважинах которых выделение газа не отмечено.

Таблица 1 - Статистическая оценка дисперсий и средних значений скорости распространения продольных волн газоносных и не газоносных песчаников на участке Брагиновский

Характеристика песчаника	Индекс песчаника	Среднее значение, м/с	Дисперсия	Критерий Стьюдента		Критерий Фишера	
				$t_{расч.}$	$t_{табл.}$	$F_{расч.}$	$F_{табл.}$
газоносный - не газоносный	$c_2Sc_4$	3950	125	1,96	2,04	3,39	1,85
	$c_2Sc_4$	3820	66				
газоносный - не газоносный	$c_{10}Sc_{12}$	3980	173	1,72	2,04	2,87	1,85
	$c_{10}Sc_{12}$	3825	112				

Анализ табл. 1 показал, что средние значения  $V_p$  в газоносных песчаниках выше, чем в не газоносных песчаниках. Однако расчетные значения  $t$  – критерия ниже  $t_{табл.}$ , что не дает основания сделать вывод о существенных расхождениях средних значений  $V_p$  между газоносными и негазоносными песчаниками. При этом наблюдаются существенные расхождения в дисперсиях ( $F_{расч} > F_{табл.}$ ) между газоносными и не газоносными песчаниками.

Поле шахты им. А.Г. Стаханова расположено в центральной части Красноармейского геолого-промышленного района и по структурно – тектоническому фактору относится к подзоне Красноармейской моноклинали. На поле шахты им. А.Г. Стаханова по данным геолого – разведочных работ был исследован песчаник  $k_8^H Sl_1$ .

В песчанике  $k_8^H Sl_1$  за время строительства и эксплуатации шахты зарегистрировано большое количество выбросов пород и газа. Выбросы происходили в районе воздухоподающего ствола № 4 и вентиляционного ствола № 7 (скважины НН3555 и НН3556) и в вентиляционных квершлагах № 1 и № 2 (скважины № 2711 и 2769). Учитывая тот факт, что выбросоопасные песчаники характеризуются повышенным содержанием газа, то песчаник  $k_8^H Sl_1$  относится к категории газоносных. В газоносных песчаниках скорость распространения продольных волн, зарегистрированная приборами АК должна быть значительно выше, чем в негазоносных песчаниках.

Для подтверждения существенных различий средних значений и дисперсий скорости распространения продольных волн, зарегистрированной приборами акустического каротажа в скважинах НН3555 и НН3556, между газоносным ( $k_8^H Sl_1$ ) и негазоносными песчаниками ( $m_6^1 Sm_6^2$ ,  $m_4 Sm_6$ ) было проведено их статистическое сравнение по критерию Стьюдента ( $t$  - критерию) и критерию Фишера ( $F$  - критерию). Объем выборок при этом составил 30 значений. Результаты статистической обработки данных приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Статистическая оценка дисперсий и средних значений скорости распространения продольных волн в газоносных и не газоносных песчаниках

Характеристика песчаника	Индекс песчаника	Мар- ка уг- ля	Среднее значение, км / с	Дис- персия	Критерий Стьюдента		Критерий Фишера	
					$t_{расч.}$	$t_{табл.}$	$F_{расч.}$	$F_{табл.}$
газоносный - не газоносный	$k_8^H Sl_1$	Г	4,448	0,043	9,31	2,04	1,97	1,85
	$m_6^1 Sm_6^2$	Г	4,126	0,072				
газоносный - не газоносный	$k_8^H Sl_1$	Г	4,448	0,043	8,77	2,04	2,13	1,85
	$m_4 Sm_6$	Г	4,262	0,092				

Анализ табл. 2 показывает, что расчетные значения  $t$  – критерия и  $F$  - критерия значительно выше  $t_{табл.}$  и  $F_{табл.}$ , что дает основание сделать вывод о существенных расхождениях дисперсий и средних значений  $V_p$  между газоносными и негазоносными песчаниками. Это свидетельствует о том, что скорость распространения продольных волн в газоносных песчаниках существенно отличается от не газоносных песчаников и может быть использована для оценки газоносности. Однако необходимо учитывать тот факт, что для исследования выбран не только газоносный песчаник  $k_8^H Sl_1$ , но и выбросоопасный. Поэтому в выбросоопасных и выбросонеопасных песчаниках скорость распространения продольных волн имеет существенные расхождения, чем в газоносных не газоносных песчаниках.

Участок Чапаевский расположен в Луганском геолого-промышленном районе и по структурно – тектоническому фактору относится к северной зоне мелкой складчатости. На участке Чапаевский по данным геологоразведочных работ были исследованы песчаники  $K_1SK_2$ ,  $k_2^6SK_3$ ,  $K_9SK_7$ .

Газоносность вмещающих пород на участке Чапаевский исследовалась при помощи КИИ - 65, методами промысловой геофизики и газовым каротажем. При исследовании песчаников, как промысловой геофизикой, так и прямыми испытаниями КИИ – 65 и газовым каротажем свободных скоплений газа не обнаружено, песчаники являются водо - и водогазонасыщенными. Газоносность песчаников  $K_1SK_2$ ,  $k_2^6SK_3$ ,  $K_9SK_7$  характеризуется низкими значениями. Газоносность песчаника  $K_1SK_2$  составляет  $0,02 \text{ м}^3/\text{м}^3$  в скважине Г2550 и  $0,19 \text{ м}^3/\text{м}^3$  в скважине в Г2648. В песчанике  $k_2^6SK_3$  газоносность определена только в двух скважинах (Д2368 и Г2371) и составляет  $0,05$  и  $0,03 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . В целом песчаник характеризуется низкой газоносностью и является в пределах участка, преимущественно водонасыщенным, о чем свидетельствуют результаты испытаний КИИ – 65. Газоносность песчаника  $K_9SK_7$  составляет от  $0,01$  до  $0,14 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Наибольшая газоносность выявлена в скважинах Г2648 и Д2717, которая составляет  $0,13$  и  $0,14 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

В этих скважинах, а также в скважинах, где газопроявления не наблюдались был проведен акустический каротаж и определены значения скорости распространения продольных волн в песчаниках. Для подтверждения существенных

различий дисперсий и средних значений скорости распространения продольных волн, зарегистрированной приборами акустического каротажа между газоносными и негазоносными песчаниками было проведено их статистическое сравнение по критерию Стьюдента и критерию Фишера

При этом к газоносным отнесены песчаники, в скважинах которых наблюдались незначительные выделения газа, а к негазоносным относились песчаники, в скважинах которых выделение газа не отмечено. Объем выборки при этом составил 30 значений. Результаты статистической обработки данных приведены в табл. 3.

Таблица 3- Статистическая оценка дисперсий и средних значений скорости распространения продольных волн в газоносных и не газоносных песчаниках на участке Чапаевский

Участок разведки	Индекс песчаника	Характер газопроявления	Среднее значение, м / с	Дисперсия	Критерий Стьюдента		Критерий Фишера	
					$t_{расч.}$	$t_{табл.}$	$F_{расч.}$	$F_{табл.}$
Чапаевский	$K_1SK_2$	вода с газом	4300	140	1,76	2,04	1,17	1,85
	$K_1SK_2$	вода	4280	85				
то же	$k_2^6SK_3$	вода с газом	4200	129	1,22	2,04	1,66	1,85
	$k_2^6SK_3$	вода	4160	96				
"	$K_9Sk_7$	вода с газом	4080	115	1,49	2,04	1,38	1,85
	$K_9Sk_7$	вода	4140	72				

Как видно из табл. 3 расчетные значения  $t$  – критерия и  $F$  – критерия значительно ниже  $t_{табл.}$  и  $F_{табл.}$ , что не дает основания сделать вывод о существенных расхождениях дисперсий и средних значений  $V_p$  между газоносными и не газоносными песчаниками. Отсутствие различий  $V_p$  в средних и дисперсиях между газоносными и негазоносными песчаниками может указывать на то, что песчаники являются не совсем газоносными, так как в них содержится большое количество воды, наличие которой в значительной степени влияет на акустические свойства пород.

Таким образом, по полученным данным можно сделать вывод, что в газоносных песчаниках скорость распространения продольных волн на участках разведки «Брагиновский» и «Чапаевский» имеет повышенные значения относительно негазоносных песчаников, несмотря на то, что существенных различий  $V_p$  между газоносными и не газоносными песчаниками не установлено. На поле шахты им. А.Г. Стаханова установлены существенные различия скорости распространения продольных волн в выбросоопасных и выбросонеопасных песчаников, которые заведомо являются газоносными. Поэтому по данным акустического каротажа возможно проводить оценку газоносности песчаников.