

Пористість пісковиків Тяглівського родовища знижується від руслових до прибережно-морських. У руслових пісковиках пористість змінюється від 7,3 до 12,6 % при середньому значенні 9,3 %. В пісковиках підводних виносів рік відкрита пористість є в межах 2,7–8,0 %. Пористість прибережно-морських пісковиків змінюється від 0,06 до 1,5 % при середньому значенні 1,3 %.

Аналізуючи отримані дані, можна сказати, що загальний об'єм газів, виділений з мікропор пісковиків, до певної міри корелюється з петрографічними характеристиками пісковиків різних генетичних типів. Максимальна кількість метану притаманна пісковикам узбережжя моря, які мають найменшу кількість уламкового та вторинного кварцу, найбільшу – глинисто-слюдистих мінералів та невеликий коефіцієнт метаморфічності “С” (тобто малу кількість “жорстких” контактів). В цих пісковиках можливості утримання газів у мікропорах будуть значно вищими, ніж у пісковиках русел рік та, частково, підводних виносів рік.

Пісковики містять досить значну кількість газів (переважно метану), врахування яких є важливим при комплексному встановленні метаноносності вугільних басейнів. Вивчення газоносності вмісних порід мас-спектрометричними методами з врахування літологічних особливостей порід дає додаткову можливість для встановлення загальної газоносності вугільних басейнів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. С.С. Сокоренко, І.О. Костик. Нові дані про газоносність вуглевмісних порід Тяглівського родовища кам'яного вугілля Львівсько-Волинського басейну // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / Ин-т геотехнической механики НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 88. – С. 12–21.
2. Газоносность угольных бассейнов и месторождений СССР. – М.: Недра, 1979. – Т. 3. – 385 с.
3. Забигаило В. Е., Широков А. З. Проблемы геологии газов угольных месторождений. – Киев: Наук. думка, 1972. – 172 с.
4. Феофилова А. П. О причине изменения пористости угленосных пород среднего карбона Донбасса // Сб. памяти П. И. Степанова. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – С. 249–263
5. Угленородный массив Донбасса как гетерогенная среда / А. Ф. Булат, Е. Л. Звягильский, В. В. Лукинов и др. – Киев: Наук. думка, 2008. – 411 с.
6. Корреляция карбоновых угленосных формаций Львовско-Волинского и Любинского бассейнов / В.Ф. Шульга, А. Здановски, Л.Б. Зайцева и др. – Киев: НАНУ Украины ИГН и Польский государственный геологический институт (Верхнесилезский филиал), 2007. – 426 с.

УДК 553.17:622.411

Канд. геол.-мин. наук Л.Л.Шкуро
(ИГТМ НАН Украины)

ВЫДЕЛЕНИЕ ГАЗОНОСНЫХ ЗОН В ПЕСЧАНИКАХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

У роботі розглянуто перспективи застосування акустичного каротажу для виділення газоносних зон в розвідувальних свердловинах Донецького басейну

SELECTION OF GAS-BEARING ZONES IN SANDSTONES ON RESULTS OF ACOUSTIC LOGGING

The prospects of application of the acoustic logging are in-process considered for the selection of gas-bearing zones in reconnaissance mining holes Donetsk pool

В последние годы в Украине большое внимание стало уделяться проблеме добычи и использования газа, находящегося в углях и породах угленосных месторождений. Решение этой задачи позволит в определенной степени удовлетворить потребность нашей страны в одном из важнейших энергетических носителей, а также улучшить безопасность разработки угольных месторождений и в значительной степени предотвратить загрязнение окружающей среды.

Одним из перспективных направлений при решении задач связанных с прогнозной оценкой газоносности горных пород является применение геофизических методов исследования скважин. Наиболее широкое распространение из геофизических методов получили электрический радиоактивный и акустический каротаж. Накопленный опыт оценки коллекторских свойств пород и выделения газоносных зон в нефтегазовых скважинах показывает, что наиболее универсальным и информативным методом геофизических исследований скважин, является акустический каротаж (АК) [1-4]. Коллекторские свойства, в основном, определяются по акустическому каротажу, так как показания АК непосредственно связаны с пористостью и на них не влияет изменения минерализации пластовых вод по сравнению с методом электрометрии и радиоактивного каротажа. Особенно эффективно можно использовать данные акустического каротажа на стадии поисково-оценочных работ, когда необходимо получить данные о наличии углей и пород, способных играть роль коллекторов газа.

Применение акустического каротажа позволяет определять как коллекторские свойства песчаников, такие как общая и открытая пористости, так и выделять зоны повышенного напряженного состояния и трещиноватости, которые характерны для газоносных песчаников. Коллекторские свойства песчаников являются основными параметрами при решении задач, связанных с распределением газов в нетронутом массиве, с газовыделением в горные выработки и во многом определяют не только газоемкостные свойства пород, но и их фильтрационную способность, связанную с миграцией и дегазацией газа. Поэтому одним из основных путей прогнозной оценке газоносности песчаников является эффективная оценка их коллекторских свойств.

Использование АК для выделения коллекторов, главным образом, базируется на большом влиянии на кинематику и динамику упругих волн несплошности горных пород, обусловленной пористостью первичного и вторичного происхождения. Наиболее часто встречаются коллектора так называемого смешанного типа. Поровое пространство последних представлено как порами первичного происхождения (межзерновая пористость), образовавшимися в процессе осадконакопления, так и порами вторичного происхождения - трещинами, кавернами, карстами, сформировавшимися на стадиях диагенеза и катагенеза под действием тектонических процессов, выщелачивания,

перекристаллизации и уплотнения горных пород [5]. Так как коллекторские свойства неразрывно связаны с количественной характеристикой газоносности горных пород, а определяющими факторами газоносности для песчаников являются пористость и трещиноватость, то и функции акустического каротажа сводятся к их определению.

Расчет коллекторских свойств по данным АК базируется на выявлении эмпирических зависимостей между скоростью распространения продольных волн (V_p), измеренной приборами акустического каротажа в углеразведочных скважинах и лабораторными определениями общей пористости (K_p). Методика определения общей пористости по данным АК, изложена в руководстве [6]. Погрешность определения значений пористости составляет 2 - 2,5 %.

Использование этой методики позволяет по результатам акустического каротажа, в отличие от лабораторных определений, обеспечить непрерывное определение пористости по всему разрезу скважин. Это в свою очередь дает возможность использовать данные по пористости для подсчетов запасов газа в продуктивных пластах песчаника. Оценка общей пористости по данным АК широко внедрена в практику геологоразведочных работ.

Необходимо отметить, что стандартная методика разработана только для определения общей пористости. Для определения коэффициента открытой пористости ($K_{o.p}$) по данным АК не существует единой методики, по которой в пределах Донбасса рассчитывались значения открытой пористости. В работе [7] сделаны попытки для определения эмпирическим путем значений $K_{o.p}$ по V_p для участка Южно – Донбасский. Рассчитанное эмпирическое уравнение для определения открытой пористости по данным АК рекомендуется использовать и для других участков разведки.

Однако в углеразведочных скважинах недостаточно определить пористость песчаников, так как газоносные и не газоносные песчаники могут характеризоваться почти одинаковыми значениями пористости. Поэтому, чтобы установить является песчаник коллектором газа или нет, необходимо искать дополнительные критерии их оценки.

Как известно, наличие газа, в зависимости от вещественного состава и структуры песчаников, создает дополнительную нагрузку на скелет породы, увеличивая тем самым дифференциальное давление, которое вызывает значительные внутренние напряжения. Последнее оказывает влияние на формирование зон с повышенным напряженным состоянием. Повышенное напряженное состояние массива горных пород (песчаников) в свою очередь ведет к увеличению скорости распространения продольных волн. Подтверждением этого являются результаты экспериментальных исследований, которые приведены в работе [2] и указывающие на то, что с увеличением содержания газа в породах, скорость распространения продольных волн возрастает. В нефтяных скважинах еще в 70 – 80 годах прошлого столетия разработаны методики прогнозирования качественной и количественной оценки зон аномально высоких пластовых давлений по данным акустического каротажа. Согласно разработанным методикам отмечается высокая возможность

акустического каротажа для прогнозирования и определения зон аномально высоких пластовых давлений с большим коэффициентом аномальности (до 1,9 и более) [8, 9]. В углеразведочных скважинах определение зон повышенного напряженного состояния в толще пород практически не проводилось. Однако, учитывая тот факт, что с увеличением приложенных напряжений, скорость распространения продольных волн возрастает, то можно сделать вывод, что если песчаники в пределах участка разведки или шахтного поля не претерпели существенных преобразований и обладают высокими значениями пористости (7-10 %), то скорость распространения продольных волн в газоносных и не газоносных песчаниках должна существенно отличаться.

Для подтверждения этого вывода были проведены следующие исследования. На поле шахты им. А. Г. Стаханова и участке разведки Северо - Родинский, которые расположены в Красноармейском геолого-промышленном районе, в песчаниках m_8Sm_9 , $m_6^2Sm_8$, $m_6^1Sm_6^2$, m_4Sm_6 , $m_4^HSm_4^B$, $l_8Sl_8^2$, L_7Sl_7 , l_4Sl_5 , K_7Sk_7 , $k_8^HSl_1$, k_8Sk_9 было проведено определение скорости распространения продольных волн (V_p) в скважинных условиях. В этих песчаниках при проведении регионального прогноза выбросоопасности горных пород был проведен отбор проб, по которым определены значения коэффициента открытой пористости и проведена оценка выбросоопасности. При этом к газоносным отнесены песчаники l_4Sl_5 и $k_8^HSl_1$, в которых происходили выбросы пород и газа, а не газоносными являются песчаники m_8Sm_9 , $m_6^2Sm_8$, $m_6^1Sm_6^2$, m_4Sm_6 , $m_4^HSm_4^B$, $l_8Sl_8^2$, L_7Sl_7 , K_7Sk_7 , k_8Sk_9 , выбросов в которых не наблюдалось. Как известно, все выбросоопасные пласты песчаника, высокогазоносные.

В табл. 1 приведены сведения об объектах исследования, данные о количестве проб, отобранных из геологоразведочных скважин, по которым определялись значения пористости и скорости распространения продольных волн в скважинных условиях.

Таблица 1 - Данные о распределении проб, отобранных из геологоразведочных скважин на участке разведки Северо-Родинский и поле шахты им. А.Г. Стаханова

Геолого-промышленный район	Участок разведки, шахтное поле	Марка углей	Генетический тип песчаников	Количество проб
Красноармейский	Северо-Родинский	Г	Р	45
то же	то же	Г	ПВР	320
"	"	Г	ПМ	30
"	им. А.Г. Стаханова	Г	Р	11
"	то же	Г	ПВР	48
"	"	Г	ПМ	6

Как видно из табл.1. большинство проб по фациальной принадлежности относится к подводным выносам рек (ПВР) и значительно меньшее количество к русловым (Р) и прибрежно-морским (ПМ) песчаникам.

Исследования проводились по нескольким направлениям: определение средних значений $K_{o.p}$ и V_p в пределах участка разведки и шахтного поля, определение $K_{o.p}$ и V_p в газоносных и не газоносных песчаниках с учетом их фациальной принадлежности по отдельным скважинам и в пределах всего участка разведки и шахтного поля.

В табл.2 приведены средние значения $K_{o.p}$ и V_p , определенные в песчаниках на участке Северо - Родинский и поле шахты им. А.Г. Стаханова.

Таблица 2 - Средние значения $K_{o.p}$ и V_p на участке разведки Северо - Родинский и поле шахты им. А.Г. Стаханова

Участок разведки, шахтное поле	Марка угля	Коэффициент открытой пористости, %	Скорость распространения продольных волн, м/с
Северо - Родинский	Г	7,3	4380
шх. им. А.Г. Стаханова	Г	8,6	4331

Как видно из табл.2 средние значения коэффициента открытой пористости и скорости распространения продольных волн на участке разведки Северо – Родинский и поля шахты им. А. Г. Стаханова отличаются незначительно. Это говорит о том, что песчаники не претерпели значительных катагенетических преобразований, характеризуются высокими значениями пористости и могут являться потенциальными коллекторами газа. Однако, чтобы выявить отличаются ли данные АК в газоносных и не газоносных песчаниках необходимо провести более детальные исследования.

С этой целью были проанализированы результаты исследований $K_{o.p}$ и V_p в песчаниках на участке разведки Северо - Родинский и поле шахты им. А.Г. Стаханова, с учетом их фациальной принадлежности (табл. 3). Анализ табл.3 показывает, что пористость песчаников, определенная по пробам как на участке разведки Северо - Родинский, так и на поле шахты им. А.Г. Стаханова для каждого генетического типа имеет тенденцию к уменьшению от русловых до прибрежно-морских песчаников. При этом скорость распространения продольных волн, измеренная в скважинных условиях для каждого генетического типа возрастает от русловых до прибрежно-морских песчаников. Несмотря на то, что русловые песчаники, содержат 50-70 % зерен кварца, характеризуются большой протяженностью контактов, обладают высокими упругими свойствами и им присуща способность к накоплению значительной энергии упругой деформации, однако при этом, значения V_p значительно ниже, чем в прибрежно-морских песчаниках.

Таблица 3 - Средние значения скорости распространения продольных волн и коэффициента открытой пористости песчаников с учетом их фациальной принадлежности на участке разведки Северо-Родинский и поле шахты им. А.Г. Стаханова

Участок разведки, шахтное поле	Марка угля	Генетический тип песчаника	Коэффициент открытой пористости, %	Скорость распространения продольных волн, м/с
Северо-Родинский	Г	Р	9,5	4276
то же	Г	ПВР	8,7	4286
"	Г	ПМ	3,8	4580
шх. им. А.Г. Стаханова	Г	Р	12,1	4250
то же	Г	ПВР	9,7	4260
"	Г	ПМ	4,1	4485

Прибрежно-морские песчаники с пониженным содержанием кварца обломочного и регенерационного характеризуются лучшей отсортированностью и степенью окатанности материала. Это способствовало в процессе осадконакопления и последующих катагенетических изменениях к созданию более плотной упаковки, слагающих песчаники частиц и привело к образованию песчаников с низкими коллекторскими свойствами и высокими значениями скорости распространения продольных волн. Этот факт необходимо учитывать при определении коллекторов газа по данным АК. Однако, по данным, приведенным в табл. 1 в пределах участка разведки Северо-Родинский и поля шахты им. А.Г. Стаханова песчаники, в основном, относятся к фациям подводных выносов рек, русловым и значительно реже встречаются слои прибрежно-морских песчаников, которые в большинстве случаев залегают под известняками. Поэтому высокие значения V_p (4600-4800 м/с), которые характерны для прибрежно-морских песчаников, можно отнести к аномальным и для оценки газоносности не использовать, так как их пористость не превышает выше 5 %. и они не могут быть коллекторами газа, из-за низких значений пористости) [10].

Коллекторами газа, как известно, являются песчаники с пористостью выше 5 %. К таким песчаникам относятся русловые и подводных выносов рек. Анализируя значения определения V_p в таких песчаниках, обращает на себя внимание тот факт, что в песчаниках одной и той фации, которые характеризуются почти одинаковыми коллекторскими свойствами (7-10 %) скорость распространения продольных волн имеет различные значения. Наибольшими значениями V_p (исключая прибрежно-морские песчаники), как на участке Северо-Родинский, так и на поле шахты им. А.Г. Стаханова характеризуются газоносные песчаники l_4Sl_5 , $k_8^HSl_1$, в которых при прохождении горных выработок произошли выбросы пород и газа. Скорость

распространения продольных волн в газоносных песчаниках имеет тенденцию к возрастанию, что указывает на то, что в эти песчаники находятся в зонах повышенного напряженного состояния. В песчаниках m_8Sm_9 , $m_6^2Sm_8$, $m_6^1Sm_6^2$, m_4Sm_6 , $m_4^HSm_4^B$, $l_8Sl_8^2$, L_7Sl_7 , K_7Sk_7 , k_8Sk_9 , которые являются не газоносными, скорость распространения продольных волн значительно ниже, чем в газоносных песчаниках.

Для подтверждения существенных различий дисперсий и средних значений V_p между газоносными (l_4Sl_5 , $k_8^HSl_1$) и не газоносными песчаниками ($m_6^1Sm_6^2$, $l_8Sl_8^2$) было проведено их статистическое сравнение по критерию Стьюдента (t -критерию) и критерию Фишера (F -критерию). Объем выборок при этом составлял 30 значений. Необходимо отметить, что для исследований были выбраны песчаники подводных выносов рек, пористость которых колеблется в пределах 7-10 %. Результаты статистической обработки приведены в табл. 4.

Таблица 4 - Статистическая оценка дисперсий и средних значений скорости распространения продольных волн в скважине для песчаников различной степени газоносности

Индекс песчаника	Среднее значение $V_p \times 10^3$, м / с	Дисперсия	Критерий Стьюдента		Критерий Фишера	
			$t_{РАСЧ.}$	$t_{ТАБЛ.}$	$F_{РАСЧ.}$	$F_{ТАБЛ.}$
$m_6^1Sm_6^2$	4,126	0,0202	12,8	2,04	2,38	1,85
l_4Sl_5	4,422	0,0085				
$m_6^1Sm_6^2$	4,126	0,0202	16,3	2,04	2,91	1,85
$k_8^HSl_1$	4,448	0,0069				
$l_8Sl_8^2$	4,262	0,0181	6,57	2,04	2,14	1,85
l_4Sl_5	4,422	0,0085				
$l_8Sl_8^2$	4,262	0,0181	8,77	2,04	2,62	1,85
$k_8^HSl_1$	4,448	0,0069				

Как показали результаты исследований между газоносными ($k_8^HSl_1$, l_4Sl_5) и не газоносными песчаниками ($m_6^1Sm_6^2$, $l_8Sl_8^1$) наблюдаются существенные расхождения в средних значениях ($t_{РАСЧ.} > t_{ТАБЛ.}$) и в дисперсиях ($F_{РАСЧ.} > F_{ТАБЛ.}$). Это дает основание предположить, что по данным акустического каротажа можно выделять газоносные песчаники. Согласно полученным результатам исследования к газоносным относятся песчаники, скорость распространения продольных волн которых изменяется в диапазоне 4350-4550 м/с. К не газоносным песчаникам относятся песчаники значения скорости распространения продольных волн находятся в пределах 3850 - 4350 м/с. Этот вывод сделан для песчаников с пористостью 7 – 10 %, которые вмещают угли марки Г. Учитывая, что на участке Северо - Родинский песчаники по данным

акустического каротажа характеризуются повышенными значениями скорости распространения продольных волн, то можно предположить, что они являются потенциальными коллекторами газа. Поэтому участок Северо-Родинский является перспективным для добычи свободного метана скважинами с дневной поверхности.

Таким образом, применение данных акустического каротажа позволит с одной стороны получить более широкую информацию о коллекторских свойствах песчаника, которую эффективно можно использовать для выделения потенциальных коллекторов газа в углеразведочных скважинах, а с другой стороны даст возможность непосредственно путем использования скорости распространения продольных волн, измеренной приборами акустического каротажа, проводить выделение газоносных зон песчаников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ивакин В.Б. Акустический метод исследования скважин / Ивакин В.Б., Карус В.В., Кузнецов О.Л. – М.: Недра, 1978. – 198 с.
2. Булатова Ж.М. Акустический каротаж / Булатова Ж.М., Волкова Е.А., Дубров Е.Ф. - Л.: Недра, 1970. - 265 с.
3. Гуторов Ю.А. Геолого – промысловая информативность акустического каротажа на поздней стадии разработки нефтегазовых месторождений / Гуторов Ю.А., Грубова Л.Н. - Октябрьский, 2007. - 140 с.
4. Гречухин В.В. Изучение угленосных формаций геофизическими методами. - М.: Недра, 1980. - 360 с.
5. Дзедзюль И.П. Акустический метод выделения коллекторов с вторичной пористостью.
6. Применение акустического каротажа для изучения физико-механических свойств терригенных пород каменноугольных отложений Донбасса. - Л.: НПО, Геофизика, 1974. - 81 с.
7. Гончаренко В.А. Геофизическая оценка параметров коллекторов песчаников в зонах скопления метана на шахтах Донбасса / Гончаренко В.А., Герасименко Т.В., Свистун В.К., Бендик И.Н. // Геотехническая механика. 2006. – № 67. – С.224 - 229.
8. Добрынин В.М. Методы прогнозирования аномально высоких давлений / Добрынин В.М., Серебряков В.А. - М.: Недра, 1978. - 232 с.
9. Александров Б.Л. Аномально высокие пластовые давления в нефтегазовых бассейнах. - М.: Недра, 1987. – 216 с.
10. Методика определения газоносности вмещающих пород угольных месторождений при геологоразведочных работах.- М.: Недра, 1988. - 110 с.

УДК 539.3+551.311

Д-р физ.–матем. наук В.Н. Чехов
(Инмех НАН Украины)

ОБ ОДНОЙ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЕ В ЗАДАЧАХ СКЛАДКООБРАЗОВАНИЯ В СЛОИСТОЙ ТОЛЩЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Розглядається проблема складкоутворення у шаруватій товщі земної кори. В якості розрахункової схеми обрано шарувате тіло, яке складається із шаруватого пакету, спряженого з двома півпросторами. Досліджено випадок, коли збурення компонент вектора переміщення шаруватого пакету загасають в напрямку обох півпросторів. Для розв'язку задачі використовується тривимірна лінеаризована теорія стійкості при малих докритичних деформаціях у сполученні із моделлю кусково-однорідного середовища.

ON A DESIGN SCHEME FOR THE PROBLEM OF FOLDING OF LAYERED ROCKS IN THE EARTH'S CRUST

The problem of folding of layered rocks in the earth's crust considered. As a design scheme chosen layered body, which consists of a layered package, paired with two half-spaces. The case