

УДК 553.981:553.94:543.88 (477.61/62)

Докт. геол. наук В.А. Привалов
(ДонНТУ),
канд. техн. наук В.А. Анциферов,
канд. геол.-минерал. наук Е.А. Панова
(УкрНИМИ НАН Украины),
докт. геол. наук Р.Ф. Саксенхофер
(Леобенский горный университет)
докт. геол. наук А. Изар
(Университет А. Пуанкаре I)

ГАЗОГЕНЕРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА УГЛЕВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ДОНБАССА: РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Експериментальні дослідження за методом *Rock-Eval* свідчать, що деякі фаціальні інтервали низькопроникних кластичних порід Донбасу (дельтові алевроліти, лагунні та морські аргіліти) мають значний газогенераційний потенціал. Продуктивне газонасичення вугленосних відкладів відбувалося за рахунок термokatалітичної генерації вуглеводневих газів з концентрованої та розсіяної органічної речовини під час занурення відкладів й варіацій теплових потоків. В умовах розвитку техногенної тріщунуватості, котра зумовлена видобутком вугілля, низькопроникні газонасичені кластичні породи слугують додатковим джерелом для формування аномальних рівней метанозбагаченості гірничих виробок.

QUANTIFICATION OF GAS GENERATION PROPERTIES FOR COAL-BEARING ROCKS IN THE DONETS BASIN: RESULTS OF EXPERIMENTS

The results of *Rock-Eval* suggest that some facial intervals from low-permeable clastic host rocks in the Donbas (deltaic siltstones, lacustrine and marine mudstones) have significant gas generation potential. The gaseous hydrocarbons in coal-bearing measures are generated as result of thermocatalytic breakdown of concentrated and dispersed organic matter. The methane is released during the mining process when the coal seam is fractured. However, coal extraction tends to lead to the escape into mining works of more methane than was originally trapped within the mined coal seam itself. This is because of the impact of additional methane source from fractured surrounding strata containing gas generated from low-permeable clastic gas-prone rocks.

Угольная промышленность Украины является важнейшей составляющей национального топливно-энергетического комплекса, обеспечивает топливом и сырьем энергетику, металлургию, химическую и ряд других отраслей промышленности и поэтому выступает в качестве основного фактора энергетической безопасности государства. В условиях интенсификации горно-эксплуатационных работ и их перехода на все более глубокие горизонты, газовый режим горных выработок становится основным фактором, который существенно сказывается на условиях безопасности труда и сдерживает темпы добычи угля. В частности, среди основных причин современного высокого уровня аварийности и травматизма

на шахтах Донбасса преобладают процессы, связанные с выделением метана в горные выработки, которые приводят к взрывам метановоздушных смесей и угольной пыли, а также инициируют широкий спектр газодинамические явлений.

Являясь источником постоянной опасности для шахтеров, метан, даже будучи извлеченным на дневную поверхность системами вентиляции или в результате свободной миграции газов в трещиноватых подработанных массивах, существенно загрязняет атмосферу, вносит вклад в парниковый эффект, может воспламеняться и создавать условия для возникновения взаимосвязанных негативных процессов. Несмотря на возросший в последние годы интерес к угольному метану в качестве перспективного источника энергии и стремление вовлечь в топливно-энергетический баланс страны ресурсы нового для Украины энергоносителя, вопросы обеспечения безопасного ведения горных работ по-прежнему остаются приоритетными.

В крупнейшем в Украине - Донецком бассейне на протяжении карбона в условиях колебательных движений, периодических трансгрессий и регрессий происходило накопление и последующее захоронение неорганических осадков и фитомассы. Суммарное количество органического вещества (ОВ), сконцентрированного в угольных пластах, пропластках и рассеянного во вмещающих породах Донецкого бассейна в пределах территории Украины, по расчетам В.И. Узиюка и др. [1] может быть оценено в пересчете на угольную массу в 958 млрд. т.

Результаты определений изотопного и химического состава горючих газов угольных пластов [2,3], однозначно показали, что газообразные углеводороды в угленосной толще Донбасса имеют термогенное происхождение, т.е. возникли в результате термокаталитических реакций трансформации исходного ОВ при погружении осадков [4] и изменчивых постинверсионных тепловых потоках [5]. Масштабы объемов генерированных в процессе созревания ОВ в угленосной толще углеводородных газов оцениваются в 278 трлн. м³ [1]. Между тем, самые смелые оценки ресурсов угольного метана, сохранившегося до настоящего времени в Украинской части Донбасса, колеблются в пределах 12 - 25 трлн. м³ [6], что, с одной стороны, может указывать на гигантские потери углеводородных газов результате инверсионных и складкообразовательных процессов [4], с другой стороны, может свидетельствовать о недооценке реальной газоносности углевмещающих толщ [2, 7].

Практически все шахтные поля Донбасса, за исключением восточных антрацитовых районов, характеризуются высоким содержанием метана в углях (от 8-10 до 25-30 м³/т с.б.м.). Однако, данные многолетних инструментальных замеров фактической метанообильности выемочных участков показывают, что выделение метана на тонну суточной добычи может в несколько раз превышать природную метаноносность разрабатываемого угольного пласта. Вне всякого сомнения, рост газовыделения в горные выработки связан с притоками метана из находящегося в условиях разгрузки наработанного и подработанного углепородного массива.

Традиционно, несоответствие в уровнях природной метаноносности и фактической газообильности участков увязывалось с каптажом метана из близлежа-

щих к разрабатываемому пласту угольных пластов-спутников, а также интервалов трещиноватых или высокопористых коллекторов (песчаников), где метан локализован флюидоупорами, тектоническими экранами или гидродинамическим напором пластовых вод [2]. Не уделялось должного внимания возможности техногенно-обусловленной миграции газа из всего спектра углеводородных пород, большая часть которых представлена плотными отложениями с низкой матричной проницаемостью (аргиллитами и алевролитами). Последние, как и угольные пласты, содержат определенные количества исходного органического вещества преимущественно в рассеянной форме (РОВ), т.е. могут являться потенциальным источником автохтонного газонасыщения нетронутого углеводородного массива *in situ* и аллохтонного газовыделения в пространство горных выработок в условиях развития техногенной газопроницающей трещиноватости.

Низкопроницаемые отложения с интенсивным газонасыщением широко распространены и задокументированы в ряде угленосных и нефтегазовых осадочных бассейнов. Так, например, на юге Тимано-Печорской нефтегазовой провинции верхняя часть разреза Курьинской депрессии сложена мощной (до 1500 м) однообразной толщей регионально газонасыщенных аргиллитов [8] и глинистых алевролитов с подчиненными прослоями песчаников и известняков. Особенностью этих отложений, занимающих промежуточное положение между коллекторами и крышками, является отсутствие условий для концентрации газа в крупные залежи.

Оценка газового режима углеводородных, в том числе низкопроницаемых пород угленосной толщи Донбасса является актуальной теоретической и прикладной проблемой, необходимость решения которой постоянно возникает при определении источников высокой газообильности горных выработок при подземной разработке угольных месторождений.

Предметом настоящей публикации является экспериментальная оценка и сопоставление газогенерационных свойств ОВ угольных пластов и углеводородных кластических пород Донбасса на примере стратиграфического интервала $M_2 - O_2$ (верхи московского - низы касимовского ярусов).

Из керна геологоразведочных скважин МС-598 и МС-599 (Донецко-Макеевский район, участок «Кальмиусский рудник», поле шх. им. А.Ф. Засядько) были отобраны для экспериментальных лабораторных исследований 7 проб углей и 67 проб вмещающих кластических пород.

Участок «Кальмиусский рудник» расположен в северо-западной части Донецко-Макеевского района в поднятом крыле Ветковской флексуры (рис. 1). Высокая степень газонасыщенности угольных пластов ($19-23 \text{ м}^3/\text{т}$ с.б.м.) и газонасыщенности угленосных отложений проявила себя серией свободных газовыделений из разведочных скважин, пробуренных в сводовой части антиклинального элемента флексуры. Запасы метана в угленосной толще горного отвода шахты им. А.Ф. Засядько оцениваются: в угольных пластах в $4,7$ млрд. м^3 ; в трещиноватых песчаниках - в $12,9$ млрд. м^3 [9].

Для количественной оценки ОВ отобранных проб в Леобенском горном университете (Австрия) был проведен пиролиз с использованием установки *Rock*

Eval 2+ по методике Ж. Эспиталье [10]. В основе метода *Rock-Eval (whole rock evaluation)* - тепловая обработка в атмосфере гелия по специальной температурной программе микропроб горных пород с параллельным определением объемов выделившихся газо- и парообразных продуктов в виде сигналов S_1 , S_2 . По мере достижения температур порядка 300 °С из пробы удаляются ранее отделившиеся от керогена, свободно мигрирующие или сорбированные на минеральной матрице углеводороды (УВ) ряда $C_1 - C_{33}$ (пик S_1). При более высоких температурах происходит крекинг керогена и освобождаются химически связанные, латентные УВ (пик S_2). Другими словами, величина S_2 показывает остаточный потенциал исследуемой горной породы генерировать УВ при более глубоком погружении осадочных толщ или всплесках тепловых потоков [11].

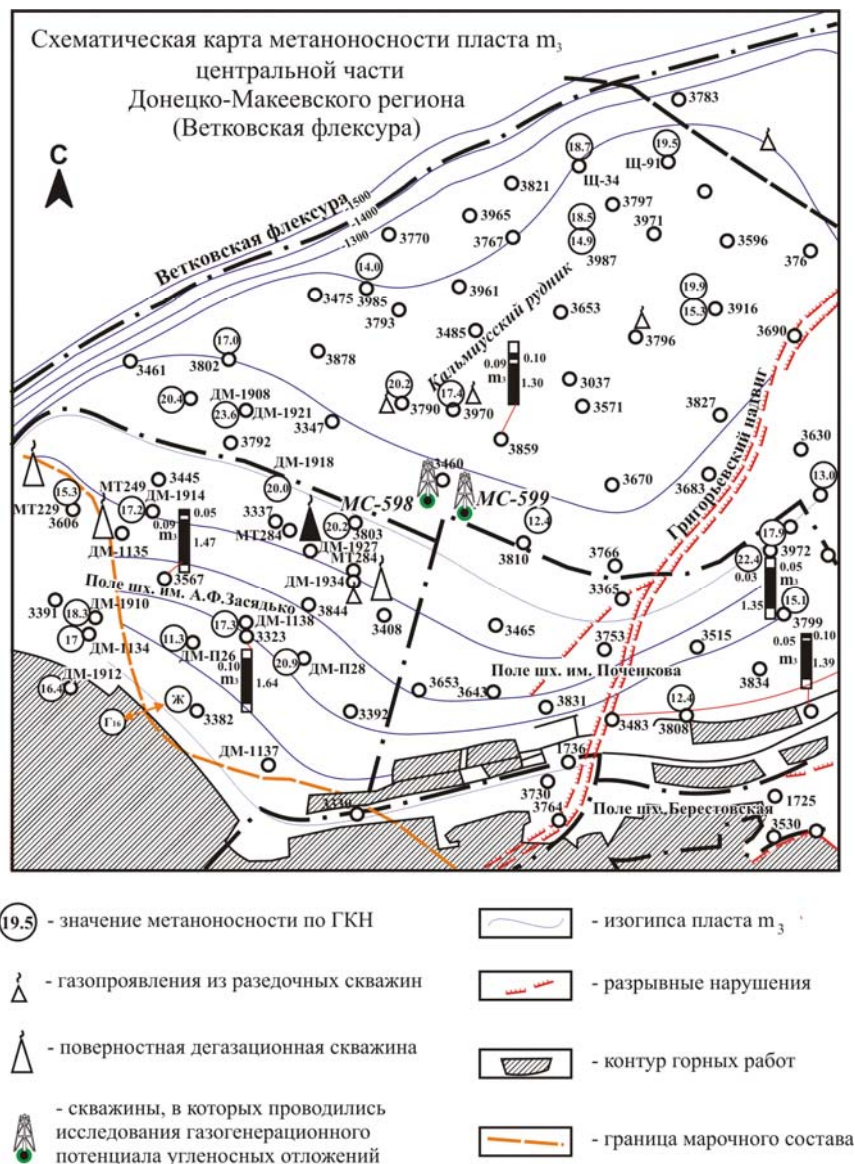


Рис. 1. Схематическая карта метаноносности пласта m_3 в центральной части Донецко-Макеевского района (Ветковская флексура}

Представительные навески исследуемых углей и вмещающих горных пород

были подвергнуты измельчению до фракции < 250 мкм, на основе которой с помощью прибора *Leco CS-300* были выполнены определения содержания и органического углерода ($C_{орг}$, г). Путем нормализации к содержанию органического углерода ($C_{орг}$, г) первичные данные были пересчитаны на величину водородного индекса ($HI = S_2 / C_{орг}$). Следует отметить, что при низких значениях водородного индекса HI, который отражает остаточной потенциал генерации УВ из материнских пород, перспективы нефтегазоносности осадочных бассейнов резко сокращаются. Для 18 из исследованных проб угольных пластов и рассеянного органического вещества (РОВ) вмещающих пород нами были также выполнены дискретные замеры показателя отражения витринита R_{oi} (не менее чем в 200 точках) в аншлифах по общепринятой методике с определением среднего значения R_o .

С целью расшифровки информации о составе исходного ОВ кластических пород и углей, а также палеоэкологических обстановках его накопления в лаборатории *UMR G2R* университета А. Пуанкаре I (Франция) было выполнено определение биомаркеров - групп углеводородных соединений или своеобразных "химических окаменелостей", которые сохранили особенности строения исходных биоорганических молекул [12]. Органическое вещество, сконцентрированное в пластах ископаемых углей и рассеянное во вмещающих породах угленосной толщи Донбасса, характеризуется большим разнообразием, которое обусловлено различиями в природе исходного органического материала, условий его накопления, обводненности и химических характеристик среды. Для идентификации и изучения характеристик высокомолекулярных углеводородных соединений в углях измельченные в порошок навески 28 проб были подвергнуты процедуре экстрагирования хлороформом при температуре 60 °С в течение 45 мин. Разделение индивидуальных соединений в экстрагированных смесях органических веществ на алифатические, ароматические и полярные углеводороды и определение биомаркеров было выполнено в лаборатории *UMR G2R* университета А. Пуанкаре I (Франция) с использованием капиллярных колонок с привитой силиконовой фазой методом сочетания газовой хроматографии (прибор *Hewlett-Packard 5890-II*) и масс-спектрометрии (селективный детектор *HP 5971* в режиме полного сканирования). В основе масс-спектрометрического метода исследования органических веществ лежит их ионизация и регистрация образующихся при этом заряженных частиц, соответствующих по массе молекулам анализируемого соединения. Совместное использование информации, извлекаемой из масс-спектров веществ и время удерживания их пиков на хроматограммах, позволили идентифицировать по соотношению в масс-спектрометре массы иона к заряду (m/z) ряд биомаркеров в виде характерных алканов, гопанов и стеранов.

Литолого-стратиграфические колонки исследуемых скважин, схема опробования и результаты исследований с использованием методов пиролиза *Rock-Eval* и биомаркеров представлены на рис. 2.

В связи с тем, что вмещающие угольные пласты породы неоднородны с точки зрения литологии и режимов осадконакопления, был проведен детальный анализ кернового материала с интерпретацией фациальных обстановок осадконакопления. В изучаемом разрезе нами выделены следующие фации, которые

приведены в таблице 1.

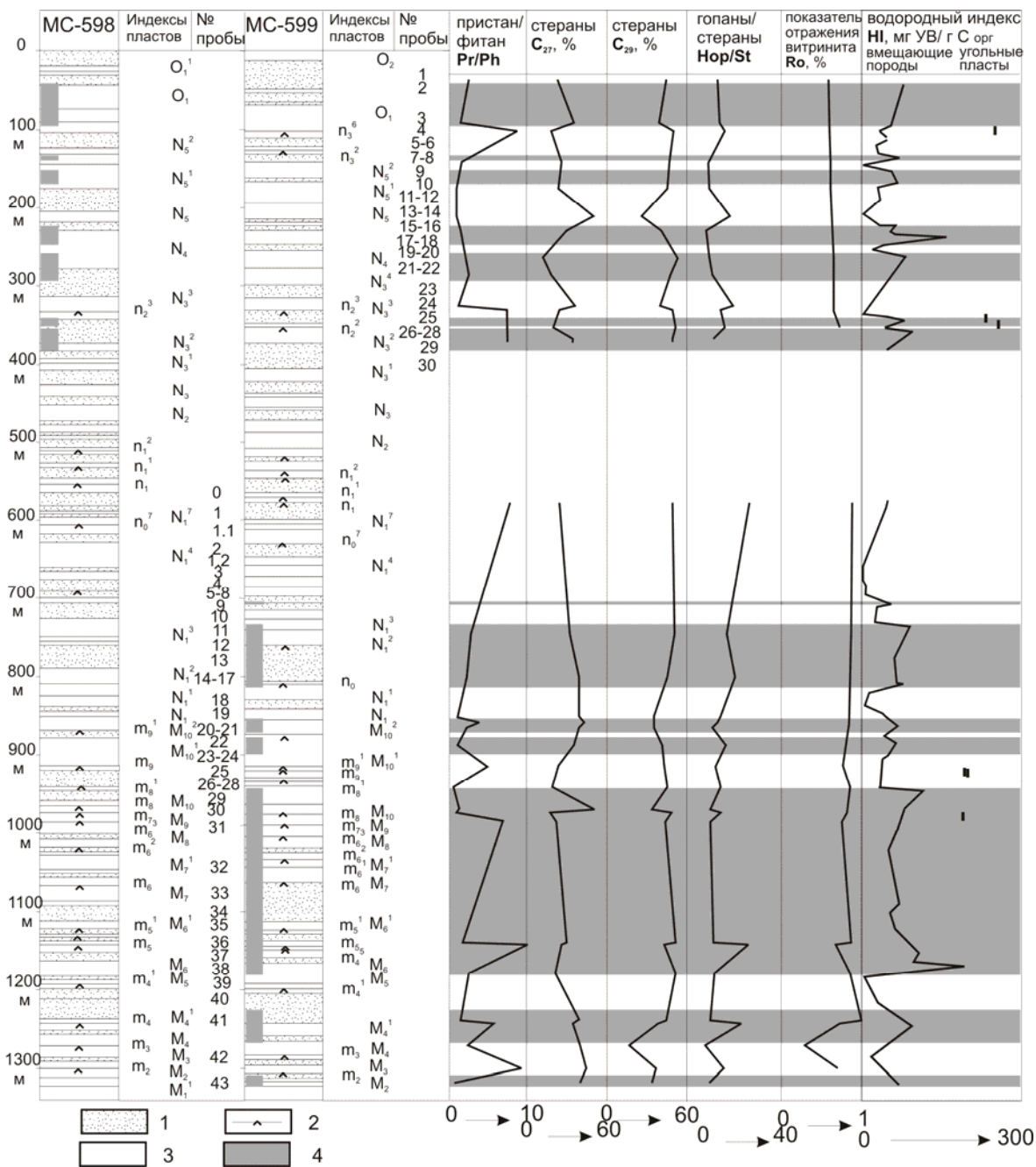


Рис. 2 – Литолого-стратиграфические колонки скважин MC-598, MC-599, схема опробования и результаты исследований с использованием методов пиролиза Rock-Eval и биомаркеров:

1 - песчаники; 2 - угольные пласты; 3 - аргиллиты и алевролиты; 4 - интервалы разреза с кластическими породами, которые обладают газогенерационным потенциалом

Величина $HI > 45$ мг УВ/г $C_{орг}$ позволяет объективно судить о потенциальных возможностях материнских толщ генерировать углеводороды: в диапазоне $HI = 45...195$ мг УВ/г $C_{орг}$ горные породы обладают газогенерационным потенциалом, в интервале $HI = 195...295$ мг УВ/г $C_{орг}$ - нефтегазогенерационным по-

тенциалом [13]. При $NI > 295$ мг УВ/г $C_{орг}$ осадочные образования генерируют УВ нефтяного ряда.

Таблица 1 – Фации каменноугольных отложений в разрезах скважин МС-598 и МС-599

Фациальная обстановка седиментации и тип отложений	Индексы фаций	Литологическая характеристика угольных отложений с качественной и количественной характеристиками растительных остатков
<i>Континентальные отложения</i>		
Песчаные осадки речных русел	АР	Песчаники, преимущественно среднезернистые, косослоистые. В значительном количестве крупные и мелкие обугленные или минерализованные стволы и стебли, растительный детрит
Песчано-алевритовые осадки поймы	АП	Песчаники мелкозернистый, горизонтально-слоистые или с косоволнистой прерывистой слоистостью и алевролиты. Значительное количество стеблей, листьев и обугленного растительного детрита
Глинисто-алевритовые осадки заболоченных прибрежно-морских и дельтовых равнин	БР	Песчаники мелкозернистые, алевролиты, аргиллиты, текстура комковатая, обилие корневых остатков, создающих стигмариевую почву («кучерявчик»)
Углисто-глинистые осадки заиливающихся частей обводненных торфяных болот	БЗ	Углистые аргиллиты, текстура тонкогоризонтально-слоистая. Обилие обугленных растительных остатков хорошей сохранности, создающих листоватое сложение породы
Угольные отложения торфяных болот	БТ	Угли
<i>Отложения, переходные от континентальных к морским</i>		
Глинисто-алевритовые и песчаные осадки приморских озер	ПО	Песчаники мелкозернистые, горизонтально-слоистые, алевролиты и аргиллиты. Очень много стеблей и листьев хорошей сохранности, обилие растительного детрита
Глинистые и алевритовые осадки лагун и заливов	ПЛ	Аргиллиты и алевролиты. Значительное количество мелких обугленных стеблей и стволов, обилие крупного и тонкого растительного детрита
Песчаные осадки выносов рек (подводная часть дельты)	ПР	Песчаники средне- и мелкозернистые, косослоистые. Значительное количество обугленных крупных стволов и мелких стеблей и растительного детрита
Песчано-алевритовые осадки зоны волновой ряби заливно-лагунного побережья	ПВ	Песчаники мелкозернистые, косоволнистослоистые, алевролиты. Обилие мелких стволов и стеблей, крупного и тонкого растительного детрита
<i>Морские отложения</i>		
Терригенные глинисто-алеврито-песчаные осадки, осадки материкового моря	МТ	Песчаники мелкозернистые, не слоистые, реже ко- или тонкогоризонтально-слоистые. Алевролиты и аргиллиты. Редко тонкий растительный детрит
Морские карбонатные осадки	МК	Растительные остатки отсутствуют

Полученные результаты определений параметров HI и C_{org} (рис. 2, *a* и *б*) показывают, что угольные пласты (фацция БТ) в анализируемом разрезе обладают нефтегазогенерационным потенциалом ($HI = 192...258$ мг УВ/г C_{org}) и характеризуются содержанием $C_{org} = 53,0...74,5$ %. Напротив, исследованные пробы обломочных пород, относящиеся к аллювиальным (АР, АП), дельтовым (БР), озерным (ПО), лагунно-заливным (ПЛ) и терригенным морским (МТ) фациям способны генерировать только горючие газы (главным образом, метан). Для указанных выше фаций в таблице 2 приведены величины водородного индекса HI и содержания органического углерода C_{org} .

Таблица 2 – Величины водородного индекса HI и содержания органического углерода C_{org} в пробах кластических пород с установленным газогенерационным потенциалом

Показатель	ФАЦИИ					
	АР	АП	БР	ПО	ПЛ	МТ
	(минимальное ... максимальное значение / среднее значение \pm среднее квадратичное отклонение)					
водородный индекс HI , мг УВ/г C_{org}	$\frac{0...79}{53\pm 2,9}$	$\frac{65...77}{69\pm 6}$	$\frac{42...194}{61\pm 4,0}$	$\frac{54...158}{106\pm 5,1}$	$\frac{46...107}{77\pm 4,2}$	$\frac{3...94}{46\pm 2,4}$
содержание органического углерода C_{org} , %	$\frac{0,05...0,98}{0,29\pm 0,45}$	$\frac{0,70...0,83}{0,81\pm 0,06}$	$\frac{0,54...16,1}{0,84\pm 4,23}$	$\frac{1,08...6,1}{3,09\pm 2,81}$	$\frac{0,55...3,1}{1,82\pm 1,80}$	$\frac{0,56...67,5}{1,14\pm 19,0}$

Между тем, учитывая преобладание этих фациальных обстановок в разрезе карбона Донбасса по сравнению с угольными пластами (фацией БТ), содержание которых для исследуемого стратиграфического интервала в Донецко-Макеевском районе составляет 1,0...1,2 %, следует отметить существенную роль РОВ кластических пород карбона Донбасса в генерации метана. В результате проведенных исследований в разрезах исследованных скважин нами выделены интервалы кластических пород (см. рис. 2), которые могли служить наряду с угольными пластами дополнительным и существенным источником генерации метана. Учитывая преимущественно низкую проницаемость аргиллитов и алевролитов группы переходных от континентальных к морским фаций, следует ожидать автохтонное газонасыщение отмеченных выше интервалов пород угленосной толщи.

При интерпретации распределения биомаркеров в зависимости от фациальных обстановок накопления осадков (рис. 3, *в-е*) исходим из следующих предпосылок [14]: а) групповой и химический состав высших и низших растений заметно отличаются; б) преобладание стеранов C_{27} является индикатором присутствия в структуре ОБ низших растений - водорослей; в) стераны состава C_{29} являются производными C_{29} стеролов высшей растительности; г) отношение гопанов к стеранам Нор/St отражает относительный вклад бактериальной биомассы; д) характеристическое соотношение высокомолекулярных изопреноидов (разветвленных алканов) $i-C_{19}$ (Pr - пристана) и $i-C_{20}$ (Ph - фитана) отражает степень окисления - восстановления ОБ.

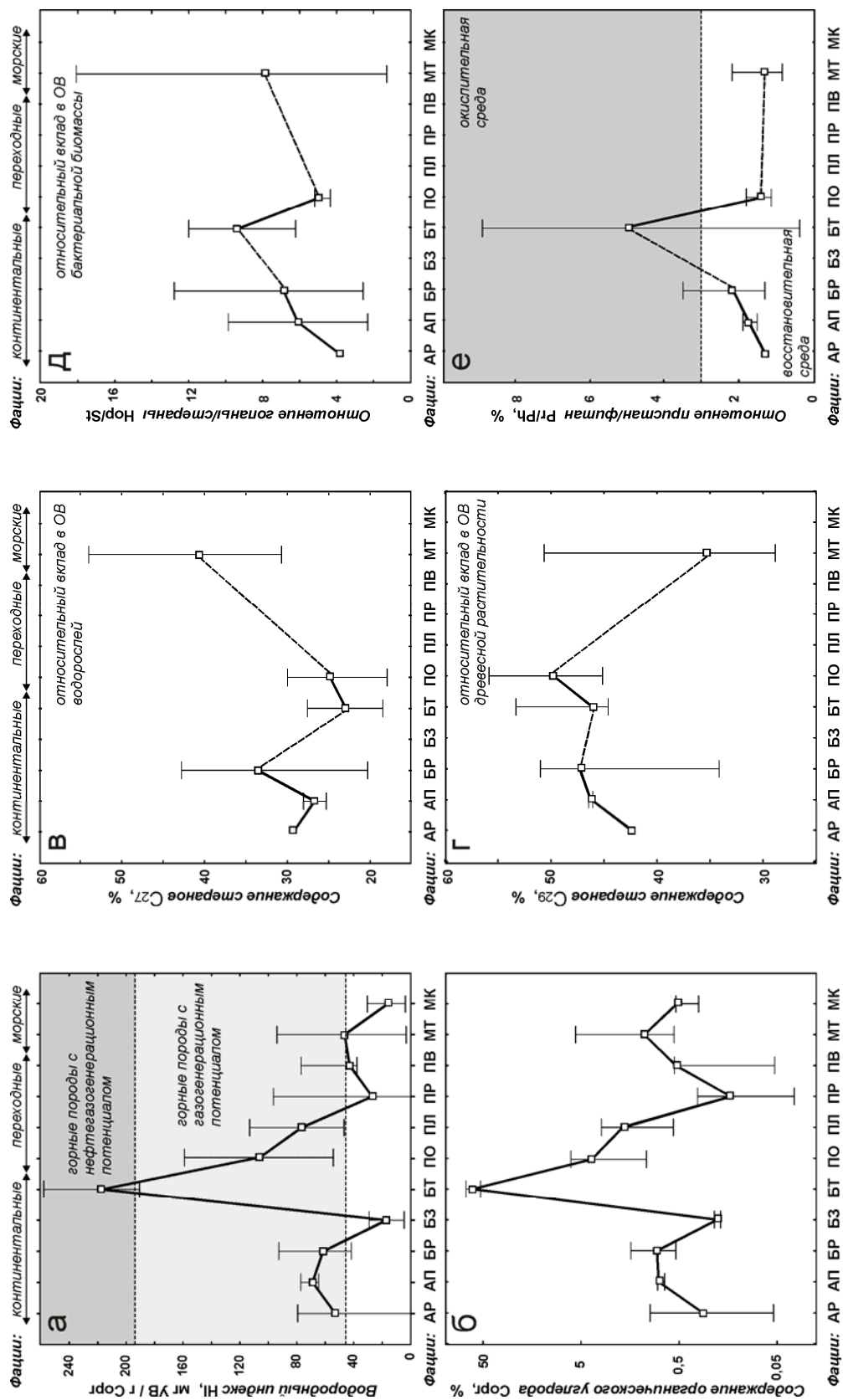


Рис. 3 – Графики изменения анализируемых параметров в зависимости от фациальных обстановок (расшифровка индексов фаций приведена в табл. 1): а) водородного индекса HI, мг УВ/г C_{орг}; б) содержания органического углерода C_{орг}; в) содержания гопанов к стеранам Nor/St; г) стеранов C₂₉, %; д) отношения гопанов к стеранам Nor/St; е) отношения пристана к фитану Pr/Ph, %

Анализ полученных результатов показывает, что:

1) для континентальных и переходных групп фаций терригенный органический материал, представленный остатками высших растений, доминирует над материалом аквального происхождения (водоросли), относительный вклад которого в ОВ закономерно возрастает в морских фациях;

2) для дельтовых фаций характерно ОВ смешанного типа из высших и низших растений, гумификация остатков которых проходила в условиях преимущественно восстановительной среды;

3) в исследуемом стратиграфическом интервале наблюдаются значительные вариации параметра Pr/Ph для угольных пластов, которые в начале касимовского века (свита C_3^1) переходят в область окислительных обстановок;

4) значительный вклад бактериальной биомассы в ОВ фации торфяных отложений.

Судя по определениям биомаркеров, ОВ угольных пластов относится к третьему типу керогена и является продуктом сложных биохимических и геохимических реакций материала преимущественно древесной растительности, преобразованного в гелифицированные мацералы, с примесью сапропелевого материала. Основную массу керогенов первого и второго типов, исходного сырья для нефти и жирных газов, формируют органические комплексы так называемого "морского" и смешанного "наземно-аквального" происхождения, соответствующие мацералам угля группы экзинита. Кероген третьего типа образуется в результате конверсии ОВ из наземных высших растений (древесины, коры и др.), соответствует мацералам угля групп витринита и инертинита, которые в процессе термального созревания генерируют газы с преобладанием метановой составляющей.

Проведенный анализ изменения величины водородного индекса HI для угольных пластов в зависимости от параметров, отражающих степень углефикации (метаморфизма углей) - показателя отражения витринита R_o и температуры максимальной генерации латентных УВ на пике сигнала $S_2 - T_{max}$ (рис. 4), однозначно показывает, что с увеличением метаморфизма углей происходит истощение газогенерационного потенциала ОВ угольных пластов.

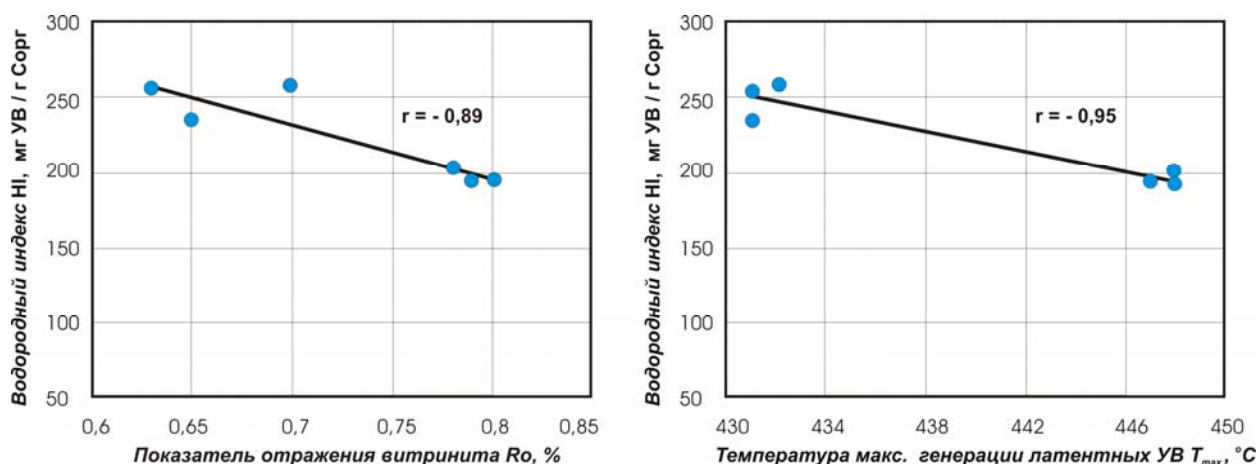


Рис. 4 – Корреляционные зависимости между водородным индексом HI и показателем отражения витринита R_o (а), и температурой максимальной генерации латентных T_{max} (б)

Корреляционные зависимости $HI (R_o)$ и $HI (T_{max})$ близки к функциональным и свидетельствуют о том, что в процессе углефикации происходит крекинг ОБ угольных пластов и его частичный переход под влиянием повышенной температуры в газообразные углеводороды.

Между тем, аналогичные процессы происходят и в РОВ кластических пород угленосной толщи. Учитывая значительное преобладание углевмещающих пород в разрезе карбона Донбасса по сравнению с угольными пластами, содержание которых для исследуемого стратиграфического интервала в Донецко-Макеевском районе составляет 1,0...1,2 %, следует отметить существенную роль РОВ кластических пород карбона Донбасса в генерации метана.

Моноклинально залегающие угленосные отложения на крыльях Кальмиус-Торецкой котловины до глубины 200 м обычно водонасыщены. Метан в этой подзоне активного водообмена (гипергенеза) отсутствует. На глубинах 200–700 м в области распространения углей марок Д–Г (зона затрудненного водообмена) метан находится преимущественно в водорастворенном состоянии. К этой зоне приурочены и мелкие газовые залежи в структурных ловушках, осложняющих преимущественно моноклинальное залегание пластов. Разведочными и добычными работами подтверждено, что, начиная с глубин ~700 метров, водопритоки в шахты существенно уменьшаются: вмещающие породы становятся практически сухими. Это приводит к тому, что практически все углевмещающие породы содержат метан, который в песчаниках заключен в открытых порах и трещиноватых интервалах (при этом их газоносность на порядок ниже по сравнению с угольными пластами), а аргиллитах и алевролитах газ в основном заключен в плохо сообщающихся порах или сорбирован РОВ.

Для того чтобы оценить соотношения газогенерационных свойств углей и вмещающих толщ углепородного массива, показатель водородного индекса HI (масса генерированных латентных углеводородов на единицу массы органического углерода) была пересчитана на величину газогенерационного потенциала $[HI]$ в расчете на единицу массы горных пород ($[HI]=HI * C_{орг}$, мг УВ/г породы или угля, т.е. $[HI]=S_2$). Сопоставление значений $[HI]$ для угольных пластов (диапазон колебаний 119,4 – 188, 2 мг УВ/г угля) и вмещающих пород (диапазон колебаний 0 – 31, 3 мг УВ/г угля), демонстрирует существенные различия в газогенерационных возможностях углей и кластических пород.

При интерпретации полученных экспериментальных данных с точки зрения газонасыщенности вмещающих пород с низкой матричной проницаемостью и открытой пористостью менее 10 % (аргиллитов и алевролитов) следует учесть следующие моменты:

1. Отдельные интервалы углепородного массива Донбасса, представленные

морскими, озерными и лагунными аргиллитами, дельтовыми алевролитами обладают газогенерационным потенциалом, сопоставимым с аналогичными пиролитическими данными для аргиллитов газоматеринских толщ Центрального и Восточного Предкавказья [15].

2. По оценкам [16-18] угольные пласты с показателем отражения витринита $R_o = 0,8 \%$ (марка Г) в процессе углефикации генерировали углеводородных газов около $60 \text{ м}^3/\text{т}$ угольной массы. Указанный выше удельный объем генерированных УВ газов соответствует полученной в результате экспериментальных исследований величине [НІ] – 120 мг УВ/г угля. Таким образом, величина [НІ] = 1 мг УВ/г угля или породы может указывать на генерацию углеводородных газов в объеме $0,5 \text{ м}^3$ на 1 т породы.

3. В аргиллитах и алевролитах, занимающих промежуточное положение между коллекторами и покрышками, происходят аналогичные процессы генерации углеводородных газов, где низкая проницаемость отложений обуславливает совпадение зон генерации и аккумуляции газа с плохими условиями для концентрации газа в крупные залежи. Здесь газ находится преимущественно в плохо сообщающихся порах (микрокавернах) или растворен в ОВ. Продуктивное газонасыщение низкопроницаемых горных пород, с нашей точки зрения, осуществляется за счет автохтонного газонасыщения угленосных отложений при термокаталитической генерации газа. При этом низкая проницаемость отложений обуславливает совпадение зон генерации и аккумуляции газа. В работе [2] отмечается негативное влияние инверсионных процессов на сохранность метана в угленосной толще Донбасса, при которых в условиях подъема территорий, формирования тектонических нарушений, раскрытия трещин происходит эвакуация метана, генерированного на стадии доинверсионного погружения отложений. Вместе с тем, следует отметить, что, несомненно, в результате инверсионных процессов в первую очередь подвергались частичной и полной дегазации хрупкие, разбитые трещинами кливажа угольные пласты. Напротив, интервалы газонасыщенных глинисто-алевритовых отложений с низкой матричной проницаемостью и открытой пористостью в ходе этих инверсионных процессов практически не подвергаются дегазации.

Ситуация коренным образом меняется при подземной разработке угольных месторождений. В результате развития техногенной трещиноватости, распространяющейся в над- и подрабатываемом горном массиве, возможно аллохтонное газонасыщение разрабатываемых угольных пластов за счет миграции метана из вмещающих пород, сопровождающееся увеличением метанообильности горных выработок [7]. Практически вышесказанное означает, что в процессе термального созревания РОВ в толще алевроито-глинистых отложений мощностью 20 м ,

характеризующейся параметром $[HI] = 1$ мг УВ/г угля, генерируются объемы метана, сопоставимые с природной газоносностью угольных пластов, которая в значительной степени лимитирована их сорбционной способностью.

На рис. 5 представлены графики изменения параметра газогенерационного потенциала $[HI]$ для углевмещающих пород в пересчете на единицу массы горных пород, которые позволяют выделить в углепородном массиве интервалы низкопроницаемых горных пород, которые в условиях подработки и надработки могут послужить источником аллохтонного газонасыщения разрабатываемых угольных пластов.

Анализ полученных результатов позволяет обосновать значительное несоответствие в уровнях метанообильности горных выработок по пласту m_3 в пределах горного отвода АП шахты им. А.Ф. Засядько со значениями природной газоносности угольного пласта по геологоразведочным работам наличием в кровле пласта m_3 (зона подработки) толщи глинисто-алевритовых осадков заболоченной прибрежно-континентальной (дельтовой) равнины (фация БР, $[HI] = 0,92$ мг УВ/г породы), а надрабатываемой части – преобладанием морских аргиллитов (фация МТ, $[HI] = 2,92$ мг УВ/г породы). Так проведенные расчеты с использованием данных [19] об изменениях метанообильности выемочных участков в зависимости от нагрузки на лаву показали, что фактическая метанообильность достигает $40 - 48$ м³/т с.д. (14 западная лава пласта m_3), что в $3 - 3,5$ раза превышает оценки газоносности угольного пласта по данным геологоразведочных работ и связано с перераспределением газа в затронутой очистными работами толще.

Результаты наших исследований позволяют констатировать, что наряду с выделением метана из разрабатываемого пласта и отдачи газа из пластов-спутников, примыкающих коллекторских горизонтов и тектонически разуплотненных зон с высокой матричной проницаемостью, существенную роль в формировании фактической газообильности может оказать газовыделение из отдельных низкопроницаемых интервалов углепородного массива с высоким газогенерационным потенциалом.

Следует отметить, что отмеченные выше интервалы углевмещающих пород с низкой проницаемостью и высоким газогенерационным потенциалом могли послужить дополнительным фактором для формирования высокой степени газонасыщения нижней части песчаника $m_4sm_4^1$ в интервале 1244-1260 м с потенциальной метаноносностью $5,15$ м³/м³ породы, которые рекомендованы для предварительной дегазации и добычи метана [20].

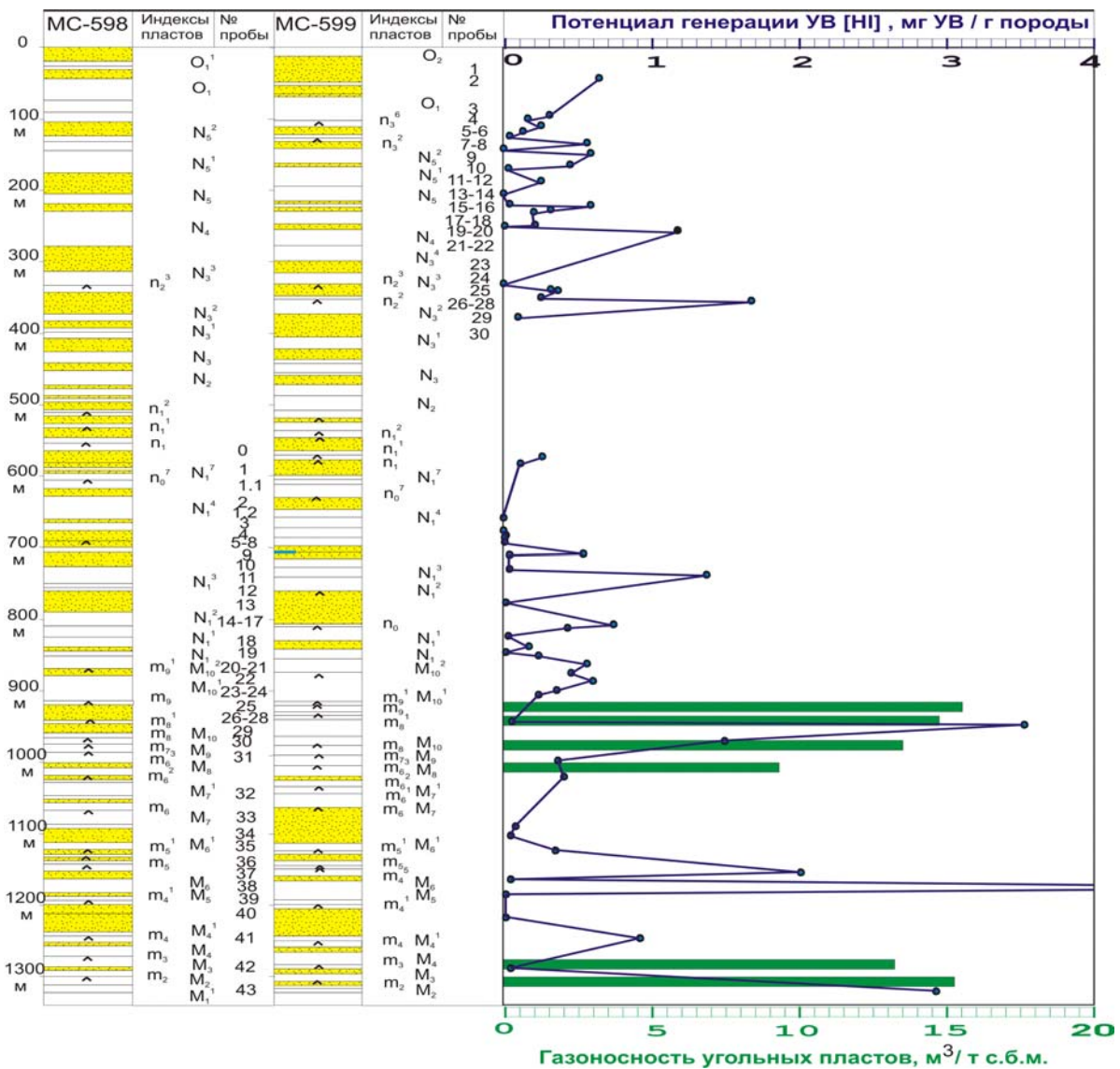


Рис. 5 – Изменение потенциала генерации углеводородов [HI] (УВ/г породы) для кластических пород углеводородной толщи и природной газоносности угольных пластов ($\text{м}^3/\text{т}$) по данным исследований в скважинах МС-598 и МС – 599 (участок «Кальмиусский рудник», горный отвод АП шахты им. А.Ф. Засядько)

Таким образом, отдельные интервалы угленосного массива Донбасса, представленные низкопроницаемыми горными породами с высоким газогенерационным потенциалом (морские, озерные и лагунные аргиллиты, дельтовые алевролиты), в условиях развития техногенной газопроводящей трещиноватости, связанной с горными работами, могут служить источником дополнительного аллохтонного метанонасыщения разрабатываемых угольных пластов и аномальной газообильности горных выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Узіюк В.І., Бик С.І., Ільчишин А.В. Газогенераційний потенціал кам'яновугільних басейнів України // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2001. – № 2. – С. 110–121.
2. Привалов В.А., Саксенхофер Р.Ф., Изар А. Генетическая идентификация метана и геологическая природа выбросоопасности угольных пластов Донбасса // Наук. праці ДонНТУ: Серія гірн. – геолог. – 2004. – Вип. 72. – С. 175–184.
3. Privalov V.A, Sachsenhofer R.F., Panova E.A., Antsiferov V.A. Coal Geology of the Donets Basin (Ukraine/Russia): An overview // BHM (Springer Verlag). – 2004. – Vol. 149. – N 6. – P. 212–222.

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., Наумко 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.