

УДК 622.831.322:635

Радченко А. Г., Савченко А. В.  
(РАНИМИ, г. Донецк, ДНР),  
Радченко А. А.  
(ДонНАСА, г. Макеевка, ДНР),  
Салий С. Г., Николаев Д. Ю.  
(РАНИМИ, г. Донецк, ДНР)

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ ГАЗОНОСНОСТИ УГЛЕЙ ДОНБАССА С РОСТОМ ГЛУБИНЫ РАЗРАБОТКИ

*В статье рассмотрены основные закономерности изменения природной газоносности углей Донбасса в зависимости от их марочного состава и глубины.*

**Ключевые слова:** природная газоносность, угольные пласты, марочный состав углей, весовой выход летучих веществ, глубина разработки, волнообразное изменение.

В работе [1] приведено мнение, высказанное академиком А. А. Скочинским, о том, что три фактора в совокупности определяют выбросоопасность угольных пластов: 1) физико-механические свойства угля — ФМС; 2) газоносность пласта —  $X_{np}$ ,  $m^3/m$  г. м.; 3) напряженное состояние пласта  $\sigma$ , МПа. Данное утверждение можно записать в неявном виде как:

$$B = f(\text{ФМС}, X_{np}, \sigma). \quad (1)$$

В работе [2] Мурашов В. И. указывает, что запасы энергии горного массива ( $W_0$ ) можно характеризовать следующими ее составляющими:

$$W_0 = W_{nop} + W_{yz} + W_{газ}, \quad (2)$$

где  $W_{nop}$  — запасы упругой потенциальной энергии вмещающих пород;  $W_{yz}$  — запасы упругой потенциальной энергии угольного массива;  $W_{газ}$  — запасы потенциальной энергии заключенного в угле газа. Из формулы (2) видно, что в формировании выбросоопасности угольных пластов важная роль отводится газу. Отсюда следует необходимость исследования изменения газоносности углей по площадям, в ряду метаморфизма и с глубиной.

Основными факторами, определяющими газоносность угольных пластов, являются: степень метаморфизма углей, глубина разработки, степень тектонической

нарушенности горного массива и гидрогеологические условия [3]. Под действием происходивших тектонических процессов в горном массиве сформировались участки с различной степенью неоднородности, изменчивости, напряженного состояния, трещиноватости, газопроницаемости и газоносности. Это привело к перераспределению и локализации газов в угольных пластах и вмещающих их породах. Знание основных закономерностей распределения газоносности в угольных пластах позволяет осуществлять наиболее точные и достоверные горно-геологические прогнозы для конкретных участков отработки пластов. Объективный горно-геологический прогноз позволяет шахтным службам вентиляции, дегазации и участкам УПР по ТБ правильно и своевременно осуществлять мероприятия по обеспечению безопасных условий труда в угольных шахтах.

Исследованию газоносности угленосных толщ посвящены работы Айруни А. Т., Боброва А. И., Бочкарева А. В., Вассоевича Н. Б., Вольповой Л. С., Косенко Б. М., Лидина Г. Д., Малышева Ю. Н., Печука И. М., Петросяна А. Э., Саранчука В. И., Скочинского А. А., Трубецкого К. И., Эттингера И. Л. и многих других. Анализ литературы выявил отсутствие единого мнения о характере изменения

природной газоносности  $X_{np}$  в ряду метаморфизма углей и с глубиной.

Поэтому целью данной работы является установление основных закономерностей распределения природной газоносности в углях Донбасса в ряду метаморфизма и с глубиной.

В работе [4] приведено распределение природной газоносности  $X_{np}$  в ряду метаморфизма углей юго-западной части Донбасса (рис. 1). Максимум  $X_{np}$  приходится на значения весового выхода летучих веществ  $V^{daf} = 9\%$ .

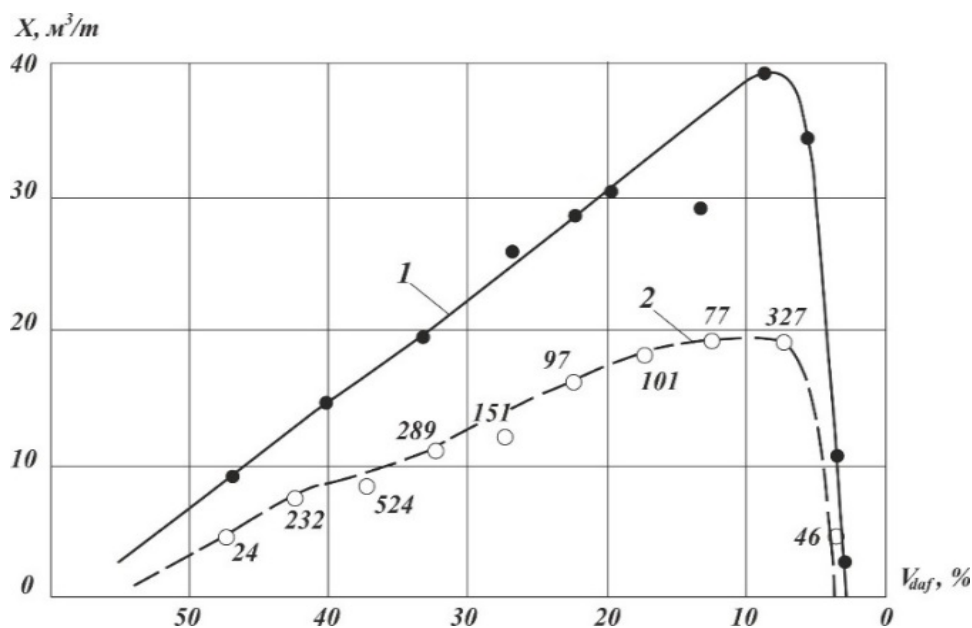


Рисунок 1 Кривые метаноносности углей юго-западной части Донбасса по данным [4]:  
1 — кривая максимальной метаноносности; 2 — кривая средней метаноносности  
(цифрами указано количество определений)

На рисунке 1 кривая максимальной метаноносности 1 в диапазоне  $V^{daf} = 53\text{--}10\%$  показана прямой линией, что, по нашему мнению, вызывает сомнения и требует дополнительных исследований; кривая же средней метаноносности 2 отклоняется от прямой. Следует подчеркнуть, что в дальнейшем в работе [5] кривая максимальной метаноносности угольных пластов 1 была применена для углей всего Донбасса без аргументации и доказательств. По нашему мнению, в данном случае авторами работы [5] была допущена методологическая неточность. Многие исследователи указывают на неравномерность распределения  $X_{np}$  в угольных пластах [6]. Неравномерное распределение  $X_{np}$  в углях обусловлено многоциклическим воздействием тектонических процессов на угольные пласты. Тектониче-

ские процессы привели к неравномерному распределению интенсивности трещиноватости, нарушенности пластов, к неравномерному распределению минеральных примесей, зольности, влаги и газопроницаемости в углях. В работе [6] указывается, что современное распределение газов в угольных пластах Донбасса весьма неравномерно и зависит от характера геологической структуры, разрывных нарушений, литологического состава пород, мощности покровных отложений, условий циркуляции подземных вод и т. д.

Авторами работ [4, 5] изменение  $X_{np}$  трактовалось с позиций физико-механической модели угольного пласта. Следует подчеркнуть, что Саранчук В. И., Айруни А. Т. и Ковалев К. Е. в своей работе [7] рассмотрели структурно-химическую

модель угольного вещества. В работе [7] был выполнен краткий анализ условий проявления выбросоопасности углей Донбасса в ряду метаморфизма уже с позиций структурно-химической модели. Указанная модель [7] показала свою высокую эффективность при исследовании процессов углефикации. Из работы [7] следует: а) процессы углефикации происходили нелинейно и характеризуются скачками; б) количество летучих продуктов, выделившихся на разных стадиях углефикации, характеризуется волнообразной синусоидальной затухающей кривой с четырьмя убывающими максимумами (см. рис. 2).

Угли различных марок имели разные палеоглубины погружения, различную убыль кислорода и различный процент выделив-

шихся летучих продуктов. На основании ключевых положений работы [7] и обобщения данных экспериментальных геофизических измерений, выполненных в пределах горного отвода шахты «Суходольская Восточная», нами было сделано следующее предположение: в связи с неоднородностью строения горного массива и скачками углефикации распределение  $X_{np}$  в ряду метаморфизма и с глубиной должно иметь нелинейный, волнообразный характер. Для проверки этого предположения были проанализированы данные работ [4, 8].

Прежде всего, нами были проанализированы максимальные значения природной метаноносности каменных углей и антрацитов Донбасса согласно данным, приведенным в работе Косенко Б. М. [4] (см. табл. 1).

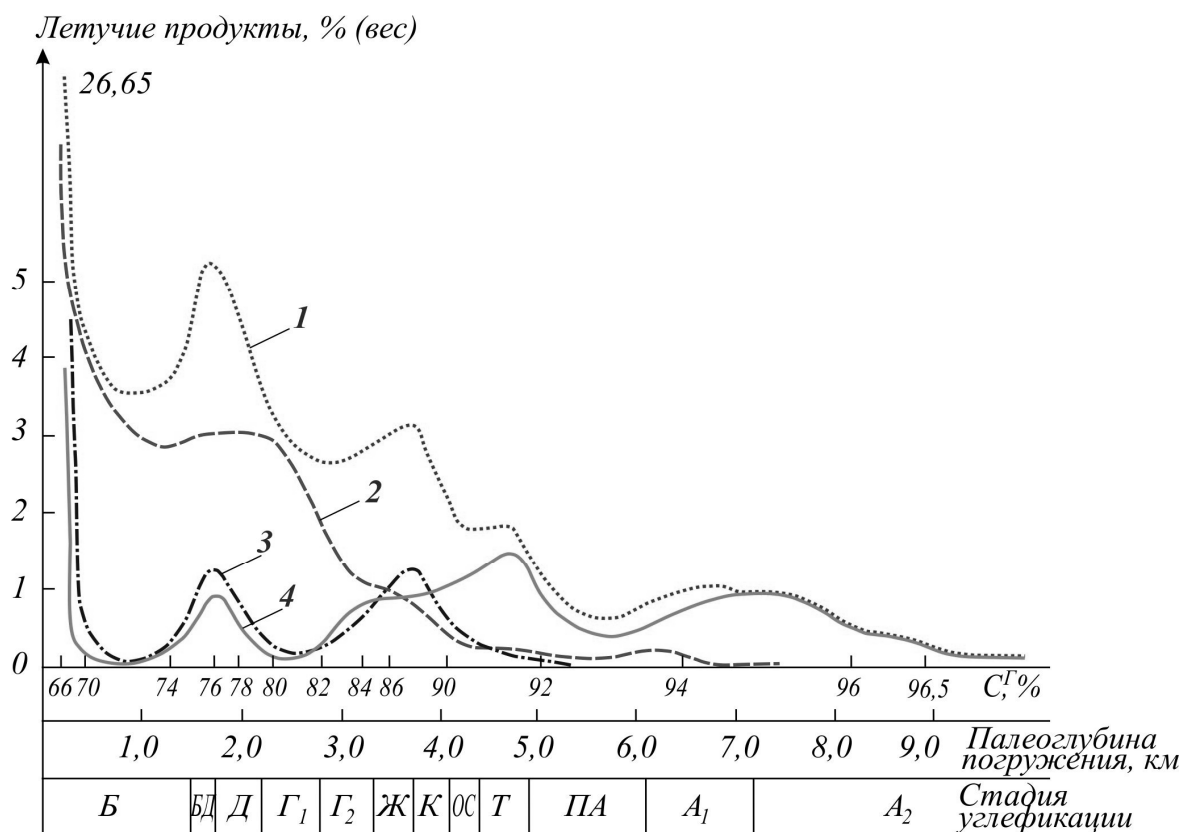


Рисунок 2 Количество летучих продуктов, выделившихся на разных этапах углефикации, в % на органическое вещество конца торфяной стадии ( $C = 58,97\%$ ):

1 — сумма летучих продуктов углефикации, в %; 2 —  $CO_2$ ; 3 —  $H_2O$ ; 4 —  $CH_4$ ; по данным [7]

Таблица 1  
Максимальные значения природной метаноносности каменных углей и антрацитов Донбасса  
 $X_{np}$ , м<sup>3</sup>/т с. б. м. согласно данным работы Косенко Б. М. [4]

Глубина, м	Выход летучих веществ, $V^{daf}$ , %								$a_{cp}$	$\sigma$	$K_{вар}$ , %
	5	10	15	20	25	30	35	40			
400	32,5	22,9	13,7	15,7	10,6	13,2	13,1	7,9	16,2	7,89	48,7
500	31,2	32,1	18,8	13,2	16,8	16,2	14,6	8,0	18,8	8,51	45,1
600	34,4	25,0	21,9	13,5	22,4	18,5	14,7	13,0	20,4	7,19	35,2
700	39,1	22,0	21,0	13,8	26,3	15,2	13,2	11,3	20,2	9,20	45,4
800	34,2	19,8	23,8	22,7	2,8	17,9	19,4	4,3	20,6	8,28	40,2
900	37,9	20,7	30,1	28,7	16,8	15,7	15,9	11,3	22,1	9,13	41,3
1000	28,7	22,7	21,0	23,3	16,4	13,3	21,0	8,6	19,4	6,33	32,7
1100	21,3	18,8	21,2	26,1	13,0	19,6	12,5	11,3	18,0	5,21	28,9
$a_{cp}$	32,4	23,0	21,4	19,6	18,1	16,2	15,6	15,4			
$\sigma$	5,62	4,16	4,60	6,27	5,30	2,34	3,10	2,79			
$K_{вар}$ , %	17,3	18,1	21,5	32,0	29,3	14,4	19,9	29,7			

В таблице 1 приняты следующие обозначения:

32,5 — максимальные значения  $X_{np}$  в ряду метаморфизма (т. е. по горизонтали);  
 $a_{cp}$  — среднее арифметическое;  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение (стандарт);  
 $K_{вар}$  — коэффициент вариации, %.

Анализ данных таблицы 1 показал, что в ряду метаморфизма и с глубиной наблюдаются волнообразные изменения  $X_{np}$  с двумя-тремя максимумами как по горизонтали (в ряду метаморфизма углей), так и по вертикали (изменение с глубиной). Так, например, на горизонте 400 м коэффициент вариации природной газоносности  $X_{np}$  в ряду метаморфизма составил  $K_{вар} = 48,7\%$ ; на горизонте 700 м  $K_{вар} = 45,4\%$ ; а на горизонте 900 м  $K_{вар} = 41,3\%$ ; т. е. наблюдаются три максимума  $K_{вар}$  в диапазоне  $H = 400\text{--}1100$  м. На глубинах свыше 900 м наблюдается

снижение значений  $K_{вар}$ , т. е. значения  $X_{np}$  распределены более равномерно. Наибольшая изменчивость величин  $X_{np}$  по вертикали (с глубиной) наблюдается для марок углей с  $V^{daf} = 20\%$  ( $K_{вар} = 32,0\%$ ) и  $V^{daf} = 40\%$  ( $K_{вар} = 29,7\%$ ).

На рисунке 3 приведены графики изменения  $X_{np}$  с глубиной для углей с различными значениями  $V^{daf}$  от 45 до 5%. Аналогичные результаты о неравномерном распределении  $X_{np}$  по площадям и с глубиной получены также по данным работ [3, 9].

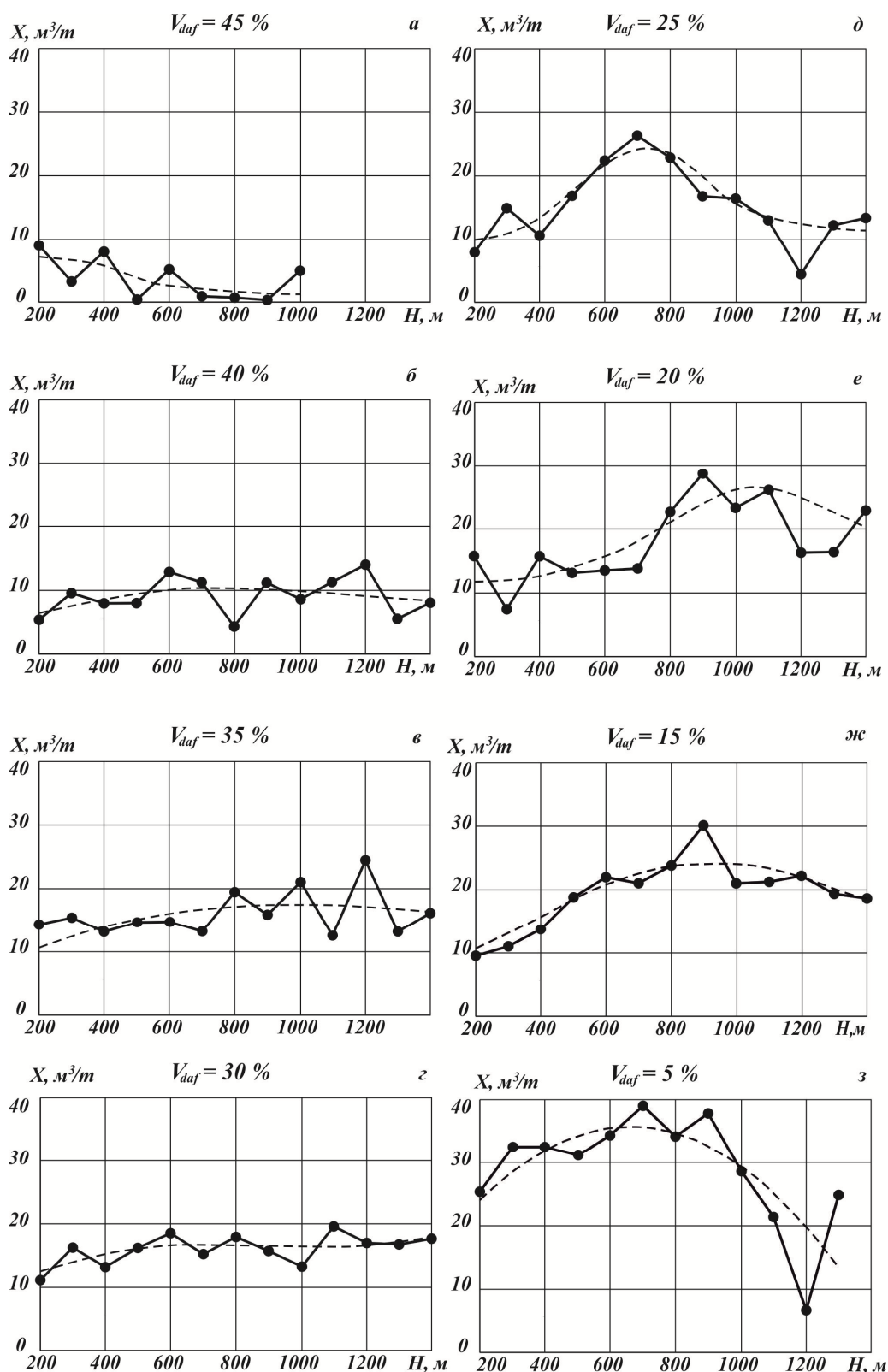


Рисунок 3 Графики изменения природной газоносности  $X_{np}$  с глубиной для углей с  $V_{daf} = 45-5\%$

По данным работы [4] были построены графики изменения природной метаноносности

углей  $X_{np}$  в ряду метаморфизма в интервале глубин  $H = 500\text{--}1000$  м (см. рис. 4).

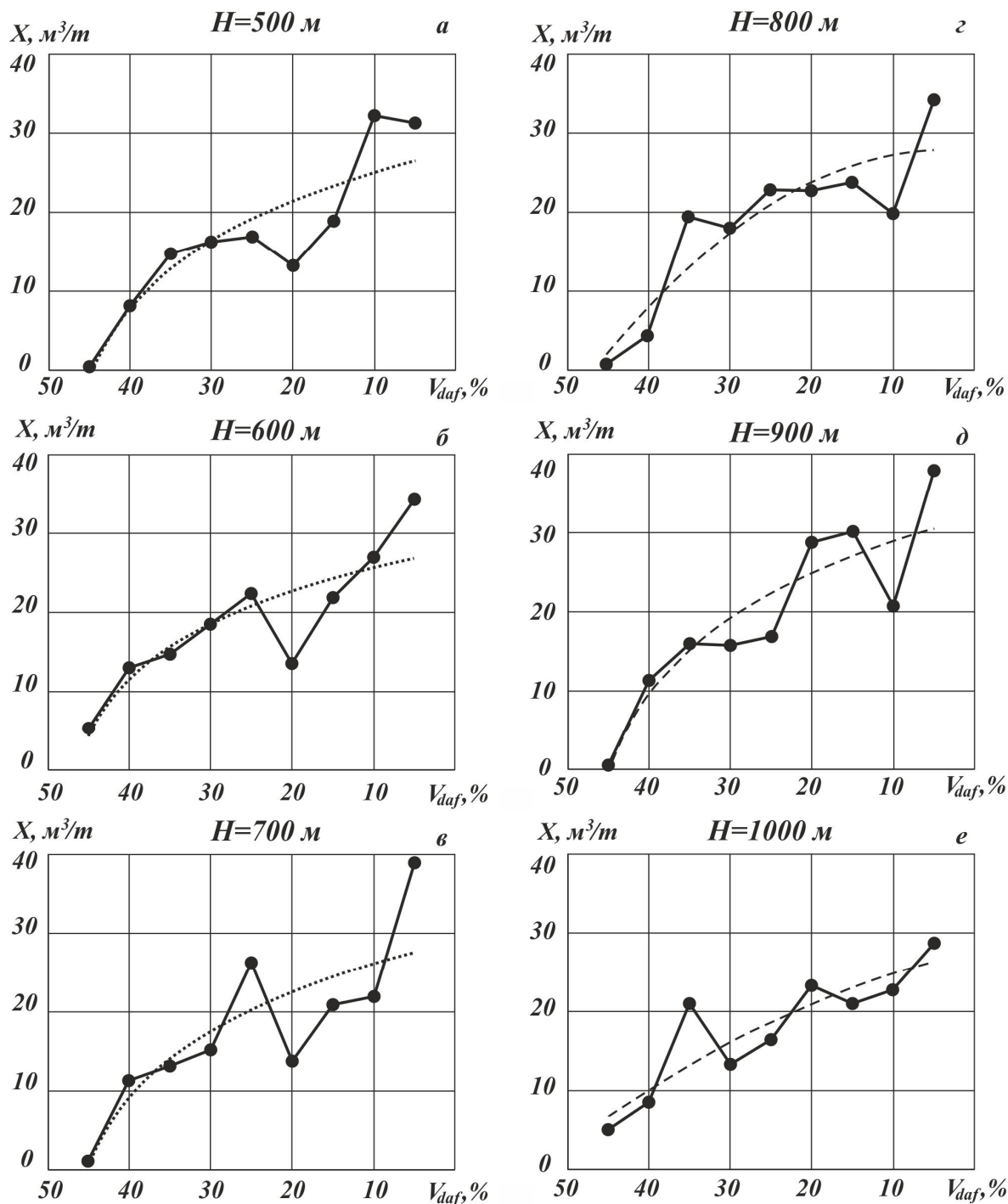


Рисунок 4 Графики изменения природной метаноносности углей  $X_{np}$  в ряду метаморфизма в интервале глубин  $H = 500\text{--}1000$  м.

Из таблицы 1 и рисунков 3 и 4 следует, что изменение природной метаноносности углей  $X_{np}$  в ряду метаморфизма в интервале глубин  $H = 500\text{--}1000$  м носит нелинейный, волнообразный характер.

Из рисунка 4 следует, что с ростом степени метаморфизма природная метаноносность углей волнообразно возрастает. А при значениях весового выхода летучих веществ  $V^{daf} < 5\%$  происходит снижение природной газоносности  $X_{np}$  до минимальных значений (см. рис. 3, з).

По Донбассу нами был выполнен статистический анализ внезапных выбросов угля и газа, произошедших за период 1946–2006 гг. Всего было проанализировано 2442 внезапных выброса. Основные результаты анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2

Количество внезапных выбросов угля и газа по группам метаморфизма за период 1946–2006 гг.

Залега- ние плас- тов	$V^{daf} >$ 29 %	$V^{daf} 29 \div$ 25,1 %	$V^{daf} 25 \div$ 18,1 %	$V^{daf} 18 \div$ 13,1 %	$V^{daf} 13 \div$ 9,1 %	$V^{daf} \leq$ 9,0 %
Поло- гое	161	30	172	655	20	214
Крутое, накло- нное	164	62	332	335	222	75

Из таблицы 2 следует, что максимальное количество внезапных выбросов на пологом падении, а также на пластах наклонного и крутого падений зафиксировано в диапазоне  $V^{daf} = 18,0\div 13,1\%$  или  $C^{daf} = 90\div 93\%$ .

Необходимо особо подчеркнуть, что вышеуказанные максимумы внезапных выбросов угля и газа совпадают: а) с отдельными максимумами природной метаноносности углей  $X_{np}$  в интервале глубин  $H=800\text{--}1000$  м (см. рис. 4,г; 4,д); б) с максимумом значений выделившегося при углефикации метана ( $CH_4$ ) в диапазоне значений  $C^{daf} = 90\div 92\%$ , (см. рис. 2, кривая 4). Таким образом, установлена взаимосвязь и

взаимобусловленность следующих последовательно происходящих нелинейных процессов, скачкообразных превращений, изменений, преобразований угольного вещества: процессы углеобразования  $\rightarrow$  генерация и выделение летучих веществ, метана в процессе углефикации  $\rightarrow$  структурно-химические превращения и преобразования  $\rightarrow$  изменения физико-механических свойств  $\rightarrow$  изменения газо-кинетических свойств углей  $\rightarrow$  формирование и изменение газоносности по площадям, в ряду метаморфизма и с глубиной  $\rightarrow$  формирование и проявление внезапных выбросов угля и газа по площадям, в ряду метаморфизма и с глубиной. Более подробно взаимосвязь структурно-химических превращений с изменениями физико-механических свойств углей в ряду метаморфизма и их выбросоопасностью рассмотрена в работе [8].

Обобщение опыта ведения горных работ на шахтах Донбасса в сложных горно-геологических условиях, выполненное в работе [3], указывает на необходимость разработки рекомендаций по определению оптимальных длин скважин, предназначенных для ведения текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов по начальной скорости газовыделения из шпуров  $g_n$  и контроля эффективности применяемых противовыбросных мероприятий по динамике  $g_n$ . С этой целью был выполнен анализ глубин полостей произошедших внезапных выбросов угля и газа в Донбассе. В работе [3] указывается на локальность выбросоопасности и приведены примеры, что на глубинах разработки свыше 600 м длина полостей выбросов в глубину угольного массива в ряде случаев составляет 11,0–33,0 м. Согласно нормативным документам [10], в настоящее время контроль состояния призабойной части угольного пласта осуществляется при следующих длинах шпуров (коротких скважин): а) при ведении текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов — на расстояние 3,5 м; б) при ведении контроля эффективности применяемых противовы-

бросных мероприятий на расстояние 3,0 м. Анализ данных работы [3] показал, что при выборе оптимальных длин скважин, предназначенных для ведения текущего прогноза выбросоопасности и ведения контроля эффективности противовыбросных мероприятий, необходимо учитывать, прежде всего, следующие параметры: глубину ведения горных работ —  $H$ , м; весовой выход летучих веществ —  $V^{daf}$ , %; природную газоносность углей —  $X_{np}$ , м<sup>3</sup>/т с. б. м.; крепость угля —  $f$ , у. е.; интенсивность трещиноватости углей —  $I_{тр}$ .

Обзор литературы показал, что на глубинах разработки свыше 600 м регистрируются следующие размеры полостей: а) при выдавливаниях угля — 0,60–12,0 м; б) при внезапных выбросах угля и газа — 4,0–50,0 м и более. Формирование и проявление газодинамических явлений (ГДЯ) на современных глубинах разработки угольных пластов происходит на расстояниях свыше 3,0 м от поверхности забоя. Существующие нормативные способы контроля состояния призабойной части угольного пласта [10] на глубинах разработки свыше 500–600 м во многих случаях не позволяют обнаружить зону, опасную по проявлениям ГДЯ, и нуждаются в дальнейшем совершенствовании.

С учетом неравномерного распределения газоносности в угольных пластах по площадям, на основании установленных нелинейных, волнообразных, пульсирующих изменений природной газоносности углей Донбасса в ряду метаморфизма и с глубиной, а также зафиксированных размеров полостей при выдавливаниях угля и при внезапных выбросах угля и газа нами сформулированы основные положения рекомендаций по оптимальным длинам скважин, которые предназначены для текущего прогноза выбросоопасности угольных пластов и ведения контроля эффективности противовыбросных мероприятий. Основные рекомендации сводятся к следующему:

1) текущий прогноз выбросоопасности угольных пластов следует проводить на глубину: а) на угрожаемых пластах —  $l \geq 5,5$ –6,0 м; б) на выбросоопасных пластах —  $l \geq 5,0$ –5,5 м;

2) контроль эффективности противовыбросных мероприятий необходимо вести на следующих глубинах: а) на выбросоопасных пластах —  $l \geq 5,0$ –5,5 м; б) на особо выбросоопасных пластах —  $l \geq 5,0$  м.

#### Выводы.

1. Установлены нелинейные, волнообразные, пульсирующие изменения природной газоносности углей Донбасса в ряду метаморфизма и с глубиной.

2. Показаны следующие взаимосвязи: а) скачков углефикации с изменениями природной газоносности углей  $X_{np}$  в ряду метаморфизма; б) природной газоносности углей  $X_{np}$  с их выбросоопасностью в ряду метаморфизма; в) максимумов внезапных выбросов угля и газа на пологом, а также на наклонном, крутом падениях с очередным скачком углефикации.

3. С учетом неравномерности распределения природной газоносности углей Донбасса по площадям, в ряду метаморфизма и с глубиной сформулированы следующие положения:

1) контроль за состоянием призабойной части угольных пластов должен быть непрерывным;

2) при выборе оптимальных длин скважин, предназначенных для ведения текущего прогноза выбросоопасности по  $g_n$  и ведения контроля эффективности противовыбросных мероприятий по динамике  $g_n$ , необходимо учитывать следующие параметры: глубину ведения горных работ —  $H$ , м; весовой выход летучих веществ —  $V^{daf}$ , %; природную газоносность углей —  $X_{np}$ , м<sup>3</sup>/т с. б. м.; крепость угля —  $f$ , у. е.; интенсивность трещиноватости углей —  $I_{тр}$ .

4. Предложены оптимальные длины скважин при ведении контроля за состоя-



нием призабойной части угольных пластов: текущий прогноз выбросоопасности угольных пластов следует проводить при следующих длинах скважин: а) на угрожаемых пластах —  $l \geq 5,5-6,0$  м; б) на выбросоопасных пластах —  $l \geq 5,0-5,5$  м.

Контроль эффективности противовыбросных мероприятий на угрожаемых, выбросоопасных и особо выбросоопасных

пластах необходимо вести на следующих длинах скважин:  $l \geq 5,0-5,5$  м.

5. В дальнейшем предполагается построение обобщенной модели распределения природной газоносности с применением 3D-моделирования, в которую войдут новые данные замеров природной газоносности по шахтным полям Донбасса.

### Библиографический список

1. Николин, В. И. Представления (гипотеза) о природе и механизме выбросов угля, породы и газа [Текст] / В. И. Николин // В кн.: Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. — М. : Недра, 1978. — С. 122–139.
2. Мурашов, В. И. Механизм развязывания внезапных выбросов угля и газа в горных выработках [Текст] / В. И. Мурашов // В кн.: Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. — М. : Недра, 1978. — С. 140–161.
3. Минеев, С. П. Горные работы в сложных условиях на выбросоопасных угольных пластах: монография, [Текст] / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. В. Витушко, А. Г. Радченко. — Донецк : ООО «Східний видавничий дім», 2010. — 603 с.
4. Косенко, Б. М. Изменение содержания метана и высших углеводородов в каменных углях и антрацитах Донбасса [Текст] / Б. М. Косенко // Геология угольных месторождений. — М. : 1969. — Т.1. — С. 129–135.
5. Забигаило, В. Е. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность [Текст] / В. Е. Забигаило, В. И. Николин. — К. : Наукова думка, 1990. — 168 с.
6. Николин, В. И. Борьба с выбросами угля и газа в шахтах [Текст] / В. И. Николин, И. И. Балинченко, А. А. Симонов. — М. : Недра, 1981. — 300 с.
7. Саранчук, В. И. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля [Текст] / В. И. Саранчук, А. Т. Айруни, К. Е. Ковалев; отв. ред. В. А. Сапунов. — К. : Наукова думка, 1988. — 192 с.
8. Антипов, И. В. Проявление выбросоопасности углей в ряду метаморфизма [Текст] / И. В. Антипов, А. Г. Радченко, А. А. Радченко // Безопасность труда в промышленности. — М., 2015. — № 5. — С. 59–65.
9. Газоносность и ресурсы метана угольных бассейнов Украины [Текст] / А. В. Анциферов, А. А. Голубев, В. А. Канин, М. Г. Тиркель, Г. З. Задара, В. Ю. Узиюк, В. А. Анциферов, В. Г. Суярко // Геология и газоносность Западного, Юго-Западного и Южного Донбасса. — Донецк : Изд-во «Вебер», 2009. — Т. 1. — С. 261–313.
10. СОУ 10.1.00174088.011-2005. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям. — К. : Минуглепром Украины, 2005. — 225 с.

© Радченко А. Г.  
 © Савченко А. В.  
 © Радченко А. А.  
 © Салий С. Г.  
 © Николаев Д. Ю.

Рекомендована к печати д.т.н. ОУГиТП РАНМИ Лобковым Н. И.,  
 к.т.н., доц. каф. РМПИ ДонГТУ Леоновым А. А.

Статья поступила в редакцию 07.11.17.

**Радченко О. Г., канд. геол.-мін. наук Савченко О. В. (РАНДМІ, м. Донецьк, ДНР), Радченко О. О. (ДонНАСА, м. Макіївка, ДНР), Салій С. Г., Ніколаєв Д. Ю. (РАНДМІ, м. Донецьк, ДНР)**

### **ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІНИ ПРИРОДНОЇ ГАЗОНОСНОСТІ ВУГІЛЛЯ ДОНБАСУ ІЗ ЗРОСТАННЯМ ГЛИБИНИ РОЗРОБКИ**

*У статті розглянуто головні закономірності зміни природної газонасності вугілля Донбасу залежно від їх марочного складу та глибини.*

**Ключові слова:** природна газонасність, вугільні пласти, марочний склад вугілля, ваговий вихід летючих речовин, глибина розробки, хвилеподібна зміна.

**Radchenko A. G., PhD in Geology and Mineralogy Savchenko A. V. (RANMI, Donetsk, DPR), Rachenko A. A. (DonNACEA, Makeyevka, DPR), Saliy S. G., Nikolaev D. Yu. (RANIMI, Donetsk, DPR)**

### **REGULARITIES OF CHANGING THE NATURAL GAS STABILITY OF DONBASS COALS WITH INCREASING DEPTH OF DEVELOPMENT**

*The article considers the main regularities of changing the natural gas content of Donbass coal depending on their grade composition and depth.*

**Key words:** natural gas content, coal seams, coal grade composition, weighted yield of volatile substances, depth of development, wave-like change.