

Взаимосвязь параметров физико-химических и сорбционных процессов с выбросоопасностью угольных пластов. Часть II: о влиянии стадий метаморфизма природных углей на их метаноемкость

Т. А. Киряева¹

¹ Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация
* e-mail: coalmetan@mail.ru

Аннотация. В данной части статьи на основе технологий интеллектуальной обработки данных (Data Mining), показано, что дисперсия экспериментальных данных выхода летучих веществ по глубине связана с особенностями проявления регионального термометаморфизма углей. Установлено, что наиболее сильными влияющими факторами на метаноемкость угля являются глубина залегания угольных пластов и выход летучих веществ, что согласуется с классическими представлениями.

Ключевые слова: газодинамическая активность угольных шахт, выход летучих веществ, глубина залегания, стадия метаморфизма, геологический возраст угольных пластов, энергия релаксации

Relationship of the parameters of physico-chemical and sorption processes with the emission of coal beds. part II: on the influence of the stages of metamorphism of natural coals on their metanic capacity

T. A. Kiryaeva¹

¹ Chinakal Institute of Mining SB RAS, 630091, Russia, Novosibirsk, 54 Krasny prospect, Ph. D.,
e-mail: coalmetan@mail.ru

Abstract. In this part of the article, based on the technologies of intelligent data processing (Data Mining), it is shown that the dispersion of the experimental data on the release of volatile substances in depth is associated with the peculiarities of the manifestation of regional thermo-metamorphism of coals. It has been established that the most powerful factors influencing the methane capacity of coal are the depth of coal seams and the release of volatile substances, which is consistent with classical concepts.

Keywords: gas-dynamic activity of coal mines, release of volatile substances, depth of occurrence, stage of metamorphism, geological age of coal seams, relaxation energy

Введение

В последние десятилетия разработаны более совершенные методы анализа экспериментальных данных, а также особенно резко возросли технические возможности обработки больших информационных массивов. Их использование позволило авторам статьи уточнить основные эмпирические зависимости проб углей, отобранных на пластах Кузбасса, Донбасса и Львовско-Волынского бассейнов. Информационной базой для наших исследований послужили каталоги [1,

2], которые содержали данные по 1476 пробам углей разрабатываемых месторождений Кузбасса, Донбасса и Львовско-Волынского бассейнов. Диапазоны изменения приводимых здесь значений достаточно полно охватывают различные свойства каменных углей этих угольных бассейнов: $0,7 \% \leq W \leq 9 \%$; $1,3 \% \leq P \leq 30 \%$; $7 \% \leq V^{daf} \leq 45 \%$; $30 \text{ м} \leq H \leq 1050 \text{ м}$ (W – аналитическая влажность, %; P – пористость, %; V^{daf} – выход летучих, %; H – глубина залегания пласта в точке отбора пробы, м). Метаноемкость измерялась в диапазоне установившихся давлений метана $(0,1 \div 4) \cdot 10^6$ Па. Трендовый анализ экспериментальных данных (рис. 1) показывает, что выход летучих веществ с глубиной залегания угольного пласта преимущественно снижается [3].

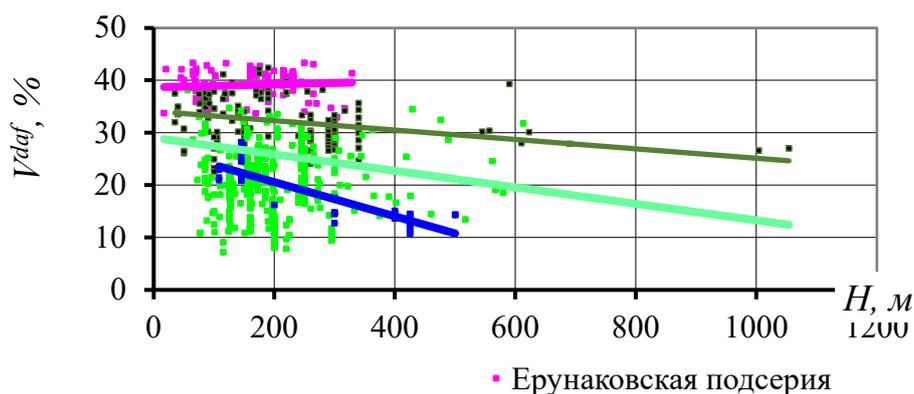


Рис. 1. Изменение выхода летучих веществ для различных подсерий углей Кузбасса в целом с глубиной залегания пластов. Сплошной линией показаны их линейные тренды

Было высказано предположение, что значительные отклонения (дисперсия) экспериментальных данных для линейных трендов связаны с особенностями проявления регионального термо-метаморфизма углей. Разбиение подсерий на отдельные свиты угольных пластов не выявило однозначных зависимостей выхода летучих веществ углей с глубиной их залегания (рис. 2).

Таким образом, анализ всех имеющихся данных позволяет прийти к общему выводу о том, что выход летучих веществ из угля является, по-видимому, функцией многих переменных, и поэтому, пользуясь только этим показателем, нельзя однозначно выявить физико-химические свойства углей и закономерности их изменения.

Одну из причин таких отклонений может объяснить гипотеза, сформированная В.Н. Опариным в работе [4] – о «геокрекинговом механизме» возникновения месторождений углеводородного ряда, сопряженного с тектоно-магматическими эпохами возникновения рудных месторождений. Здесь рассмотрим лишь ее отдельный аспект, напрямую связанный с количественной оценкой возможного влияния температурного фактора от крупного кластера магматических месторождений Алтае-Саянской складчатой области на характер газодинамической активности шахт сопряженного с ней Кузнецкого угольного бассейна.

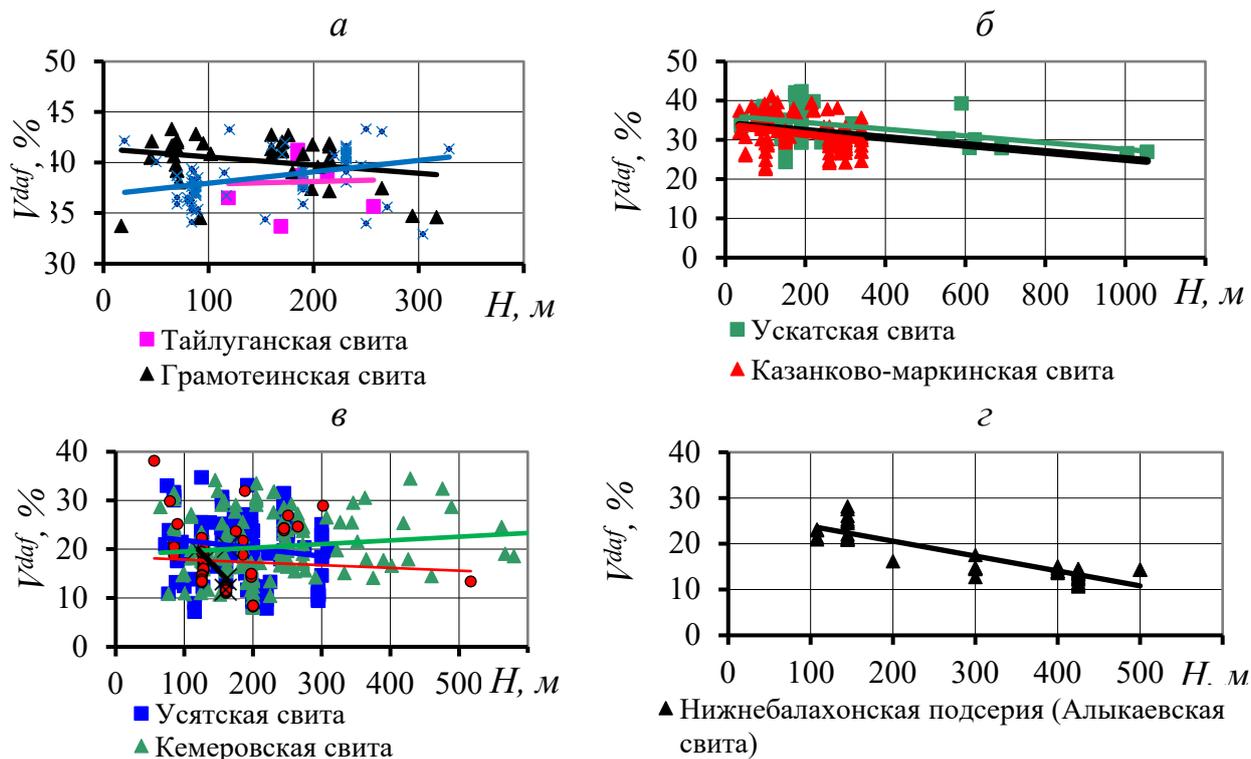


Рис. 2. Изменение выхода летучих веществ для углей различных свит с глубиной залегания пластов:

а – Ерунаковской подсерии; б – Ильинской подсерии; в – Верхнебалахонской подсерии; г – Нижнебалахонской подсерии

Рассмотрение такой постановки задачи представляется естественным, поскольку важная роль температурного фактора в процессах достижения той или иной стадии метаморфизма угленосных толщ хорошо известна, равно как и характер их изменения с расстоянием от источников магматического разогрева.

Информационную основу для данных исследований составили специально сформированные [1, 5, 6] обширные базы данных по метаноносности, метаноемкости, стратиграфическом распределении энергетических ресурсов и газодинамической активности угольных шахт Кузнецкого угольного бассейна, с учетом сведений о произошедших на них крупных катастрофических событиях за период с 1947 по 2010 гг. Для каждого угольного месторождения была найдена зависимость выхода летучих веществ от глубины залегания угольного пласта и для единообразия обработки данных определен выход летучих веществ на глубине 100 м. Геологический возраст каменноугольных отложений определен по [7].

Обработанные таким образом данные о распределении выхода летучих веществ, геологического возраста и удельной энергии релаксации метаноносности для угольных пластов месторождений Кузбасса в зависимости от расстояния до Таштагола приведены в табл. 1, рис. 3, 4 и согласуются с выбросоопасностью основных стратиграфических структур Кузбасса. Вершине параболы (рис. 3а) соответствуют сравнительно молодые (~260 млн. лет) бурые угли Кольчугинской

серии Ерунаковской подсерии с выходом летучих веществ 38-43 %, имеющие минимальную удельную энергию релаксации метаноносности, описанную в [8]. Выбросоопасность этих угольных пластов минимальна. Ветви параболы соответствуют средней стадии метаморфизма углей. Здесь расположены наиболее выбросоопасные угольные пласты Балахонской серии, причем на расстоянии около $(300 \div 400) \cdot 10^3$ м от Таштагола залегают угольные пласты наиболее опасной и «старой» (~307 млн лет) по геологическому возрасту Нижнебалахонской подсерии. Угольные пласты, расположенные на расстоянии до $\sim 150 \cdot 10^3$ м от Таштагола также выбросоопасны, это угли Кольчугинской и Балахонской серий, но менее «старых» (~275 млн лет) Ильинской и Верхнебалахонской подсерий.

Очевидно, что в соответствии с рис. 4 все районы Кузнецкого угольного бассейна можно разделить на 3 группы.

Первая группа – это наиболее удаленные от Таштагола районы Кемеровский и Анжерский, имеющие максимальную удельную энергию релаксации метаноносности $(\sim 130 \div 180) \cdot 10^3$ Дж/кг. На этих территориях находились в середине и конце прошлого века (1947-1990 гг.), ныне закрытые, самые выбросоопасные шахты Кузбасса (табл. 2). Количество ГДЯ в них достигло 219 случаев.

Вторая группа – это районы, имеющие минимальную удельную энергию релаксации метаноносности $(\sim 50 \div 80) \cdot 10^3$ Дж/кг. В настоящее время здесь сосредоточены все основные работающие шахты. Число ГДЯ на этих шахтах минимальное (70) из 3-х групп районов и в основном происходило в 70-90-х годах прошлого века.

Третья группа – самые близлежащие к Таштаголу районы. Расположенные на них шахты также имеют высокую удельную энергию релаксации метаноносности $(\sim 100 \div 140) \cdot 10^3$ Дж/кг. Только 2 из них в Томь-Усинском районе имеют эти показатели в пределах $180 \cdot 10^3$ Дж/кг. Количество газодинамических явлений на шахтах этого района хотя и меньше (113), чем на шахтах первой группы районов, но это были наиболее крупные (с количеством погибших 5 и более человек) аварии на шахтах Кузбасса [7]: ш. Ульяновская-110 чел., Юбилейная-39 чел., Распадская-91 чел.

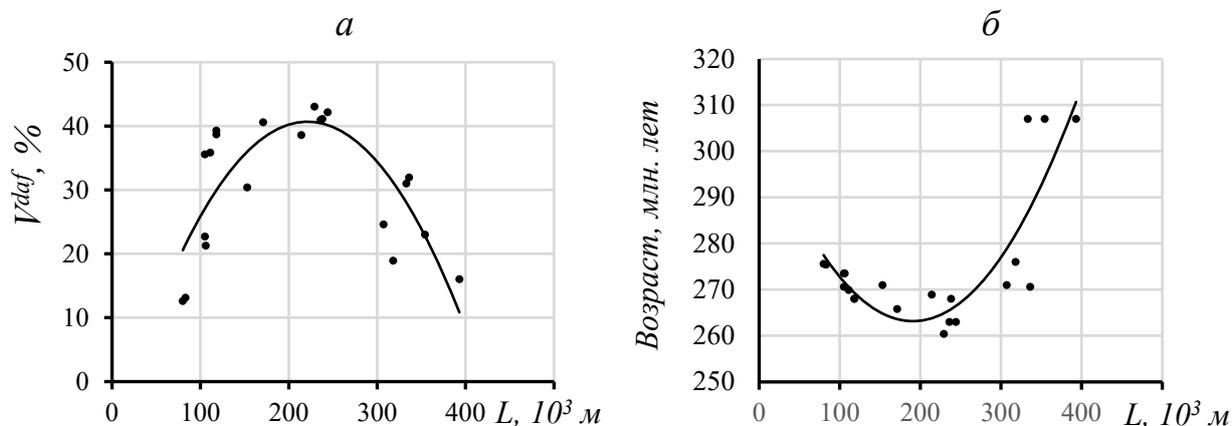


Рис. 3. Распределение:

а – выхода летучих веществ V^{daf} ; б – геологического возраста угольных пластов месторождений Кузбасса в зависимости от расстояния L от Таштагола

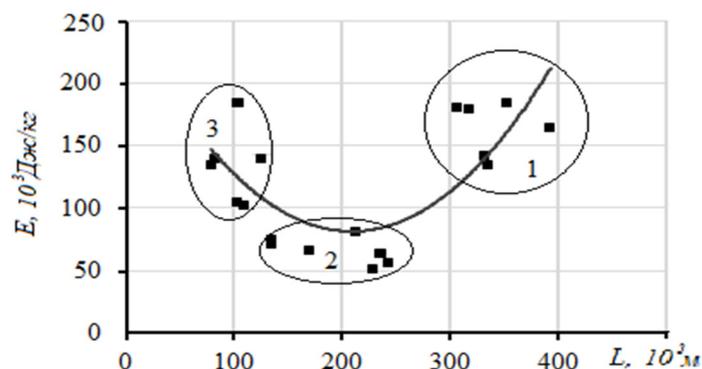


Рис. 4. Значения удельной энергии релаксации метаноносности в зависимости от расстояния до Таштагольского железорудного узла

Районы: 1 – Кемеровский, Анжерский; 2 – Беловский, Ленинский, Ерунаковский, Байдаевский; 3 – Кондомский, Томь-Усинский, Осинниковский

Распределения выхода летучих веществ (рис. 1 и 2) также имеют свои особенности, коррелирующие с рис. 3 и 4. Ерунаковская и Верхнебалахонская подсерии являются более «молодыми» по геологическому возрасту. Несмотря на то, что они принадлежат разным сериям (Кольчугинской и Балахонской), тем не менее выход летучих веществ у них трендово увеличивается с глубиной. Для более же «старых» по геологическому возрасту Ильинской и Нижнебалахонской подсерий, выход летучих веществ с глубиной трендово уменьшается.

Аналогичная зависимость имеет место и для всего Кузнецкого угольного бассейна в целом, хотя и с минимальной величиной достоверности выбранной линейной аппроксимации, что с позиций структуры графиков рис. 3 и 4 объяснимо: адсорбционная способность ископаемых углей существенно меняется с изменением горно-геологических условий их залегания и зависит от степени их термо-метаморфизма.

Применение технологии big data для анализа многопараметрических данных

Как показано в [27], в настоящее время меняется парадигма обработки горнотехнических данных, что обусловлено: значительным увеличением потоков информации, поступающих от средств измерения; накоплением и структуризацией пространственной информации; появлением новых систем, генерирующих множество разнообразных данных на уровне облаков точек и интерферограмм, отображающих изменение состояния массива. При этом исследователю приходится иметь дело уже с миллионами данных, что увеличивает требования как к алгоритмам обработки информации, так и к самой методологии. Используемый подход связан с технологиями интеллектуальной обработки данных (Data Mining), эффективность применения методов которой проиллюстрирована на примере обработки и анализа приведенных выше физико-химических параметров угольных пластов Кузбасса. Согласно этим расчетам, наиболее сильными влияющими факторами на метаноёмкость угля являются глубина залегания

угольных пластов и выход летучих веществ, что согласуется с классическими представлениями.

Таблица 1

Стратиграфические структуры шахт Кузнецкого угольного бассейна

№ шахты	Район Кузбасса	Месторождение	Подсерия	Свиты пластов шахты	$V_{daf,100}$, %	Возраст свит, млн. лет	Расстояние от Таштагола, км
1	Кондомский	Алардинское	Верхнебалахонская	Кемеровская, Ишановская, Промежуточная	13,1	275,4	83
2	Томь-Усинский	Ольжерасское	Верхнебалахонская	Усятская, Кемеровская, Ишановская	22,7	273,5	105
3	Томь-Усинский	Ольжерасское	Верхнебалахонская	Усятская, Кемеровская, Ишановская	21,3	273,5	106
4	Кемеровский	Берёзово-Бирюлинское	Верхнебалахонская, Нижнебалахонская	Промежуточная, Алыкаевская	31,0	307,0	333
5	Кемеровский	Берёзово-Бирюлинское	Нижнебалахонская	Алыкаевская	23,0	307,0	354
6	Прокопьевско-Киселевский	Киселёвское	Верхнебалахонская	Усятская, Кемеровская	30,4	271,0	153
7	Анжерский	Анжерское	Нижнебалахонская	Алыкаевская	16,0	307,0	393
8	Кемеровский	Кедровско-Крохалёвское	Верхнебалахонская	Кемеровская	31,9	270,6	336
9	Томь-Усинский	Распадское	Ерунаковская, Ильинская	Ленинская, Казанково-маркинская	35,8	269,9	111
10	Осиниковский	Шелканское	Ильинская	Казанково-маркинская	35,6	270,6	105
11	Осиниковский	Алардинское	Верхнебалахонская	Кемеровская, Ишановская, Промежуточная	12,6	275,6	80
12	Беловский	Чертинское	Ильинская	Казанково-маркинская	38,6	268,9	214
13	Байдаевский	Байдаевское	Ерунаковская, Ильинская	Ленинская, Ускальская	38,7	268,0	118
14	Байдаевский	Байдаевское	Ерунаковская, Ильинская	Ленинская, Ускальская	39,3	268,0	118
15	Ерунаковский	Соколовское	Ерунаковская	Ленинская	40,6	265,8	171
16	Ленинский	Ленинское	Ерунаковская, Ильинская	Ленинская, Ускальская	41,1	268,0	238
17	Ленинский	Ленинское	Ерунаковская, Ильинская	Грамотеинская, Ленинская, Ускальская	40,9	263,0	236
18	Ленинский	Ленинское	Ерунаковская	Грамотеинская, Ленинская	43,0	260,4	229
19	Ленинский	Егозово-Красноярское	Ерунаковская	Грамотеинская, Ленинская	42,2	263,0	244
20	Кемеровский	Кемеровское	Верхнебалахонская	Кемеровская	24,6	271,0	307
21	Кемеровский	Кемеровское	Нижнебалахонская	Промежуточная	18,9	276,0	318

Газодинамические явления (ГДЯ) на угольных месторождениях Кузбасса
с 1947 по 2010 гг.

№ района (по рис. 4)	Месторождение	Шахта	Всего ГДЯ на 01.01.2010 г.
1	Анжерское	Судженская	25
		Анжерская	15
	Березово- Бирюлинское	Первомайская	33
		Бирюлинская	10
		Березовская	12
	Кемеровское	Северная	112
Ягуновская		27	
Итого по 1 району			219
2	Чертинское		31
	Байдаевское		13
	Кемеровское		26
Итого по 2 району			70
3	Ольжерасское		10
	Распадское		1
	Щелканское		2
	Киселевское		13
	Прокопьевское		86
Итого по 3 району			113

Выводы

Проведенный комплекс теоретических и экспериментальных исследований, изложенный в данной статье (части I-II) позволяет отметить следующие важные результаты.

1. Существует тесная связь между метаноемкостью и стадиями метаморфизма углей. В качестве показателя стадии метаморфизма углей может быть использован выход летучих веществ.

2. Анализ экспериментальных данных выхода летучих веществ показал возрастание стадий метаморфизма природных углей с глубиной залегания угольных пластов. Известные отклонения, по-видимому, связаны с особенностями проявления регионального метаморфизма и геологического возраста угольных пластов. Существенного влияния петрографических характеристик угля на его метаноемкость установлено не было.

3. Проведенные расчеты по различным моделям Data Mining подтверждали друг друга и показали, что наиболее сильными влияющими факторами на метаноемкость угля являлись: глубина залегания угольных пластов и выход летучих, что совпадает с классическими представлениями.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-05-00051, а также рамках проекта НИР (номер государственной регистрации 121062200075-4).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Свидетельство № 2018620264 на БД. Российская Федерация. Каталог метаноемкости углей Кузбасса / Киряева Т. А., Опарин В. Н.; Зарегистр. 13.02.2018 г.
2. Каталог коллекторских свойств каменных углей и антрацитов Донецкого и Львовско-Волынского бассейнов. – Макеевка, 1985. – 20 с.
3. Киряева, Т. А. Разработка метода газодинамической активности угольных пластов по геологоразведочным данным на примере Кузбасса / Т. А. Киряева. – LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co., Germany, 2011. – 104 с.
4. Опарин, В. Н. Волны маятникового типа и «геомеханическая температура» / В. Н. Опарин // Нелинейные геомеханико-геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах: тр. 2-й Рос.-кит. науч. конф. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012. – С. 13–19.
5. Свидетельство 2018620035 на БД. Российская Федерация. Каталог метаносности углей Кузбасса / Киряева Т. А., Опарин В. Н.; Зарегистр. 09.01.2018 г.
6. Свидетельство № 2018620036 на БД. Российская Федерация. Каталог внезапных выбросов угля и газа в Кузбассе / Киряева Т.А., Опарин В.Н.; Зарегистр. 09.01.2018 г
7. Постановления межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. – СПб.: Изд. ВСЕГЕИ, 2008. – Вып. 38. – 151 с.
8. Киряева Т. А. Разработка методов энергетического анализа и прогнозирования газодинамической активности углеметановых пластов Кузбасса / Т. А. Киряева. – Riga, Latvia: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2019. – 332 с.
9. Бычков, И. В. Горная информатика и проблема «больших данных» в построении комплексных мониторинговых систем безопасности недропользования / И. В. Бычков, Д. Я. Владимиров, В. Н. Опарин, В. П. Потапов, Ю. И. Шокин // ФТПРПИ. – 2016. – № 6. – С. 163 – 179.

© Т. А. Киряева, 2022