

*В. Н. Опарин<sup>1</sup>, Т. А. Куряева<sup>1</sup>*

## **Влияние геокрекингового механизма месторождений углеводородного ряда на выбросоопасность угольных пластов**

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

**Аннотация.** В статье впервые выдвигается и обосновывается выдвинутая В.Н. Опариним гипотеза о «геокрекинговом механизме» возникновения месторождений углеводородного ряда (угольные, нефтегазовые, сланцевые и т.п.) в рамках ранее обоснованной им модели «осцилляционной геодинамики» квазипериодического изменения радиуса Земли и сопутствующих крупных тектоно-магматических эпох за весь период ее существования (~ 4,8 млрд лет): с формированием стратифицированных разрезов для ее А- и В- слоев до глубины ~ 350 ÷ 400 км (земная кора и верхняя мантия). Крупномасштабная и комплексная ее верификация дана на примере обширного информационного банка данных по рудным и угольным месторождениям юга Западной Сибири. Для примера в статье рассмотрен крупный кластер магматических месторождений Алтае-Саянской складчатой области и его влияние на характер газодинамической активности шахт сопряженного с ней Кузнецкого угольного бассейна. Показана высокая корреляционная связь выхода летучих веществ угольных пластов по расстоянию от кластера магматических месторождений с выбросоопасностью основных стратиграфических структур Кузбасса. Данный аспект научных исследований может быть использован как методологическая основа для перспективного поиска и разведки месторождений полезных ископаемых различного геохимического состава и для предотвращения выбросоопасности угольных пластов.

**Ключевые слова:** выбросоопасность угольных пластов, геокрекинговый механизм, выход летучих веществ, стадии метаморфизма, магматические месторождения, возраст угольных пластов

*V. N. Oparin<sup>1</sup>, T. A. Kiryaeva<sup>1</sup>*

## **Influence of the geocracking mechanism of hydrocarbon deposits on the outburst hazard of coal seams**

<sup>1</sup> Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation  
e-mail: coalmetan@mail.ru

**Abstract.** The article for the first time puts forward and substantiates the put forward by V.N. Oparin's hypothesis about the "geocracking mechanism" of the occurrence of hydrocarbon deposits (coal, oil and gas, shale, etc.) within the framework of the previously substantiated by him model of "oscillatory geodynamics" of quasi-periodic changes in the Earth's radius and accompanying large tectono-magmatic epochs over the entire period of its existence (~ 4.8 billion years): with the formation of stratified sections for its A- and B-layers to a depth of ~ 350 ÷ 400 km (the earth's crust and upper mantle). Its large-scale and complex verification is given on the example of an extensive information data bank on ore and coal deposits in the south of Western Siberia. For example, the article considers a large cluster of igneous deposits of the Altai-Sayan folded region and its influence on the nature of the gas-dynamic activity of the mines of the Kuznetsk coal basin associated with it. A high correlation is shown between the release of volatile substances from coal seams by distance from a cluster of igneous deposits and

the outburst hazard of the main stratigraphic structures of Kuzbass. This aspect of scientific research can be used as a methodological basis for perspective prospecting and exploration of mineral deposits of various geochemical composition and for preventing outburst hazard of coal seams.

**Keywords:** outburst hazard of coal seams, geocracking mechanism, release of volatile substances, stages of metamorphism, igneous deposits, age of coal seams

### *Введение*

Формирование месторождений многих видов полезных ископаемых в земной коре шло «параллельно» и территориально сопряжено, по крайней мере, на протяжении минувших более 400 млн лет. Они не могли не оказывать значительного влияния друг на друга. Различные металлы и другие химические элементы, содержащиеся в углеводородах и продуктах их метаморфизма, отражают геохимические особенности окружающей геологической среды и поэтому являются необходимым информационно-поисковым ресурсом касательно соответствующих видов полезных ископаемых. Углеводороды и продукты их метаморфизма в верхних слоях земной коры (твердые битумы, ископаемые угли, антраксолит, шунгит, графит) являются носителями ценной информации о геохимии гидротермальных процессов, в составе которых они поступали, например, из мантии Земли [1]. Поскольку в рамках «геокрекингового механизма» происхождения месторождений углеводородного ряда для нефтегазовых месторождений важную роль играют массо-газообменные процессы, связанные со «спеканием» органически насыщенных осадочных отложений в соответствующие им тектономагматические эпохи с образованием угольных бассейнов и ореолом мигрирующих из них жидких и газообразных фаз (нефти, воды и газов с микроэлементами «материнского» органического вещества и вмещающих породных массивов) вдоль тектонических разломов, топологически связанных с формирующимся угольным бассейном. В условиях Сибирского региона самые крупные из них могут быть связаны, например, с пойменными участками вдоль русла крупных материковых рек (Иртыш, Обь, Енисей и др.), берущих свое начало (истоки) в районах расположения крупных угольных провинций, сопряженных с достаточно молодыми горными системами (возрастом менее 400 млн лет) [2].

Однако процесс аномально высокого разогрева мощных осадочных отложений «органического наполнения» может происходить и в условиях формирования сравнительно молодых по возрасту акваторий морей и океанов в соответствующие им тектономагматические эпохи изменения на поверхности Земли либо проникновения внутрь осадочной толщи большого объема магмы. Геологи часто недооценивают возможную роль флюидо-гидроразрыва стратифицированных породных массивов магматическими потоками из их очаговых зон на мантийных глубинах. Важными свидетельствами тому могут, с одной стороны, служить примеры морфологических проявлений Сибирских траппов с «вкраплениями» полиметаллических месторождений; а с другой стороны – очевидная сопряженность полиметаллических, угольных и нефтегазовых месторождений вокруг акватории Северного ледового океана.

Из отмеченного выше с необходимостью следует, что установление количественных взаимосвязей между изменениями структуры и фазового состояния исходно метаморфизируемого органогенно насыщенного геовещества с индуцируемыми массо-газообменными процессами под влиянием возрастающих по глубине горного давления и температуры вмещающих породных массивов различной геомеханической спецификации имеет самое непосредственное отношение к созданию фундаментальных основ энергоэффективного и безопасного недропользования Земли при поиске, разведке и добыче органо-минерального сырья, в том числе и при переходе отработки месторождений полезных ископаемых «углеводородного ряда» на глубокие горизонты, необходимости применения «безлюдных» геотехнологий – геотехнологий «реакторного типа» [2]. В таких условиях ключевая роль принадлежит теоретическому описанию особенностей высвобождения накопленной упругой и соляной энергии из сформировавшегося в соответствующие геологические периоды времени органического геовещества (угли разного марочного состава, горючие сланцы, асфальтены и другие органо-минеральные компоненты продуктивных толщ полезных ископаемых, в том числе и флюидо-газовые по структурно-тектоническому «дереву их миграции» [3, 4]).

Для угольных месторождений такие знания касаются решения фундаментальных проблем безопасного (по искро-взрывопроявлениям; возникновению внезапных выбросов породы, угля и газа; формированию пожароопасных ситуаций и т.п.) и энергоэффективного ведения горных работ в экстремальных геомеханико-геодинамических и горно-геологических условиях.

Угольные пласты, согласно [1] – это древние изливы нефти на дневную поверхность с последующим захоронением их в процессе формирования осадочной толщи. Это дает возможность повысить эффективность прогнозно-поисковых работ на соответствующие виды полезных ископаемых. Особое значение приобретает температурный фактор влияния на процессы метаморфизма угленосных толщ. В одних и тех же угленосных отложениях степень метаморфизма углей тем выше, чем выше температура вмещающих пород. Например, в Тунгусском угленосном бассейне в пермских отложениях с юго-востока на северо-запад по мере увеличения уровня регионального геотермического фона увеличивается и степень метаморфизма углей – от бурых до антрацитов [5]. Четко проявляется важная роль температуры и в метаморфизме органического вещества. Это выражается в закономерном увеличении доли углерода: от 55 – 60 % в бурых углях до 93 – 95 % в антраците и далее до ~100 % – в графите и алмазе.

Косвенные данные на примере результатов извержения вулканов в океанических подводных условиях с выбросами золы и угля приведены в журнале *Nature Geoscience* [6]. В соответствующих по возрасту геологических слоях канадские геологи обнаружили отложения пепла – ценосферы. Они представляют собой микроскопические полые частицы зольной пыли, которая образуется при сжигании угля. Такие же частицы появляются на Земле как результат работы угольных электростанций. 250 млн лет назад эти частицы могли сформироваться, когда в эпоху активности сибирских траппов расплавленное вещество, «подсекало» угольные пласты [6].

Установление взаимосвязи изменения структуры угольного вещества (в процессе изменения давления газа, температуры и при других видах внешних воздействий) с процессом внезапного выброса, в свою очередь, позволит создать физические основы новых методов прогноза и управления газодинамическим состоянием угольного пласта.

*Установление геокрекингового механизма месторождений углеводородного ряда с целью описания его влияния на выбросоопасность угольных пластов осуществлялось следующим методом.*

Для примера рассмотрим крупный кластер магматических месторождений Алтае-Саянской складчатой области и его влияние на характер газодинамической активности шахт сопряженного с ней Кузнецкого угольного бассейна. Жидкие и газообразные фазовые составляющие породных толщ по мере остывания сопряженных с ними магматических тел должны были проникать и в угольные толщи месторождений полезных ископаемых, создавая примесный фон, трендово ослабевающий с расстоянием от регионального источника разогрева породных массивов.

Информационной базой наших исследований послужили созданный и запатентованный авторами электронный каталог метаноносности – по 15600 пласто-пересечениям 323 пластов на 11 месторождениях Кузбасса, разрабатываемых 17 шахтами [7]. 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. Обработанные таким образом данные, распределенные по шахтам и районам Кемеровской области, приведены в табл. 1. Геологический возраст каменноугольных отложений приведен согласно [8].

Как видно из структуры приведенных на рис. 1 графиков, имеем высокую корреляционную связь изучаемых параметров по расстоянию от кластера магматических месторождений с выбросоопасностью основных стратиграфических структур его угольного «обрамления»: на рис. 1а на вершине параболы группируются сравнительно молодые бурые угли кольчугинской серии с выходом летучих веществ ~ 48 – 43%. Выбросоопасность этих угольных пластов минимальна. Термометаморфизм угольных пластов Кузнецкого бассейна создается не только под воздействием тепловых потоков со стороны Таштагола, но и других крупных магматических образований, обрамляющих Кузбасс.

Здесь рассмотрено одно из возможных направлений термометаморфизма – в сторону Таштагола. Поэтому на графиках с увеличением расстояния от Таштагола выход летучих изменяется по параболической зависимости. Ветви параболы соответствуют средней стадии метаморфизма углей.

Таблица 1

## Стратиграфические структуры шахт Кузнецкого угольного бассейна

№ шахты	Район Кузбасса	Месторождение	Подсерия	Свиты пластов шахты	$V_{100}^{dat}$ , %	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	Осинниковский	Шелканское	Ильинская	Казанково-маркинская	35,6	270,6	105
11	Осинниковский	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	Ленинская, Ускальская	40,9	263,0	236
18	Ленинский	Ленинское	Ерунаковская	Грамотеинская, Ленинская	43,0	260,4	229
19	Ленинский	Егозово-Красноярское	Ерунаковское	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

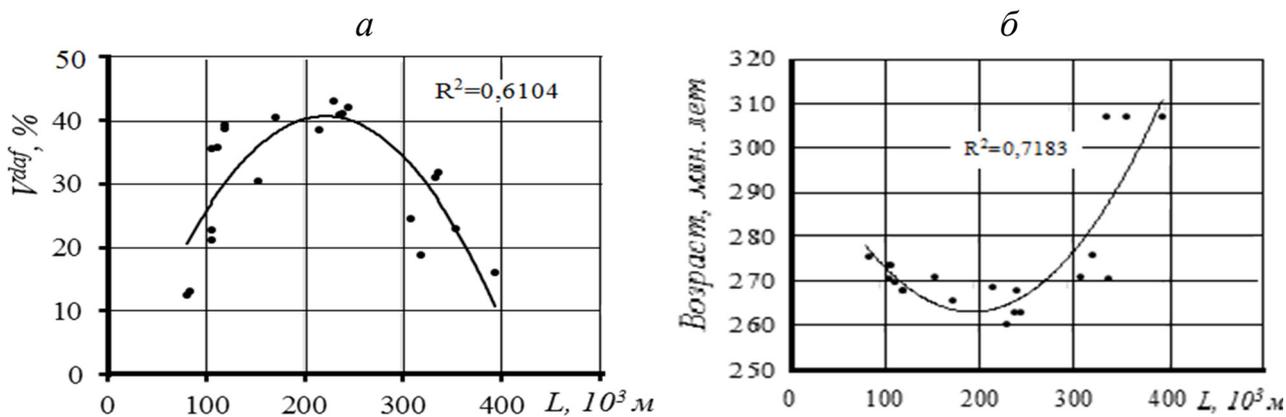


Рис. 1. Распределение: а – выхода летучих веществ  $V_{daf}$ ;

б – геологического возраста для угольных пластов месторождений Кузбасса в зависимости от расстояния  $L$  от Таштагола

Здесь расположены выбросоопасные угольные пласты балахонской подсерии (275 млн. лет), причем на расстоянии около ~300-400 км от Таштагола залегают угольные пласты наиболее выбросоопасной и старой по геологическому возрасту нижнебалахонской подсерии. Таким образом, все районы Кузнецкого угольного бассейна можно разделить на 3 группы.

*Первая группа* – это наиболее удаленные от Таштагола районы Кемеровский и Анжерский. На этих территориях находились в середине и конце прошлого века (1947 – 1990 гг.) ныне закрытые и самые выбросоопасные шахты Кузбасса (табл. 2). Количество газодинамических явлений (ГДЯ) в них достигло 219 случаев.

Таблица 2

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

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

*Вторая группа* — это районы, в которых настоящее время сосредоточены все основные работающие шахты. Число ГДЯ на этих шахтах минимальное (70) из 3-х групп районов и в основном происходили в 70-90-х годах прошлого века.

*Третья группа* - это близлежащие к Таштаголу районы. Количество газодинамических явлений на шахтах этого района хотя и существенно меньше (113), чем на шахтах первой группы районов, но это были наиболее крупные аварии на шахтах Кузбасса (с количеством погибших 5 и более человек) [9]: ш. Ульяновская – 110 чел., Юбилейная – 39 чел., Распадская – 91 чел.).

Отмеченные выше экспериментальные данные существенно дополняют результаты исследований, представленных авторами настоящей работы в [3, 4].

Возможно накопление энергии в угольных пластах в течение миллионов лет и их термометаморфизм объясняет повышение температуры угольных пластов при их разработке [10-20], а также изменение энергии внезапных выбросов угля и газа в настоящее время. Природа отдает людям энергию, накопленную за миллионы лет термометаморфизма.

### **Выводы**

Таким образом, выдвинутая в [21] гипотеза о возможном существовании всеобщего «геокеркингового механизма» формирования месторождений углеводородного ряда имеет под собой определенные геомеханико-геодинамические и тектонофизические основания.

Построенные экспериментально-теоретические зависимости позволили дать геомеханико-тектонифизическое объяснение особенностям проявления крупных газодинамических событий для основных угольных месторождений Кузбасса по фактическим данным о техногенных катастрофах за период 1947-2010 годы. Достигнутые результаты получены впервые и имеют принципиально важное методологическое значение при построении комплексных мониторинговых систем геодинамической безопасности горнодобывающих предприятий Сибири для территориально сопряженных зон с различными видами отрабатываемых месторождений полезных ископаемых органической и неорганической природы.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00148, <https://rscf.ru/project/23-17-00148/>*

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Кусов Б.Р. Генезис некоторых углеродсодержащих полезных ископаемых (От метана до алмаза). – Изд-во: ИПО СОИГСИ. – Владикавказ, 2011, 195 с.
2. Опарин В. Н. Геотехнологии будущего – геотехнологии «реакторного типа»: современные тенденции, научный задел, ключевые проблемы // *Фундаментальные проблемы формирования техногенной геосреды: Тр. Всерос. конф. с участием иностр. ученых.* – В 2-х томах. Т. 1: Геотехнология. Прикладная геомеханика. Обогащение полезных ископаемых. Экология. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2012. – с. 5 – 19.
3. Опарин В. Н., Адушкин В. В., Киряева Т. А., Потапов В. П. Региональная кластеризация угольных месторождений Кузбасса по газодинамической активности // *ГИАБ.* – Ч. I. –

2018. – № 9. – С. 5 – 24. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-9-0-5-24; Ч. II. – 2018. – № 10. – С. 5 – 29. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-10-0-5-29.

4. Опарин В. Н., Потапов В. П., Киряева Т. А. О геодинамическом влиянии железорудных месторождений Горной Шории и Хакасии на метаноносность и газодинамическую активность угольных месторождений Кузбасса // В кн.: Геомеханические поля и процессы: экспериментально-аналитические исследования формирования и развития очаговых зон катастрофических событий в горно-технических и природных системах. Том I. отв. ред. Н.Н. Мельников. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. – с. 492 – 540.

5. Угольная база России. Том VI. Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. – М.: ООО «Геоинформмарк», 2004. – 779 с.

6. Stephen E. Grasby, Hamed Sanei, Benoit Beauchamp Catastrophic dispersion of coal fly ash into oceans during the latest Permian extinction // Nature Geoscience. – 2011. – Vol. 4. – pp. 104 – 107.

7. Свидетельство № 2018620035 на БД. Российская Федерация. Каталог метаноносности углей Кузбасса / Киряева Т. А., Опарин В. Н.; Зарегистр. 09.01.2018 г.

8. Постановления межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. – С.-Петербург: Изд. ВСЕГЕИ, 2008. – Вып.38. – 151 с.

9. 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.

10. Киряева Т.А. Изменение температуры при разработке углеметанового пласта – как мера его выбросоопасности // German International Journal of Modern Science, 2021. – № 65, Vol. 1. – pp. 11-14.

11. Dorofeev, DI Lowering the temperature of coal seams as a sign of outburst hazard / D.I. Dorofeev, S.A. Radchenko // Safety technology, labor protection and mining rescue. business. - 1981. - No. 4. -12. Ettinger, IL Increased methane release in outburst zones of formations - the reason for its temperature decrease during development / I.L. Ettinger, S.A. Radchenko, I.A. Gorbunov et al. // Coal of Ukraine. - 1981. - No. 10. - pp. 35–42.

12. Denisenko, S. M. Investigation of the thermal regime of coal under various conditions of its loading / S. M. Denisenko // Mine aerology and sudden outbursts of coal, rock and gas. - M. : Publishing house of IGD im. A. A. Skochinsky, 1976. - Is-sue. 142.

13. Reypolskiy, PA Study of temperature change in massif on outburst-hazardous layers / P.A. Reypolskiy, M.A. Rosenbaum // Coal of Ukraine. - 1978. - No. 10. - pp. 9-11.

14. Yelchaninov, EA Influence of changes in stresses and deformations on the dynamics of temperature of coal seams / E.A. Yelchaninov, M.A. Rosenbaum, A.I. Shor // Coal. - 1977. - No. 2. - pp. 15-16.

15. Polevshchikov, G. Ya. Gas-dynamic stability of coal methane / G. Ya. Polevshchikov, T.A. Kiryaeva // GIAB. - 2009. - Issue. 7: Kuzbass-1. - pp. 146-149.

16. Zlatkin, V.I. On the relationship between the stress state and the temperature of the coal mass in the support pressure zone / V.I. Zlatkin, LN Gapanovich, MA Rosenbaum // Physics of rocks and processes. - M., 1974. – p. 63.

17. Faith, G. I. Some results of field studies of the temperature of coal seams in the zone of influence of mine workings / G. I. Faith, E. I. Gaiko, S. M. Denisenko et al. // Issues of ventilation and gas control and sudden blowouts in coal mines. - M. : Publishing house of IGD im. A. A. Skochinsky, 1977. - pp. 141–144.

18. Kiryaeva, T.A. To the question of the mechanism of the occurrence of high temperatures in the development of coal seams / TA Kiryaeva, RI Rodin // Coal. - 2010. - No. 2. - pp. 27-29.

19. Kiryaeva, T.A. Features of stable states of artificial and natural coal-methane systems / TA Kiryaeva // Natural Sciences and technical science. - 2011. - No. 4. - pp. 309–318.

20. Курленя М.В., Опарин В.Н. Осцилляционная геодинамика и эффект «зависания» горных систем / Тр. межд. конф. «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли». – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2002. – с. 19-35.

© В. Н. Опарин, Т. А. Киряева, 2023