УДК 552.573:553.985.2

**И.Л. Евдокимов**
*ПАО УК «Южный Кузбасс»*
*Красногорский разрез*
*главный геолог (1987–2015)*
*il@rikt.ru*

**И.И. Евдокимов**
*Гипроуголь[1]*
*ведущий инженер-программист*
*igev@giprougol.ru*

**А.И. Смирнов**
*канд. техн. наук*
*НГТУ[2]*
*доцент кафедры*
*«Материаловедение*
*в машиностроении»*
*smirnov@corp.nstu.ru*

# Наноуглерод и углеводороды при термальном и телетермальном метаморфизме углей

[1]ЗАО «Гипроуголь». Россия, 630015, Новосибирск, ул. Трикотажная, 41а.
[2]Новосибирский государственный технический университет (НГТУ). Россия, 630073, Новосибирск, пр–т К. Маркса, 20.

*Термические воздействия магматических расплавов (силлов, даек) на различные типы углей в пластах при внедрении в угленосные толщи обуславливают образование различных модификаций углерода, углеводородов, наноуглерода, их неравномерное перераспределение и сохранение в матрице аморфного углерода в различных типах углей. Слабо изученные, но в различной степени метаморфизованные внедрившимися магматическими расплавами угли в междуречье Мрас-Су и Томи, отнесенные при разведочных работах к забалансовым или числящиеся в нераспределенном фонде недр под маркой Т, требуют доизучения и переоценки с целью использования в новых технологиях, химии и электрометаллургии*

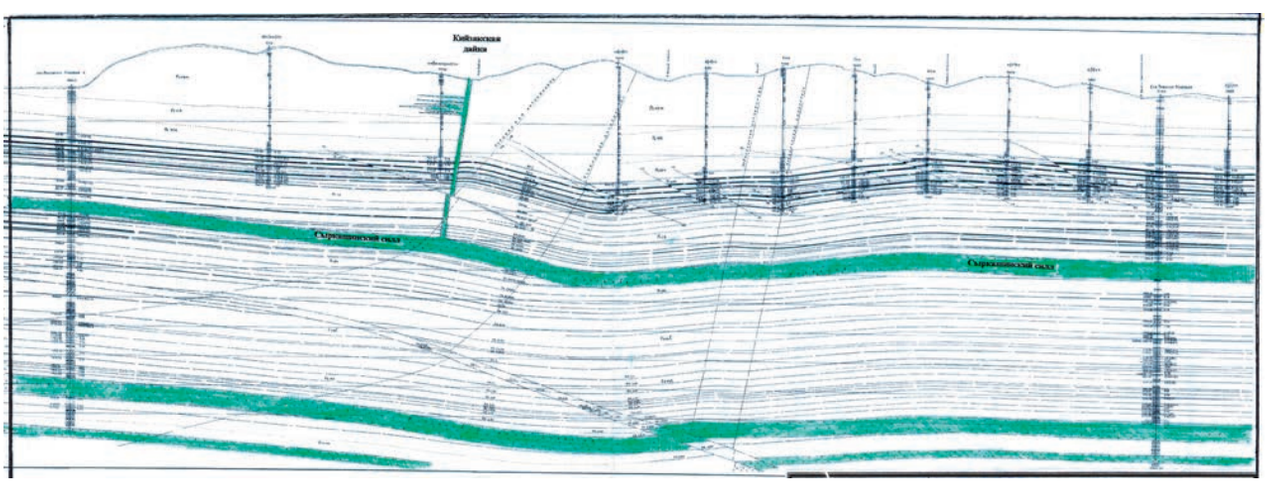
**Ключевые слова:** термические преобразования угля в недрах; наноуглерод; пиролиз; коксование; графитация; магматические расплавы; температура; давление; качественные параметры; длительность преобразований; модификации углерода и углеводородов; пласты угля; антрациты; суперантрациты; природные термоантрациты; термальный метаморфизм

Метаморфизованные угли Красногорского разреза привлекли к себе внимание на ранних стадиях изучения месторождения – необычностью и особенностью приобретенных углями свойств. Изменчивые и высокие содержания углерода (до 94–97%), низкие величины выхода летучих веществ (до 2,3–0,8%) и электросопротивления (менее 2–4 Ом·см) позволяли выделить в угольных пластах разновидности с плотностью более 1,45 г/см$^3$ и отнести их к антрацитам и суперантрацитам.

При разработке месторождения, угли которого планировалось использовать в энергетике, была подтверждена резкая изменчивость многих параметров, как по простиранию пластов, так и от пласта к пласту, что с первых дней разработки осложнило использование их как топлива. В 70-х годах прошлого века были начаты исследования и испытания отдельных типов метаморфизованных углей на металлургических заводах, но были быстро прекращены из-за отсутствия у разреза низкозольных концентратов и обогатительной фабрики. В начале 1990-х гг., когда спрос на угли Красногорского разреза снизился с 7 млн т до 3,2 млн т и разрез оказался на грани закрытия, была предпринята попытка направить сортированные угли разреза с низким содержанием летучих веществ в дальнее и ближнее зарубежье. Первые поставки сортированных метаморфизованных углей с выходом летучих веществ 4–8% и средней зольностью не более 12–18% в сортированном виде показали их востребованность на рынках Англии, Бельгии, Германии, Франции, Испании и других стран. К 2002 г., моменту завершения строительства тяжелосредной обогатительной фабрики «Красногорская», поставки различных типов сортированных метаморфизованных углей промышленным предприятиям, металлургическим заводам Сибири, Урала, ближнего и дальнего зарубежья уже превышали 1,7–2,3 млн т в год. Полученные концентраты и опытные переработки углей различных пластов на ОФ «Красногорская» позволили не только расширить сбыт метаморфизованных углей и стабилизировать их качественные показатели, но и вскрыли сложности при их подготовке к реализации. Проблемы были обусловлены резкой изменчивостью зольности и плотностных свойств в различных типах углей в пластах вдоль фронта отработки и от нижележащих пластов, слоев к вышележащим, а также сложностями создания однородной по плотностным свойствам и зольности шихты, для получения, при обогащении, концентратов зольностью менее 10–12%, выходом концентрата более 70% и стабильными свойствами.

Предположение о присутствии значительных скоплений наноуглерода в метаморфизованных углях разреза Красногорский возникло после знакомства с информацией об обнаружении фуллеренов в углеродисто-кремнистых породах (шунгитах) протерозоя. Получение графита из антрацитов XXXI и XXVII пластов Красногорского разреза на Челябинском электрометаллургическом комбинате в 1993 г. было первой попыткой преобразования метаморфизованных углей в условиях высоких давлений и температур в графит и другие, переходные модификации углерода. Разработки по наноалмазам в эти годы также вселяли надежду на возможность преобразований аморфного углерода углей в другие модификации. Что касается фуллеренов, то предположение о их присутствия укрепилось после общения с японскими и южнокорейскими специалистами, многократно посещавших разрез перед запуском ОФ «Красногорская» в 1997–2004 гг. и проявлявших особый интерес

**Рис. 1.**
*Разрез «природной коксовой батареи» по линии глубоких скважин*



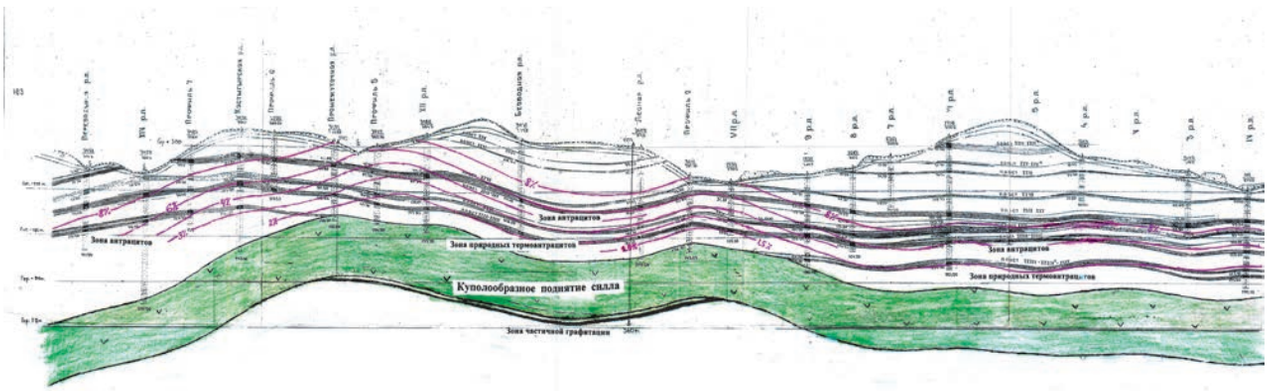
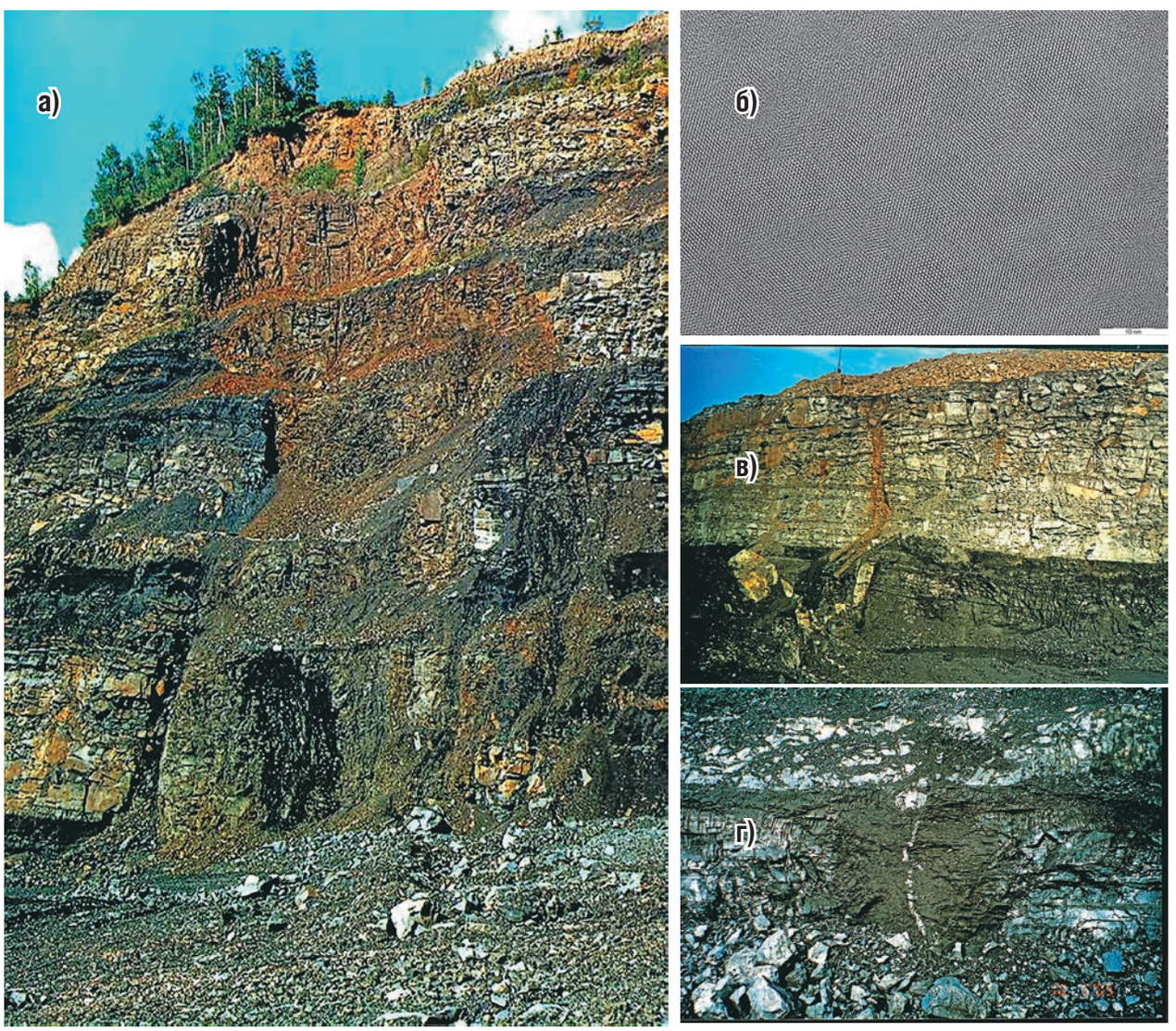



**Рис. 2.**
*Разрез «природной коксовой батареи» вдоль фронта работ разреза Красногорский: ====== – тела внедрившихся базальтовых расплавов в угленосную толщу (силлы); «пласт XXVII» – угольные пласты и их номера; -----2%,8% ---- – величины выхода летучих веществ в углях*

**Рис. 3.**
*Внедрение вертикальных и субпластовых даек диабаза в угольные пласты на разрезе « Красногорский»: а – Кийзакская дайка (24–27 м); б – субпластовая дайка в XXXII–XXXIII пластах (0,1–3,7 м, протяженность – 180–200 м); в – дайка в пластах XXIX–XXX, XXVII (0,8–1,5 м); г – дайки в пласте XXXI (5–25)*



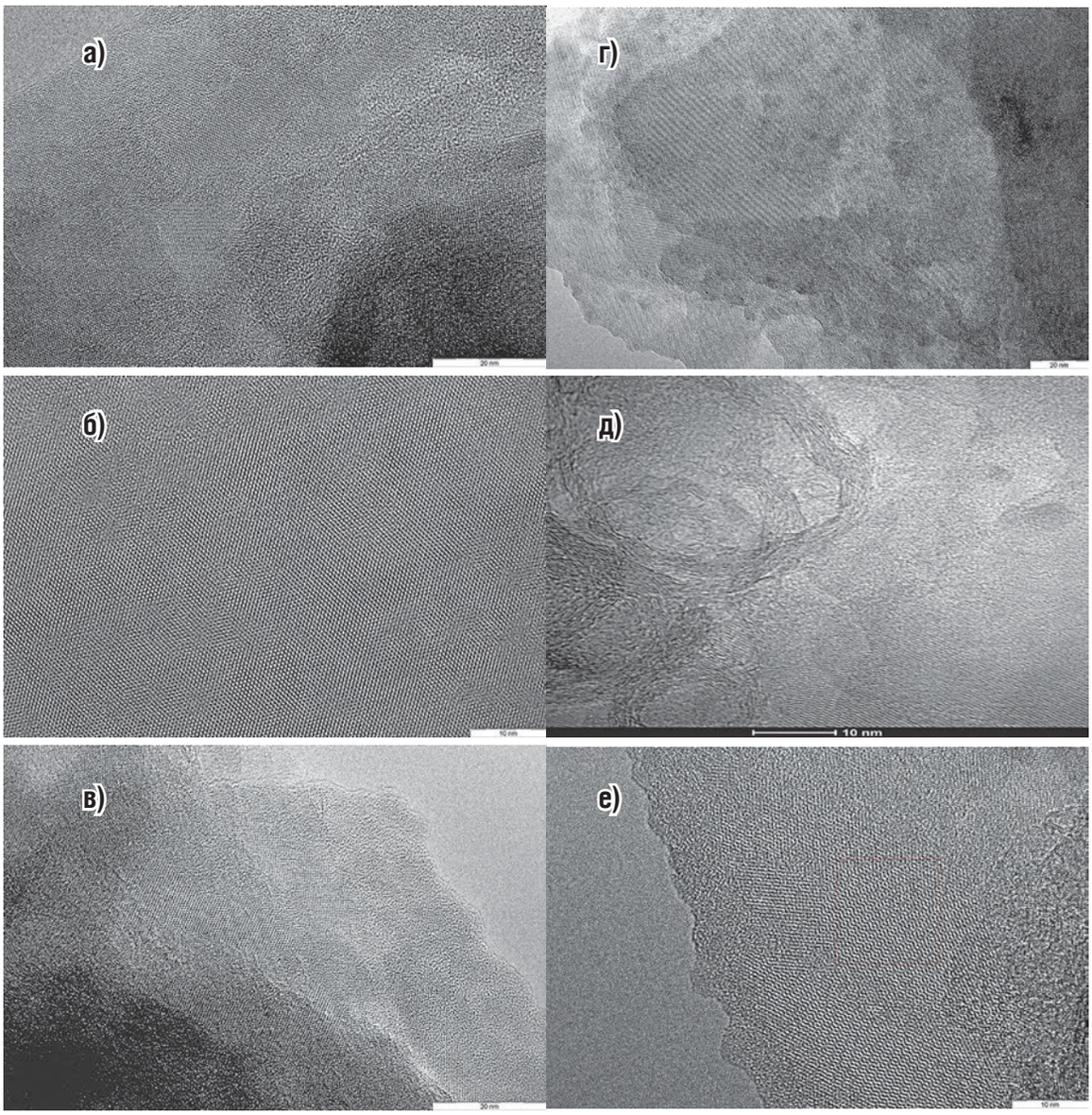



**Рис. 4.**
*Структуры углерода (а–е) в углях (пласт XXXIV) с объемным выходом летучих веществ 23–27 см$^3$/г*

к метаморфизованным углям, а также знакомства с работами С.А. Сидоренко по шунгитам.

Изучение и использование наноуглерода, созданного природой из угля, ограничено не только масштабами, размерами его присутствия, трудностями извлечения, но и тем, что условия преобразований в сложной системе «угольный пласт – типы углей – вмещающие породы – величины термодинамических воздействий» в междуречье Мрас-Су и Томи существенно отличаются от условий, создаваемых на заводах и в лабораториях при графитации, прокаливании, коксовании, пиролизе, активации, термокрекинге – масштабами процессов, состоянием среды, длительностью (временем) преобразований. Известно, что в недрах, в локальных местах и различных условиях, из накопившегося в осадках углерода были созданы алмазы, графит, шунгиты и необычные соединения углерода. А что могло помешать их образованию в недрах междуречья Мрас-Су и Томи при метаморфизме пластов угля под давлением более 5МПа, температурах не выше 1500 °С в течение длительного времени?

В настоящее время изучение и получение наноуглеродов становится одним из центральных направлений развития нанотехнологий. Существование фуллеренов было предсказано Д. Бочваром и Е. Гальперн в 1973 г., и метод получения детонационных наноалмазов и технологию нанопористого углерода разработали советские ученые. В 1985 г. Г. Крото со своими коллегами Р. Керлом и Р. Смолли удалось экспериментально обнаружить устойчивые соеди-

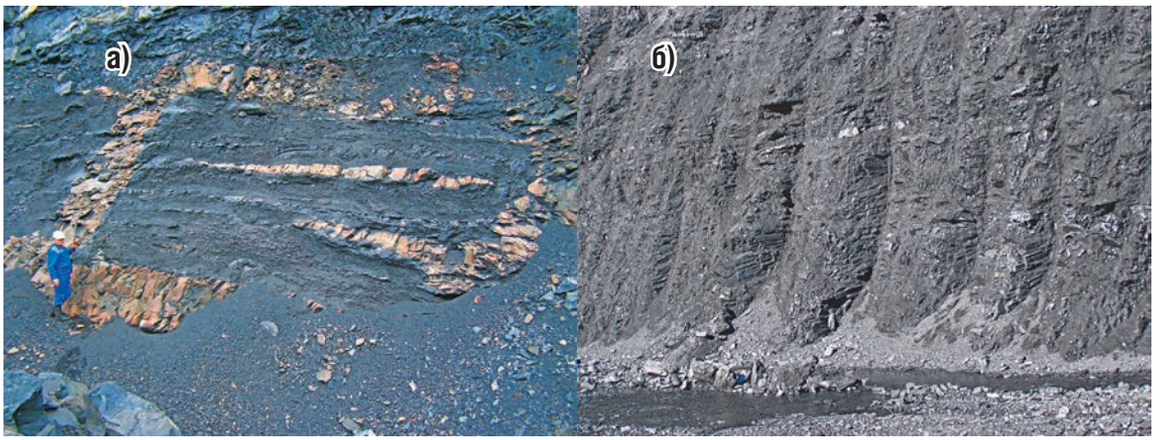



**Рис. 5.**
*Пласты: а – XXXII-XXXIII с инъекциями диабаза; б – XXXIVa-XXXV со столбчатостью вдоль напластования*

нения из 60 и 70 атомов углерода – фуллерены. Исследование фуллеренов началось в 1991 г., тогда же был разработан и метод их массового получения. В Японии к 2006 г. компания Мицубиси построила завод по производству фуллеренов с производительностью десятки тонн в год. Сегодня Япония вместе с США и Южной Кореей являются лидерами производства фуллеренов. Промышленное производство углеродных нанотрубок уже превысило 100 т в год.

В последние годы изобретения по наноматериалам, относящиеся к технологии получения чистых наноразмерных углеродных материалов при переработке углеводородного сырья, находят применение в нефтехимической, строительной промышленности, в создании композитных материалов, резин, в качестве сорбентов. Стало возможно получать чистый углеродный наноматериал с высоким уровнем стабильности гранулометрического состава, обеспечивать высокотехнологичные условия ведения процесса окислительной конденсации. Известны различные способы получения ультрадисперсного углерода посредством переработки метана. В патенте США № 5989512 (МПК6: C09 C1/48) детально описан способ производства чистого ультрадисперсного углерода посредством пиролитического разложения углеводородного сырья в реакционной камере с помощью плазменной горелки. Известны способы получения углерода в процессе химической переработки метана (патент РФ № 2172731; МПК7:C07C11/02, C07C 2/82) и получения ультрадисперсного углерода (патент РФ № 2287543; МПК: C09C1/52) – способ, наиболее близкий по технической сущности и конструктивной реализации к патентному способу получения наноуглерода, принятому в качестве прототипа. Для увеличения удельной поверхности полученного наноуглерода до 2500 м$^2$/г используют технологии, применяемые при получении активированных углей, при термической обработке до 1000 °С с углекислым газом или водяным паром.

Процессы термического разложения углей хорошо изучены в отраслях промышленного производства при *пиролизе*, *полукоксовании*, *коксовании*, *прокаливании*, *графитации*. В настоящее время нет теории, которая позволила бы на основе химического и петрографического состава, структуры метаморфизованного угля, определить течение процессов его термического разложения и предсказать конечный состав продуктов пиролиза, полукоксования, коксования, прокаливания, графитации в недрах, но изучение реальных объектов заставляет обратить на них особое внимание.

## Термические преобразования углей в междуречьи Мрас-Су и Томи

Площадь внедрения расплавов базальта в междуречье Мрас-Су и Томи оценивается 386 841 000 м$^2$, мощность толщи, в которую внедрилось не менее 5 силлов суммарной мощностью около 220–250 м, достигала 2500–2600 м. При средней плотности пород 2,3–2,5 т/м$^3$, вес вмещающей силлы угленосной толщи не превышал 2 318 144 692 500 т, что могло соответствовать давлению 5992,5 т/м$^2$ (не более 6 МПа).

Особенности геологического строения угленосной толщи позволяют отметить и указать, что магматические расплавы внедрились в полого лежащую угленосную толщу в начале юрского периода, т.е. через 100–120 млн лет после образования угольных пластов (***рис. 1, 2***), по субвертикальным трещинам и субгоризонтальным зонам расслоения и позднее были слабо дислоцированы. Мощности внедрившихся расплавов и образуемых ими тел менялись от 540 м до первых метров. В междуречьи Мрас-Су и Томи в Сыркашевском, Майзасском и Чуазасском

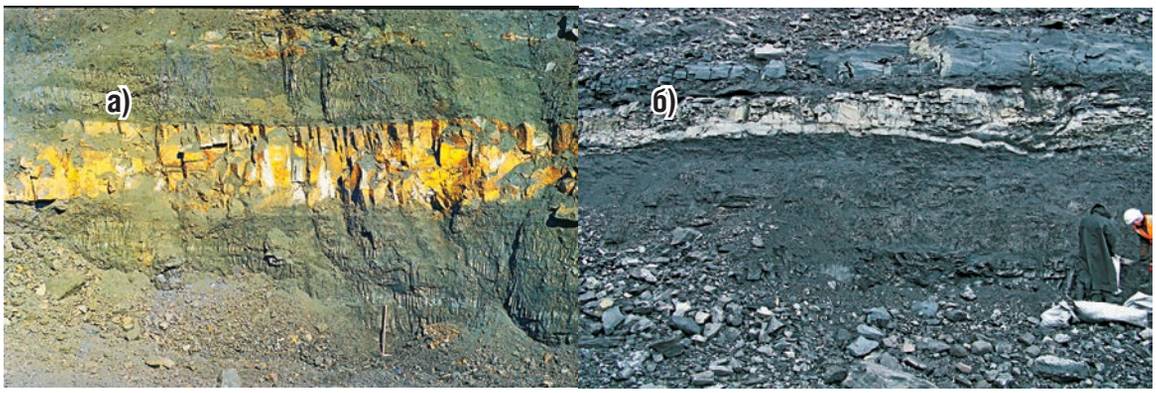
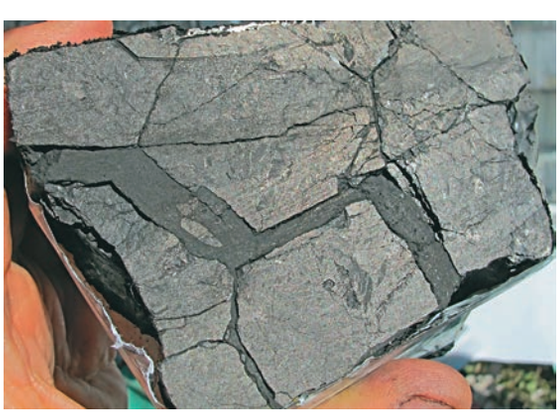



**Рис. 6.**
*Пласт XXXI: а – с инъекцией диабаза в центре пласта и столбчатой отдельностью; б – с инъекцией диабаза в кровле*

силлах средняя мощность расплавов базальта (диабаза) составляла от 90 до 160 м. В северо-восточном и юго-западном направлениях мощности всех силлов заметно уменьшались до 20–40 метров и практически не менялись в северо-западном. Средняя мощность менее протяженных и мощных тел диабаза не превышала 20–1,5 м. Температура базальтовых расплавов могла достигать в недрах 1500 °С (температура плавления базальта – от 1150 до 1350 °С), потому что в центре изученных силлов обнаружена раскристаллизация до габбро (температура плавления габбро – 1400–1450 °С), но не достигала температур плавления графита (2200–2800 °С). Геологические данные позволяют предположить, что угольные пласты и расплавы базальта в данном месте сформировали «природную коксовую батарею».

Если начальная температура расплавленного базальта не превышала 1250–1350 °С, то время их остывания в закрытой среде зависело от мощности внедрившихся тел, глубин их залегания от поверхности, величины давления и могло охватывать длительный промежуток времени (дни, месяцы и годы). Внедрение расплавов из недр происходило по субвертикальным трещинам шириной до 26–50 м, ориентированных в северо-западном направлении. Внедрение и растекание расплавов базальта (диабаза) от субвертикальных подводящих каналов по площади происходило с большой скоростью по наиболее трещиноватым зонам расслоенности в угленосной толще и по многочисленным мелким субвертикальным трещинам в местах повышенного количества угольных пластов. Наблюдения вскрытых контактов мощной и протяженной субвертикальной Кийзакской дайки (одного из подводящих каналов), мелких даек и угольных пластов на Красногорском, Томусинском и Междуреческом разрезах свидетельствуют о том, что внедрения базальта имели место во все пласты, но были различной протяженности и обнаружены во вмещающих песчаниках и алевролитах только в верхних частях угленосной толщи, недалеко от дневной поверхности. Строение даек свидетельствует о том, что внедрения магмы по вертикальному каналу были неоднократными, близкими по составу и отличались структурными признаками быстро отвердевших мелкокристаллических базальтов (диабазов). Внедрения базальтового расплава происходили, вероятно, с глубины базальтового слоя под высоким давлением при незначительном растеканием лавы по поверхности земли в предюрское время. Давление в угленосной толще могло меняться от 5 до 10 МПа в разных стратиграфических уровнях, потому что складывалось из веса и сопротивления вместившей силлы двухкилометровой угленосной толщи и давления внедряющегося многотонного магматического расплава с глубины не менее 40–60 км.

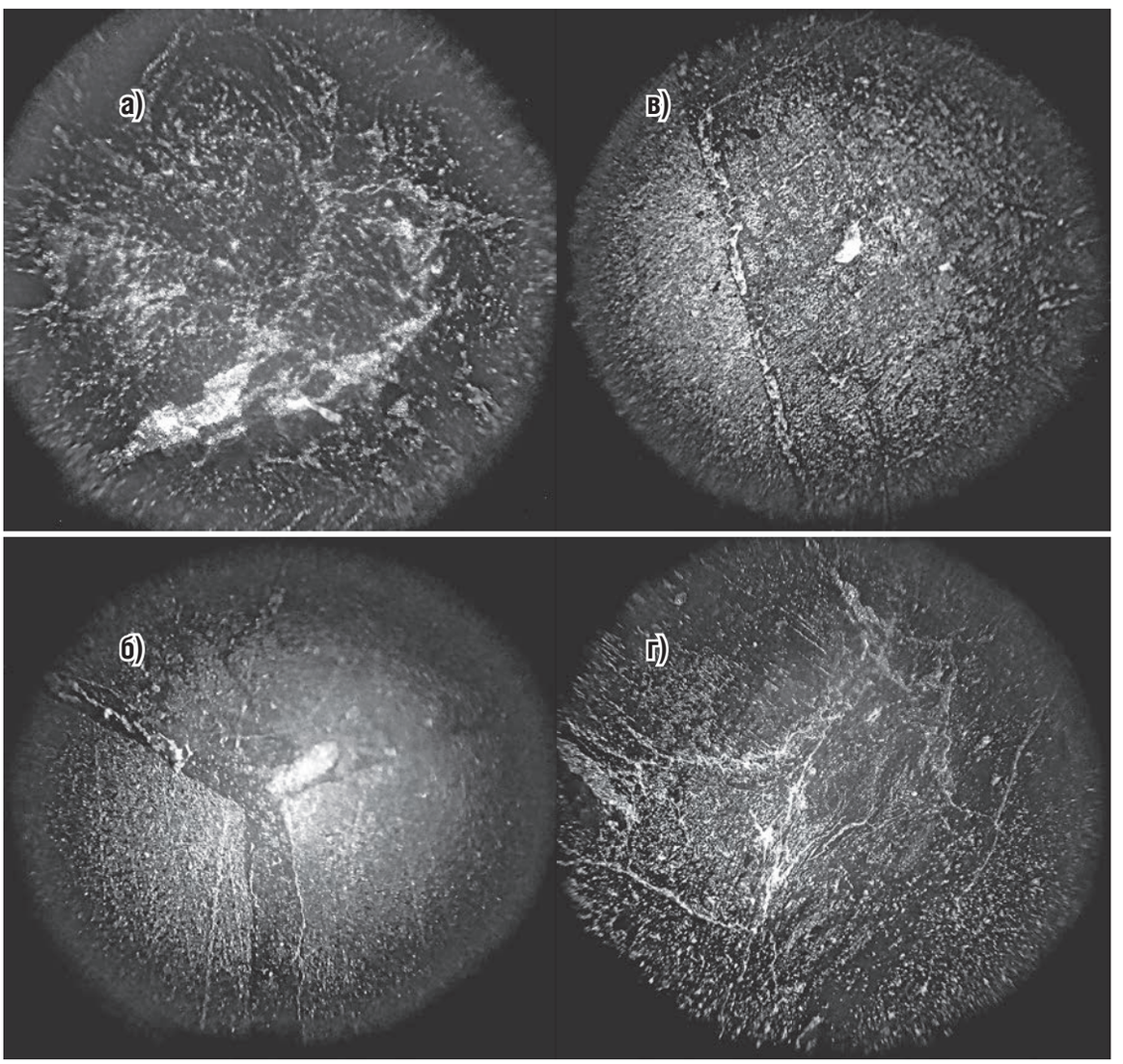
**Рис. 7.**
*Пласт XXXI, верхняя сторона. Продукты термического разложения угля (жилки) между столбиками столбчатой отдельности*



Внедрения наиболее мощных Сыркашевского, Майзасского, Чуазасского силлов в нижнюю часть угленосной толщи, а не в верхние, были,

вероятно, обусловлены появлением зон повышенного расслоения в местах развития наиболее мощных пластов угля и уравниванием сил давлений, создаваемых весом вмещающих пород и внедряющихся в них расплавов. Появление зон расслоения в угленосной толще было, вероятно, связано с опусканием (просадкой) территории в момент поступления больших масс расплавов базальта из ее глубинных частей и ее большей неоднородностью и расслоенностью по сравнению с подстилающими толщами карбона и девона. Внедрение расплавов вдоль напластования контролировалось трещинами расслоения, которые при наличии большого количества слияний и расщеплений в пластах не всегда совпадали с границами слоистости и напластования. Силлы и субпластовые апофизы (мелкие тела) занимали различное положение относительно почвы и кровли того или иного пласта, могли рассекать пласт или свиту сближенных пластов под небольшим углом, выходить из пласта на небольшом отрезке и снова внедряться в него. Особенности их внедрения и залегания приводили к неоднородности термических воздействий на угольные пласты и их части, типы углей и обуславливали резкую изменчивость приобретаемых свойств, как в слоях угля в пласте, так и в его частях, на небольших участках. Термические воздействия от подошвы и кровли силлов на угли в угленосной толще распространялись на расстояние 1–1,2 мощности силлов, даек и были наибольшими у контактов. При разработке месторождения было обнаружено уменьшение мощности угольных слоев и пластов на 7–12% в наиболее метаморфизованных частях по сравнению с неметаморфи-

**Рис. 8.**
*Каменноугольная смола (светлая) (а, г) и материал ПАУ (б, в) (полиароматические углеводороды) в трещинах столбчатой отдельности в отраженном свете под микроскопом*



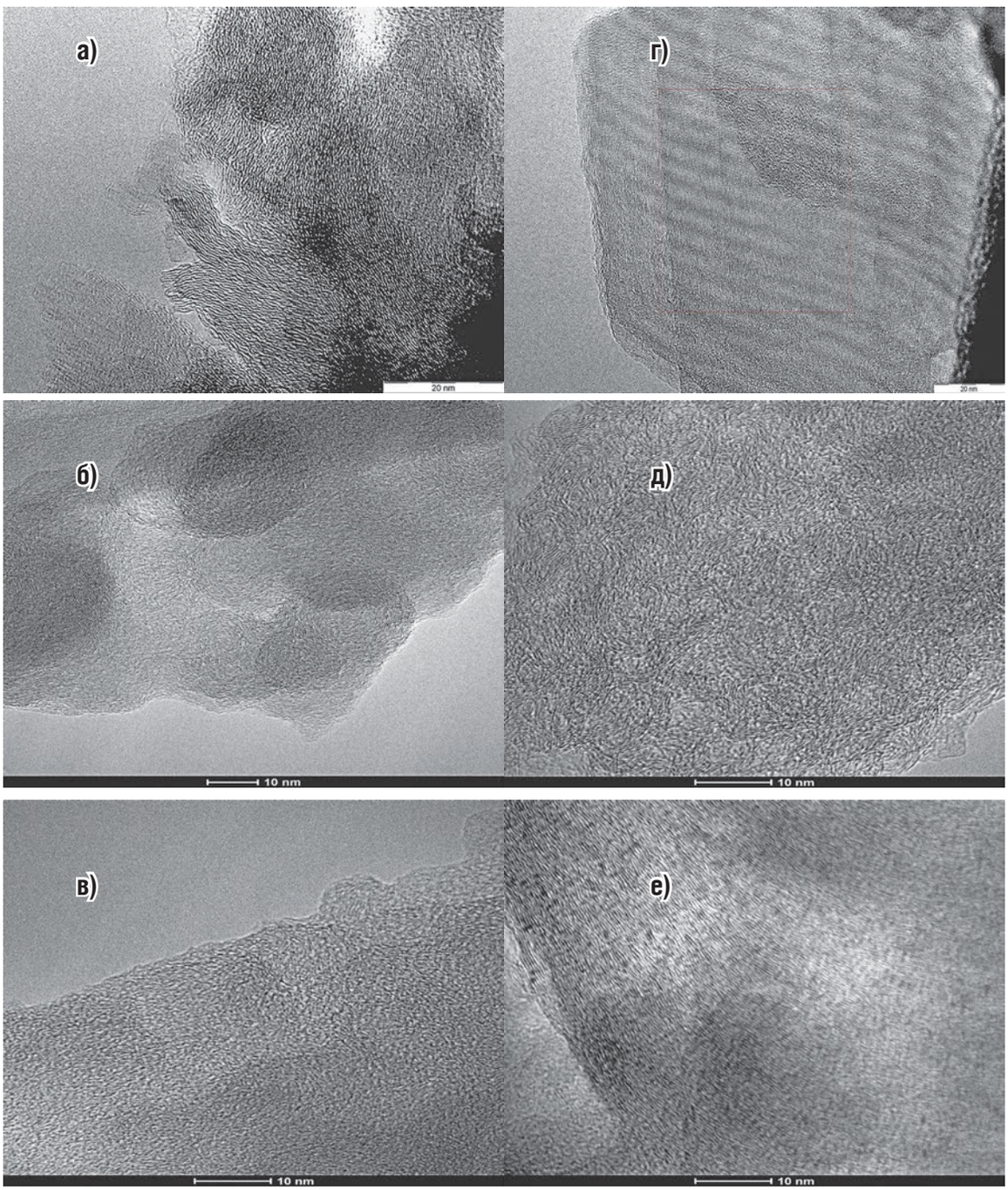



**Рис. 9.**
*Последовательность преобразования структур аморфного углерода в упорядоченные структуры углерода и его соединений в метаморфизованных углях Красногорского разреза с объемным выходом летучих веществ: а, б – 58–100 см³/г; в, г – 36–110 см³/г; д, е – 27–42 см³/г*

зованными участками, что объяснялось уплотнением. Изменчивость термодинамических воздействий на угли внедрившимися силлами, субпластовыми дайками (апофизами) базальта приводила, в благоприятных обстановках, к образованию и неравномерному распределению в пластах по падению, простиранию и от нижних пластов к вышележащим большого многообразия соединений углерода и его модификаций, занимающих промежуточное положение между аморфным углеродом и графитом, а также отложению выделившихся из угля окаменевших продуктов, углеводородов и их соединений с газами.

Все твердые и окаменевшие в последствии (за 100–120 млн лет) жидкие продукты, образовавшиеся при термическом разложении углей, оставались в пластах «природной коксо-

вой батареи» (***рис. 4***) и как бы вмещались сохранившимися, но частично преобразованными остатками аморфного углерода или заполняли новообразованные в пластах трещины.

Изучение материала, заполнившего (***рис. 5– 8***) трещины между столбиками столбчатой отдельности в метаморфизованных углях подтверждает присутствие в них таких продуктов термического разложения углей как флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, хризен и др. – от 0,28 до 17,74 мкг/кг. Газообразные продукты, не вступившие в соединения с продуктами разложения угля, смол, по трещинам покидали пласты или образовали изолированные скопления в осадочной толще, постепенно продвигаясь к поверхности. Наблюдаемые выделения смесей метана и других газов при бурении скважин для взрывания на разрезах и в сохранившихся глубоких, пробуренных при разведочных работах, свидетельствуют о наличие таких процессов.

Графит из углей XXVII и XXXI пластов Красногорского разреза был получен при графитации в 1993 г. на ЧЭМК при температуре 2600 °С. Природный термоантрацит реализуется на внешний и внутренний рынки в сортированном и обогащенном виде с 1990 г. Обнаруженные в 2016 г. в интенсивно метаморфизованных углях (запасы которых в междуречьи Мрас-Су и Томи, по предварительной оценке, превышают 6 млрд т) разреза Красногорский необычные структуры углерода и его соединений (***рис. 9***), указывают на необходимость их доизучения и доразведки недр междуречья Мрас-Су и Томи, с целью уточнения и увеличения значимости метаморфизованных углей при использовании в отраслях промышленности и металлургии.

Условия термальных и телетермальных преобразований углей, произошедшие в недрах междуречья Мрас-Су и Томи под воздействием внедрившихся расплавов базальта (диабаза), были близки изученным на электродных и коксохимических заводах процессам – пиролизу, полукоксованию, коксованию, прокаливанию, графитации, но существенно отличались состоянием среды и длительностью (временем) термических преобразований, происходили при медленно и постоянно снижающихся, но более высоких температурах, относительно постоянных, но более высоких давлениях, в менее разрыхленных, но более уплотненных углях, без непрерывного удаления образующихся газообразных продуктов. Эти особенности позволяют предполагать накопление и сохранение в угольных пластах различных типах углей, в различных обстановках, большинства образовавшихся модификаций углерода, не изученных ранее соединений углеводородов и выделившихся газов. Основное влияние на процессы термического разложения углей в пластах в недрах оказали состояние и размеры среды, масштабы процессов, неоднородность и неравномерность нагрева и остывания, начальные и конечные величины термодинамических воздействий, недостаток кислорода, неравномерность давления в среде и выделяющихся газов, расположение и неоднородность залегания, состава типов углей различных пластов относительно контактов внедрившихся силлов и даек, а также особенности уплотнения и окаменения. Термическое разложение углей в различных местах рассматриваемой площади протекало по-разному и поэтому характеризуется большим многообразием образовавшихся продуктов. Особого внимания изучению изменчивости свойств высоко метаморфизованных углей при разведочных работах не было уделено по многим причинам, поэтому часть разведанных запасов углей с необычными свойствами не подсчитывалась или была отнесена к забалансовым, а около 500 млн т оказались в нераспределенном фонде недр и требуют доизучения. Авторы не предлагают извлечения модификаций углерода, наноуглеродов из интенсивно метаморфизованных углей при добыче, но считают, что использование приобретенных ими необычных свойств в отдельных металлургических процессах вполне реально и может привести (или уже приводит) к неожиданным результатам из-за участия в них присутствующих в остатках матриц (реликтов) аморфного углерода, повышенных содержаний наночастиц других модификаций углерода, их соединений с окаменевшими углеводородами или наноуглеродов.

**Литература**

1. Байков В.У. О контактовом метаморфизме углей в Томь-Усинском и Мрасском геолого-экономических районах Кузбасса //Известия вузов. Геология и разведка. 1984. № 4.
2. Богданова Л.А., Гаврилова О.И., Топорец С.А. Об изменении каменных углей под влиянием секущих интрузий малой мощности //Доклады АН СССР. 1964. Т. 159. № 3.
3. Гаврилова О.И. К вопросу о возможных температурах при контактовом метаморфизме углей //Вопросы метаморфизма углей и эпигенеза вмещающих пород. Л.: Наука. 1968.
4. Евдокимов И.Л., Евдокимов И.И. и др. Геологический отчет по подсчету запасов угля по ОАО «Разрез Красногорский» в контуре разреза, принятом в ТЭО кондиций 2005 г. (Подсчет запасов на 01.01.2006). Междуреченск. 2007.

5. Евдокимов И.Л., Ершов В.Н., Матвеева Р.М. и др. Геологический отчет по изучению метаморфизованных углей XXXII-XXXIII пластов разреза «Красногорский» за 2002–2008 гг. Междуреченск. 2010.
6. Елецкий А.В. Углеродные нанотрубки //Успехи физических наук. 1998. Т. 167.
7. Крылова Н.М., Алексеева А.Б. Изменение углей под воздействием изверженных пород //Труды ВСЕГЕИ. 1968.
8. Кузнецов Б.Н. и др. Получение пористых углеродных материалов высокоскоростным нагревом //Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 4.
9. Протокол № 1381 от 20.04.2007 заседания Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ Роснедра). Государственная экспертиза материалов Геологического отчета по подсчету запасов угля по ОАО «Разрез Красногорский» в контуре разреза, принятом в ТЭО кондиций 2005 г. (Подсчет запасов на 01.01.2006). М. 2007.
10. Смолли Р.Е. Открывая фуллерены //Успехи физических наук. 1998. Т. 167.
11. Улецкий А.В, Смирнов Б.М. Фуллерены и структуры углерода //Успехи физических наук. 1996. Т. 165.
12. Чепуров А.И. Изучение метаморфизованных углей Красногорского разреза и оценка возможных областей использования их в промышленности. Новосибирск. 1995.

**UDC 552.573:553.985.2**

**Evdokimov I.L.**, Chief Geologist (1987–2015) of the Krasnogorsk Coal Pit of PJSC UK "Southern Kuzbass", il@rikt.ru
**Evdokimov I.I.**, Leading Software Engineer ZAO Giprougol[1], igev@giprougol.ru
**Smirnov A.I.**, PhD, Associate Professor of the Department of Materials Science in Mechanical Engineering of Novosibirsk State Technical University[2], smirnov@corp.nstu.ru

[1]ZAO "Giprougol" (Mining Institute for the Design of Coal Industry Enterprises), 41a, Trikitagnaya street, Novosibirsk, 630015, Russia.
[2]Novosibirsk State Technical University. 20, K. Marks avenue, Novosibirsk, 630073, Russia.

# Nanocarbon and Hydrocarbons in Thermal and Telethermal Coal Metamorphism

**Abstract.** The thermal influence of magmatic melts (sills, dikes) on different types of coals in the strata during the intrusion into coal–bearing formations cause the formation of various modifications of carbon, hydrocarbons, and nanocarbon, their uneven redistribution and the conservation in different types of coals, in the matrix of amorphous carbon. Weakly studied coals metamorphosed which have been of effects to different degrees magmatic melts, in interfluve Mrassu and Tomi and classified by exploratory works for as off–balance ones or counted in unallocated subsoil funds under the T mark, require additional study and reassessment for use in new technologies, chemistry and electrometallurgy.

**Keywords:** thermal coal in the bowels; nanocarbon; pyrolysis; coking; graphitization; igneous melts; temperature; pressure; quality of conversions; duration; modifications of carbon and hydrocarbons; layers of coal; anthracite; superantracity; natural termoantracity; thermal and teletermalnyj coal metamorphism.

## References

1. Baikov V.U. *O kontaktovom metamorfizme uglei v Tom'-Usins¬kom i Mrasskom geologo-ekonomicheskikh raionakh Kuzbassa* [On the contact metamorphism of coals in the Tom-Ussian and Mrasky geological and economic regions of Kuzbass]. *Izvestiia vuzov. Geologiya i razvedka* [Proceedings of high schools. Geology and exploration], 1984, no. 4.
2. Bogdanova L.A., Gavrilova O.I., Toporets S.A. *Ob izmene¬nii kamennykh uglei pod vliianiem sekushchikh intruzii maloi moshchnosti* [On the change of stone coals under the influence of secant intrusions of low power]. *Doklady AN SSSR* [Reports of the USSR Academy of Sciences], 1964, vol. 159, no. 3.
3. Gavrilova O.I. *K voprosu o vozmozhnykh temperaturakh pri kontaktovom metamorfizme uglei* [To the question of possible temperatures for contact metamorphism of coals]. *Voprosy metamorfizma uglei i epigeneza vmeshchaiushchikh porod* [Issues of metamorphism of coal and epigenesis of host rocks]. Leningrad, Nauka Publ., 1968.
4. Evdokimov I.L., Evdokimov I.I. i dr. *Geologicheskii otchet po podschetu zapasov uglia po OAO «Razrez Krasnogorskii» v konture razreza, priniatom v TEO konditsii 2005 g. (Podschet zapasov na 01.01.2006)* [Geological report on the calculation of coal reserves by JSC "Coal Pit Krasnogorskiy" in the contour of the section, adopted in the feasibility study of the 2005 conditions (Inventory counting as of 01.01.2006)]. Mezhdurechensk. 2007.
5. Evdokimov I.L., Ershov V.N., Matveeva R.M. i dr. *Geologicheskii otchet po izucheniiu metamorfizovannykh uglei XXXII-XXXIII plastov razreza «Krasnogorskii» za 2002–2008 gg.* [Geological report on the study of metamorphosed coals of the XXXII-XXXIII strata of the Krasnogorsky section for 2002-2008.]. Mezhdurechensk. 2010.
6. Eletskii A.V. *Uglerodnye nanotrubki* [Carbon nanotubes]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Successes of physical sciences]. 1998, vol. 167.
7. Krylova N.M., Alekseeva A.B. *Izmenenie uglei pod vozdeistviem izverzhennykh porod* [Change in coal under the influence of igneous rocks]. *Trudy VSEGEI* [Proceedings of A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute], 1968.
8. Kuznetsov B.N. i dr. *Poluchenie poristykh uglerodnykh materialov vysokoskorostnym nagrevom* [Production of porous carbon materials by high-speed heating]. *Khimiia v interesakh ustoichivogo razvitiia* [Chemistry for Sustainable Development], 2005, no. 4.
9. *Protokol № 1381 ot 20.04.2007 zasedaniia Gosudarstvennoi komissii po zapasam poleznykh iskopaemykh (GKZ Rosnedra). Gosudarstvennaia ekspertiza materialov Geologicheskogo otcheta po podschetu zapasov uglia po OAO «Razrez Krasnogorskii» v konture razreza, priniatom v TEO konditsii 2005 g. (Podschet zapasov na 01.01.2006)* [Minutes No. 1381 dated April 20, 2007 of the meeting of the State Commission on Mineral Reserves (GKZ Rosnedra). State examination of the materials of the Geological report on the calculation of coal reserves by JSC Coal Pit Krasnogorsky in the contour of the cut, adopted in the feasibility study of 2005 standards (Inventory counting as of 01.01.2006).]. Moscow, 2007.
10. Smolli R.E. *Otkryvaia fullereny* [Discovering fullerenes]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Successes of physical sciences], 1998, vol. 167.
11. Uletskii A.V, Smirnov B.M. *Fullereny i struktury ugleroda* [Fullerenes and Carbon Structures]. *Uspekhi fizicheskikh nauk* [Successes of physical sciences], 1996, vol. 165.
12. Chepurov A.I. *Izuchenie metamorfizovannykh uglei Krasnogorskogo razreza i otsenka vozmozhnykh oblastei ispol'zovaniia ikh v promyshlennosti* [Study of metamorphosed coals of the Krasnogorsk section and assessment of possible areas of their use in industry]. Novosibirsk, 1995.