

тезисы

УДК 622.017(063)  
ББК 26.31  
М43

Под общей редакцией академика РАН В.А. Чантурия, д. г.-м. н, В.В. Щитцова

Ответственные за выпуск: к. т. н. Т.В. Чекушина, Т.П. Бубнова, к. г.-м. н. Л.А. Данилевская

**М43** Современные методы технологической минералогии в процессах комплексной и глубокой переработки минерального сырья. Материалы Международного совещания «Плаксинские чтения-2012», г. Петрозаводск, 10–14 сентября 2012 г. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2012. 391с.

ISBN 978-5-9274-0523-7

ISBN 978-5-9274-0523-7

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт геологии КарНЦ РАН, 2012  
© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 2012  
© Коллектив авторов, 2012

Существующая технология рудоподготовки апатито-нефелиновых руд не учитывает значительные различия в свойствах и измельчаемости минералов. Руда измельчается в замкнутом цикле с двумя-тремя стадиями классификации до крупности 15-20% класса +0.16 мм, что обусловлено требованиями, предъявляемыми заводами по производству минеральных удобрений к крупности апатитового концентрата. Обеспечивая высокое извлечение апатита, данная технология всегда позволяет получить кондиционный нефелиновый концентрат из хвостов апатитовой флотации (ХАФ) даже при столь сложной их подготовке: двухкратная классификация и измельчение с предварительной и поверочной классификацией.

Изучение кинетики измельчения апатито-нефелиновой руды в барабанных мельницах полностью подтверждает существенное различие в измельчаемости основных минералов. Анализ закономерностей изменения количества апатита и нефелина в узких классах крупности показывает, что апатит измельчается с гораздо большей интенсивностью, чем нефелин (рисунок).

И хотя в крупных классах (более 2 мм) начальные скорости измельчения этих минералов близки, тем не менее, апатит измельчается почти в два раза быстрее. Так, для апатита скорости измельчения классов крупности более 0.63 мм к моменту времени 8 минут приближаются к нулю, что означает практически полное измельчение апатита и переход его в более мелкие классы. В отличие от апатита нефелин в этих классах разрушается лишь к 16 минутам. Причем для нефелина в классах крупности от -2 до +0.63 мм на начальном этапе (0.25-2 мин) характерно накопление материала, о чем свидетельствуют отрицательные значения скоростей измельчения этих классов, в отличие от апатита, который в этих классах с первых минут вступает в процесс разрушения. В классах менее 0.63 мм на начальном этапе характерно накопление материала для обоих минералов, однако впоследствии апатит вступает в процесс разрушения гораздо раньше нефелина. Так, в классах крупности менее 2 мм, к тому времени, когда апатит интенсивно измельчаясь переходит в самые мелкие классы, нефелин только начинает измельчаться с максимальной интенсивностью.

По результатам изучения кинетики измельчения установлено, что для апатито-нефелиновых руд рациональным решением с позиции технологии и энергетики процесса рудоподготовки является разделение продукта измельчения (на начальной стадии процесса) на две фракции по зерну размером 0,4-0.5 мм, в одной из которых будет сконцентрирован в основном апатит, перешедший в мелкие классы, а во второй – преимущественно нефелин. При этом в первую фракцию переходит свыше 70% апатита с содержанием  $P_2O_5$  около 19-20%, что существенно превышает содержание в исходной руде (12 -14%  $P_2O_5$ ). В крупнозернистой фракции остается около 25-30% апатита с содержанием  $P_2O_5$  8-9%. Мелкозернистую фракцию после контрольной классификации направляют на флотацию апатита, а крупнозернистую подвергают доизмельчению в замкнутом цикле до крупности, обеспечивающей полноту раскрытия нефелина.

Представленная технология позволяет существенно упростить подготовку апатито-нефелиновых руд к комплексному обогащению при одновременном снижении ошламования апатита.

## УГОЛЬНЫЕ ФИТОЦЕНОЗЫ И УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ ЦЕННЫХ И ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ

*В.И. Рождествина<sup>1</sup>, А.П. Сорокин<sup>1,2</sup>, А.А. Киселева<sup>1</sup>, И.Э. Памирский<sup>1</sup>, Н.Ю. Леусова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения РАН, Россия, г. Благовещенск, e-mail: science@ascnet.ru

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Амурский научный центр Дальневосточного отделения РАН, Россия, г. Благовещенск, e-mail: amurnc@ascnet.ru

Реконструкция условий накопления и концентрирования ценных и полезных компонентов в углях, выявление их форм нахождения и ассоциативных взаимодействий является актуальной

задачей фундаментальной научных исследований. В настоящей работе представлены данные по изучению динамики изменения разнообразия органических микрокомпонентов углей палеоценового Ерковецкого бурогоугольного месторождения. Опробование проведено по отдельным вертикальным профилям действующего углераза (участок Южный). Отбор бороздовых проб длиной 0.5 м проводился от почвы пласта к его кровле. Мощность угольного пласта в зоне отбора проб 3.06 м (таблица 1), надугольных отложений - около 40 м. В средней части пласта почти повсеместно фиксируются 1-2 прослоя углистой глины или высокозольного угля, реже - глины и алевролита с неравномерной мощностью 0.01 до 0.7 м, с неровными контактами с вмещающими углями, разделяющие пласт на 2-3 выдержанные пачки.

Таблица.- Характеристика профиля Ер3 Ерковецкого бурогоугольного месторождения (участок Южный - северный борт действующего углераза, абсолютная отметка кровли угольного пласта 150.2 м)

№ пробы	от	до	мощность	Характеристика пород	Преобладающий тип углей	Содержание золота, г/т	
	м						
Ер3-8	0	0.5	0.5	уголь бурый	фюзинито-гелит	2.08	
Ер3-7	0.5	0.53	0.01-0.03	глины		0.41	
Ер3-6	0.53	1.03	0.5	уголь бурый	фюзинито-гелитит	1.20	
Ер3-5	1.03	1.06	0.01-0.03	глины		4.05	
Ер3-4	1.06	3.06	0.5	уголь бурый	фюзинито-гелитит	2.06	
Ер3-3			0.5	уголь бурый	фюзинито-гелит	3.64	
Ер3-2			0.5	уголь бурый	фюзинито-гелит	0.21	
Ер3-1			0.5	уголь бурый	гелит, фюзинито-гелит		2.24

Угли Южного участка Ерковецкого месторождения бурые, средней степени углефикации. Угли плотные с прослоями рыхлых. Изучение бурых углей месторождения показало, что в их сложении участвуют разнообразные органические и неорганические микрокомпоненты. Органические микрокомпоненты являются продуктами преобразования растительных тканей в процессах гелификации (остудневания) или фюзенизации (окисления) [1].

На месторождении распространены угли группы гумолитов двух классов - гелитолиты (фюзинито-гелитит, фюзинито-гелит, гелит) и фюзенолиты (гелито-фюзитит). Гелитолиты существенно преобладают над фюзенолитами. Уголь в основном слагают 2 группы микрокомпонентов - витринит и инертинит. В группе витринита встречаются феллинит, гумодетринит; в группе инертинита - микринит, семифюзинит. Липтинит представлен кутикулой и суберинитом. Структура микрокомпонентов преимущественно мелкоатритовая, изредка - крупнофрагментарная. Из органических включений в углях встречаются фюзен, овалы янтарно-желтые смоляные тела.

Фюзинито-гелититы сложены витринитом и инертинитом, с некоторым преобладанием гелифицированных микрокомпонентов. В фюзинито-гелитах доля гелифицированного вещества увеличивается, превышая содержание фюзинизированных микрокомпонентов в 3-4 раза. Для гелитов характерно максимальное содержание гелифицированного вещества, представленного как основной массой, так и остатками стеблевых и паренхимных растительных тканей, сохранивших форму и структуру. Содержание фюзинизированных и липоидных микрокомпонентов в этом типе угля не превышает 10%. В кровле и центральной части пласта преобладают фюзинито-гелититы и фюзинито-гелиты, гелиты доминируют вблизи подошвы угольных пластов. Гелито-фюзититы сложены преимущественно фюзинизированными микрокомпонентами с подчиненным количеством гелифицированного вещества. Этот тип углей отмечается во всех пластах и не имеет выраженной привязки по мощности.

На основе данных оптической и электронной микроскопии установлено изменение микрокомпонентов угля от почвы к кровле пласта. У почвы пласта преобладают микрокомпоненты, характеризующие остатки травянистых растений застойных торфяных болот (осок, хвощей и др.), водорослей. Вверх по профилю наблюдается постепенное увеличение доли высших растений, появляются

фрагменты древесного строения. И на уровне 1-1.5 м от подошвы пласта преобладающими становятся структуры с ясными следами древесного строения. Отмечаются хорошо сохранившиеся элементы, составляющие древесину хвойных: трахеиды, сердцевидные лучи, построенные из паренхимных и трахеидных клеток, смоляные ходы. На уровне 2.0 м пласт пересекает тонкий слой глинистого ультрадисперсного материала. Микростроение углей, залегающих над глинистым слоем и под ним, идентичное. Через 0.5 м повторно фиксируется глинистый прослой, после которого микроструктурные компоненты угля изменяются и вновь преобладающими становятся фрагменты травянистых растений, более часто отмечается появление спор, оболочек микроспор и пыльцы. Кроме изменения микрокомпонентов углей наблюдается и изменения морфоструктурных характеристик фитоцитов, заполняющих структурные пустоты углефицированных растений.

Фазовый состав угля, изученный методами рентгеновской дифракции (дифрактометр XRD-7000 Shimadzu), также проявляет выраженную динамику изменений от почвы к кровле пласта. Максимальным количеством присутствия кристаллических фаз характеризуются слои, в которых преобладают фрагменты древесины, состав преобладающих кристаллических фаз идентичен составу глинистых прослоев. Верхний слой рентгеноаморфный, а в нижнем рентгеноаморфная фаза доминирует, кристаллическая выражена слабо.

Реконструкция условий угленакопления проведена также на основе определения молекул – биомаркеров (хемофосфили), присутствующих в растворимой части углей. Биомаркеры образуются в органическом веществе (ОВ) и позволяют установить происхождение, степень преобразования и возраст углей [2]. Определение биомаркеров проводилось с помощью газовой хроматографии (газовый хроматограф Agilent 6890 N). Растворимое ОВ (битумоид) экстрагировано из угля хлороформом. Выделение насыщенных углеводородов осуществлялось методом жидкостно-адсорбционной хроматографии на колонках с  $Al_2O_3$  (элюент – гексан).

На основе газохроматографического анализа n-алканов и изопреноидных соединений (пристана (П) и фитана (Ф) [3]) выделены слои различного происхождения. Нижний слой Ер 3-1 характеризуется низким значением П/Ф  $\approx 0,64$ , что свидетельствует о повышенном вкладе в углеобразование водорослей. Далее, в ряду Ер 3-1 < Ер 3-2 < Ер 3-4 < Ер 3-6, значение показателя П/Ф постепенно увеличивается (рисунок 1), следовательно вклад высших растений повышается. Соотношение П/Ф в слое Ер 3-6 имеет самое высокое значение  $\approx 1,37$ , что связано с основным вкладом древесной растительности. Понижение доли древесной компоненты и увеличение травянистой в верхнем слое Ер 3-8 вызывает некоторое понижение значения П/Ф  $\approx 1,12$ .

Распределение n-алканов во всех образцах указывает на континентальный генезис ОВ с максимумом на  $C_{25}H_{52}$  (пентакозан) [3]. При этом концентрация  $C_{25}H_{52}$  возрастает в ряду Ер 3-1 < Ер 3-2 < Ер 3-4 < Ер 3-6, что свидетельствует об увеличении вклада высших растений от нижнего слоя Ер 3-1 к слою Ер 3-6 (рисунок 2). В этом же ряду увеличиваются концентрации и других длинноцепочечных нечетных n-алканов с числом углеродных атомов 27, 29, 31, 33, источником образования которых являются высшие растения. Общепринято, выражать вклад растительности в ОВ современных осадков и степень преобразованности гумусового ОВ в древних породах величиной CPI, введенной Э. Бреем и Э. Эвансом в 1961 г. [3]:

$$CPI = \frac{1}{2} \times \left( \frac{n-C_{27} + n-C_{29} + n-C_{31} + n-C_{33}}{n-C_{26} + n-C_{28} + n-C_{30} + n-C_{32} + n-C_{34}} + \frac{n-C_{29} + n-C_{27} + n-C_{25} + n-C_{31} + n-C_{33}}{n-C_{28} + n-C_{26} + n-C_{24} + n-C_{30} + n-C_{32}} \right)$$

Полученные данные свидетельствуют об увеличении вклада высшей растительности снизу вверх - от Ер 3-1 к Ер 3-4, причем эта зависимость возрастает линейно (рисунок 3). Слой Ер 3-4 и Ер 3-6 характеризуется приблизительно одинаковым значением CPI, а, следовательно, схожими условиями преобразования.

Концентрация  $C_{17}H_{36}$  (гептадекана), основным биологическим источником, которого являются цианобактерии и водоросли [4], заметно выше в слое Ер 3-1 и понижается в ряду Ер 3-1 < Ер 3-2 < Ер 3-4 < Ер 3-6 < Ер 3-8 (рисунок 4). Следует отметить, что слой Ер 3-4 и Ер 3-6 характеризуется приблизительно одинаковым количеством  $C_{17}H_{36}$ , что подтверждает схожие условия углеобразования.

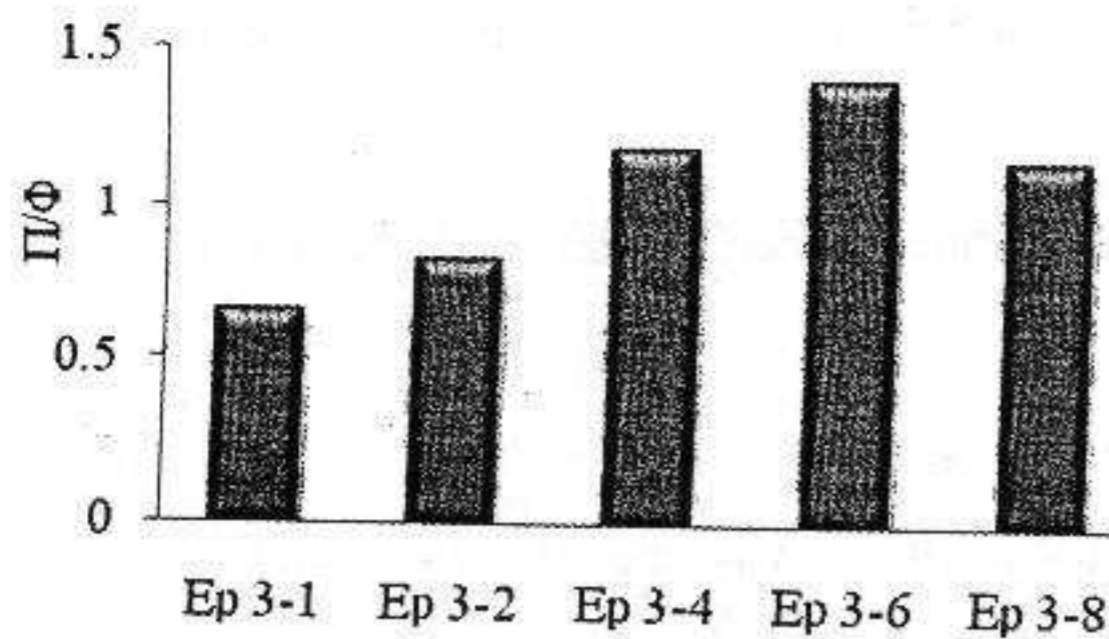


Рисунок 1. Значение П/Ф разных слоев угольного разреза

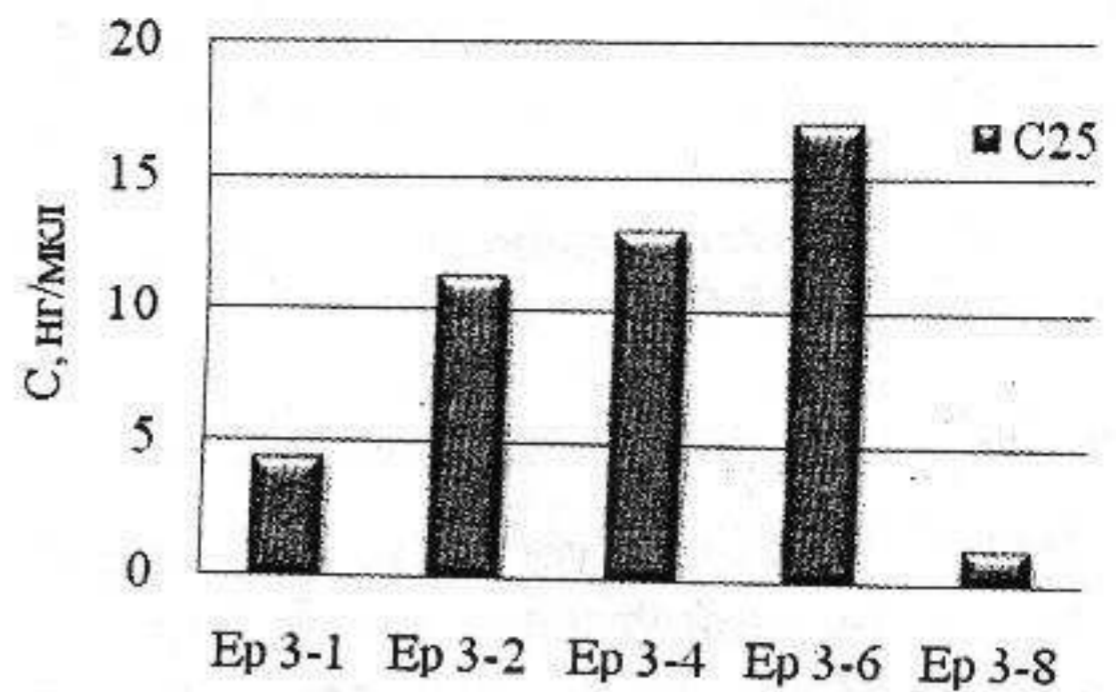


Рисунок 2. Концентрация  $C_{25}H_{52}$  в разных слоях угольного разреза

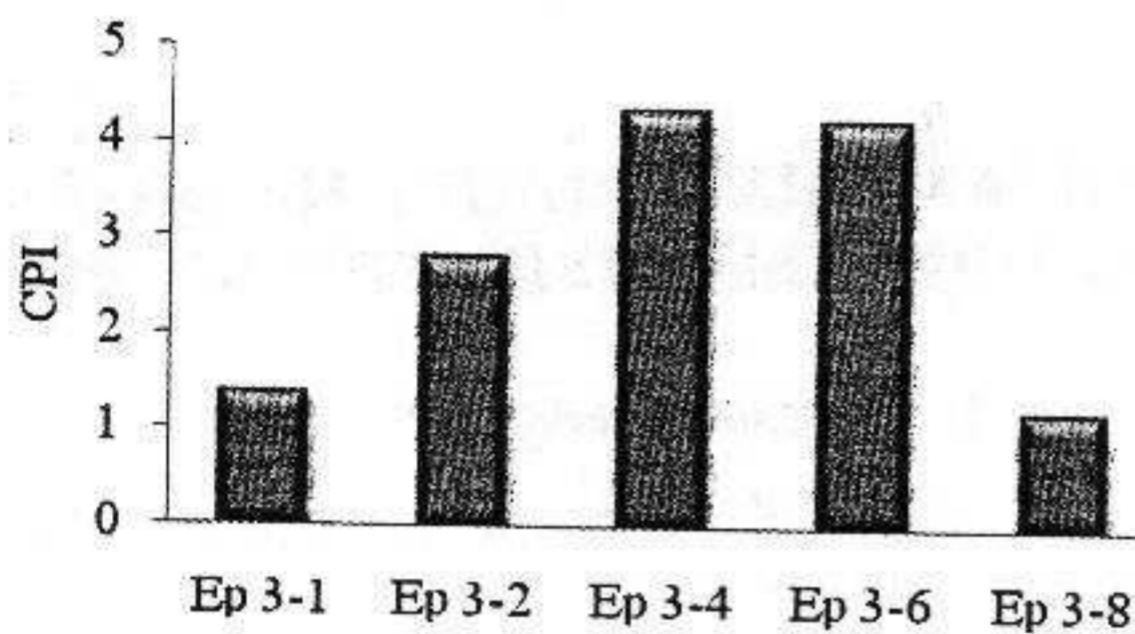


Рисунок 3. Значение CPI разных слоев угольного разреза

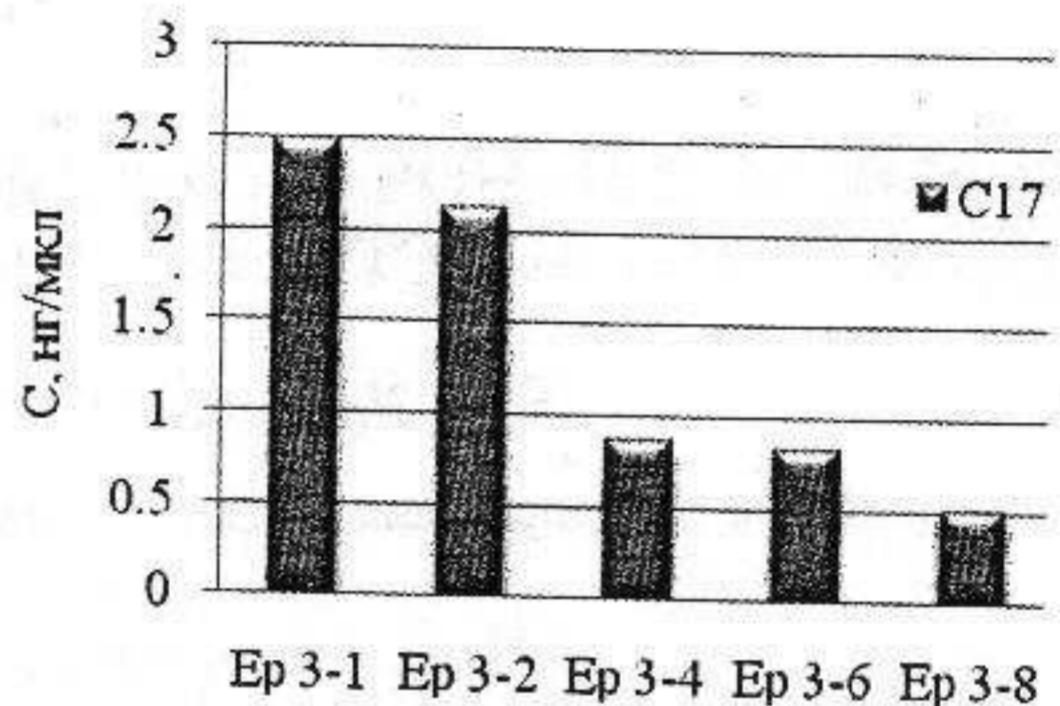


Рисунок 4. Концентрация  $C_{17}H_{36}$  в разных слоях угольного разреза

Присутствие показателей, указывающих на вклад в углеобразование водорослевого компонента в образцах Ep 3-1 и Ep 3-2, свидетельствует о существенном заболачивании данной территории на начальных этапах угленакопления. Слои Ep 3-4 и Ep 3-6, по многим показателям ( $C_{17}$ , CPI), характеризуются схожими условиями углеобразования с существенным вкладом наземной древесной растительности. Слой Ep 3-8 существенно отличается от остальных слоев, он характеризуется самыми низкими показателями CPI и  $C_{17}$ ,  $P/F = 1.12$ .

Таким образом, проведенный комплекс исследований свидетельствует о том, что за время формирования бурых углей Ерковецкого месторождения происходило изменение условий угленакопления. Нижние слои угля явно автохтонные, образованные в условиях застойных торфяных болот с эффектом постепенного осушения и увеличения доли высших растений. Угли средней части, по всей видимости, являются аллохтонными, их генезис связан с размытием болот при периодическом поднятии уровня вод (паводки, наводнения), с которыми связан транспорт и накопление древесных растений. Свидетельством поступления и последующего захоронения древесных растений в условиях обводненности служит и присутствие двух тонких тонкоотмученных глинистых слоев, которые могли образоваться в послепаводковый застойный период. При формировании Ерковецкого месторождения выделяются два таких акта накопления древесной растительности. Формирование верхнего слоя угля проходило в условиях прогрессивного осушения торфяного болота, и он является автохтонным.

Поводковые воды переносили существенное количество ультрадисперсных глинистых фракций, которые осаждались как в общей массе растительного материала, так и перекрывали его при медленном отводе воды, образуя глинистые прослои, покрывая древесный слой. Этим можно объяснить идентичность кристаллических фаз в углях и глинистых прослоях.

Накопление ультрадисперсных частиц золота и других ценных и полезных компонентов,

которые установленные в углях Ерковецкого месторождения, также может быть связано с водным переносом совместно с глинистыми фракциями.

*Исследования выполнены при поддержке Президиума ДВО РАН и РФФИ (проекты 11-05-98510, 12-1-П27-03).*

#### Список использованных источников

1. Вальц И.Э., Гинзбург А.И., Крылова Н.М. Основные принципы вещественно-петрографической классификации углей // Химия твердого топлива. 1968. №3. С. 9-21.
2. Шайнович А. Происхождение, характеристика органического вещества и оценка генерационного потенциала неогеновых озерных осадочных пород // Геохимия. 2011. № 7. С. 723-740.
3. Шляхов А.Ф. Газовая хроматография в органической геохимии. М.: Недра, 1984. 221 с.

## ГРАФЕНОВЫЕ НАНОЧАСТИЦЫ В ШУНГИТАХ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТЫХ ШУНГИТОВЫХ ПОРОД

*Н.Н. Рожкова<sup>1</sup>, С.С. Рожков<sup>1</sup>, А.П. Дементьев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии Карельского научного центра РАН, Россия, г. Петрозаводск

<sup>2</sup> НИЦ "Курчатовский институт", Россия, г. Москва

Шунгитовые породы интересны как перспективное углеродистое сырье и как источник нанодисперсного углерода. Природный наноуглерод отражает процессы глобального цикла углерода, входит в состав почв и осадков, что затрудняет анализ его структурных и физико-химических свойств. В водных средах, а именно так шло формирование шунгитовых пород, появляются дополнительные сложности в изучении наноуглерода, связанные с взаимодействием с водой наночастиц углерода и их агрегацией, что является актуальной научной задачей [1].

Аналогичные задачи возникают в процессе переработки высокоуглеродистых шунгитовых пород с использованием традиционных технологий, где нет возможности контролировать вклад наноструктурных составляющих. Свойства шунгитсодержащих материалов изменяются в зависимости от способов получения и условий хранения. Для стабилизации свойств шунгитов предлагаются технологии, связанные с высокотемпературной обработкой и удалением минеральных примесей с помощью химических реагентов [2,3]. Модифицированный предлагаемыми способами шунгит теряет главное свойство – дифильность, т.е. его способность смачиваться как органическими (неполярными) жидкостями, так и водой.

Проблема воспроизводимости свойств актуальна также для углеродных материалов нового поколения, фуллеренов, нанотрубок и ультрадисперсных алмазов, из-за их высокоразвитой поверхности и реакционной способности. Для их эффективного использования необходимо знать условия стабилизации нанокластеров в различных средах.

В работе представлены результаты исследований устойчивых водных дисперсий шунгитового углерода (ШУ), позволившие выделить непланарные графеновые фрагменты, определяющие структурные и физико-химические свойства ШУ и устойчивость кластеров наноуглерода шунгитов в воде.

В настоящее время внимание исследователей привлечено молекулярный графен, моноатомная двумерная структура углерода, благодаря широким возможностям направленного изменения свойств углеродного материала от мезоскопического до атомарного уровней [4]. Нами был применен многоуровневый подход при изучении природного наноуглерода шунгитов, состоящего