



ГБОУ ВПО Международный университет
природы, общества и человека Дубна



ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт минерального
сырья им. Н.М.Федоровского

**ПРОГНОЗ ОБОГАТИМОСТИ УГЛЕЙ
МЕТОДАМИ
ОПТИЧЕСКОЙ МИКРОСКОПИИ И
РЕНТГЕНОВСКОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ**

Якушина О.А., Ожогина Е.Г.,
Кривошеков Н.Н., Хозяинов М.С.

Дубна – Москва

Прогнозная оценка качества углей и разработка эффективных технологий их обогащения и передела невозможны без детального изучения как мацеральной, так и минеральной составляющей углей, которая в первую очередь отвечает за зольность и сернистость, а также определяет экологические характеристики и качество угля. Содержащаяся в углях сера при технологическом использовании ухудшает качество продуктов переработки: кокса, смолы, газа и т.д.; при сжигании углей поступает в атмосферу, негативно влияя на окружающую среду.

Оценка обогатимости углей обычно проводится методом фракционного анализа (ГОСТ 4790-93), который является довольно трудоемким, затратным и длительным: необходимо проводить расслоение проб целого ряда различных классов крупности на фракции в жидкостях разной плотности. Известна методика определения степени обогатимости углей петрографическим методом (ГОСТ 18384-73) - требует предварительного изготовления искусственных аншлифов-брикетов. Методы углепетрографии [Петрология углей, 1978] эффективны не столько для оценки качества угля, но для изучения возможности удаления/концентрирования зерен минералов методами обогащения, причин неожиданного поведения угля или неудовлетворительных выходов.

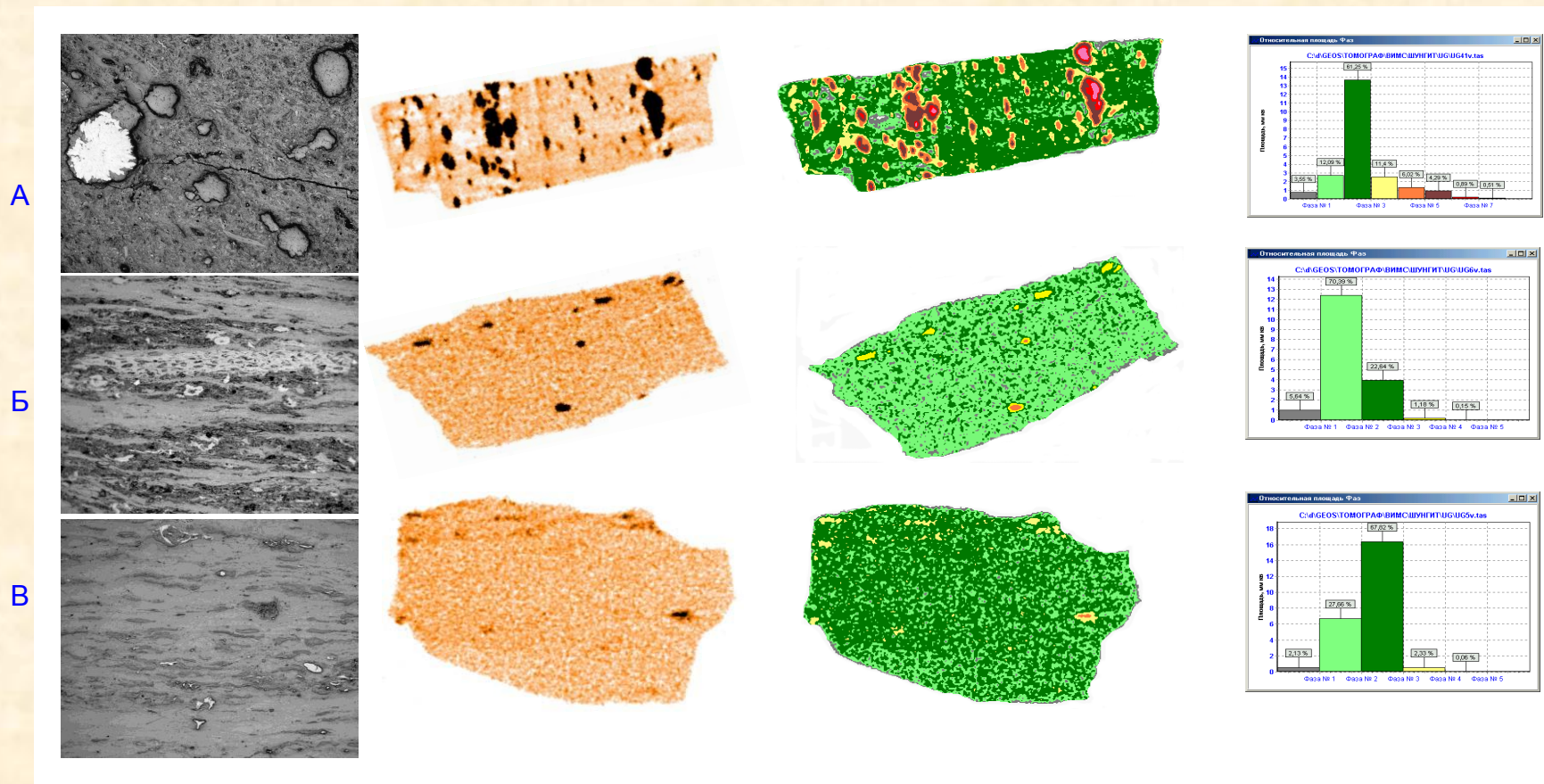
Минералогические методы исследования углей

Рентгеномографическим методом устанавливают: мацеральный и минеральный состав (количественный), прогнозную общую пористость, наличие органоминеральных сростков, их количество, морфоструктурные характеристики породообразующей части углей, гранулярный состав зерен сульфидов, прогнозную зольность как суммарное количество минеральных примесей и зольности органоминеральных сростков.

Методами оптической микроскопии устанавливают: мацеральный и минеральный состав (количественный), присутствие форменных микрокомпонентов и их количество, наличие, размеры, тип органоминеральных сростков и их количество по типам, морфоструктурные характеристики породообразующей части углей, минеральные примеси разделяют на группы: сульфиды, кварц, карбонаты, глинистые минералы и проч., определяют характер распределения и взаимоотношение минералов с форменными микрокомпонентами, морфометрические характеристики.

Оптико-геометрический анализ проводится для сульфидов (пирита), определяют: морфометрических характеристик минеральных примесей и органоминеральных сростков, гранулярный состава минеральных примесей, в том числе средний размера зерен сульфидов (пирита), степени раскрытия минералов, прогнозную зольность как суммарное количество минеральных примесей и зольности органоминеральных сростков.

Комплексирование РТ и оптической микроскопии на примере углей Хакасского месторождения



А - неоднородный дюрено-клареновый с высоким содержанием минеральных примесей;

Б - однородный дюреновый; **В** - однородный клареновый.

Справа налево: оптическая микроскопия, *отр.свет*, *увел.700*, *поле зрения 675x540 мкм*; томограмма; обработка по программе «TomAnalysis» и гистограммах процентного соотношения.

Установлено: 1-ая группа микролитотипов; средняя зольность однородных дюреновых и клареновых углей не превышает 2,35%, тогда как у неоднородного дюрено-кларенового угля составляет 25-27%.

Значимые минеральные примеси – пирит и сидерит.

Рентгеномографическое исследование углей – выделение фаз и типизация углей

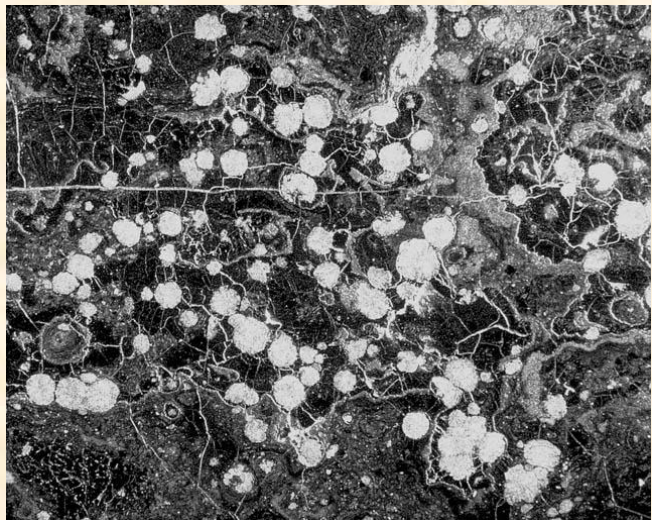


Тип угля	Выделенные фазы, их α_0 (Al- α_0) и содержание, в %							
	Дюрено- клареновый	<0,15	0,22-0,25	0,32-0,45	0,53-0,56	–	0,96-1,20	2,20-2,29
5%		10%	60%	7-9%		10%	5%	0,5%
Дюреновый	<0,15	0,19-0,21	0,49-0,59	–	0,89-0,95	1,18	2,19	–
	<0,15	0,17-0,18	0,23-0,31	–	0,71-0,94	–	2,14	–
	<0,15	0,17-0,20	–	0,45-0,48	–	–	–	–
	<0,15	0,2-0,23	–	–	–	–	–	–
	<0,15	0,2-0,22	0,37-0,40	–	0,90	–	–	–
	5-14%	58-90%	1-2%		0,1-3%	0,1-0,2%	0,1-0,2%	
Клареновы й	<0,15	0,17-0,19	0,21-0,28	0,56-0,59	–	–	–	–
	2%	28%	68%	2%				
Минералы, мацералы	поры, микро- трещины	мацералы		минеральные примеси				
		випринит, инертинит и эксинит	микрок-ты группы випринита	слоистые алюмосил икаты	кварц	кальцит	сидерит	суль фиды

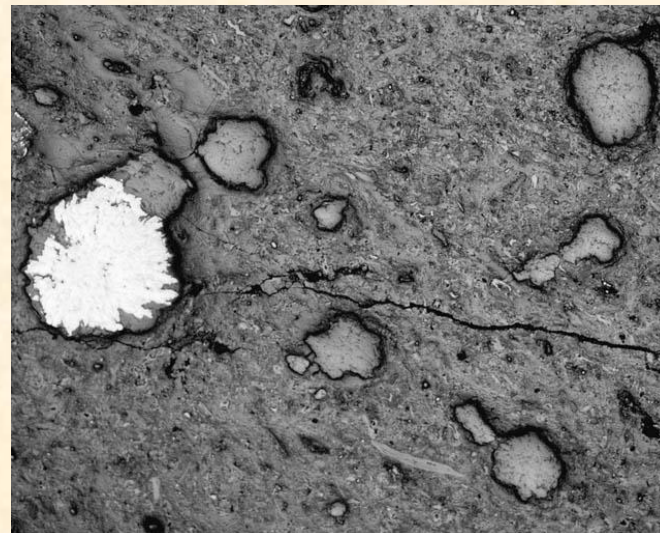
Минерал	Содержание, %	Размер, мм		
		мин.	средн.	макс.
сульфиды	<0,5	68	106	657
сидерит	5,0	27	63	597

**Основные
минералы-примеси
в углях по «TomAnalysis».**
(обр.ср. алюминий марки
A97 по ГОСТ 11069-85)

Микроструктурные особенности углей Хакасского месторождения



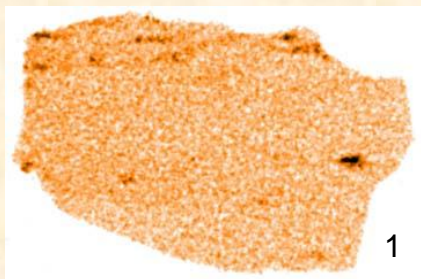
А



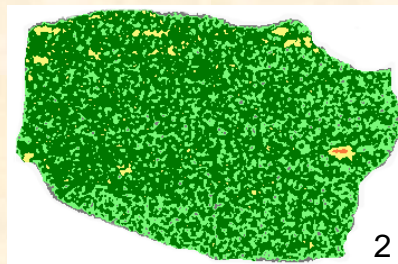
Б

А – конкреции сидерита в клареновом угле. *Отраженный свет, увел. 12,8, поле зрения 11,2x8,96 мм.*

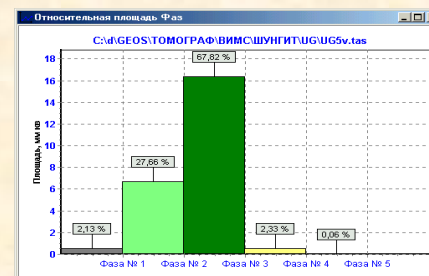
Б – псевдоморфоза марказита (белое) по сидериту в однородном дюреновом угле. *Отр.свет, увел., поле зр. 675x540 мкм.*



1



2

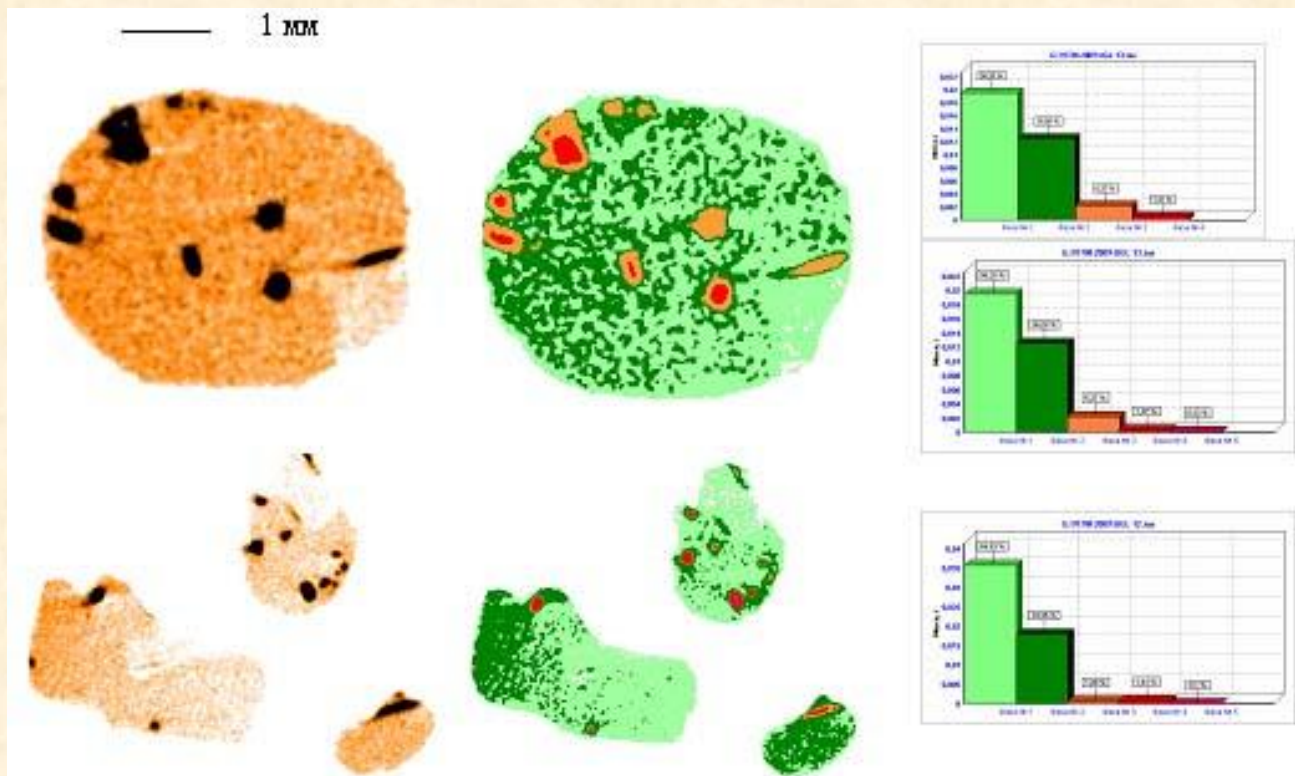


3

Рентгенотомография однородного кларенового угля

(1) томограмма; обработка по программе TomAnalysis – (2) фазы и гистограмма (3) % соотношения.

Текстурно-структурные особенности углей



Рентгенотомография углей (классифицированные продукты)

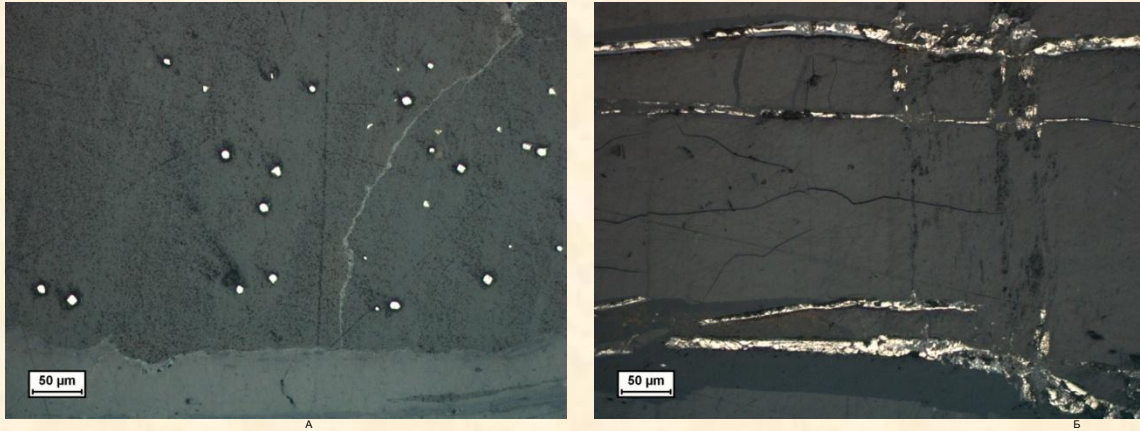
(1) томограмма; обработка по программе TomAnalysis – (2) фазы и гистограмма (3) их процентного соотношения.

По данным РТ четко выделяется два типа мацерал (форменных элементов) в количественном соотношении 60% и 30%. (светло и темно-зеленое на томограммах); четко фиксируется микропористость углей - размер пор не превышает 0,001 мм.

Рентгеномографическое исследование углей – выделение фаз и типизация углей

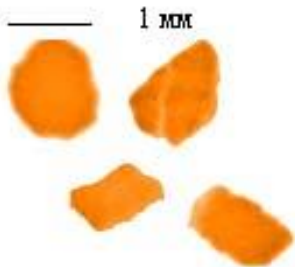
Тип угля	Выделенные фазы, их α_3 (Al-OC) и содержание, в %.						
Витрен- кларен	<0,15	0,32-0,45	0,53-0,56	0,80	1,7-1,9	3,96-4,2	4,2-4,29
Сод., %	до 5%	60-65%	30-35%	<2%	до 6%	10%	5%
Цвет на рис.		св-зелен.	зеленый	желтое	оранж, корич.	красное	сиреневое
Фазы	поры	мацералы (органиминералы)		минералы (минеральные примеси)			
		витринит	инертинит	кварц	гидроксиды Fe	пирит	пирротин

Комплексирование РТ и оптической микроскопии, исследование распределения сульфидов (пирита) в углях



Мелко-тонкокристаллический пирит I генерации (а); марказит-пиритовые прожилки (б).

Отраженный свет, николи параллельны; увел. x 200.



Средний размер пирита **6 мкм (0,006 мм)**;
масса пирита менее 5 мкм (0,044 мм)
составляет **0,056%**.

Основная масса минерала сосредоточена в
классах крупности $-0,074+0,044$; $-0,044+0,022$; $-0,022+0,01$ мм.

В более тонком материале пирита - менее 13%.

Оптимальная крупность дробления для
максимального извлечения сульфидов **0,044 мм**.

Пирит I-генерации (красное) и пирротин (сиреневое) в углях,
рентгеномография (томограмма, обработка по «TomAnalysis» и гистограмма соотношения фаз, в %).

Морфоструктурные характеристики пирита в углях

Гранулометрический состав пирита, отн. %

Кл. крупности, мм	Пирит (1), %		Пирит (2), %	
	количественный	массовый	количественный	массовый
- 0,5 + 0,25	0,00	0,00	0,00	0,00
- 0,25 + 0,125	0,00	0,00	0,00	0,00
- 0,125 + 0,074	0,24	16,40	0,06	7,56
- 0,074 + 0,044	1,12	27,30	0,21	9,93
- 0,044 + 0,022	3,65	27,84	2,27	34,05
- 0,022 + 0,01	10,54	18,92	8,19	28,91
- 0,01 + 0,005	16,71	6,59	17,18	13,33
- 0,005 + 0	67,75	2,97	72,11	6,22

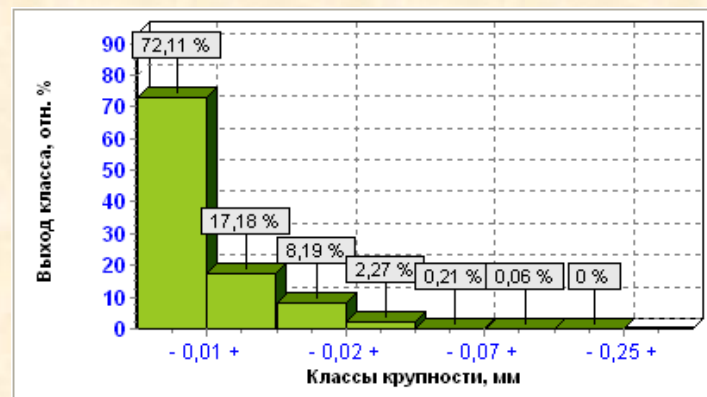
Средний размер пирита **6 мкм (0,006 мм)**;
 масса пирита менее 5 мкм (0,044 мм) составляет **0,056%**.

Основная масса минерала сосредоточена в классах крупности -0,074+0,044; -0,044+0,022; -0,022+0,01мм.
 В более тонком материале пирита - менее 13%.

Оптимальная крупность дробления для максимального извлечения сульфидов **0,044 мм**.

Гистограммы гранулометрического состава пирита

Количественный состав



Массовый состав



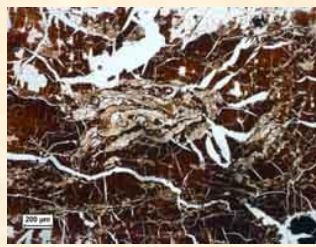
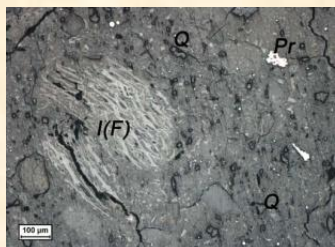
ИЗУЧЕНИЕ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА БУРЫХ УГЛЕЙ, Полярный Урал

плитчатая текстура угля с трещинами усыхания;
видны мелкие зерна кварца и включения сульфидов

Общий вид

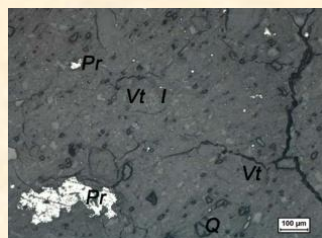


Отраженный свет, николи =

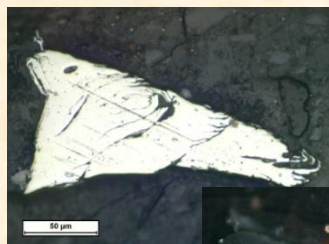


Рентгенотомография

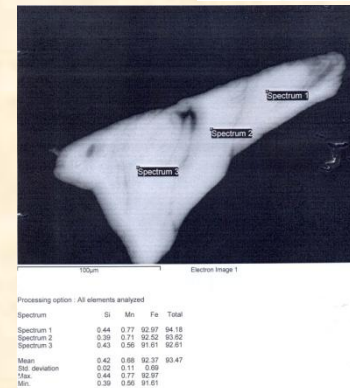
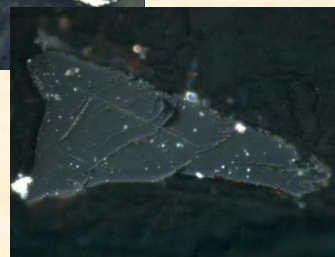
Форменные элементы и минеральные включения в угле



Прозрачно-полированный шлиф

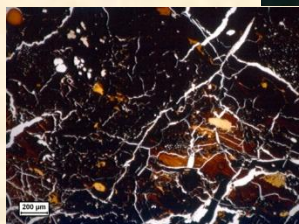
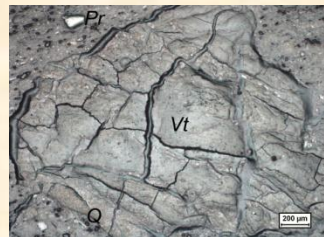


Отраженный свет, николи =



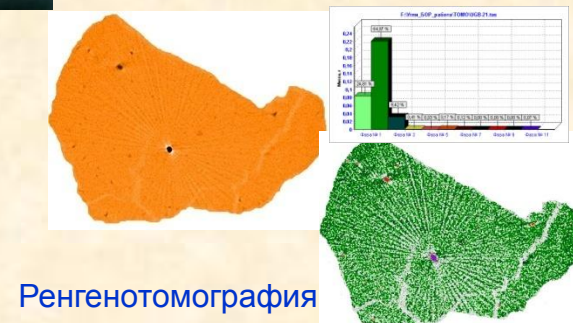
Электронная микроскопия, включение Me

Общий вид



НИКОЛИ X.

Прозрачно-полированный шлиф



Рентгенотомография

Минералогические методы исследования углей

Оценку качества углей можно проводить комплексом методов - оптико-минералогическим и рентгеномографическим анализом определяют: количество, соотношение групп микролитотипов, наличие органоминеральных сростков, зольность; оптико-геометрическим анализом устанавливают распределение сульфидной минерализации, средний размер зерен сульфидов (пирита), класс крупности их раскрытия. Затем по данным параметрам, аналогично петрографическому методу, определяется прогнозная степень обогатимости исследуемых углей.

Морфоструктурный анализ углей включает определение мацерального и минерального состава, характера распределения и взаимоотношения минералов с форменными микрокомпонентами, гранулометрического состава минералов и их морфометрических параметров – по этим данным характеризуют предел обогатимости, класс раскрытия, зольность, наличие вредных примесей в углях, что, в конечном итоге определяет качество угля и, в совокупности, позволяют получать полную и всестороннюю информацию, необходимую для создания рентабельных схем обогащения.

Минералогические критерии обогатимости углей:

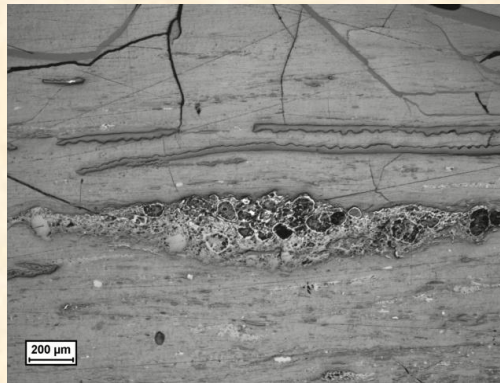
- тип и соотношение групп микролитотипов; присутствие органоминеральных сростков и форменных компонентов; количественное соотношение мацеральной и минеральной составляющих углей; состав минеральной составляющей углей – количество минеральных примесей по группам; формы нахождения а) серы и фосфора б) промышленно ценных и вредных компонентов, в т.ч. определяющие качество углей;
- морфоструктурные характеристики минералов углей:
 - а) массовый гранулярный состав минералов, определяющий крупность измельчения углей, при которой может быть достигнуто максимальное раскрытие конкретных породообразующих минералов,
 - б) морфометрические характеристики минералов, определяющие степень раскрытия органоминеральных сростков; и
- присутствие сульфидов (пирита), их гранулярный состав и основные классы раскрытия;
- общая прогнозная зольность, в % (сумма форменных элементов и минеральных примесей).

В результате по данным о группах микролитотипов, наличию и типу органоминеральных сростков, прогнозной зольности, применяя минералогические критерии и данные опорных таблиц (ГОСТ 18384-73) дается прогноз о степени обогатимости испытуемых углей.

Разработана методика РТ исследования и обоснованы минералогические критерии прогнозной оперативной оценки качества ископаемых углей по рентгеномографическим данным.

•Методические рекомендации НСОММИ № 159

«Прогнозная оценка обогатимости углей минералогическими методами (оптическая микроскопия и рентгеномография)», 2012





Спасибо за внимание!