

5. Страшненко Г.И. Исследование вещественного состава горного хрусталя и жильного кварца месторождений Южного и Среднего Урала с разработкой рекомендаций по их рациональному использованию // Отчет ЦУГРЭ, с. Новоалексеевское. 1990. Кн. 1. 100 с. Кн. 2. 170 с.

6. Скамницкая Л.С., Каменева Е.Е., Белашев Б.З. Изменение качественных характеристик кварца в условиях воздействия различными силовыми полями // Кварц. Кремнезем: Материалы Международного семинара. Сыктывкар: Геопринт, 2004. С. 52–53.

ОСОБЕННОСТИ МИНЕРАЛОГО-АНАЛИТИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ТИПОВ ШУНГИТОВЫХ ПОРОД

Ануфриева С.И., Ожогина Е.Г.

ФГУП «ВИМС», г. Москва

Шунгитовые породы представляют собой достаточно трудный объект для исследования, в связи с тем, что основные породообразующие фазы – шунгит и кварц, слагающие матрицу породы, являются тонкодисперсными, присутствуют в переменном количестве, представлены несколькими разновидностями и нередко характеризуются сложными границами срастания. В связи с этим для получения объективной информации о составе и строении шунгитовых пород и слагающих их минералов, обычно недостаточно традиционных минералогических методов исследования.

Изучение шунгитовых пород и продуктов их переработки на протяжении нескольких лет для решения различных, прежде всего, технологических задач, позволило разработать рациональный комплекс минералого-аналитических исследований этого вида сырья, позволяющий получать достоверную и всестороннюю информацию об объекте. Однако, такой комплекс методов включает в себя прецизионные физические методы, которые нередко являются дорогостоящими и требующими значительных временных затрат, например, аналитическая электронная микроскопия. Поэтому для решения рядовых (рутинных) задач или узко направленных обычно используется один или несколько методов, позволяющих получить ответ на конкретную задачу.

Минералогическое изучение технологических проб шунгитовых пород проводилось согласно рациональной схеме минералогических исследований для обеспечения технологических работ [1-3], включающей:

- текстурно-структурный анализ пород;
- определение минерального состава пробы, выяснение особенностей распределения типов сростков в породе и характера раскрытия шунгита на предварительно измельченном, усредненном, классифицированном и фракционированном по плотности и магнитным свойствам материале;
- изучение состава и свойств породообразующих минералов, выделенных комплексом методов: гравитационных, магнитных, электрических и других.

На первом лабораторном этапе изучения шунгитовых пород используется оптическая микроскопия, с помощью которой определяются все текстурно-структурные характеристики породы. Дальнейшие минералогические исследования направлены на определение всех минеральных фаз с их количественной оценкой, на детальное изучение состава и свойств главных минералов, на выявление характера раскрытия минералов. Эти исследования проводятся как на штучных образцах (выявление текстурных разновидностей), так и на предварительно измельченном, усредненном, классифицированном и фракционированном по плотности и магнитным свойствам материале.

Как показал опыт, традиционные минералогические методы исследования (оптико-минералогический и оптико-петрографический), проведенные на высокоразрешающих микроскопах Полми-А, Leica MZ 12₅ B, Leica RD DM (Германия), не всегда обеспечивают необходимую полноту определения минерального состава породы, предусматривающей диагностику всех минеральных фаз с количественной оценкой их содержаний. Это обусловлено, прежде всего, весьма тонким срастанием зерен главных породообразующих минералов (шунгита и кварца), которые образуют матрицу породы. В то же время методы оптической микроскопии являются главными при изучении текстурно-структурных особенностей шунгитовых пород и продуктов их переработки. Количественные морфоструктурные характеристики исходных пород и продуктов их переработки определены с помощью отечественных автоматических систем анализа изображений САИМ и Видео-Мастер.

Для четкого представления о характере взаимоотношений индивидов и их агрегатов в породе необходимо применение прецизионных методов. К числу которых относятся, прежде всего, аналитическая электронная микроскопия (электронные микроскопы Tesla-301B и Tesla-540B (Словения)) и рентгеновская вычислительная микротомография (промышленный микротомограф Геотом). Следует подчеркнуть, что эти методы также позволяют определять фазовый состав пород и продуктов их обогащения. В частности, среди методов электронной микроскопии для идентификации фаз используется микродифракционный анализ.

В связи с тем, что в шунгитовых породах в переменных количествах присутствуют железосодержащие минералы, была предпринята попытка их изучения методом мессбауэровской спектроскопии (ЯГРС), которая использовалась как для диагностики этих фаз, так и для выяснения особенностей состава минералов и, как следствие, объяснения их магнитности. При необходимости ЯГРС можно использовать для количественного фазового анализа железосодержащих минералов в породе. Исследования проводились на спектрометре ЯГРС-4 в режиме постоянных ускорений с источником ^{57}Co в матрице хрома. Мессбауэровские спектры регистрировались в 256 каналах компьютера и обрабатывались на нем же по программе "Univem" (Ростов) с использованием лоренцевой формы описания резонансных линий и равенства их ширины в каждом дублете. Критерием наилучшего разложения мессбауэровского спектра на составляющие являлся параметр $\min\chi^2$, оценивающий приближение расчетного спектра к экспериментальному. Изомерный сдвиг определялся относительно $\alpha\text{-Fe}$. Для измерения использовались порошковые пробы, измельченные до 0,05–0,07 мм, навеской до 200 мг.

Термографический анализ шунгитовых пород и продукта их переработки – шунгитового сорбента крупностью $-2,5+1,0$ мм проводился с целью изучения характера выгорания углеродистого вещества. При качественном определении РУВ (рассеянного углеродистого вещества) наиболее целесообразно ориентироваться на температуру начала экзотермического эффекта, обусловленного выгоранием РУВ, и его конфигурацию. Термографическое определение качества образцов проводили в соответствии с методическими указаниями № 12-Т НСОММИ [4].

Содержание РУВ в шунгитовых породах колеблется от единиц до нескольких десятков процентов. Наиболее информативными кривыми ДТА являются такие, которые получены для проб, содержащих около 2% РУВ. При содержании РУВ, значительно превышающем 2%, пробу рекомендуется разбавлять термоинертным веществом. В качестве термоинертного вещества обычно используют Al_2O_3 .

В связи с тем, что исследованные образцы шунгитовой породы по данным химического анализа содержат:

- | | |
|--|-------------------------------------|
| - образец массивной шунгитовой породы | – 31,62% $\text{C}_{\text{общ.}}$; |
| - образец брекчированной шунгитовой породы | – 26,64% $\text{C}_{\text{общ.}}$; |
| - образец выветренной шунгитовой породы | – 67,44% $\text{C}_{\text{общ.}}$; |
| - сорбент шунгитовый (кр. $-2,5+1,0$ мм) | – 34,40% $\text{C}_{\text{общ.}}$ |

Проведение термографических исследований требует специальной пробоподготовки.

В минералого-технологических исследованиях важная роль принадлежит химическим методам фазового анализа. Химический фазовый анализ пород, основанный на использовании эффекта селективного растворения анализируемых минералов с последующим анализом полученных растворов, имеет обычно достаточно высокую (III категорию) точность. Помимо порообразующих компонентов, проводилось определение углерода.

Для понимания особенностей процессов при глубоком обогащении шунгитовых пород важное значение имеет знание физических и физико-химических (технологических) свойств порообразующих минералов, большую часть которых можно определить минералогическими методами согласно нормативным документам НСОММИ.

Текстурные разновидности шунгитовых пород и их минеральный состав

По текстурным признакам выделяются слоистые, массивные, трещиноватые и брекчированные шунгитовые породы, количественное соотношение которых в пределах изученных залежей неодинаково. В Максиковской и Зажогинской залежах порядка 60% запасов пород представлены брекчированными породами, на долю массивных приходится около 40%, а слоистых – менее 1%.

В изученной технологической пробе, отобранной в пределах Зажогинской залежи, установлено три текстурные разновидности шунгитовых пород – брекчированные (по визуальной оценке порядка 30–40% материала пробы), массивные (порядка 60%) и слоистые (порядка 1%), условно названные «выветренными». В соответствии с промышленной классификацией массивные и брекчированные породы можно отнести к III типу (содержание углерода 20–35%), а слоистые – ко II типу (содержание углерода 35–75%).

Массивные шунгитовые породы – это плотные скрытокристаллические породы черного цвета с неравномерно рассеянной вкрапленностью пирита (рис. 1). В породах нередко наблюдаются прожилки разной мощности, сложенные в основном средне-кристаллическим кварцем.

Судя по химическому составу (табл. 1), главным порообразующим компонентом является кремнезем, представленный как собственной минеральной фазой – кварцем, так и входящий в состав других порообразующих минералов. Главным компонентом породы является и органический углерод, хотя присутствует по отношению к кремнезему в подчиненном количестве. Невысокое содержание Al_2O_3 связано с полевыми шпатами и в меньшей степени со слоистыми силикатами, а Fe_2O_3 – с пиритом, магнетитом и гидроксидами железа. Следует отметить, что данные химического анализа не согласуются с данными минералогических

анализов (рентгенографическим и рентгеномографическим), что, вероятно, связано с одной стороны, с особенностями состава и строения породы, с другой, – методикой подготовки средней пробы, ее усреднением и гомогенизацией.



Рис. 1. Шунгитовые породы массивной текстуры

Таблица 1

Химический состав текстурных типов шунгитовых пород

№ пробы	С _{орг.}	С _{общ.}	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	S _{общ.}	SO ₄ ²⁻	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
ШМ	31,43	31,62	51,8	4,54	0,73	0,06	1,33	0,14	1,30	0,31	3,54
ШБ	25,66	26,64	57,6	3,93	0,56	0,10	1,04	0,11	0,94	0,32	4,32
ШВ	63,02	67,44	10,07	3,40	0,01	0,03	1,18		0,31	2,47	1,63

Шунгитовые породы массивной текстуры сложены главным образом шунгитом и кварцем (табл. 2). При этом количественно в матрице породы преобладает шунгит, что отчетливо видно на томограммах (рис. 2). В подчиненном количестве присутствуют слоистые алюмосиликаты, полевой шпат и карбонаты. Из рудных минералов отмечаются пирит, магнетит, гетит. В качестве акцессорных минералов встречаются сфалерит, халькопирит.

Главные породообразующие минералы – шунгит и кварц присутствуют в тесной ассоциации, образуя нередко монолитную матрицу (см. рис. 2). Создается впечатление, что шунгит как бы «пропитывает» кремнистую матрицу, обтекая зерна кварца, за счет чего последние имеют заливообразные, лапчатые очертания. В прозрачно-полированных шлифах под микроскопом отмечается две разновидности шунгита, которые отличаются между собой отражением и присутствуют в тонкой смеси, что не всегда дает возможность установить четкие границы между ними. Следует отметить, что в полиминеральной матрице иногда наблюдаются небольшие участки, в основном линзо- и полосовидной формы, сложенные шунгитом с более низким отражением.

Кварц, помимо того, что присутствует в матрице породы, встречается в виде окатанных, реже угловатых обломков алевритовой и псаммитовой размерности. Нередко такой кварц имеет волнистое погасание. В массивных породах иногда отмечаются реликты колломорфных выделений кварца. На рис. 3 видны реликты почковидного выделения кварца, которые замещаются шунгитом с периферии. При этом следует отметить, что шунгит имеет слабо выраженную флюидальную структуру.

Таблица 2

Минеральный состав шунгитовых пород (по данным рентгенографического количественного фазового анализа)

Номер пробы	ШМ	ШБ	ШВ
Минералы	Содержание, %		
Кварц	37	40	10
Микроклин	2	2	0,5
Сидерит	0,5		0,3
Доломит	0,6		
Гидролюда	4	3,5	3
Каолинит			9
Пирит	2,5	2,3	
Гидроксиды железа			3
Рентгеноаморфная фаза	53	52	80

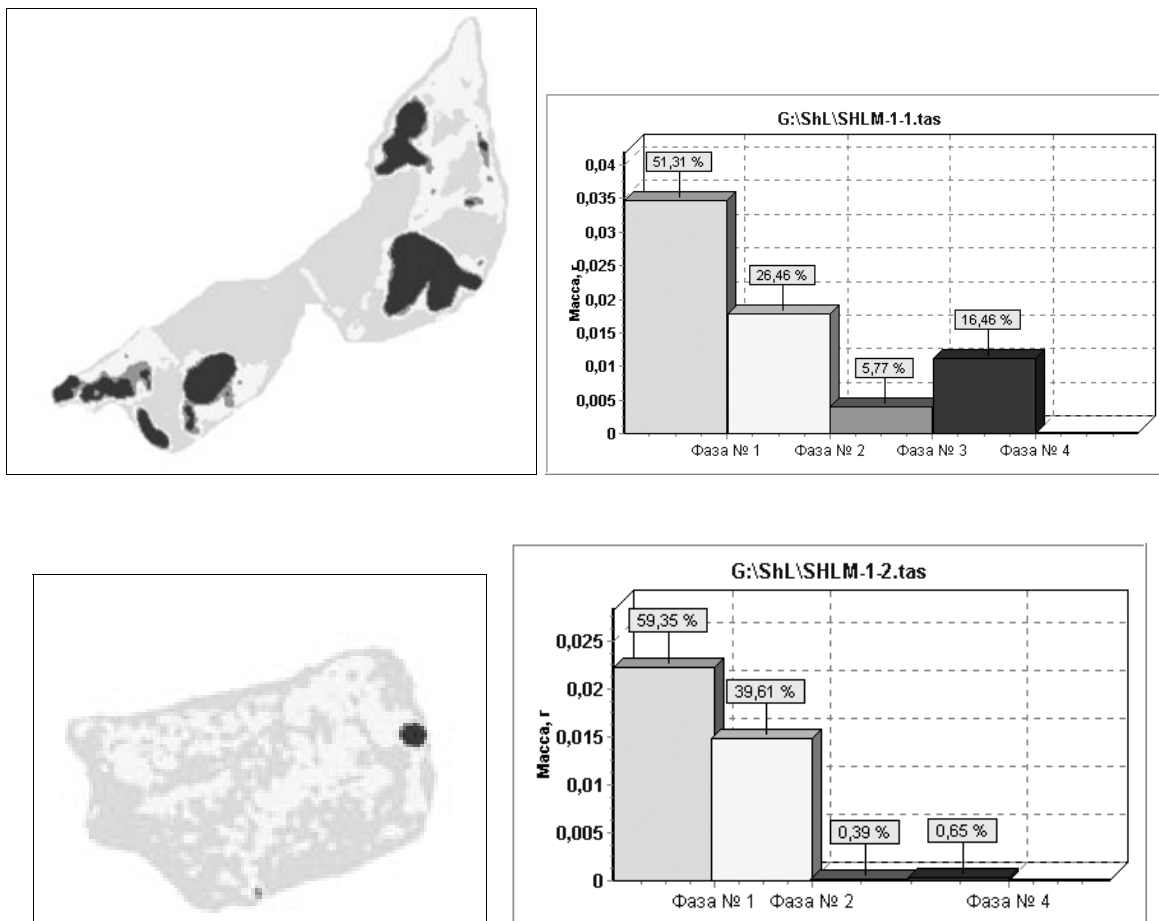


Рис. 2. Томограммы образцов шунгитовой породы массивной текстуры (серое – шунгит, светло-серое – кварц, темно-серое – пирит)

В породах отмечается и более поздняя разновидность, а, вероятнее всего, генерация кварца. Это кварц, слагающий разноориентированные прожилки в породе, имеющие различную мощность. Мелко-среднекристаллические агрегаты кварца сформированы плотно прилегающими шестоватыми, призматическими, удлиненными зернами, нередко «припорошенными» тонкодисперсным шунгитовым материалом. Иногда наблюдается оконтуривание зерен кварца шунгитом. Кварц практически всегда имеет волнистое погасание и гранулированное, иногда весьма сложное строение. В отдельных случаях в центре таких прожилков присутствует практически однородный шунгит (рис. 3 б).

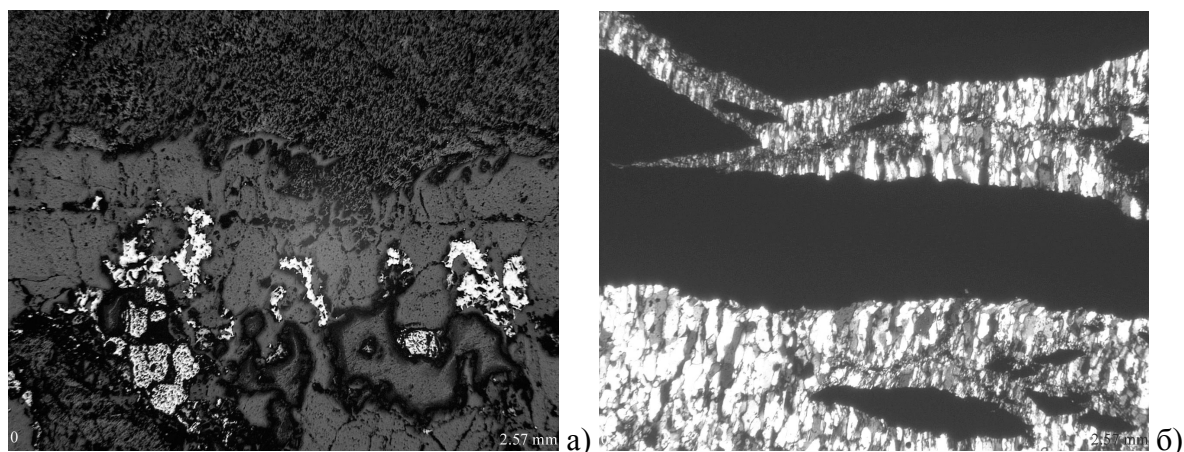


Рис. 3. а – колломорфные выделения кварца в шунгитовой породе с вкрапленностью пирита, отраженный свет, увел. x250; б – прожилок кварца в массивной шунгитовой породе, проходящий свет, увел. x250

Другие породообразующие минералы присутствуют в резко подчиненном количестве, обычно в виде индивидуализированных зерен или небольших гнезд и (или) линзовидных скоплений.

Особый интерес представляет характер распределения в породе железосодержащих фаз, главной из которых, несомненно, является пирит. Диагностика железосодержащих фаз, помимо оптико-минералогического и минераграфического анализов, проведена методом Мессбауэровской спектроскопии. Этим же методом оценено количество фаз, исходя из того, что содержание всех минералов, содержащих железо, принято за 100% (табл. 3).

Таблица 3

Минеральные формы железа и распределение железа между ними

№ образца	Минеральные формы железа	Распределение железа по фазам С, % отн.
ШБ Брекчированная шунгитовая порода	Магнетит	22
	Гидрогетит	26
	Пирит	40
	Силикат с Fe^{2+}	12
ШМ Массивный шунгит	Магнетит	18
	Гидрогетит	19
	Пирит	55
	Силикат с Fe^{2+}	8
ШС Слоистый выветренный шунгит	Магнетит	34
	Гидрогетит	23
	Пирит	41
	Силикат с Fe^{2+}	2

Ошибки: % отн Fe = $\pm 0,25\text{C}$.

Пирит в массивных шунгитовых породах представлен явно несколькими генерациями, различающимися временем образования. Однако типоморфные особенности пирита на данном этапе исследований не изучались и поэтому ниже приведена лишь общая характеристика этого минерала. Пирит, присутствующий в матрице породы, представлен неравномерно рассеянными вкрапленниками различной формы: кубической, панидиоморфной, округлой. За счет сегрегации пирита иногда наблюдается гнездовидная вкрапленность. Количественный морфоструктурный анализ, проведенный с использованием автоматического анализатора изображений, показал, что основная масса зерен пирита, сосредоточенного в матрице породы, имеет размер менее 0,074 мм (рис. 4).

Основная масса зерен пирита (86,62%) концентрируется в классах крупности $-0,044+0,005$ мм. Массовая доля зерен пирита размером менее 0,005 мм весьма незначительна (2,34%). Пирит характеризуется невысокой степенью изрезанности и удлинением, близким к среднему, что свидетельствует об его форме, близкой к изометричной (округлой, кубической). Морфоструктурные особенности пирита позволяют говорить о возможности его удаления из породы механическими методами. Освобождение породы от пирита возможно при ее измельчении до крупности $-0,074$ мм. При более тонком измельчении количество извлекаемого пирита будет увеличиваться.

Помимо этого, гнездовидные выделения пирита отмечаются в выделениях кварца колломорфного строения (см. рис. 4). Пирит также преимущественно имеет панидиоморфную форму, склонен к сегрегации и в значительной степени подвержен процессам окисления.

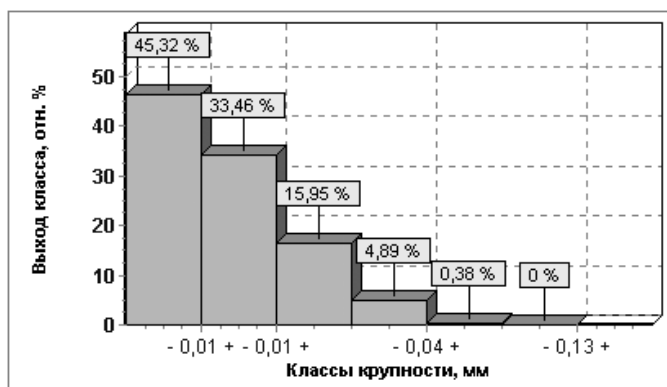
В кварцевых прожилках присутствует пирит в виде кристаллов и метакристаллов, размер которых колеблется от долей мм до 8 мм.

В породе в незначительном количестве присутствуют и другие рудные минералы – магнетит и гидрогетит. Причем, магнетит встречается в виде мелких кристаллов в матрице породы. Значимых скоплений, как правило, не образует и при фракционировании пробы в тяжелой жидкости концентрируется в тяжелой магнитной фракции. Минералы группы гидрогетита присутствуют в глинистых агрегатах, иногда замещают в различной степени пирит и редко отмечаются в виде вкрапленности (пятна) непосредственно в кварцево-шунгитовой массе породы.

Минерал	Содержание, масс. %	Изрезанность	Размерность, мкм			Удлинение
			мин.	средн.	макс.	
Пирит		0,71	2	6	51	1,75

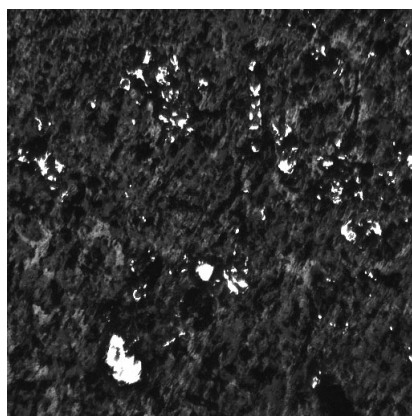
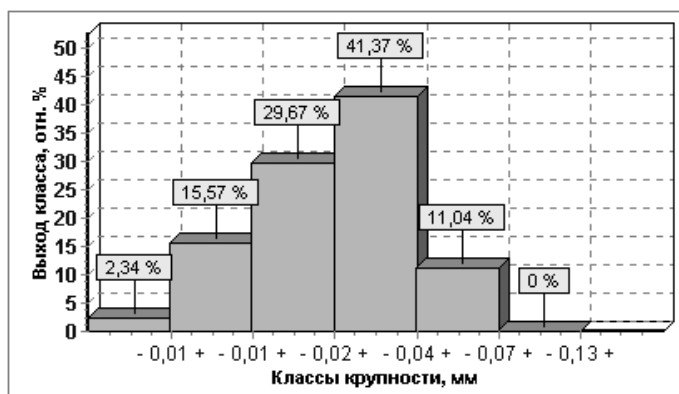
**КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ (отн.%)
И ГИСТОГРАММА ЕГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО КЛАССАМ КРУПНОСТИ**

Кл. крупности, мм	пирит
- 0,5 + 0,25	0,00
- 0,25 + 0,125	0,00
- 0,125 + 0,074	0,00
- 0,074 + 0,044	0,38
- 0,044 + 0,02	4,89
- 0,02 + 0,01	15,95
- 0,01 + 0,005	33,46
- 0,005 + 0	45,32



**МАССОВЫЙ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ (мас.%)
И ГИСТОГРАММА ЕГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО КЛАССАМ КРУПНОСТИ**

Кл. крупности, мм	пирит
- 0,5 + 0,25	0,00
- 0,25 + 0,125	0,00
- 0,125 + 0,074	0,00
- 0,074 + 0,044	11,04
- 0,044 + 0,02	41,37
- 0,02 + 0,01	29,67
- 0,01 + 0,005	15,57
- 0,005 + 0	2,34



Микрофотография шунгитовой породы (белое пирит). Увел.х100.
Отраженный свет. Размер поля зрения - 512х512 мкм.

Рис. 4. Результаты расчета образца «ШМ» на системе анализа изображений «Tomanalysis»

Брекчированные шунгитовые породы – это плотные породы черного и буро-черного цвета, рассеянные многочисленными прожилками кварца разной мощности (рис. 5). Эти породы большей частью имеют брекчиевидную, реже брекчиевую и псевдобрекчиевую текстуры, обусловленные присутствием блоков существенно шунгитового состава, сцементированных либо кварц-шунгитовым материалом, либо кварцем мелко-среднекристаллической структуры. Макроскопически блоки размером от нескольких миллиметров до 100 мм, выглядят монолитными, обнаруживают скрытокристаллическую структуру.



Рис. 5. Шунгитовая порода брекчиевидной текстуры

В прозрачно-полированных шлифах под микроскопом наблюдается, что обломки (блоки) кварц-шунгитового состава, в меньшей степени обломки минералов (кварца, нередко гранулированного, полевого шпата и карбонатов) сцементируются существенно шунгитовым материалом. Тип цемента контактово-поровый и базальный. Участки породы, в которой обломки сцементированы кварцем (тип цемента контактовый и базальный) образовались, видимо, за счет того, что кварцевые прожилки как бы «слились» с окварцованными участками породы. Кварцевый агрегат в данных случаях имеет в основном мелкокристаллическое строение. Обломки пород в различной степени рассеяны трещинами, прожилками мощностью от долей до первых десятков миллиметров.

По химическому и минеральному составу брекчированные породы близки к массивным породам (см. табл. 1, 2). Некоторые отличия отмечаются по характеру распределения и взаимоотношению главных минералов. Во-первых, породы этой разновидности практически полностью представлены полиминеральным агрегатом с переменным содержанием кварца и шунгита (рис. 6) в отличие от массивных пород, в которых не только отмечается полиминеральная матрица, но и довольно однородные участки, сложенные кварцем или шунгитом. Во вторых, четко фиксируются участки породы, сложенные преимущественно кварцем. Кварц в данном случае имеет мелко-тонкокристаллическую аллотриоморфнозернистую структуру.

Необходимо отметить, что в породах этой разновидности нередко наблюдаются полиминеральные агрегаты слюдисто-кварцевого и кварцево-глинистого состава, иногда содержащие гидроксиды железа. Микростроение агрегатов существенно глинистого и слюдистого состава чешуйчатое, спутано-волокнистое, псевдо-аморфное. Иногда гидрослюдистый материал неравномерно раскристаллизован до индивидуализированных кристаллов таблитчатой и пластинчатой формы. Немногочисленные обломки полевого шпата представлены микроклином (наблюдается явно выраженная микроклиновая решетка) таблитчатой формы со слабо сглаженными очертаниями.

Особо следует отметить, присутствие в брекчированных породах концентрически-зональных образований (рис. 7 а). Концентры в таких образованиях в основном дифференцированы по составу и различны по мощности. Центральная часть их обычно сложена изотропным скрытокристаллическим шунгитом. Кварцевые концентры – это в основном мелкокристаллический агрегат, состоящий из плотно прилегающих зерен. Конфигурация концентров нередко сложная – веерообразная, слабо фестончатая.

В брекчированных породах, наряду с кварцем, слагающим матрицу, присутствуют обломки кварца алевритовой и псаммитовой размерности в основном окатанной и полуокатанной формы с неровной ямчатой поверхностью. Кластогенный кварц имеет волнистое погасание, нередко слабо гранулирован, особенно по периферии. Поверхность таких обломков в дезинтегрированном материале всегда присыпана шунгитом.

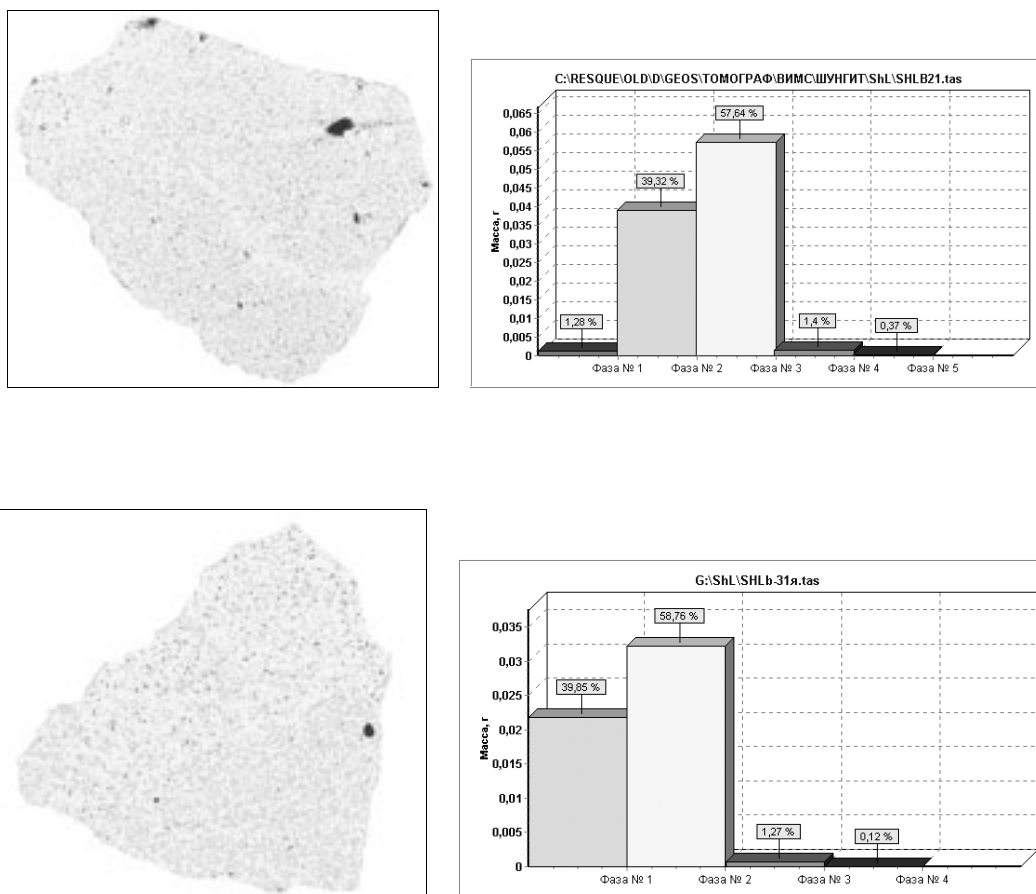


Рис. 6. Томограммы образцов брекчированной шунгитовой породы (серое – шунгит, светло-серое – кварц, темно-серое – пирит)

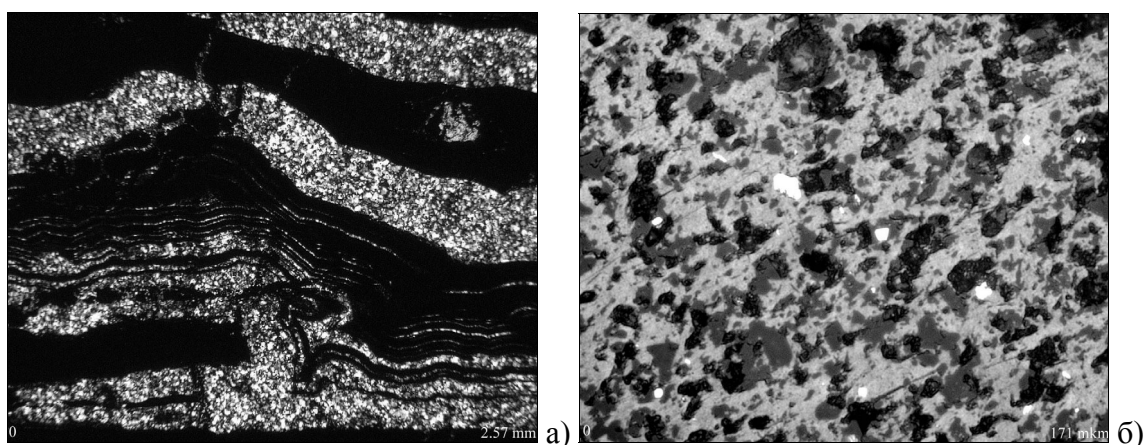


Рис. 7. а – шунгитовая порода концентрически-зонального строения, проходящий свет, увел. x250; б – вкрапленники пирита в шунгитовой породе, отраженный свет, увел. x400

Из рудных минералов в породе также преобладает пирит (см. табл. 3), представленный неравномерной тонкой вкрапленностью. Зерна пирита в основном кубической, округлой и панидиоморфной формы. Нередко отмечаются метакристаллы и кристаллы пирита пан- и гипидиоморфной формы размером до 0,37 мм. Автоматическим анализом изображений установлено, что зерна пирита характеризуются невысокой изрезанностью и средним удлинением (рис. 8). Средний размер зерен пирита равен 0,006 мм (6 мкм). Основное количество (86,14%) зерен имеет размер менее 0,01 мм. По массовому гранулометрическому составу пирит брекчированных пород резко отличается от пирита массивных пород. Основная масса (47,66%) зерен пирита сосредоточена в классе крупности $-0,125+0,074$ мм. Именно к этому классу крупности относятся кристаллы и метакристаллы. И почти 35% зерен пирита приходится на класс крупности $-0,044+0,01$ мм, в котором сосредоточены индивидуализированные зерна.

Минерал	Содержание, масс. %	Изрезанность	Размерность, мкм			Удлинение
			мин.	средн.	макс.	
пирит		0,76	2	6	95	1,50

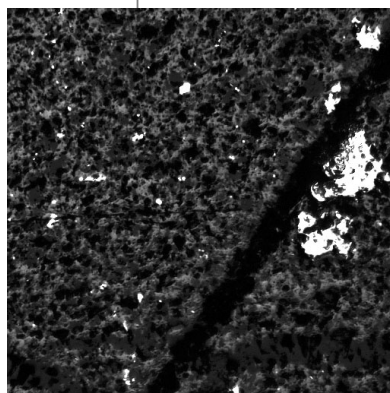
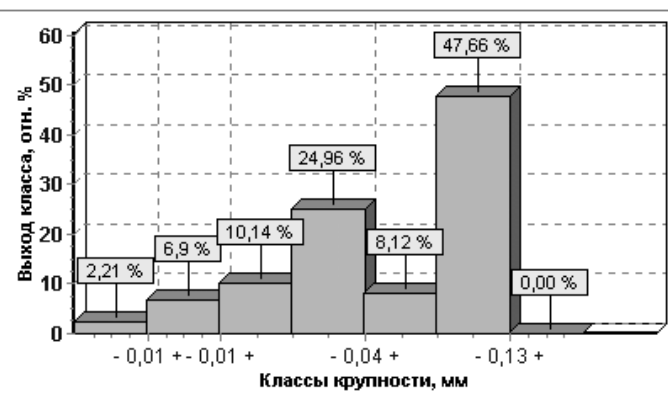
**КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ (отн.%)
И ГИСТОГРАММА ЕГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО КЛАССАМ КРУПНОСТИ**

Кл. крупности, мм	пирит
- 0,5 + 0,25	0,00
- 0,25 + 0,125	0,00
- 0,125 + 0,074	0,87
- 0,074 + 0,044	0,42
- 0,044 + 0,02	4,41
- 0,02 + 0,01	8,16
- 0,01 + 0,005	22,18
- 0,005 + 0	63,96



**МАССОВЫЙ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ (мас.%)
И ГИСТОГРАММА ЕГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПО КЛАССАМ КРУПНОСТИ**

Кл. крупности, мм	Пирит
- 0,5 + 0,25	0,00
- 0,25 + 0,125	0,00
- 0,125 + 0,074	47,66
- 0,074 + 0,044	8,12
- 0,044 + 0,02	24,96
- 0,02 + 0,01	10,14
- 0,01 + 0,005	6,90
- 0,005 + 0	2,21



Микрофотография шунгитовой породы (белое - пирит). Увел. x100.
Отраженный свет. Размер поля зрения - 512x512 мкм.

Рис. 8. Результаты расчета образца «ШБ» на системе анализа изображений «Tomanalysis»

В породе в весьма незначительном количестве присутствуют магнетит и гетит. Причем, магнетит идентифицируется лишь в тяжелой магнитной фракции дробленной пробы в виде мелких остроугольных осколков кристаллов.

Слоистые («выветренные») шунгитовые породы – это весьма плотные антрацитоподобные породы с плитчатой отдельностью, черные, блестящие. Породы неравномерно- и прерывисто слоистые, участками массивные. Слоистая текстура обусловлена чередованием слоев мощностью до первых сантиметров, сформированных антрацитоподобным материалом и органическим веществом, обладающим более низким отражением.

Слоистые шунгитовые породы по химическому и минеральному составу (см. табл. 1, 2) резко отличаются от предыдущих разновидностей. Эти породы высоко углеродистые, низкремнистые и практически не содержат пирита.

В прозрачно-полированных шлифах слоистые породы выглядят практически гомогенными, сформированы однородным материалом, похожим по отражению и структуре на гелиофицированное вещество углей. При высоких увеличениях в иммерсионном масле фиксируется слабо выраженная слоистость, обусловленная наличием более плотного материала, который имеет более высокое отражение. Иногда отмечается блочное микростроение органического вещества, связанное, прежде всего, с трещиноватостью.

Рентгеномографическое исследование образцов пород, визуально отнесенных к слоистым, показало, что в шунгитовой матрице в незначительном количестве присутствуют зерна кварца остроугольной и ксеноморфной формы (рис. 9). Наряду с кварцем в породе отмечается значительное количество глинистых минералов, распределенных весьма неравномерно, образующие линзовидные, прерывисто-слоистые выделения. Глинистые агрегаты, по данным рентгенографического анализа, имеют гидрослюдисто-каолинитовый состав. В шлифах под микроскопом наблюдается спутано-волокнистое, чешуйчатое микростроение глинистого материала. Иногда отмечаются индивидуализированные чешуйки и пластинки гидрослюды и веерообразные чешуйки каолинита. В таких агрегатах нередко присутствуют гидроксиды железа.

Слоистые породы интенсивно трещиноваты, трещины разной мощности преимущественно ориентированы по наслоению, сухие, либо выполнены мелкокристаллическим кварцевым агрегатом. Также отмечаются трещинки, секущие более крупные трещины (по наслоению), в которых отмечаются гидроксиды железа в виде корочек и пленок, очень редко кварц и пирит.

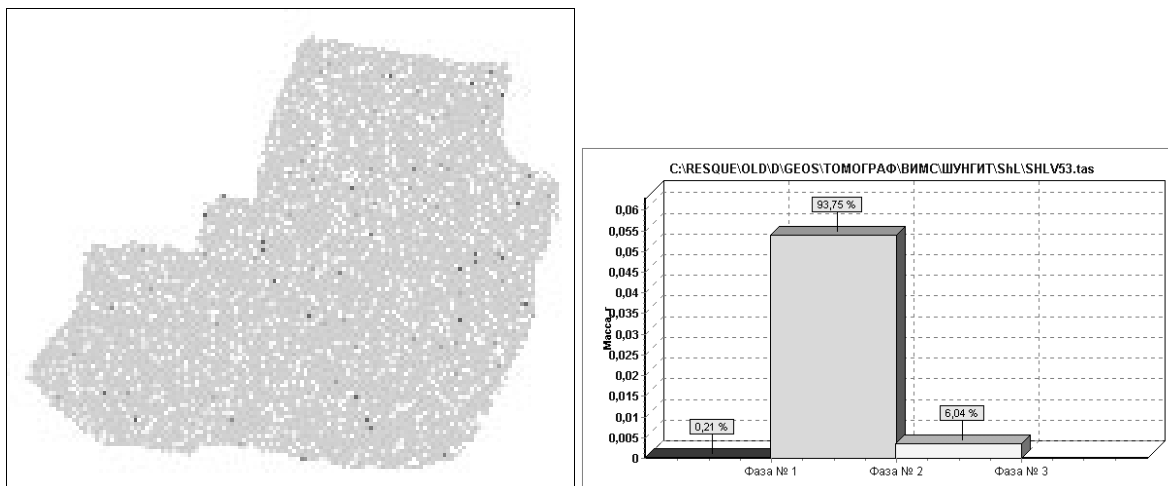


Рис. 9. Томограмма слоистой («выветренной») породы (серое – шунгит, светло-серое – кварц)

Из вышеизложенного следует:

- природные шунгитовые породы представлены тремя главными текстурными разновидностями, содержание которых в технологической пробе крайне неравномерно;
- минеральный и химический состав преобладающих в пробе массивных и брекчированных шунгитовых пород практически однотипны, некоторые различия отмечаются в количественном содержании главных породообразующих минералов, на долю которых приходится порядка 85-95%;
- слоистые («выветренные») породы резко отличаются по минеральному и химическому составу от первых двух разновидностей тем, что главным компонентом в них является углеродистое вещество (около 70%);
- рудная минерализация во всех разновидностях пород преимущественно представлена пиритом, как минимум двух генераций;
- морфоструктурный анализ пирита, рассеянного в породах массивной и брекчированной текстур, показал, что при определенной крупности материала возможно его извлечение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Филиппов М.М., Голубев А.И., Медведев П.В. и др. Органическое вещество шунгитоносных пород Карелии (генезис, эволюция, методы изучения). Петрозаводск: изд. КарНЦ РАН, 1994. 208 с.
2. Шунгиты – новое углеродистое сырье // Под ред. Соколова В.А., Калинина Ю.К., Дюккиева Е.Ф. Петрозаводск: изд. Карелия, 1984. 182 с.
3. Шунгиты Карелии и пути их комплексного использования // Под ред. Соколова В.А. Петрозаводск, Карелия, 1975. 239 с.
4. Термографическая методика определения качества и количества рассеянного углеродистого вещества. Кристаллохимические методы. Методические указания № 12. Т. М.: ВИМС, 1982.

ВЫСШИЕ АНТРАКСОЛИТЫ БИТУМОЛИТОВЫХ ПОРОД ЗАЖОГИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Кевлич В.И., Филиппов М.М.

Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск

Высшие антраксолиты нижнего протерозоя Карелии являются традиционным объектом исследования природных битумов, находящихся на предграфитовой стадии углефикации. Активно изучают их молекулярную и надмолекулярную структуру (степень упорядоченности, дефекты, вакансии и др. структурные особенности), изотопный состав углерода, эволюцию состава и свойств битумов при их углефикации [6]. Антраксолиты привлекают исследователей своей «чистотой» (содержание углерода 94,92–98,35%), что существенно при изучении свойств шунгитового вещества (ШВ) пород, с другой стороны, они сами по себе интересны, поскольку форма их проявлений, взаимоотношение с вмещающей средой позволяют выявить специфику миграции углеводородов и накопления природных битумов в палеопротерозойских отложениях. Современные, пусть и робкие, тенденции развития практического применения шунгитоносных пород проявляются в создании новых технологий получения, например, нанокластеров углерода, специальных покрытий, медицинских препаратов. Они могут быть успешно реализовываемы, если удастся решить проблему получения концентратов ШВ с низкой зольностью. В статье обосновывается положение о том, что это возможно лишь при использовании битумолитовых пород, в которых ШВ представлено только антраксолитом.

Впервые проблема обогащения шунгита¹ Шуньгского месторождения была поставлена в 1931 г. В институте «Механобр» при обогащении использовали операции дробления, измельчения в комплексе метода: ручная разборка, разделение в тяжелых жидкостях, на концентрационных столах, отсадка, флотация [2, 7]. Были получены концентраты ШВ с зольностью более 15%. В институте Прикладной химии проводились исследования по обогащению разогретого шунгита путем воздействия на него газообразного хлора [4]. Наиболее эффективно процесс протекает при температуре 1000°C, продукты обогащения содержали 11,06% золы. В этом же институте проводились опыты по хлорированию шуньгского антраксолита с исходной зольностью около 3%; получены продукты, содержащие 0,66% золы. В 1984 г. Дюккиев Е.Ф., Кондратьева Л.В. и Калинин Ю.К. в опытах по обогащению максовитов Зажогинского месторождения использовали автоклавирование в щелочной среде, а также термообработку с целью дегидратации слюд и перевода других минералов в аморфное состояние, выдерживание в автоклаве, избирательное химическое растворение в кислотах и повторное автоклавирование [1]. Получены концентраты с зольностью 12,8% и 2,5%. В 2000 г. исследована возможность применения МГС-сепарации и индукционного радиорезонансного метода [5] с целью получения концентратов с повышенной электропроводностью. Электропроводность продуктов обогащения действительно существенно повышается, однако их зольность остается высокой. Итак, при использовании шунгитов и максовитов, которые генетически относятся к сапробитумолитовым породам (со смешанным органическим веществом – первично-осадочным, и миграционным), проблема получения концентратов шунгитового вещества с применением традиционных методов обогащения не была решена. В том и другом случае основная доля шунгитового вещества приходится на органоминеральные соединения, сформированные на коллоидной стадии развития как органического (протошунгитового), так и минерального вещества. В шунгитах и максовитах первичные органо-кремнистые и органо-глинистые гели на зеленосланцевой стадии метаморфизма представлены криптокристаллическим серицитом и кварцем, с

¹ Шунгиты – породы, содержащие от 45 до 80% ШВ; имеют параллелепипедальную отдельность, пелитоморфные, относятся к сапробитумолитовым породам, слагают субпластовые тела или локальные участки среди максовитов.

Максовиты – породы, содержащие от 10 до 45% ШВ, плотные, пелитоморфные; относятся к экструзивным сапробитумолитовым породам.