

# ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ, МЕТОДЫ ИХ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

УДК 553.574 : 550.8 + 622.7 : 552.45

## ПОИСКИ, ОЦЕНКА И ОБОГАЩЕНИЕ КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ю.С.Ананьев, Л.Г.Ананьева, И.В.Долгов, А.Ф.Коробейников М.В.Коровкин

Аннотация: В связи с увеличением потребности в высококачественном сырье, истощением запасов традиционных месторождений, в особенности горного хрусталя, актуальна задача поисков, оценки качества, технологического обогащения и перспектив использования в промышленности неадефицированных кварцевых пород. По предварительным оценкам проведенных нами исследований геологического строения, генетических особенностей, геохимического состава и структуры, электрофизических и радиационно-оптических свойств кварцитов Антоновской группы месторождений сделан вывод о возможности их использования в качестве источника высококачественного кварцевого сырья для изготовления различных материалов и изделий в оптике, металлургии, стекольной и электронной промышленности, военной и космической технике, использующих высокие технологии. Эффективность обогащения кварцитов разных технологических марок в значительной степени зависит от их минералогических, геохимических и генетических особенностей.

Мировой рынок производства и потребления кварцевого сырья в настоящее время характеризуется тенденциями роста потребления наиболее химически чистых разновидностей кварца [1]. Это связано с использованием новых высоких технологий для получения изделий для полупроводниковой микроэлектроники, специальных материалов для оптической и акустической электроники, волоконно-оптических систем и др. [2, 3]. Потребность особо чистого кварцевого концентрата на нужды электроники составила в 1997 г. - 43 тыс.т, а в 2000 г. требовалось около 105 тыс.т с чистотой не менее 99,995 % [2].

Основными источниками для получения высококачественного кварцевого сырья традиционно являются месторождения горного хрусталя, гранулированного и прозрачного жильного кварца [4, 5]. Однако, при планируемом на ближайшие годы росте объемов производства особо чистых концентратов обеспеченность промышленности такими запасами в России не превышает восьми - девяти лет [4], поэтому в настоящее время актуальна задача поисков, разведки и оценки неадефицированных кварцевых пород, которые могли бы служить перспективным источником для получения высококачественного кварцевого сырья [6-8]. Кварцсодержащие горные породы (кварциты, кварцевые песчаники, кварцевые пески и песчано-гравийные смеси) традиционно используются как флюсы и сырье для производства ферросплавов, для различных отраслей стройиндустрии, а после обогащения могут применяться для получения огнеупоров, карбида кремния, в химической и стекольной промышленности.

Особенно высокие требования предъявляются к качеству исходного природного кварцевого сырья, в котором общее содержание посторонних примесей не должно превышать 10 - 50 ppm [2,3], в случае получения кристаллического кремния для солнечной энергетики. Использование солнечной энергии, поступление которой на Землю существенно превышает содержание всех мировых запасов нефти, газа, угля, урана и других энергетических ресурсов, в настоящее время представляется наиболее перспективным путем решения энергетической проблемы в мировом (что отмечено в программе ЮНЕСКО World Solar Program на 1996-2005 гг.) и российском масштабе. Наиболее перспективной технологией солнечной энергетики является создание фотоэлектрических станций с элементами на основе кремния, которые преобразуют солнечную радиацию в электрическую энергию. Принципиальным ограничением массового использования солнечных энергосистем является высокая цена кремния "солнечного" каче-

ства. Поэтому главными задачами в этом направлении являются создание новых технологий получения кристаллического кремния, обеспечивающих радикальное снижение его стоимости, и выбор рафинированного технического кремния, который получается карботермическим восстановлением чистых природных кварцитов [7]. Получение высокочистого кварцевого сырья возможно в результате последующего глубокого обогащения кварцитов комплексом механических, химических, термических и других методов [9]. Выбор из числа известных и разработка новых методов обогащения базируются на информации о типах и содержании структурных дефектов в кварце [10].

В отношении стоимости качественного кварцевого сырья можно принять следующие оценки:

- исходное сырье (кварциты) - 10 - 15 долларов США за 1 тонну,
- обогащенное кварцевое сырье - 500 - 1000 долларов за 1 тонну [2],
- высокочистое кварцевое сырье "ЮТА Standart" - 3000 долларов за 1 тонну [1],
- высокочистое кварцевое сырье "ЮТА - 4" - 5100 долларов за 1 тонну [1].

Получение высококачественного кварцевого сырья и существенное снижение его стоимости возможно в результате разработки новых технологических циклов обогащения и переходе на использование более чистого исходного сырья [8], причем, во втором случае, проблема является всецело геологической.

Основными задачами получения высокочистого кварцевого сырья являются: .

- геолого-геохимическое изучение кварцитоносных провинций Западной Сибири с целью обнаружения и разведки месторождений чистого кварцевого сырья;
- минералого-геохимическое изучение кварцевого сырья с целью оценки его пригодности для соответствующего промышленного использования;
- разработка рациональной технологии обогащения кварцевого сырья;
- создание производства высокочистой кварцевой крупки соответствующей международным требованиям.

По предварительным оценкам проведенных нами исследований геологического строения, генетических особенностей, геохимического состава и структуры, электрофизических и радиационно-оптических свойств кварцитов Антоновской группы месторождений сделан вывод о перспективности их использования как источника высококачественного кварцевого сырья [11-15].

**1. Геологическое строение** Антоновской группы месторождений кварцитов. Антоновская группа включает в себя следующие месторождения: Антоновское, гора Брусничная, ЮВ продолжение г. Брусничной, Сопка-248, Богатырёк, Правобережное, Белокаменское (рис. 1). Общие запасы оцениваются в 660 млн. тонн. С 1977 г. ОАО "Антоновское рудоуправление" эксплуатирует месторождение "Сопка-248" с запасами 141 134,0 тыс. тонн [11].

Приуроченность месторождения кварцитов "Сопка-248" к западному крылу восточной антиклинальной структуры Яйского выступа определяет основные особенности его геологического строения. Все месторождения локализуются в карбонатно-кремнисто-сланцевой толще нижнего кембрия. Как и основные структуры района, толща простирается с северо-запада на юго-восток и круто (50-80°) падает на юго-запад. Указанное направление подтверждается расположением самих кварцитовых тел, а в рельефе – ориентировкой его положительных форм. Общее направление залегания вмещающих пород, как в плане, так и по падению, повсеместно осложняется флексуобразными перегибами, складками высоких порядков, будинажем, что особенно отчетливо проявляется в зонах повышенного смятия пород, фиксирующих собою основные направления тектонических подвижек.

**2. Генезис кварцитов.** Две противоположные точки зрения по вопросу происхождения кварцитов Антоновской группы месторождений, высказывающиеся с момента их открытия (1927 г.), дискутируются до настоящего времени. Сторонникам осадочного происхождения кварцитов – В.А. Нудлеру (1928 г.), Н.И. Буянову (1932 г.), А.Н. Чуракову (1941 г.), К.Д. Нешумаевой и А.С. Кирилову (1962 г.), Н.И. Шпакодраевой (1969 г.) – в разное время противопоставлялась точка зрения о метасоматическом их происхождении, которую высказывали академик М.А. Усов (1934 г.), А.М. Кузьмин и Ф.П. Волков (1935 г.), К.В. Радугин (1937 г.), геолог А.К. Стельмахович (1959 г.) и геологи (И.П. Манаев и др., 1969 г.) литологической партии ЗСПГО (Волков Ф.П., 1934,1935; Радугин К.В., 1928; Богатырев А.И., Татаревская Т.Г., 1985) [16-18].

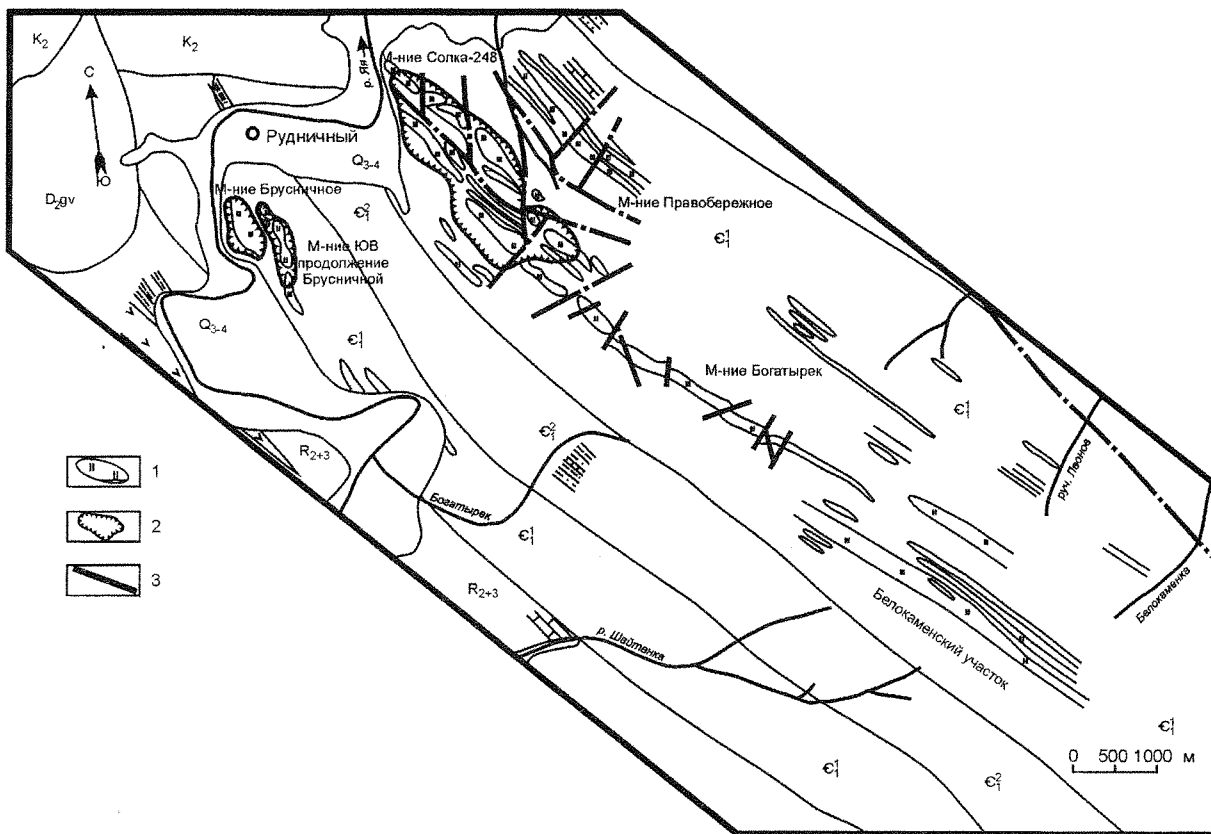


Рис.1. Схематическая геологическая карта Антоновской группы месторождений кварцитов  
1 - кварцитовые тела; 2 - контуры карьеров; 3 - тектонические нарушения

Обе группы исследователей расхолись при решении частных вопросов. Академик А.М. Усов считал, что кварциты сформировались при окремнении неподдающейся определению (в результате полной каолинизации) афанитовой породы под влиянием вулканогенных гидротермальных растворов. А.М.Кузьмин и Ф.П.Волков связывали окремнение с низкотемпературным гидротермальным метасоматозом алюмосиликатных пород, а К.В.Радугин полагал, что кварциты сформировались в результате метасоматического замещения известняков.

Попытку разрешить проблему и сблизить точки зрения "осадочников и метасоматитов", предприняли (и предпринимают сейчас) литологи ЗСПГО [16], которые пришли к выводу об осадочно-метасоматическом происхождении кварцитов, сформировавшихся в три основных этапа. По их мнению, на первом (собственно осадочном) этапе, формируется пачка существенно кремнистых осадков хемогенно-биогенного происхождения (спонголиты, радиоляриты), в которой на втором этапе (катагенеза) происходит частичное перераспределение кремнистого материала. Затем, при складкообразовании и выводе на дневную поверхность компонентные (в сравнении с вмещающими глинистыми сланцами) кремнистые слои подвергались интенсивному дроблению. В третий, завершающий этап под влиянием длительных гипергенных процессов, протекающих с конца девона до эоцена в условиях жаркого гумидного климата, толща перерабатывается нисходящими, насыщенными свободной кремнекислотой, вадозовыми водами, и ее породы приобретают современный облик. При этом, наиболее интенсивно перерабатываются (окремняются) верхние горизонты толщи и наиболее трещиноватые существенно кремнистые прослой.

Кварцитовые тела, таким образом, рассматриваются указанными исследователями как псевдоморфозы по существенно кремнистым прослоям, сохранившим их пластообразную форму залегания. Более сложная форма кварцитовых залежей связывается с попутным окремнением карбонатных и дайковых пород в зонах дизъюнктивов и перегибов складок.

К кварцитам также применяют термин силициты-лидиты, как к породам, самостоятельно залегающим среди осадочных или вулканогенно-осадочных пород [19]. Силициты -

полностью хемогенные образования, но месторождения кремния для них возникли в результате вулканической деятельности или глубокого химического выветривания алюмосиликатных пород. Наибольший интерес представляют разновидности силицитов эпох корообразования. Они являются более чистыми в отношении вредных примесей и могут быть использованы промышленностью, требующей сырья высокого качества. К кварцитам подобного типа относятся кварциты Антоновской группы месторождений. Генезис их связан с позднерифейской эпохой корообразования. По предварительным оценкам, кварциты Антоновской группы месторождений аналогичны новакулитам месторождения штата Арканзас (США).

*3. Минеральный, химический и элементный состав кварцитов.* Кварциты месторождения "Сопка-248" принципиально не отличаются от своих аналогов на других месторождениях Антоновской группы, как по внешним признакам, так и по вещественному составу. Микроскопически они характеризуются неразличимозернистой структурой, плотным массивным сложением и светло-серыми, до белых, тонами окраски. В подчиненных количествах встречаются кварциты с другими цветовыми оттенками – желтыми, бурыми, розовыми и красными. Наряду с массивной, наблюдается пятнистая, слоистая (от тонкой до грубой), а также брекчевидная текстура кварцитов. В шлифах, независимо от цветовой расцветки кварцитов, устанавливается обычно микрогранобластовая структура, которую образуют плотно прилегающие друг к другу полигональные зерна кварца. Под электронным микроскопом (в препаратах, приготовленных методом угольных реплик) в кварцитах устанавливается неравномернозернистая структура, где на ряду с изометричными зернами 2-6 микрон, встречаются удлиненные, размером не менее 100 микрон.

Кварциты на 98-99 % состоят из кварца с незначительной примесью халцедона. Величина зерен кварца колеблется от 0,003 до 0,02 мм, в жилках и гнездах перекристаллизации достигает десятых долей миллиметров. Плотная упаковка зерен и примесь углеродного вещества обуславливает темно-серую окраску породы, которая характерна для кварцитов, залегающих на глубоких горизонтах месторождения, чаще ниже уровня грунтовых вод. На верхних горизонтах доминируют светлые тона кварцитов; здесь же в локальных участках группируются окрашенные в различные цветовые оттенки разновидности кварцитов.

С преобразованием кварцитов в зоне гипергенеза связывается наличие в них минералов-примесей. В шлифах кварцитов минералы-примеси обнаруживаются в количествах до 1-2 %. Распределяются они неравномерно: по прослойкам, пятнам, по микротрещинам и участкам перекристаллизации кварца. Всего в кварцитах микроскопическими исследованиями установлено до 20 минералов-примесей. Основными из них являются титаносодержащие минералы (лейкоксен по анатазу, рутилу, реже ильмениту), окислы и гидроокислы марганца, серицита и карбонаты (кальцит, реже доломит), очень редко в единичных зернах присутствуют флюорит, апатит, циркон, каолинит, гидротированный хлорит, тремолит, турмалин, барит, полевые шпаты, сульфиды и углеродистое вещество. Набор минералов-примесей, за небольшим исключением, для всех цветовых разновидностей кварцитов одинаков.

На основании исследования кварцитов с помощью нейтронно-активационного и атомно-абсорбционного анализов, ядерного магнитного и ядерного гамма-резонанса, спектроскопических, электрофизических и радиационно-оптических методов было установлено присутствие в десятых долях процента кальция и алюминия, в сотых долях – титана, стронция, кальция и фтора, в тысячных долях процента – меди, свинца, никеля, циркония, ванадия, хрома и бария и в десятитысячных долях процента – кобальта, олова, молибдена и бериллия. Кварциты не содержат радиоактивных, тяжелых, ядовитых или токсичных элементов во вредных для человека концентрациях (табл.1.).

Хемогенная природа образования кварцитов обусловила высокую чистоту их химического состава, стабильную для всех кварцитовых тел месторождения (табл.2.).

Сопоставление химического состава кварцитов, выполненное по основным компонентам, позволяет утверждать, что при формировании кварцитовых тел для их первичного состава обычным было содержание окиси кремния на уровне 98,5-99 %, окиси алюминия – 0,3-0,7 % и окиси железа не более 0,1 %., а содержание второстепенных окислов (кальция, магния, титана) и пятиокси фосфора в сумме укладываются в две десятых процента. Снижение содержания окиси кремния и увеличение содержания окиси алюминия и железа в кварцитовых телах произошло при загрязнении их в зоне выветривания, охватившей всю кремнисто-сланцевую толщу от поверхности и до уровня р.Яя. Это загрязнение в зонах повышенной проница-

Таблица 1.

Среднее содержание некоторых редких, радиоактивных и редкоземельных элементов в кварцитах разных технологических марок,  $10^{-4}$  вес. %.

Марка	U	Th	Yb	Sm	La	Hf	Au	Ag	Tb	Sc
КР-2	0,2	-	-	0,5	0,3	1,3	0,005	-	-	0,8
КФ	0,4	0,6	0,2	0,7	0,6	1,1	-	-	-	1,0
КШ	0,4	0,6	0,2	0,8	0,8	1,2	-	-	-	2,4

Таблица 2

Средние значения химического анализа кварцитов разных технологических марок

Марка	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O	Ca <sub>2</sub> O
КР-2	98.17	0.74	0.01	0.36	0.06
КФ	97.68	0.85	0.01	0.58	0.07
КШ	96.5	1.13	0.02	0.89	0.07

емости (трещины, зоны дробления, контакты) привело здесь к значительному ухудшению качества кварцитов и вывело их из числа отвечающих требованиям кондиций.

**4. Электрофизические, оптические, люминесцентные свойства кварцитов** в значительной степени зависят от наличия изоморфных и неструктурных примесей и различных дефектов в их кристаллической решетке, что определяется особенностями физико-химических и термодинамических условий минералообразующей среды [12-14]. Собственная микродефектность определяет также и макроскопические характеристики минерального сырья - прочность, трещиноватость, пористость и т.д. С помощью специальных методов и методик удается выделить различия образцов разных технологических и физико-механических свойств, на основе которых разрабатываются рекомендации по эффективному обогащению кварцитов.

Одними из эффективных экспресс-методов исследования генетических особенностей минералов и горных пород являются люминесцентные методы (термо-, рентгенолюминесценции). Возбуждение минеральной "памяти" с помощью облучения гамма-квантами, а также предварительный термический отжиг кварцитов позволили выявить их люминесцентные особенности, используемые для экспресс-диагностики кварцитов разных технологических марок [20], отличие которых состоит в разной интенсивности свечения в низкотемпературной области (рис. 2.). Эти результаты могут использоваться для разработки методики входного контроля исходного сырья, предназначенного для последующего обогащения по определенным стадиям технологической обработки.

#### **5. Обогащение кварцитов.**

Эффективность технологического обогащения кварцитов разных технологических марок в значительной степени зависит от генетических условий образования, которые определяют особенности минералогического состава кварцитов, формы вхождения минералов-примесей и содержание различных примесных элементов в кварцевые гранулы [8]. Некоторые типы кварцитов обладают высокой чистотой собственных гранул, а преимущественное содержание примесей следует ожидать на границах зерен, что является определяющим при выборе технологических методов обогащения. Реальное обогащение кварцитов сильно зависит от технологических свойств входящих в них минералов и их сростков.

Традиционные методы обогащения кварцевого сырья позволяют снизить содержание суммарной массовой доли элементов-примесей в несколько раз, например, согласно [9], с помощью электромагнитной сепарации - в 4 раза, электростатической сепарацией - в 10 раз, химической обработкой - в 25 раз, а пенной флотацией - почти в 100 раз. При этом, представляется целесообразным проводить предварительное обогащение на крупнокусковом материале на стадии добычи сырья региональными предприятиями, а на фабрике глубокого обогащения использовать высокотехнологические операции, такие как, например, электроимпульс-

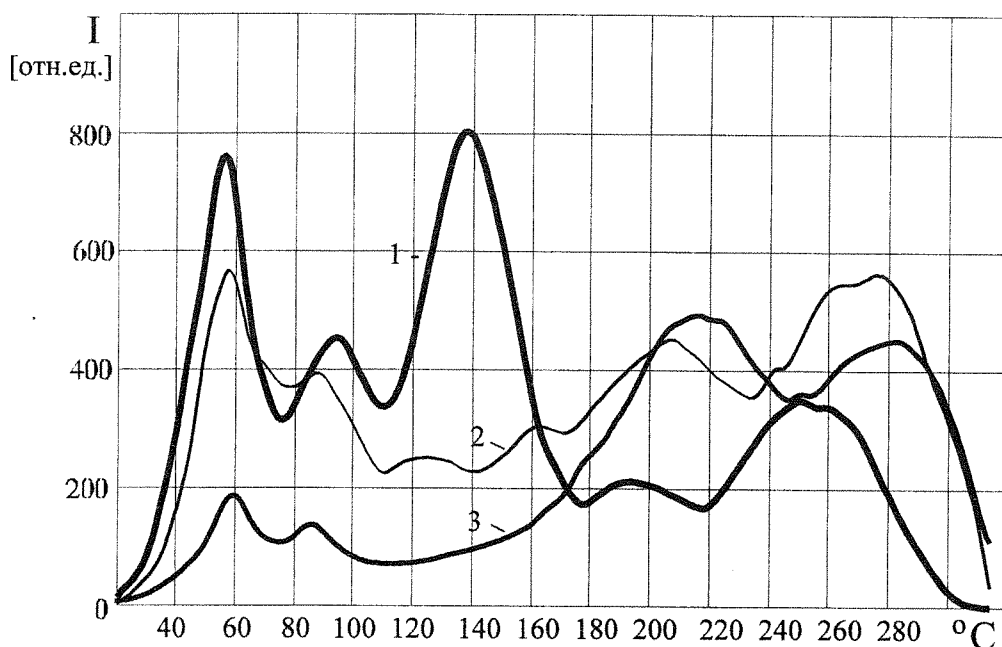


Рис. 2. Индуцированная гамма-облучением термолюминесценция образцов кварцитов разных технологических марок: N - марка КР-2, М - марка КШ, Q - марка КФ.

ное разрушение сырья, высоконапряженную магнитную сепарацию, ультразвуковую очистку поверхности разделяемых частиц с обязательным экспресс-контролем качества продуктов и потерь сырья на каждой технологической стадии [9, 21].

Экспериментальные исследования по обогащению кварцитов Антоновской группы месторождений ранее проводились дроблением и грохочением кварцитов, методом оттирки с последующей дешламацией в кислой и щелочной средах, методом оттирки в горячей воде и в режиме рудно-галечного самоизмельчения. В результате изучения вещественного состава кварцитов было установлено, что, например, железо в них присутствует в виде самостоятельных минералов (гематит, гидрогетит), оно входит также в состав слюд и встречается на зернах кварца в виде пленок, с гидроокислами железа. Обогащение кварцитов для производства карбида кремния и кристаллического кремния проводилось магнитной сепарацией в сильном магнитном поле и оттиркой в плотной среде с дешламацией, однако радикального снижения содержания железа до требуемых кондиций достигнуть не удалось из-за зерен с пленками, которые не извлекаются в магнитную фракцию. Работы по оттирке и дешламации окислов железа и глинистых минералов с использованием соды, соляной и плавиковой кислоты во флотационной машине типа «Механобр» показали, что содержание  $\text{SiO}_2$  увеличивается до 98,97 - 99,1 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  снижается до 0,4 - 0,37 % и окиси железа до 0,2 - 0,14 %.

Наиболее перспективным для глубокой очистки кварцитов, на наш взгляд, является применение аэромеханических технологий с наложенным высокотемпературным химическим воздействием [22, 23]. Глубокая очистка сырья производится на уровне размера зерна 50-200 мкм в аэромеханическом реакторе, где осуществляется доизмельчение материала с одновременной дешламацией с использованием кислот, что позволяет получить качество кварцитов с содержанием  $\text{SiO}_2$  - 99,99 %. Пневмоимпульсные аппараты, наряду с применением струйных, позволяют осуществлять интенсивное поверхностное взаимодействие частиц между собой и, как следствие, высокую степень очистки.

Пробные технологические эксперименты по аэромеханической очистке порошкообразных кварцитов проведенные в ходе настройки установки рециркуляционного типа, изготовленной В.Н.Пачиным и В.Е.Гинсаром [22, 23], показали эффективность обогащения рядовых кварцитов (содержание двуоксида кремния 98.0-99.0% вес.), (таблица 3). С целью снижения энергетических затрат на обогащение кварцитов целесообразно использовать метод электроимпульсного дробления, позволяющий производить измельчение сырья без привноса аппаратного железа.

Изменение содержания некоторых окислов в кварцитах  
в результате аэромеханической сепарации

Наименование образца	Содержание				
	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	ппп.
Исходный кварцит	98.89	0.45	0.3	0.01	0.35
Фракция 1мм (обогащенный)	99.58	0.1	0.3	0.025	-
Фракция 0.4мм (обогащенный)	99.79	0.008	0.34	0.022	0.04

Выявление геохимических и генетических особенностей кварцитов Антоновской группы месторождений позволяет разработать геолого-экономические критерии рационального использования высокочистого кварцевого сырья, которое может составить серьезную конкуренцию традиционно используемым видам - горному хрусталу, гранулированному и жильному кварцу. Мелкозернистые высокочистые кварциты, практически не содержащие вредных структурных примесей, могут быть подвергнуты достаточно несложному технологическому обогащению, в отличие от монокристаллического сырья, требующего в ряде случаев специальной очистки в расплаве. Наиболее высококачественные природные кварцевые образования остаются экономически и технологически целесообразными источниками получения особо чистого кварцевого сырья различного назначения для высоких технологий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бурьян Ю.И. Современные требования к производству и потреблению кварцевого сырья // Разведка и охрана недр. - 1999. - № 3. - С.4-5.
2. Петров Г.Н., Ткачева Т.М. Рынок полупроводникового кремния: от сырья до электронных систем / Материалы электронной техники.- 1999. - № 4. -С.11-15.
3. Кремний для солнечной энергетики / Непомнящих А.И., Красин Б.А., Васильева И.Е., Елисеев И.А., Еремин В.П., Попов С.И., Сеницкий В.В., Федосеев В.А., Спиридонов А.М., Воробьев Е.И., Гнилуша В.А. // Известия Томского политехнического ун-та.-2000.- Т.303, В.1.-С.176-190.
4. Серых Н.М., Федотов В.К., Атабаев К.К. Минерально-сырьевая база кварцевого и оптического сырья: состояние, проблемы, перспективы /Материалы Всеросс.съезда геологов, посвященного 300-летию образования геологической службы России, - С-Петербург, Т.2, 2000. - С.195.
5. Особо чистый кварц — продукт высоких технологических решений/ Н.М.Серых, В.М.Мусафронов, Е.Н.Гулин, Д.А.Золотарев, Г.Б.Мильгром, Э.Г.Литвинцев/ Материалы Всеросс.съезда геологов.- С-Петербург, Т.1, 2000. - С.227-228.
6. Яговкин В.С. Кварциты и кварцевые пески. Месторождения Урала // Горный журнал. - 1995. - № 8. - С. 69 - 80.7.Ясаманов Н.А. К проблеме минерально-сырьевой базы кремния солнечного и микроэлектронного качества //Разведка и охрана недр.- 1999. - № 3.- С.7-8.
- 8.Ясаманов Н.А. Сырьевая база кремния для новейших технологий // Отечественная геология.- 1999.- № 1.- С.19-24.
9. Новая концепция обогащения сырья для производства особо чистого кварца / Е.Н.Гулин, Д.А.Золотарев,Р.И.Заломава, Э.Г.Литвинцев, А.Г.Бушев // Разведка и охрана недр. . - 1999. - № 3.- С.5-7.
10. Методы изучения и оценки месторождений кварцевого сырья./ Сост.: Е.П.Мельников, С.В.Колодиева, М.Ф.Ярмак и др. - М.:Недра, 1990. - 168 с.
- 11.Захаров В.Б. Геологическое строение Антоновской группы месторождений кварцитов. // Горный журнал. - 2000. - № 7.- С.7-9 (цв.вклейка)

12. О некоторых электрофизических свойствах кварцитов / Сальников В.Н., Монингер Г.Г., Заверткин С.Д., Коровкин М.В., Долгов И.В. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых . -1994. - № 3 - С. 89-99.

13. Радиоактивные элементы в кварцитах Антоновского рудника и проблемы экологической минералогии / Сальников В.Н., Монингер Г.Г., Коровкин М.В., Горенинский В.В., Долгов И.В., Токаренко Г.Г. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в окружающей среде. Материалы Международной конф., посвященной столетию со дня открытия явления радиоактивности и столетию Томского политехнического университета, 22 - 24 мая 1996 г. - Томск, 1996. - С. 164 - 167.

14. Комплексное использование кварцитов в качестве высокочистого кварцевого сырья / Долгов И.В., Любкин И.В., Горенинский В.В., Ананьева Л.Г., Коровкин М.В. // Материалы региональной конференции геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России, 18-23 сентября 2000 г.- Томск, 2000.- Т.2.- С.162-163.

15. Долгов И.В., Коробейников А.Ф., Коровкин М.В. Кварциты Антоновской группы месторождений / Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. Материалы науч. конф. - Томск, ТПУ, 2000. - С.117-121.

16. Богатырев А.И., Татаревская Т.Г. Сопоставление данных разведки и эксплуатации, обоснование оптимальной плотности сети при детальной и эксплуатационной разведке месторождения кварцитов "Сопка-248" / Отчет по договорным работам с Антоновским рудоуправлением ПО "Сибруда", Новокузнецк, 1985, № гос.рег. 13-83-59/6. - 301 с.

17. Волков Ф.П. Антоновское месторождение кварцитов / Отчет о результатах геолого-разведочных работ в 1934, 1935 гг. -Новокузнецк, 1934,1935. Материалы IV отдела фондов КМК.

18. Радугин К.В. О стратиграфии и тектонике северо-западного выступа Кузнецкого Алатау. -Новокузнецк, 1928. Фонды ЗСГУ.

19. Сараев В.А. О номенклатуре и классификации кремнистых пород // Известия Томского политехнического института. - 1976. - Т.264. - С. 84-91.

20. Особенности люминесценции кварцитов разных технологических марок / Монингер Г.Г., Долгов И.В., Горенинский В.В., Сальников В.Н., Коровкин М.В., Токаренко Г.Г. // Закономерности эволюции земной коры. Тезисы докладов Международной конф. - Санкт-Петербург, Россия, 1996. - Т. 2. - С. 277.

21. Ревнивцев В.И., Азбель Е.И., Баранов Е.Г. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке. - М., 1987. - 164 с.

22. Росляк А.Т., Бирюков Ю.А., Пачин В.Н. Пневматические методы и аппараты порошковой технологии. -Томск:Изд-во Томского ун-та, 1990. - 272 с.

23. Гинсар В.Е., Десятов В.А. и др. Технологические средства изменения и регулирования температуры для реализации термических технологических процессов полупроводниковой электроники. / Электронные материалы. Труды Всес.конф. - Новосибирск, 1991г. - С.68-79.

УДК 553.94(571.5):553.078

## **РЕДКОМЕТАЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ УГЛЕЙ СРЕДНЕЙ СИБИРИ**

**Арбузов С.И., Рихванов Л.П., Ершов В.В.**

В статье представлены результаты изучения редкометального потенциала угольных месторождений и бассейнов Средней Сибири. Дана информация об уровнях накопления и закономерностях распределения элементов в углях, приведены сведения о промышленно значимых концентрациях редких металлов и определена геохимическая специализация отдельных бассейнов и месторождений. Сделан вывод о высоком редкометальном потенциале угольных бассейнов Сибири.

Уголь традиционно с древнейших времен и по настоящее время используется человечеством в качестве основного энергетического источника. Вместе с тем, проведенные в последние 40 – 50 лет исследования в различных угольных бассейнах и месторождениях мира показали, что некоторые угольные месторождения могут рассматриваться не только как источник