невысокие реологические свойства глин в природном состоянии, но высокий показатель модифицируемости (118°) и увеличение выхода раствора до 9,3 м<sup>3</sup>/т при введении 2 % каустического магнезита свидетельствует о возможности получения из этих глин буровых глинопорошков высокого качества. По адсорбционным свойствам сепиолитовые глины Метегерского проявления относятся к средне- и крупнопористым адсорбентам и имеют высокую отбеливающую способность (80 %) при очистке растительных масел. Для очистки дизельного масла они менее пригодны (отбеливающая способность 25–31 %) (исполнители Т.Н. Чуприна, Г.Г. Яруллина).

Таким образом, проведенные исследования позволили заключить, что глины Метегерского появления характеризуются кальцит-доломит-сепиолитовым минеральным составом, несколько пониженным содержанием оксида кремния и повышенным — оксида кальция, высокими реологическими и сорбционными свойствами. По геологическому возрасту они являются наиболее древними по сравнению с сепиолитовыми глинами известных месторождений.

Прогнозные ресурсы оценены и апробированы ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» в количестве 1 млн. т кат. Р<sub>2</sub> в полосе вдоль выхода пласта на дневную поверхность и 7,8 млн. т кат. Р<sub>3</sub> на площади, прилегающей к этой полосе с севера (рис. 6). Распространение пласта сепиолитовых глин к северу от р. Лены предполагается по разрезам скважин, пробуренных в 1950-х годах Солянской ГРЭ (Якутское ГУ) и вскрывших светло-серые и светло-желтые глины в метегерской свите.

Метегерское проявление сепиолитовых глин расположено в горнопромышленном районе с развитой инфраструктурой в пределах Южно-Якутского минерально-сырьевого центра. Проводящиеся на этом объекте поисковые работы позволят локализовать и оценить прогнозные ресурсы кат. Р<sub>1</sub> данного проявления, которое может быть источником сырья для приготовления солестойких буровых растворов и производства адсорбционных материалов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Писарчик Я.К.* О сепиолитовых породах в кембрии юга Сибирской платформы // Литология и полезные ископаемые. — 1975. — № 4. — С. 128–134.

2. Писарчик Я.К., Минаева М.А., Русецкая Г.А. Палеогеография Сибирской платформы в кембрии. — Л.: Недра, 1975.

3. *Страхов Н.М.* Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. — М.: Госгеолтехиздат, 1963.

4. *Чеймберс Г.П.С.* Промышленное использование глинистого минерала сепиолита / Вопросы минералогии глин. — М.: Изд-во иностран. лит., 1962. — С. 269–291.

5. *Developments* in Palygorskite-Sepiolite Research. A New Outlook of these Nanomaterials / Ed. E. Galan, A. Singer. — Oxford-Amsterdam: Elsevier, 2011.

6. *Imai N.* and Otsuka R. Sepiolite and Palygorskite in Japan / Palygorskite — Sepiolite. Occurences, Genesis and Uses. — Amsterdam–Oxford–New York–Tokyo: Elsevier, 1984.

Minerals Yearbook 2012. — Washington: US Geological Survey, 2014.

© Коллектив авторов, 2015

Сабитов Абрек Абдрахманович // root@geoInerud.net Галиахметов Раян Гайнанович // root@geoInerud.net Трофимова Фарида Ассадулловна // root@geoInerud.net Руселик Екатерина Сергеевна // root@geoInerud.net Николаева Людмила Михайловна // nikolaewa\_LM@mail.ru Быдтаева Н.Г., Непряхин А.Е., Милеева И.М., Лужбина И.В.(ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»), Андриянов П.Ф. (ООО «Суракай»), Борозновская Н.Н. (Томский государственный университет)

МЕТАСОМАТИЧЕСКИЕ КВАРЦИТЫ ВОСТОЧНО-УФА-ЛЕЙСКОЙ ВЫСОКОБАРИЧЕСКОЙ ЗОНЫ — НОВЫЙ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ТИП ВЫСОКОЧИСТОГО КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ

Представлены результаты геолого-технологической оценки нетрадиционного на особо чистый кварц сырья метасоматических кварцитов Восточно-Уфалейской высокобарической зоны. Установлено, что показатели химического состава, светопропускания и плавочные свойства полученных концентратов сопоставимы с нормируемыми параметрами высокочистых кварцевых концентратов мировых и отечественных производителей. Ключевые слова: кварцит, особо чистый кварц, кварцевый концентрат, кварцевое стекло.

Bydtaeva N.G., Nepryakhin A.E., Mileeva I.M., Luzhbina I.V. (CNIIgeolnerud), Andriyanov P.F. (Surakai), Boroznovskaya N.N. (TSU)

METASOMATIC QUARTZITES OF THE EAST-UFALEYSKY HIGHBAR ZONE — NEW GEOLOGICAL AND TECHNO-LOGICAL TYPE OF HIGH-PURE QUARTZ RAW MATERIALS

Results of a geological and technological assessment of nontraditional HPQ (high-pure quarts) raw materials — metasomatic quartzites of the East Ufaleysky highbar zone are presented. Indicators of a chemical composition, a lighttransmission melt properties of the received concentrates are comparable with the normalized parameters of high-pure quartz concentrates of global and domestic producers. **Key words:** quartzite, especially pure quartz (high pure quarts), quartz concentrate, quartz glass.

Основу отечественной МСБ особо чистого кварцевого сырья (ОЧКС) для наплава однокомпонентных кварцевых стекол, используемых в микроэлектронике, производстве высокоинтенсивных источников света, солнечной энергетике и полупроводниковой промышленности, составляют традиционные геолого-промышленные типы (ГПТ) гранулированного и прозрачного жильного кварца, локализованные преимущественно в пределах Уральской и Прибайкальской кварценосных провинций. Геолого-экономическая переоценка 21 месторождения показала, что доля ОЧКС в балансовых запасах кварцевого сырья РФ не превышает 25 % [3]. Перспективы выявления новых площадей крайне ограничены и связаны с регионами Сибири и Карело-Кольской кварценосной провинции. На площадях Уральской провинции с оцененными прогнозными ресурсами возможно выявление преимущественно мелких по запасам месторождений.

Имеющиеся запасы ОЧКС, таким образом, не соответствуют современным потребностям высокотехнологичной отечественной индустрии, которая оказывается в зависимости от мирового рынка высокочистого кварцевого сырья (high pure quarts — HPQ), монополизированного практически одной компанией — UNIMIN (США). В связи с этим становится актуальной задача существенного расширения МСБ стратегического вида кварцевого сырья России, решаемая прогнозно-поисковыми работами на объектах традиционных ГПТ жильного кварца, а также за счет альтернативных источников.

Прогноз, геологический поиск и освоение нетрадиционных видов ОЧКС обусловлены типоморфными особенностями кварца. Для образования ОЧК оптимально редкое в природе сочетание высоких давлений и относительно невысоких температур в благоприятной геохимической обстановке.

Метаморфический фон Восточно-Уфалейской зоны смятия, являющейся объектом настоящих исследований, определяется уровнем фации дистеновых сланцев (500–600 °C, 9–12 Кбар), а в линейных участках — уровнем эклогитовой фации (700–800 °C, 12–15 Кбар). На заключительных этапах развития зоны метаморфизм соответствует глаукофановой и эпидот-амфиболитовой фациям (350–550 °C, 5–10 Кбар) [7].

Поэтапное и полигенное развитие Главной Уральской подвижной зоны и ее части — Восточно-Уфалейской зоны смятия — привело к широкому формированию слюдяно-кварцевых и гранат-слюдяно-кварцевых бластомилонитов с содержанием кварца 30–52 % и метасоматических кварцитов с содержанием кварца 80–96 %, возникающих в результате выщелачивания, сопровождающегося динамометаморфизмом [1, 2].

А.Е. Ферсман указывал, что «кварц представляет замечательный типоморфный минерал, который имеет большую амплитуду колебаний свойств и чутко реагирует на изменения в природе процессов». Наиболее важными типоморфными свойствами природного кварца, определяющими его технологические показатели, являются: 1) структурно-текстурные особенности; 2) элементы-примеси в различных формах: минеральной, флюидной (газово-жидкие включения), структурной (в кристаллической решетке кварца).

Кварц кварцитов Восточно-Уфалейской высокобарической зоны характеризуется рядом особенностей, отличных от таковых для традиционных геолого-генетических и геолого-промышленных типов ОЧКС, что требует корректировки методик его высокотехнологичной оценки.

Ранее месторождения кварцитов относились к бесперспективным на ОЧК объектам из-за значительного содержания минеральных примесей (до 20 %). Месторождения плавочного кварцевого сырья оценивались (ОСТ-41-07-217-82) по содержанию минеральных примесей (≤0,12 %) и коэффициенту светопропускания (≥50 %).

Традиционно кварциты используются в производстве огнеупоров (динаса), карбида кремния, металлургического кремния и сплавов, в качестве кислых флюсов для цветной металлургии, как абразивные и водоочистительные материалы, в декоративных целях.

Кварциты являются полигенными образованиями, содержащими минеральные и химические примеси, унаследованные от исходного субстрата, что сущест-

венно осложняет прогноз их качества. В последнее время на ОЧКС оценивались химически чистые перекристаллизованные кварциты (суперкварциты) месторождения Бурал-Сардык (Прибайкальская провинция, Восточный Саян), сформированные по кремневидным микрокварцитам (фтанитам) хемогенно-осадочного субстрата в условиях зеленосланцевой фации [6]. Повышенное содержание газово-жидких включений в данных кварцитах ограничивает сферы их использования в качестве плавочного сырья.

Изучаемая Восточно-Уфалейская зона представляет собой специфичную линейную метаморфо-тектоническую структуру, возникшую в краевой части блоков земной коры в процессе метаморфо-метасоматических преобразований, характеризующихся ведущей ролью катаклаза, милонитизации, бластеза и метасоматоза [1]. Метасоматические кварциты приурочены к куртинскому высокобарическому комплексу в пределах Уралтауского мегантиклинория. Комплекс ограничен системой меридиональных и широтных разломов (рис. 1). Его восточной границей служит Главный Уральский глубинный разлом (ГУГР), отделяющий высокобарические образования от нижнепалеозойских эффузивно-осадочных пород Тагило-Магнитогорской зоны, а западной — тектонический контакт с породами слюдяногорского комплекса. Проявления метасоматических кварцитов, развитые в породах слюдяногорского и куртинского комплексов, образуют протяженные (до 1200 м) «ленты» (рис. 2) или линзовидные тела (до 160 м) неправильной формы. В куртинском комплексе наблюдаются зональные тела с обособлением линз мономинеральных кварцитов (рис. 3).

Прогнозно-поисковое моделирование, выполненное на основе совокупности геологической и технологической информации предшествующих работ, обосновало целесообразность постановки исследований в рамках Государственного контракта ВБ-04-34/40 от 02.06.2011 г. «Геолого-технологическая оценка возможности использования кварцитов Восточно-Уфалейской высокобарической зоны (участки Острогорский, Тараторский, Беркутинский) в качестве источника получения высокочистых кварцевых концентратов». В данной работе последовательно проведены: 1) минералого-технологическое изучение природных разновидностей кварцитов и вмещающего породного комплекса; 2) детализация параметров кварцитопроявлений; 3) лабораторно-технологическая оценка кварцитов.

Изучение слюдяногорского вмещающего породного комплекса выявило породы гнейсового и гранито-гнейсового состава, измененные процессами бластеза, милонитизации, кислотного выщелачивания, мусковитизации и окварцевания. Значительно более глубоким преобразованиям (структурным, химическим, минеральным) подверглись породы основного состава — габбро-амфиболиты и апоэклогитовые амфиболиты куртинского комплекса. Изменения амфиболитов (апоэклогитов) характеризуются появлением кальцийсодержащих минералов (цоизита, эпидота), а также граната, замещаемого кварцем.



По ранней ассоциации минералов развиваются мусковит-кварцевые агрегаты, нередко с поздним альбитом. Кварциты формируются на заключительном этапе, поэтому их минеральный и химический состав, технологические свойства зависят от степени завершенности природного процесса кислотного выщелачивания.

Совокупность типоморфных особенностей, определяющих технологические свойства кварца, обосновывает выделение двух минералого-технологических типов кварцитов: слюдистого и мономинерального.

Слюдистые кварциты по количеству и преобладающим минералам-примесям (МП) подразделяются на восемь природных разновидностей (табл. 1): преимущественно мусковитовую, биотит-мусковитовую, мусковит-амфиболовую и мусковитовые с эпидотом, с гранатом, с рутилом, с пиритом и с графитом. Слюдистые кварциты представлены породами сланцеватой и полосчатой текстуры, лепидогранобластовой структуры, насыщенными минеральными примесями (до 20 %  $\Sigma$ МП, среднее содержание SiO<sub>2</sub> – 93,3 %). В шлифах устанавливается преобладание тонко-мелкозернистых разностей с извилистыми, ступенчатыми и фьордовыми границами зерен размером 0,1-0.4 мм (редко до 1 мм). Следы хрупкой деформации проявлены в виде разноориентированных трещин в кварце. Для слюдистых кварцитов установлены микрокристаллические минеральные включения граната, рутила, турмалина, ильменита, так называемые кристаллы-узники размером от 500 нм до 20 мкм (рис. 4), а газово-жидкие включения (ГЖВ) не обнаружены. Зараженность кварцевых зерен микровключениями примесных минералов является важной типо-

Рис. 1. Геолого-структурная карта Уфалейского кварценосного района. 1 — средний девон (эйфельский и живетский ярусы), тагило-магнитогорский островодужный комплекс: сланцы серицитовые, серицит-плагиоклазовые по пироксен-плагиоклазовым порфиритам, туфы смешанного состава, туфовые песчаники; 2 — нижний средний ордовик, куртинский субдукционный комплекс: мегамеланж, расчешуенные и рассланцованные гранат-слюдяно-кварцевые метасоматиты — бластомилониты, апогаббровые амфиболиты с реликтами эклогитов, клинопироксенитов; 3-4 — верхний протерозой: 3 — уфалейский палеоконтинентальный комплекс, слюдяногорский структурно-вещественный комплекс: амфиболиты. гнейсы. мигматиты, тонкокристаллические линзовидно-полосчатые бластомилониты, 4 — егустинский структурно-вещественный комплекс: амфиболовые гнейсо-мигматиты, гнейсы, амфиболиты; 5-8 - магматические образования, их метаморфические производные: 5 плагиограниты, 6 — сланцы хлоритовые, уралитовые порфириты по габбро и габбро-диабазам, 7 — серпентиниты, 8 — апогаббровые амфиболиты; 9 — геологические границы; 10 — глубинные разломы, выделенные по аэрокосмическим и геофизическим методам (1 -ГУГР, 2 — Серебрянский, 3 — Саймоновско-Шаробринский); 11 надвиги (4 — Куртинский, 5 — Кыштымский, 6 — Слюдяногорский); 12 - сдвиги, выделенные на основе морфоструктурного анализа: а — правые, б — левые (7 — Кизильский, 8 — Сугомакский, 9 — Кыштымский, 10 — Тараторский, 11 — Теплогорский, 12 — Ольховский); 13 - прочие разломы: а - кольцевые, б - дуговые; 14 - Пугачевское месторождение с прозрачным и молочно-белым кварцем; 15 кварцевые поля: Аг — Агордяшское, М — Маукское, Кз — Кузнечихинское, Кш — Кыштымское, У — Уфимское; 16-18 — проявления кварцитов: 16 — Западное (уч. Острогорский), 17 — Дурашкина (уч. Острогорский), 18 — Северо-Тараторское (уч. Тараторский)







Рис. 2. Геологическая карта юго-западной части проявления Дурашкина и разрез по линии Р-50. 1 — слюдяно-кварцевые и гранат-слюдяно-кварцевые сланцы, амфиболиты гранатовые; 2 – амфиболиты, плагиогнейсы биотитовые и амфиболовые, прослои кварцитов и слюдяно-кварцевых сланцев. гранито-гнейсы; 3 — амфиболиты; 4 — гранито-гнейсы; 5-7 — кварциты: 5 — слюдистые, 6 - гранат-слюдистые, 7 - мономинеральные; 8 — слюдяно-кварцевые сланцы; 9 – гранат-слюдяно-кварцевые сланцы; 10 - геолого-литологические границы: а — достоверные, б — предполагаемые; 11 — интрузивные жильные образования: 12 - наклонное залегание слоев; 13 – обнажение и его номер; 14 — точка наблюдения и ее номер; 15 — разрез Р-50; 16 — место отбора задирковой пробы и ее номер; 17 — место отбора точечных и бороздовых проб кварцитов, по которым получены ОЧК концентраты; 18 — тело кварцитов и его номер; 19 - задернованная поверхность; 20 — место отбора бороздовой пробы и ее номер на разрезе

морфной особенностью слюдистых кварцитов, которая имеет негативные технологические последствия, определяя невозможность получения HPQ-концентратов (табл. 2).

Степень насыщенности кварца различных генераций именно ГЖВ определяет один из важных показателей для плавочного кварцевого материала — коэффициент светопропускания (Т) кварцевой крупки. Данный показатель регламентируется ТУ 5726-002-11496665-97 «Кварцевые концентраты из природного кварцевого сырья для наплава кварцевых стекол» в диапазоне 40-85 %, а современная мировая тенденция перехода к безвакуумным технологиям плавки монокварцевых стекол лимитирует параметр Т на уровне не менее 60 %. Величина Т для изученных слюдистых кварцитов в природном (необогащенном) и обогащенном состоянии изменяется в диапазоне от 37,0 до 80,2 %, за исключением мусковитовой разновидности с графитом с предельно низкими значениями этого показателя.

В мономинеральном типе кварцитов — породах массивной текстуры и гранобластовой структуры — обнаруживается небольшое количество (<2%) минеральных примесей при их достаточном видовом разнообразии, соответствующем минеральному составу вмещающих пород. При последующих углубленных минералогогенетических исследованиях мономинеральный тип кварцитов может быть разделен как минимум на три природные разновидности. В зернах кварца (размером 0,5-2 мм, изометричных, реже удлиненных) не обнару-



Рис. 3. Геолого-литологическая карта северной части Тараторского проявления и разрез по линии Р-14. Усл. обозначения см. на рис. 2

жены микровключения минералов и ГЖВ. Параметр Т для мономинеральных кварцитов в исходном и обогащенном виде изменяется в диапазоне 66,1–89,3 %. Отсутствие ГЖВ объяснимо полиморфными преобразованиями и рекристаллизацией кварца. Исследования методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) обогащенных концентратов мономинеральных кварцитов при увеличении 30 000 обнаруживают светлые точки на зерне кварца размером ≤30 нм, идентифицируемые как дефект-каналы (рис. 5). Структурные каналы кристаллической решетки кварца характеризу-

ются размерами 0,2 нм, а дефект-каналы имеют размеры >25 нм [8].

Методом ЭПР установлено наличие в кварце кварцитов изоморфных примесей Al (в мономинеральных кварцитах — 6,9 ppm, в слюдистых — 5,9 ppm) и Ge

# Таблица 1

Средний минеральный и химический состав природных типов и разновидностей кварцитов Восточно-Уфалейской зоны

Тип, разновидность (число проб)		Содержание минералов-примесей (МП), %								Содержание компонентов химического состава, %											
		Мусковит	Биотит	Амфибол	Гранат	Рутил	Эпидот	Полевые шпаты	Прочие*	2 MI	SiO <sub>2</sub>	TIO2	$AI_2O_3$	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K₂O	$P_2O_5$	SO3
Мономинеральный (83)		0,44	0,08	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03 ап	0,60	98,7	0,03	0,47	0,12	0,01	0,07	0,03	0,12	0,09	0,04	0,06
Слюдистый	мусковитовая (19)	5,21	0,34	0,03	0,20	0,08	0,04	0,01	0,00	5,91	96,1	0,16	1,94	0,36	0,01	0,19	0,13	0,08	0,43	0,07	0,15
	мусковитовая с эпидотом (7)	6,37	0,87	0,31	1,38	0,31	1,12	0,01	0,00	10,4	94,0	0,20	2,71	0,67	0,02	0,59	0,22	0,12	0,39	0,1	0,15
	мусковитовая с гранатом (19)	3,84	0,07	0,13	3,27	0,31	0,31	0,05	0,00	7,98	94,9	0,21	2,23	0,64	0,03	0,62	0,14	0,11	0,24	0,12	0,09
	мусковитовая с рутилом (6)	7,83	0,41	0,02	0,28	0,76	0,05	0,00	0,00	9,35	95,5	0,28	2,46	0,41	0,01	0,16	0,17	0,03	0,65	0,09	0,06
	мусковитовая с пиритом (4)	7,43	0,01	0,00	0,09	0,51	0,04	0,00	1,19 пир	9,27	93,1	0,25	2,87	1,23	0,01	0,06	0,17	0,02	0,82	0,02	1,38
	мусковитовая с графитом (7)	5,00	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	0,04	0,45 граф	5,58	91,0	0,15	3,58	0,89	0,36	0,25	0,49	0,09	0,88	0,11	0,2
	биотит-мускови- товая (7)	9,78	5,58	0,09	0,54	0,09	0,01	0,02	0,00	16,1	91,5	0,24	3,79	0,89	0,06	0,31	0,65	0,25	0,89	0,07	0,18
	мусковит-амфи- боловая (3)	3,13	0,02	8,98	1,44	0,08	2,33	0,05	0,00	16,0	90,2	0,33	6,22	1,32	0,08	1,53	0,78	0,56	0,47	0,11	0,12

\*ап — апатит, пир — пирит, граф — графит.

Примечание. Аналитики Е.Б. Тимонина, А.Р. Хайдарова, Е.Н. Судакова (АИЦ ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»).

## Таблица 2

Содержание элементов-примесей (ppm) в кварцевых концентратах различных разновидностей кварцитов

Тип, разновидность (число концентратов)		AI	Ti	Ca	Mg	Cu	Mn	Na	К	Li	Fe	Ge
Мономинеральный (74)		<u>3,9–25</u> 9,2	<u>0,9–5,3</u> 2,2	<u>0,01–2</u> 0,59	<u>0,02–1,2</u> 0,23	0,01-0,82 0,08	<u>0,01–0,2</u> 0,03	<u>0,07–2,8</u> 1,15	<u>0,22–5,0</u> 1,22	<u>0,1–1,7</u> 0,83	<u>0,07–2,1</u> 0,56	<u>0,15–1,1</u> 0,52
	мусковито- <u>19–17</u> вая (10) <u>113,</u>		<u>4,8–137</u> 55	<u>1,1–27</u> 8	<u>0,64–10,6</u> 4,8	0,01-0,57 0,1	<u>0,05–0,89</u> 0,2	<u>1,02–31,7</u> 9,8	<u>0,91–75</u> 36	<u>0,04–0,9</u> 0,47	<u>9-44</u> 20,8	<u>0,43–1,02</u> 0,70
	мусковито- вая с эпидо- том (6)	<u>64,3–105</u> 82,9	<u>18,4–83,6</u> 36,9	<u>0,35–49,7</u> 14,4	<u>0,8–8</u> 3,41	<u>0,05–0,72</u> 0,26	<u>0,04–0,77</u> 0,42	<u>1,41–9,8</u> 5,3	<u>2–36,6</u> 20,6	<u>0,04–1,38</u> 0,58	<u>9,37–38,5</u> 25,3	<u>0,52–1,05</u> 0,73
	мусковито- вая с грана- том (9)	<u>15,2–152</u> 73,5	<u>53,8–202</u> 102	<u>4,28–46,5</u> 25,4	<u>0,58–4</u> 1,8	<u>0,05–0,4</u> 0,2	<u>0,16–1,7</u> 0,6	<u>0,71–21,2</u> 6	<u>2,8–30,1</u> 10,4	<u>0,26–1</u> 0,5	<u>24,4–56,3</u> 36,4	<u>0,45–0,71</u> 0,54
Слю-	мусковито- вая с рути- лом (10)	<u>32–133</u> 92	<u>17,8–89,3</u> 36,2	<u>0,13–4,3</u> 1,61	<u>2,66–16,4</u> 6,44	<u>0,01–0,22</u> 0,06	<u>0,06–0,76</u> 0,28	<u>1,22–7,2</u> 4,8	<u>11,8–54</u> 35,8	<u>0,02–1,2</u> 0,29	<u>7,55–24,5</u> 17,28	<u>0,39–0,83</u> 0,67
дистый	мусковито- вая с пири- том (5)	<u>80–209</u> 125	<u>41,3–52</u> 45,9	<u>2–26,8</u> 9,3	<u>2,89–11,1</u> 6,8	<u>0,03–0,1</u> 0,1	<u>0,1–0,3</u> 0,2	<u>3,46–6,7</u> 4,7	<u>34–116</u> 60,1	<u>0,01–0,04</u> 0,03	<u>21–109</u> 55,1	0,52–0,76 0,66
	мусковито- вая с графи- том (7)	<u>12–350</u> 77,5	<u>8,36–24</u> 15,7	<u>1,11–6,8</u> 3,0	<u>3,5–52,9</u> 16,1	<u>0,07–0,34</u> 0,13	<u>0,18–11</u> 3,61	<u>1,48–25,2</u> 8,7	<u>1,4–161</u> 28,0	<u>0,25–0,84</u> 0,54	<u>7,07–25,4</u> 15,04	<u>0,83–1,58</u> 1,17
	биотит-мус- ковитовая (5)	<u>6,2–186</u> 108	<u>13,5–62</u> 34,9	0,51–2,7 1,5	<u>0,05–16</u> 6,76	0,01-0,04 0,02	<u>0,02–0,87</u> 0,33	<u>0,73–13,1</u> 8,38	<u>0,6–96</u> 46,1	<u>0,43–1,0</u> 0,67	<u>3,9–37</u> 17,5	<u>0,65–1,32</u> 0,96
	мусковит- амфиболо- вая (3)	<u>28–125</u> 74,9	<u>9,3–96,4</u> 64,6	<u>4,53–83</u> 38,3	<u>2,57–16,4</u> 7,56	<u>0,01–0,92</u> 0,33	<u>0,19–9,34</u> 3,59	<u>1,71–11,7</u> 5,49	<u>0,33–24,8</u> 9,43	<u>0,11–1,13</u> 0,68	<u>17–45,9</u> 33,4	0,22–0,66 0,50

Примечания: 1. В числителе приведены минимальное и максимальное значения, в знаменателе — средневзвешенное по пробам. 2. Спектрометры: ОРТІМА 2000 DV, ELAN 9000. 3. Аналитики О.А. Медведева, М.Ш. Дрешер, Р.Р. Гильмутдинов (АИЦ ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»).



Рис. 4. Микровключения мусковита (м) и рутила (ру) в зернах кварца (Q) (проба Р-71-1; с анализатором)



Рис. 5. Зерно кварца (препарат из концентрата пробы Р-7/6ж, просвечивающая электронная микроскопия, ув. 30 000)

(соответственно 2,61 и 4,6 сп/г). Методами термо- и рентгенолюминисценции (ТЛ и РЛ) выявляются тонкие детали структурной неоднородности кварца. ТЛ в диапазоне 170–330 °С в исследуемых пробах кварца обусловлена наличием примесей Al, Ge, Li, Na [4]. Преимущественное высвечивание при 170–200 °С в ряде образцов связано с повышенными скоплениями Ge/Li-центров внутри сферы захвата Al-центров свечения.

Таким образом, выделенные природные типы и разновидности кварцитов отличаются рядом показателей, обусловленных различной степенью метасоматических преобразований. Гранат, рутил, амфибол, цоизит, эпидот, биотит являются реликтовыми минералами по отношению к кварцу. В новообразованном кварце слюдистых кварцитов остаются микрокристаллические реликты мусковита, рутила и др. (рис. 4), отсутствующие в мономинеральных разностях. При этом отмечается повышенное содержание изоморфной примеси Al и соответственно Li (табл. 2) в кварце мономинеральных кварцитов. Содержание изоморфного Ge, напротив, выше в кварце слюдистых кварцитов с наибольшим значением для графитсодержащей разновидности. Это выявляет различную природу изоморфизма Al и Ge в кварце.

Высокотехнологичные направления использования предъявляют повышенные требования к химической чистоте кварцевых концентратов. Поэтому современная технологическая оценка кварцевого сырья невозможна без получения глубокообогащенных кварцевых концентратов уже на начальных стадиях ГРР. Промышленные схемы глубокого обогащения кварца в зависимости от специфических особенностей сырья используют широкий спектр физических, физико-химических и химических методов, предъявляя особые квалификационные требования к чистоте помещений, реагентов и деионизированной воды. Параметры современной технологической оценки ОЧКС ориентированы не только на действующие ТУ-97, нормирующие содержание 10 элементов-примесей (ЭП), но и на параметры сортов ІОТА кварца компании UNIMIN [5]. Зарубежные эксперты считают правильным относить

### Таблица З

Содержания элементов-примесей (ppm) и параметры кварцевых концентратов из лабораторно-технологических проб мономинеральных кварцитов

	Кварцитопроявление (участок)										
Элемент, параметр	Запа, (Острого	дное орский)	Северо-Та- раторское (Таратор- ский)	Дурашкина (Острогорский)							
	Номер пробы										
	C3-7	3-12	CT-13/14	СД- 50/52	Д-50						
AI	15	6,0	9,8	9,3	11						
Ti	2,0	1,7	1,6	2,5	2,2						
Ca	0,38	0,37	0,10	0,01	0,01						
Mg	0,15	0,05	0,08	0,02	0,25						
Cu	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01						
Ni	0,03	0,01	0,03	0,01	0,02						
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01						
Na	1,2	0,69	0,85	0,43	0,51						
К	0,85	0,45	0,51	0,36	0,29						
Li	0,58	0,33	0,90	1,1	1,2						
Р	0,08	0,16	0,03	0,01	0,12						
Fe	0,42	0,23	0,44	0,18	0,16						
В	0,05	0,18	0,04	0,06	0,07						
Zr	0,03	0,02	<0,01	<0,01	<0,01						
T*, %	85,1	89,0	85,4	84,3	88,3						
Сорт**	КГО-3, IOTA-Std	КГО-5, ЮТА-4	KFO-3, IOTA-Std								

\*T — коэффициент светопропускания.

\*\*Приведены сорта, сопоставимые по качеству с полученными кварцевыми концентратами.

Примечание. Спектрометры ОРТІМА 2000 DV, ELAN 9000. Аналитики О.А. Медведева, М.Ш. Дрешер, Р.Р. Гильмутдинов (АИЦ ФГУП «ЦНИИгеолнеруд»). к высокочистым (HPQ) концентратам только кварцевую продукцию, качество которой соответствует уровню сорта IOTA-Std (99,998 % SiO<sub>2</sub>). В приближении к мировым стандартам понятию «НРО-концентрат» соответствуют сорта не ниже КГО-3 (ТУ-97). Отечественные производители (ОАО «Кыштымский ГОК» (сорта RO) и ОАО «Полярный кварц» (сорта SSO)) используют временные ТУ, адаптированные к соответствующему сырью. Суммарное содержание ЭП является малоинформативным показателем. Лимитирующим направление использования может оказаться показатель избранного элемента или группы элементов. Так, оптимальное содержание Al увеличивает срок эксплуатации крупных тиглей для синтеза монокристаллического кремния, повышенное содержание щелочей (К, Na и Li) снижает вязкость и устойчивость стекла при высоких температурах, содержания В и Р являются важнейшими показателями для промышленности полупроводников и фотовольтаики, в микроэлектронике регламентируемыми элементами являются U и Th (≤0,5 ppb).

В настоящих исследованиях были разработаны лабораторно-технологические схемы глубокого обогащения, учитывающие специфические особенности двух минералого-технологических типов кварцитов. Технологические схемы включали стадии механического измельчения, магнитной сепарации, флотации, химической обработки и финишной прокалки. Совокупность использованных методов и последовательность технологических операций не противоречат концепции промышленной технологии ОАО «Кыштымский ГОК», разработанной и интенсивно развиваемой под руководством Н.И. Кузьминой.

Определенные показатели химического состава кварцевых концентратов глубокого обогащения бороздовых проб мономинеральных (средний выход концентратов — 56,2 %) и слюдистых (выход концентратов — 41,3 %) кварцитов характеризуют качество кварца 21-го кварцитового тела. Концентраты из мономинеральных кварцитов удовлетворяют показателям качества HPQ-концентратов в отличие от концентратов из слюдистых кварцитов. Для проведения плавочных испытаний обогащались укрупненные лабораторно-технологические пробы, отобранные на трех кварцитопроявлениях, избранных по качеству и размерам тел (табл. 3). На Западном кварцитопроявлении опробованы три тела со следующими параметрами (протяженность×мощность): 140×1,5, 350×3,5 и 50×6,0 м. Северо-Тараторское кварцитопроявление представлено телом № 3 (160×3,1÷7,7 м). Кварцитопроявление Дурашкина охарактеризовано двумя пробами по телу № 1 (1200×0,5÷1,8 м). Полученные высокочистые кварцевые концентраты характеризуются малозначимыми превышениями содержаний Al, Ti, Li по сравнению с параметрами сорта КГО-3. Нормируемое содержание данных элементов для сортов ІОТА-Std —  $K\Gamma O$ -3 — RQ-2-K составляет соответственно (в ppm): Al  $\leq$  (16,2 - 10 - 5,5); Ti  $\leq$  (1,3 - 2,0 - 2,85); Li  $\leq (0,9 - 1,0 - 0,3)$ . Например, в концентрате СЗ-7 количество Al (15 ppm) ниже регламентируемого для сорта IOTA-Std, при этом суммарное содержание щелочных металлов (K, Na и Li) составляет 2,63 ppm, что существенно ниже нормируемого для сорта КГО-3 (8 ppm) и сопоставимо с показателями сорта IOTA-Std (2,4 ppm).

Хорошие плавочные свойства, прогнозируемые высокими значениями Т (84—89 %) представленных концентратов, подтверждены результатами тестовых плавок. Наплавленные кварцевые стекла марки КС-4В по пропусканию в ультрафиолетовой и видимой областях спектра превосходят образцы стекол из концентрата сорта IOTA-Std.

Таким образом, в результате проведенных исследований впервые обоснована возможность получения из метасоматических кварцитов высокочистых кварцевых концентратов, удовлетворяющих качеству сортов КГО-3 — КГО-5 (ТУ 5726-002-11496665–97), а также показателям сортов IOTA-Std, IOTA-4 и RQ-2-K.

Новый геолого-технологический тип высокочистого кварцевого сырья — метасоматические кварциты Восточно-Уфалейской высокобарической зоны — с учетом развитой инфраструктуры и близости действующего профильного предприятия может при выявлении крупных тел в ближайшей перспективе сыграть заметную роль в проблеме импортозамещения одного из стратегических видов полезных ископаемых — особо чистого кварцевого сырья.

Авторы выражают благодарность за непосредственное участие в данной работе Р.Т. Зайнуллиной (ИМ УрО РАН), В.А. Гревцеву (ФГУП «ЦНИИгеолнеруд») и Н.И. Кузьминой (ОАО «Кыштымский ГОК»).

# ЛИТЕРАТУРА

1. Белковский А.И. Высокобарические бластомилониты Уфалейского метаморфического блока (Средний Урал) / Магматизм и метаморфизм зоны сочленения Урала и Восточно-Европейской платформы — Свердловск, 1985. — С. 42–57.

2. Белковский А.И, Савичев А.Н. Перспективы поисков месторождений особо чистого кварца в орогенах Уральского типа: Материалы 3-го Всеуральск. металлогенич. совещания — Екатеринбург, 2000. — С. 286–288.

3. Борисов Л.А., Серых Н.М., Федотов В.К., Быдтаева Н.Г. Минерально-сырьевая база кварцевого сырья России — состояние и основные направления развития / Неметаллические полезные ископаемые России: современное состояние сырьевой базы и актуальные проблемы научных исследований. Материалы 1-й Всерос. конф. по промышленным минералам. — М., 2004. — С. 41–44.

4. Борозновская Н.Н., Быдтаева Н.Г. Люминесценция как индикатор микродефектности при оценке качества кварцевого сырья / Рудные месторождения, минералогия, геохимия. — Томск: изд-во ТГУ, 2003. — С. 12–27.

5. *Бурьян Ю.И.* Современные требования к производству и потреблению кварцевого сырья // Разведка и охрана недр. — 1999. — № 3. — С. 4–5.

6. Воробьев Е.И., Спиридонов А.М. Сверхчистые кварциты Восточного Саяна (Республика Бурятия, Россия) // ДАН. — 2003. — Т. 390. — № 2. — С. 219–223.

7. *Страшненко Г.И., Мельников Е.П.* Метаморфогенные месторождения химически чистого жильного кварца // Разведка и охрана недр. — 1989. — № 6. — С. 25–27.

8. Юргенсон Г.А. Типоморфизм и рудоносность жильного кварца. — М.: Недра, 1984.

#### © Коллектив авторов, 2015

Быдтаева Нина Григорьевна // bdt-aleks@mail.ru Непряхин Александр Евгеньевич // technology-geolnerud@yandex.ru Милеева Илона Мартыновна // mileeva49@mail.ru Лужбина Ирина Викторовна // root@geolnerud.net Андриянов Петр Федорович // surakai@list.ru Борозновская Нина Николаевна // boroznovskaya@mail.ru



УДК 550.83

Спичак В.В., Безрук И.А., Гойдина А.Г. (Центр геоэлектромагнитных исследований ИФЗ РАН)

ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ КЛАСТЕРНЫХ ПЕТРОФИ-ЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПО СОВОКУПНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ, ИЗМЕ-РЕННЫХ НА ОПОРНЫХ ПРОФИЛЯХ

По геофизическим данным, измеренным вдоль опорных профилей на Тээлинском участке Алтае-Саянской складчатой области, построены трехмерные модели удельного сопротивления и сейсмических скоростей. Показано, что с помощью нейросетевых методов классификации, основанных на самоорганизующихся картах Кохонена, можно создать трехмерную кластерную петрофизическую модель участка земных недр. Установлено, что общая геометрия аномальных зон в пространстве координат определяется поведением скоростей сейсмических волн (главным образом поперечных), а свойства пород и литология — другими геофизическими данными. Выявлено расположение областей трешиноватости. приуроченных к Шапшальской и Куртушибинской разломным зонам, а также зон частичного плавления. Ключевые слова: геофизические данные, комплексный анализ, кластерная петрофизическая модель, опорные профили, трехмерная среда.

Spichak V.V., Bezruk I.A., Goydina A.G. (Geoelectromagnetic Research Centre IPE RAS)

CONSTRUCTION OF THE THREE-DIMENSIONAL CLASTER PETROPHYSICAL MODELS OF GEOLOGICAL MEDIUM BASED ON THE GEOPHYSICAL DATA COLLECTED ALONG REFERENCE PROFILES

3D models of specific electrical resistivity and seismic velocities of the Teelin part of the Altai-Sayan folded area are built based on the geophysical data collected along the reference profiles. It is shown that application of the neural network classification based on the Kohonen self-organizing maps enables to construct a 3D claster petrophysical model of the study area. It is found that the geometry of the anomalous zones in the coordinates' space is determined by seismic velocities (mainly, by Vs) while the rocks properties and lithology are determined from other geophysical data. The locations of the fracture zones attributed to the Shapshalskii and Kurtushibinskii faulted areas as well as partially melted zones are determined. **Key words:** geophysical data, joint analysis, claster petrophysical model, reference profiles, three-dimensional medium.

В России исторически сложился полуэмпирический подход к комплексной интерпретации геофизических данных, измеренных на геотраверсах, в котором совместный анализ отдельных геофизических моделей осуществляется на основании их визуального сравнения, а не с помощью регулярных математических алгоритмов. В результате этого процесса строится так называемая геолого-геофизическая модель, которая затем анализируется в содержательных терминах на основе опыта интерпретатора. Такой субъективный подход, безусловно, не может служить основой для последующей разработки практических рекомендаций по принятию решений в области рационального природопользования.

В какой-то мере этот недостаток компенсируется за счет применения фокусирующих алгоритмов, в которых первичной целью апостериорного количественного анализа является локализация областей резкого изменения свойств среды в однометодных моделях [4, 5, 12 и др.]. Преимуществом этого подхода является то, что границы областей однородности физических свойств определяются по картам изолиний их экстремумов, естественным образом ограничивающих зоны плавного изменения этих свойств. В тех случаях, когда эти границы для разных однометодных моделей совпадают, удается построить «геометризованную» модель и в дальнейшем оценить физические свойства соответствующих однородных блоков.

Недостатком этого подхода является то, что если найденные таким образом границы однородных областей для разных физических свойств не совпадают (а это, по-видимому, наиболее частый в практике случай), то надежность всех последующих построений ставится под вопрос. Отметим аналогичный недостаток так называемого структурного подхода, основанного на априорном постулировании общей структуры однометодных моделей: если эта гипотеза не соответствует действительности, то общая структура и соответственно ее наполнение могут иметь мало общего с реальностью (см. аналитический обзор методов комплексного анализа геофизических данных [7]).

Другой недостаток применяемых на практике подходов к комплексной интерпретации состоит в построении двумерных моделей, тогда как реальная среда всегда, как минимум, трехмерна. Это особенно касается сейсмо- и вулканоактивных регионов, в которых свойства пород могут изменяться в четырех измерениях.

В то же время сегодня существуют подходы к построению трехмерных комплексных моделей среды по геофизическим данным, измеренным вдоль опорных профилей, и имеющейся априорной информации. Так, в работе [8] была построена трехмерная геоэлектрическая модель в окрестности участка регионального профиля 1-СБ в Восточной Сибири на основе комбинированной инверсии профильных и архивных магнитотеллурических (МТ) данных, имевшихся в его окрестности, а в работе [9] — сделан прогноз нефтегазоносности этого участка. На основе применения нового подхода к восполнению геофизических параметров среды [10] были построены трехмерные модели сейсмических ха-