

Игуменцева М.А.¹, Кузьмин В.Г.², Анфилогов В.Н.¹, Кабанова Л.Я.^{2,3}, Рыжков В.М.¹, Штенберг М.В.¹, Зайнуллина Р.Т.¹ (1 — Институт минералогии УрО РАН, Миасс, Ильменский заповедник, 2 — Кыштымский горно-обогатительный комбинат, 3 — Южно-Уральский государственный университет, Миасс)

КВАРЦ ЖИЛЫ № 175 КЫШТЫМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГРАНУЛИРОВАННОГО КВАРЦА (ЮЖНЫЙ УРАЛ) КАК ЭТАЛОН ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА КВАРЦЕВОГО СЫРЬЯ

*Приведены результаты физических и технологических характеристик кварца жилы № 175 Кыштымского месторождения (Южный Урал). Гранулированный кварц жилы № 175 характеризуется незначительными содержаниями минеральных и структурных примесей, а также газовой-жидких включений и при использовании определенных технологий обогащения позволяет получать кварцевые концентраты марки JOTA. Кварц жилы № 175 предлагается использовать как эталон для сравнения с кварцевым сырьем других месторождений при определении его пригодности для наплава особо чистого кварцевого стекла. **Ключевые слова:** кварц, минеральные примеси, газово-жидкие включения, стекла.*

Igumentseva M.A.¹, Kuzmin V.G.², Anfilogov V.N.¹, Kabanova L.Ya.^{2,3}, Ryzhkov V.M.¹, Shtenberg M.V.¹, Zaynullina R.T.¹ (1 — Institute of mineralogy of the Ural division of RAS, 2 — Kyshtymsky main combine, 3 — South Ural state university)

QUARTZ VEINS № 175 KYSHTYM DEPOSIT GRANULATED QUARTZ (SOUTH URAL) AS A BENCHMARK FOR QUALITY ASSESSMENT OF QUARTZ RAW MATERIALS

*The results of physical and technological characteristics of the quartz of vein № 175 of the Kyshtym deposit (South Urals). Granular quartz of vein № 175 is characterized by insignificant contents of mineral and structural impurities, as well as gas-fluid inclusions, and using certain enrichment technologies, it makes it possible to obtain quartz concentrates of JOTA brand. In the article, the vein was considered as a reference object, which should be used for comparison with quartz raw materials of other deposits in determining its suitability for surfacing of extremely pure quartz glass. **Keywords:** quartz, mineral impurities, gas-fluid inclusions, glass.*

Главным источником сырья для получения прозрачного кварцевого стекла являются месторождения жильного кварца. Основные требования промышленности, предъявляемые к кварцевым концентратам — химическая чистота, отсутствие минеральных примесей и водосодержащих дефектов. Несмотря на большое количество разведанных месторождений, этим требованиям удовлетворяет лишь небольшое число объектов. Одним из них является Кыштымское месторождение гранулированного кварца, расположенное в восточной части Уфалейского метаморфического ком-

плекса. На месторождении выявлено значительное количество кварцевых проявлений, большая часть которых оценена горными работами, а на 67 коренных жилах проведены геологоразведочные работы и подсчитаны запасы по кат. С₁ и С₂. На данный момент оно является единственным в России крупным месторождением гранулированного кварца, которое эксплуатируется промышленным способом.

Самым большим объектом на месторождении является жила № 175, где ведется подземная отработка кварцевого сырья, поставляемого компанией «Русский кварц». Она представляет собой линзовидное тело, вытянутое с севера на юг на 150 м и сложенное мелкозернистым гранулированным кварцем. Жила залегает среди амфиболитов, в которых присутствуют замещающие их тела кварц-полевошпатовых пегматитов [1, 3–5]. Описание геологического строения месторождения приведено в работах [2, 9, 12].

Химическая чистота кварца, низкое содержание газовой-жидких включений (ГЖВ) и отработанная технология получения высокочистых кварцевых концентратов позволяют рассматривать кварц жилы № 175 Кыштымского месторождения как эталон, который следует использовать для сравнения с кварцевым сырьем других месторождений при определении его пригодности для наплава особо чистого кварцевого стекла. В настоящей работе приведены результаты изучения физических и технологических свойств кварца жилы № 175 Кыштымского месторождения, которые могут использоваться как эталонные.

Методы исследования

Жила № 175 вскрыта в восточном борту карьера, образованного в процессе открытого способа отработки месторождения. В осевой части по простиранию жилы с интервалом 10 м были отобраны образцы кварца. Строение жилы и точки отбора проб приведены на рис. 1а, б. Петрографические исследования кварца выполнены в шлифах на оптическом микроскопе Axiolab, Olympus BX50, сопряженном с компьютером. Содержания элементов примесей в кварцевой крупке определены на оптико-эмиссионном спектрометре Varian-720—ES с индуктивно связанной плазмой. Подготовку проб к анализу производили путем растворения навески крупки массой 0,1 г в 3 мл концентрированной фтористоводородной кислоты квалификации «ОЧС» с дальнейшим ее испарением. Полученный осадок растворялся в 10 мл деионизированной воды. ИК-спектры пропускания зарегистрированы на инфракрасном Фурье-спектрометре Nicolet-6700 Thermo Scientific при следующих параметрах: диапазон 2000–5500 см⁻¹, разрешение 4 см⁻¹, количество сканов 32. В качестве препаратов использовались плоскопараллельные кварцевые пластинки толщиной 0,3–0,5 мм, шлифовка и полировка которых производилась на оборудовании Buehler PETROTHIN.

Для спектров пропускания была выполнена коррекция базовой линии и нормировка на толщину образца. Регистрация и первичная обработка спектров производилась с помощью программного пакета OMNIC

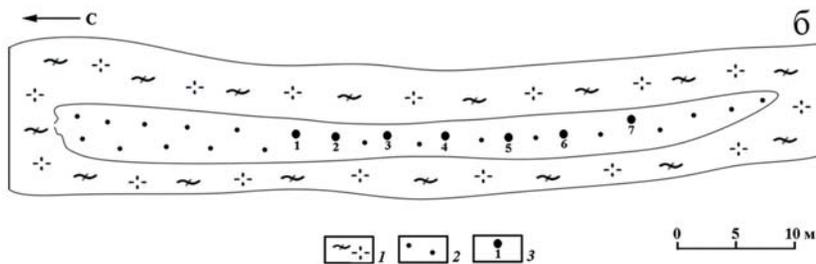


Рис. 1. Кварцевая жила № 175: а — восточная стенка кварцевой жилы; б — схема отбора образцов в восточной стенке карьера: 1 — амфиболиты с телами пегматоида; 2 — кварцевая жила; 3 — точки отбора образцов

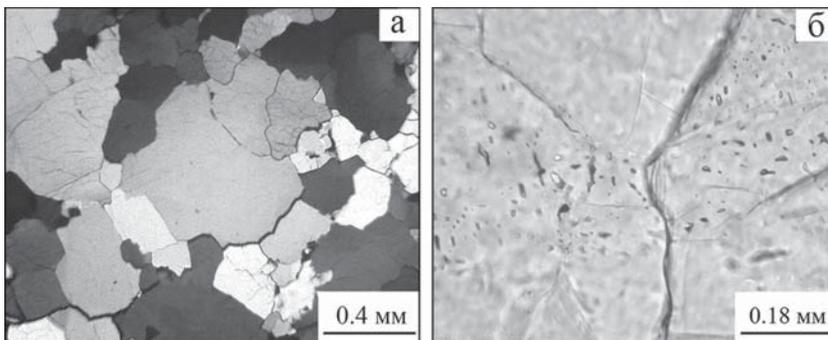


Рис. 2. Гранулированный кварц: а — гранулированный кварц; б — ГЖВ в непрозрачном кварце. Фото шлифа 175-13/5: а — без анализатора; б — с анализатором

Thermo Nicolet. Спектры моделировались суперпозицией гауссовских линий и выполнялись в программе Peakfit. Рассчитаны концентрации молекулярной воды и Al-ОН группировок по методике, описанной в работе [11]. Относительная погрешность расчетов составляет 20 %.

Петрография кварца

Кварц гранулированный (шлифы 175-13/1, 175-13/5, 175-13/6) в шлифах представлен агрегатом гранобластовой структуры, сложенным зернами кварца изометричной и близкой к изометричной формой (рис. 2а). Прозрачный кварц характеризуется извилистыми границами зерен. Некоторые зерна практически не деформированы, в других встречаются редкие залеченные внутризерновые трещины. Погасание в зернах однородное. Наряду с этим в шлифе отмечены мелкие зерна новообразованного кварца изометричной и округлой формы размером 0,01–0,05 мм, не содержащие следов деформации и ГЖВ. Погасание в таких

зернах однородное. Этот кварц составляет около 2 % объема шлифа. В реликтовых зернах содержатся ГЖВ (рис. 2б). Полупрозрачный и непрозрачный кварц в шлифах представлен зернами преимущественно неправильной формы размером от 0,1–1,0 до 3,0–4,0 мм. Границы зерен зубчатые, местами извилистые. Следы деформации проявлены отчетливо и представлены хрупкой и пластической деформацией.

Структура гранулированного кварца показана на рис. 3. Увеличенные теневые изображения плоскополированных пластинок были получены на оптической установке с базой 15 м, при этом глубина резкости, т.е. толщина проецируемой на экран области составляла 8 мм, а толщина пластинок составляла от 0,5 до 1 мм. Фотографии были получены с использованием цифрового фотоаппарата Canon SX30 IS.

Отсутствие кристаллографических границ у кварцевых зерен и образование участков мелкозернистого кварца свидетельствуют о том, что грануляция имеет механическую природу. Можно предположить, что произошла она в результате тектонического воздействия на уже сформированное тело кварца.

Кварц с реликтами пегматоида. В пробе 175–13/3 в шлифах присутствует реликт кварц-полевошпатового пегматоида. Кварц пробы 175–13/3 аналогичен кварцу, описанному выше. Включения пегматоида представлены ассоциацией плагиоклаза, кварца и слюды или плагиоклаза, ортоклаза и кварца со слюдой либо без слюды. Структура гранобластовая или лепидогранобластовая. Плагио-

оклаз во включениях представлен зернами таблитчатой или таблитчато-призматической формы и неправильными зернами размером до 2,0–3,0 мм. В зернах

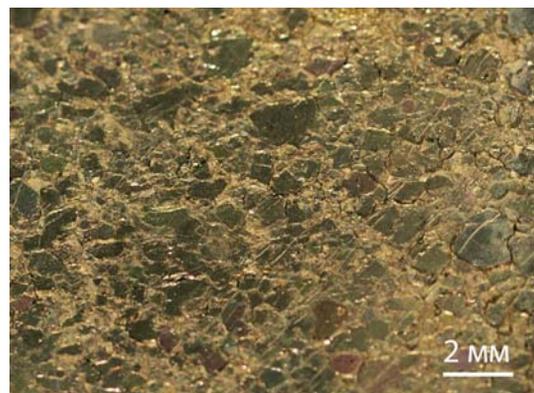


Рис. 3. Структура гранулированного кварца

Таблица 1
Содержание элементов-примесей в исходном кварцевом материале, ppm

Элементы	Al	Ca	Cr	Cu	Fe	K	Li	Mg	Mn	Na	Ni	Zn
Исходный кварц												
175-02	3099.89	365.91	0.26	1.06	63.30	908.34	0.03	20.52	2.74	925.39	0.22	2.01
175-11	988.21	993.55	0.33	0.36	148.91	280.39	0.03	61.06	13.34	141.76	0.23	2.13
175-12	5424.34	678.94	0.23	0.42	61.88	93.26	0.02	10.28	1.97	4131.79	0.21	1.02
175-14	2931.31	119.52	0.19	0.43	52.53	636.07	0.01	9.61	1.95	1264.23	0.17	1.49
175-15	2459.29	25.53	0.21	0.49	128.51	889.65	0.01	37.65	4.06	245.06	0.17	2.45
175-18	4286.18	437.73	0.50	0.37	119.50	45.34	0.02	51.65	4.71	3393.31	0.32	1.01
175-20	47.42	424.64	0.21	0.37	75.18	3.99	0.02	32.49	8.27	4.75	0.22	0.84
175-21	1290.16	79.07	0.26	0.42	88.69	194.08	0.01	20.59	2.63	660.17	0.27	1.77
175-22	1463.20	260.90	0.16	0.19	40.30	9.43	0.02	9.63	1.65	1068.79	0.14	0.84
Обогащенный кварц												
175-02	8.71	9.75	0.17	0.06	5.66	0.47	0.21	1.60	0.09	2.90	0.08	0.78
175-11	7.20	10.51	0.26	0.06	5.91	0.42	0.01	1.90	0.10	2.35	0.11	0.66
175-12	14.93	10.05	0.03	0.03	3.10	0.19	0.02	1.28	0.08	3.85	0.00	0.23
175-14	6.85	10.75	0.05	0.10	4.34	0.30	0.02	1.71	0.09	2.62	0.08	0.15
175-15	7.88	9.81	0.11	0.07	5.21	0.73	0.04	1.66	0.12	2.61	0.04	0.88
175-18	9.16	9.96	0.09	0.03	4.41	0.20	0.00	1.58	0.09	2.59	0.05	0.13
175-20	5.86	10.24	0.42	0.49	8.45	0.20	0.30	1.62	0.14	0.64	0.18	0.60
175-21	12.37	10.78	0.26	0.87	5.68	0.29	0.26	1.91	0.11	2.97	0.64	0.63
175-22	5.82	9.88	0.09	0.13	4.85	0.15	0.03	1.50	0.09	2.19	0.05	0.20
Примеси												
RQ-2K «Русский кварц»	4.1	0.18	0.01	0.01	0.16	0.13	0.3	0.2	0.1	0.36	0.1	—
NC4XF «Кварцкорп»	13.0	0.4	≤0.01	≤0.01	0.1	0.2	0.6	0.1	≤0.05	0.1	0.01	—
ЮТА 4 «Юнимин»	8.0	0.7	0.007	0.004	0.3	0.4	0.2	0.07	0.013	1.0	0.002	—

Примечание: Оптико-эмиссионный спектрометр Varian-720-ES с индуктивно связанной плазмой, аналитик Зайнуллина Р.Т.

отчетливо проявлены полисинтетические двойники, образованные по альбитовому закону. Некоторые зерна заметно серицитизированы. По составу плагиоклаз отвечает олигоклаз-андезину — № 27–30 (определен методом симметричного погасания).

Петрографическое изучение кварца жилы № 175 позволило сделать следующие выводы. Независимо от цвета исходный жильный кварц подвергается рекристаллизации, в результате которой образуется гранулированный прозрачный кварц без следов деформации и ГЖВ. Содержание его в разных образцах составляет 40–60 % объема шлифов. В небольшом количестве (до 2 % объема шлифа) отмечен более поздний новообразованный кварц, который наблюдается в виде мелких изометричной или округлой формы зерен размером 0,01–0,05, редко до 0,1 мм. Эти зерна прозрачные, не содержат следов деформации и ГЖВ. Обычно они находятся в ассоциации с эпидотом и цоизитом, реже с кальцитом.

Элементы-примеси в кварце

В табл. 1 приведено содержание элементов-примесей в исходном и обогащенном кварцевом концентрате жилы № 175. Для сравнения в таблице приведены параметры качества некоторых сортов ВЧК, произво-

Таблица 2
Концентрация молекулярной воды и Al-OH в образцах кварца жилы № 175

№ образца	H ₂ O, ppm	Al-OH, ppm
175-01	40	1.3
175-02	300	1.3
175-03	140	2.0
175-05	60	1.3
175-08	70	1.6
175-09	45	1.1
175-10	30	2.1
175-11	30	1.3
175-12	50	1.3
175-13	35	1.3
175-14	60	1.3
175-15	70	1.1
175-18	40	0.8
175-20	40	0.9
175-21	80	1.7
175-22	45	1.5

Примечание: Инфракрасный Фурье-спектрометр Nicolet-6700 Thermo Scientific, аналитик Штенберг М.В.

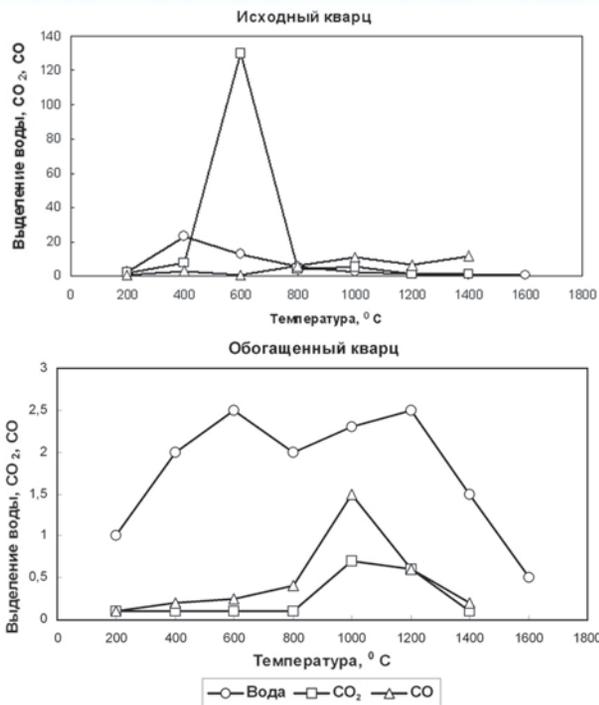


Рис. 4. Термодесорбция воды, CO_2 , CO при ступенчатом прогреве образцов кварцевой крупки жилы № 175 по данным масс-спектрометрического анализа

димых компаниями «Кварцкорп» (Норвегия), «Юнимин» (США), «Русский кварц» (Россия) [7].

Содержание газово-жидких включений в кварце жилы № 175 были определены масс-спектрометрическим методом [6]. Результаты исследования приведены на рис. 4а, б.

В табл. 2 представлены, полученные методом ИК-спектроскопии, результаты расчетов концентраций молекулярной воды и гидроксильных группировок, связанных с алюминием. Концентрация гидроксильных группировок, связанных с алюминием, редко превышает 1,5 ppm, такие содержания характерны для особо чистого кварца [10, 11]. За исключением двух образцов (№ 175-02, № 175-03) в исследованных образцах кварца содержание молекулярной воды незначительно и составляет в среднем 50 ppm. Повышенные концентрации молекулярной воды в образцах № 175-02 и № 175-03 связаны с большим количеством ГЖВ. Необходимо также отметить, что в спектрах пластинок кварца не была обнаружена полоса, характерная для углекислого газа (2345 см^{-1}), что указывает на существенно водный состав ГЖВ.

Сравнение содержания Al по данным ICP-OES с результатами инфракрасной спектроскопии показало (рис. 5) слабую прямую корреляцию. Согласно данным [8] не весь алюминий, входящий в структуру кварца, образует связи со щелочными металлами и протонами (ОН группами). Алюминий может находиться в решетке кварца в виде AlO_4 дефектов нерегистрируемых ИК спектроскопией. В то же время нужно отметить, что в обогащенной кварцевой крупке доля натрия относительно суммы содержания щелочных металлов составляет более 80 %. При положитель-

ной корреляции между содержанием алюминия и натрия (рис. 6) это может свидетельствовать о присутствии нерастворенных включений натриевого полевого шпата.

В табл. 3 приведены результаты расчетов концентрации молекулярной воды и Al-OH в образцах, отобранных с восточной стенки карьера (рис. 2). По сравнению с пробами, представленными в табл. 2, кварц с восточной стенки характеризуется чуть меньшими

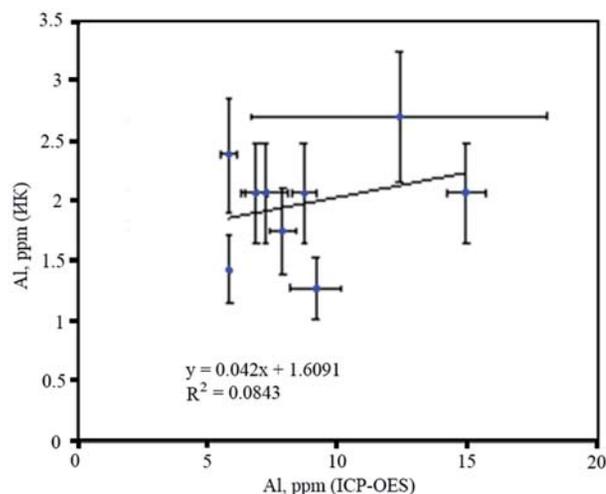


Рис. 5. Соотношение концентрации алюминия в обогащенном кварце по данным ICP-OES и ИК спектроскопии

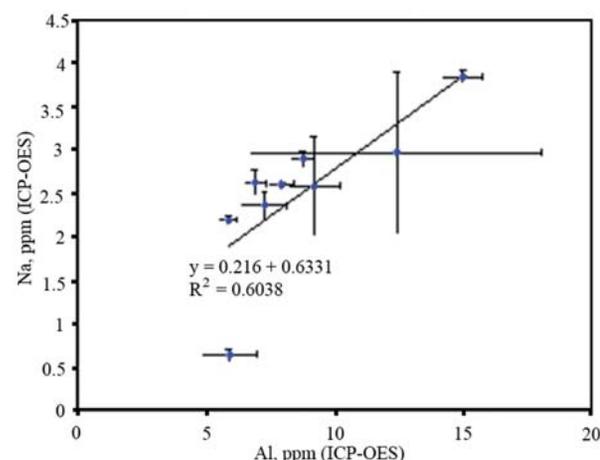


Рис. 6. Соотношение концентраций алюминия и натрия в обогащенном кварце по данным ICP-OES спектроскопии

Таблица 3
Концентрация молекулярной воды и Al-OH в образцах кварца, отобранных с восточной стенки карьера

№ образца	H_2O , ppm	Al-OH, ppm
175-1B	35	1.5
175-4B	40	1.0
175-5B	40	0.6
175-6B	35	0.9
175-7B	70	0.7

Примечание: Инфракрасный Фурье-спектрометр Nicolet-6700 Thermo Scientific, аналитик Штенберг М.В.

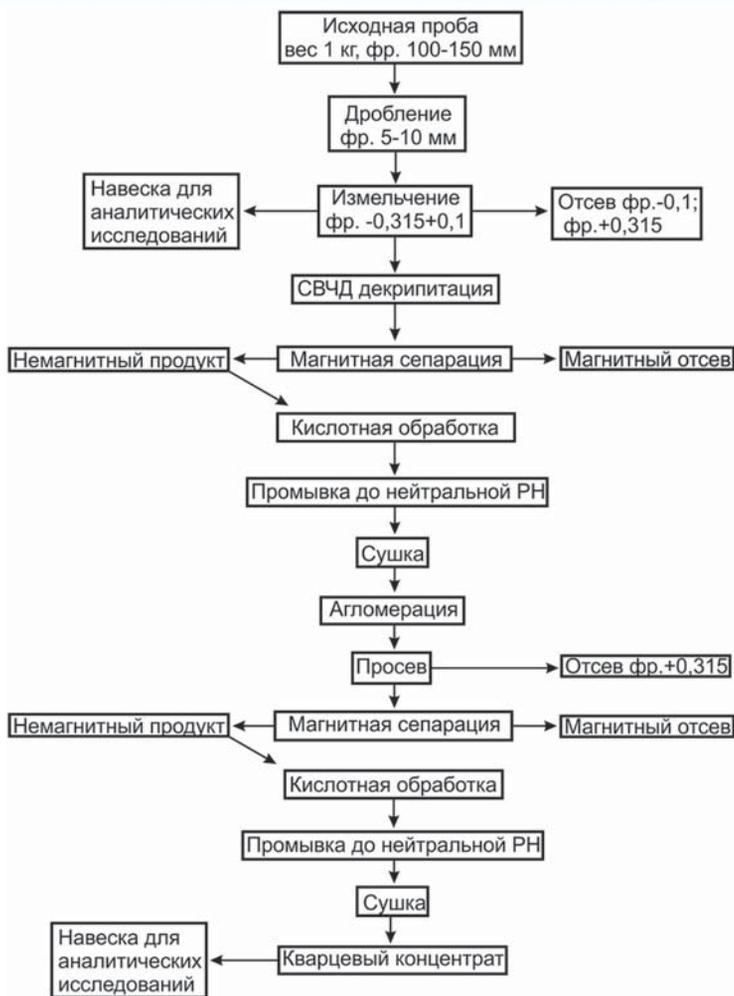


Рис. 7. Схема обогащения кварцевого сырья

содержаниями Al-OH. Из сравнения данных таблиц 2 и 3 следует отметить однородность содержания гидроксильных групп на жиле; исключение составляют образцы 175-1В и 175-7В, в которых наблюдаются повышенные, по сравнению с остальными, содержания соответственно Al-OH и молекулярной воды.

По сравнению с другими месторождениями гранулированного кварца на Урале исследованные образцы кварца жилы № 175 по содержанию молекулярной воды и гидроксильных группировок близки к кварцу Кузнецихинского месторождения (жилы № 191, 192, 193) [11].

Технологические характеристики кварца

С учетом петрографических особенностей кварца жилы № 175, в том числе содержания минеральных и структурных примесей, а также ГЖВ была выбрана многоступенчатая технология обогащения, используемая в Институте минералогии УрО РАН (рис. 7). По используемой технологии исходная проба массой 1 кг измельчалась до фракции

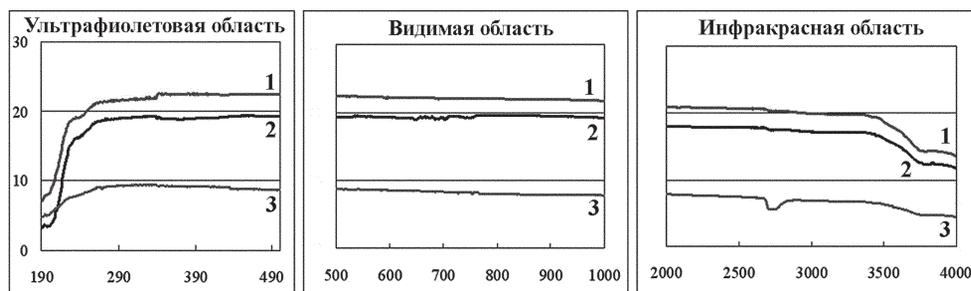


Рис. 8. Спектры оптического пропускания стекол в УФ-видимой и ИК областях спектра: 1 — жила № 175; 2 — жила № 2136; 3 — жила Толстиха

–0,315+0,1 мм. Полученная фракция была подвергнута СВЧ декрипитации с целью удаления газо-жидких включений, двум этапам магнитной сепарации и двум этапам кислотной обработки. При проведении первого этапа магнитной сепарации удалялись аппаратное железо и часть слюды. Второй этап магнитной сепарации позволил удалить остатки магнитных минералов. Для удаления пленочных загрязнений на поверхности зерен и оставшихся минеральных примесей была использована кислотная обработка в смеси соляной и плавиковой кислот.

Наплав кварцевых стекол из глубокообогащенного концентрата осуществлялся в атмосфере аргона на модернизированной ростовой установке «ГРАНАТ-2М». Мощность установки 10 кВт, максимальная температура 2200 °С, максимальный вакуум $3 \cdot 10^{-3}$ Па, максимальное давление $1,1 \cdot 10^5$ Па. Нагреватель представляет собой цилиндрическую систему из вольфрамовых стержней, который находится внутри теплозащитного молибденового экрана. Температура в печи измеряется с помощью вольфрам-рениевой термопары. Режим плавки: — нагрев до температуры 1300 °С под вакуумом и поверхностное обезгаживание шихты в течение 0,5 часа; напуск аргона до $0,1 \cdot 10^5$ Па и нагрев до температуры 1950 °С; плавка стекла в течение 1 часа; охлаждение до температуры 1350 °С и выдержка в течение 1 часа для снятия термоупругих напряжений в стекле, с поддержанием давления $0,1 \cdot 10^5$ Па; — охлаждение до комнатной температуры в течение 3 часов.

На рис. 8 приведены спектры пропускания стекол, полученные из крупки различных месторождений. Сравнение стекол, полученных из кварца Аргазинского, Кундравинского, Ларинского месторождений, жилы молочно-белого кварца Толстиха и кварца месторождения Гора Хрустальная показали, что стекла, наплавленные из кварца жилы № 175, превосходят по качеству стекла, полученные из кварца других месторождений. Самое низкое светопропускание наблюдается в стекле, наплавленном из кварца жилы Толстиха.

Выводы

Гранулированный кварц жилы № 175 характеризуется незначительными содержаниями минеральных и структурных примесей, а также газо-жидких вклю-

чений и при использовании промышленных технологий обогащения компании «Русский кварц» позволяет получать кварцевые концентраты, пригодные для наплава прозрачного кварцевого стекла.

Достиженные в процессе обогащения характеристики кварца жилы № 175 и малое количество ГЖВ позволяют рекомендовать его в качестве стандарта для оценки качества кварцевого сырья других месторождений кварца.

Предложенная в работе схема обогащения кварца и последующего лабораторного наплава стекла может быть использована для предварительной оценки обогатимости, плавочных свойств и пригодности кварцевого сырья для производства прозрачного кварцевого стекла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анфилов, В.Н. Геологическое строение и генезис кварцевых жил Уфалейского комплекса на примере жилы № 2136 / В.Н. Анфилов, Л.Я. Кабанова, М.А. Игуменцева, Н.К. Никандрова // ДАН. — 2016. — Т. 466. — № 4. — С. 443–446.
2. Белковский, А.И. Геология и минералогия кварцевых жил Кыштымского месторождения (Средний Урал) / А.И. Белковский. — Миасс: ИМин УрО РАН, 2011. — 234 с.
3. Белковский, А.И. Кыштымское месторождение гранулированного кварца: история открытия, эксплуатация и проблема поисков источников особо чистого кварца / А.И. Белковский, П.А. Красильников, А.Н. Савичев / Металлогения древних и современных океанов-2000. Открытие, оценка, освоение месторождений. — Миасс: ИМин УрО РАН, 2000. — С. 245–251.
4. Белковский, А.И. Кыштымское месторождение прозрачного жильного кварца: геодинамическая «возрастная» позиция и генезис кварцевых жил (Средний Урал) / А.И. Белковский // Кварц. Кремнезем: Матер. Междунар. семинара. — Сыктывкар: Геопринт, 2004. — С. 189–191.
5. Игуменцева, М.А. Кварц Кыштымского и Кузнецкинского месторождений: состав, структура, технологические свойства / М.А. Игуменцева. — Екатеринбург: УрО РАН, 2012. — 167 с.
6. Крейсберг, В.А. Диагностика газовой примеси в кварце масс-спектрометрическим методом / В.А. Крейсберг, В.П. Ракчеев, Н.М. Серых, Л.А. Борисов // Разведка и охрана недр. — 2007. — № 10. — С. 12–18.
7. Крылова, Г.И. Геологические и минерало-геохимические сведения о кварце с торговой маркой ЮТА (США, штат Северная Каролина). Возможности поиска его аналогов в России / Г.И. Крылова, Л.С. Скобель, А.А. Митрофанов, В.Г. Балакирев // Уральский геологический журнал. — 2003. — № 4 (34). — С. 81–122.
8. Кузнецов, С.К. Особенности качества жильного кварца уральских месторождений / С.К. Кузнецов, В.П. Лютоев, С.Н. Шанина, Е.Н. Светова, Н.В. Сокерна // Известия Коми научного центра УрО РАН. — 2011. — Вып. 4 (8). — С. 65–72.
9. Кузьмин, В.Г. Минералургия жильного кварца / В.Г. Кузьмин, Б.Н. Кравец. — М.: Недра, 1990. — 296 с.
10. Петров, Н.А. Геологическое строение Кыштымского месторождения гранулированного кварца / Н.А. Петров, Е.П. Мельников // Советская геология. — 1968. — № 12. — С. 56–66.
11. Штенберг, М.В. Исследование воды в крупке жильного кварца некоторых месторождений Урала методом ИК-спектроскопии / М.В. Штенберг, П.А. Ардышев, Р.Т. Зайнуллина // Литосфера. — 2012. — № 6. — С. 119–125.
12. Штенберг, М.В. Вода и водородсодержащие группировки в жильном кварце уральских месторождений кварцевого сырья / М.В. Штенберг // Литосфера. — 2014. — № 3. — С. 102–111.

© Коллектив авторов, 2018

Игуменцева Мария Александровна // maria@mineralogy.ru
 Кузьмин Вадим Георгиевич // info@russianguartz.com
 Анфилов Всеволод Николаевич // anfilogov@mineralogy.ru
 Кабанова Лариса Яковлевна // kablar@mineralogy.ru
 Рыжков Вячеслав Михайлович // ryzhkov_v_m@mail.ru
 Штенберг Михаил Владимирович // shtenberg@mineralogy.ru
 Зайнуллина Римма Тухвателловна // zrt1011@mail.ru

Троицкий А.В., Петкевич-Сочнов Д.Г., Ануфриева С.И.,
 Луговская И.Г. (ФГБУ «ВИМС»)

НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЛУБОКОВОДНЫХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ СУЛЬФИДОВ

Статья посвящена исследованию вещественного состава и технологических свойств нового минерального вида полезных ископаемых Мирового океана — глубоководных полиметаллических сульфидов (ГПС). В процессе исследований изучено поведение в технологических процессах меди, железа и серы, и оценена возможность потенциального использования данного вида сырья в качестве источника для попутного получения редких и рассеянных элементов. Показано, что перспективы переработки ГПС связаны с комбинированными технологическими схемами, включающими флотацию и пиро-гидрометаллургический передел концентратов. Выявлено, что редкие и рассеянные элементы в основном сосредотачиваются в концентратах меди, цинка и железа. Установлено промышленное содержание селена и исследована возможность его попутного получения в процессе переработки исходных руд ГПС и медных концентратов.
Ключевые слова: глубоководные полиметаллические сульфиды, Мировой океан, рудное поле, флотация, плавка, медный концентрат, селен.

Troitskiy A.V., Petkevich-Sochnov D.G., Anufrieva S.I., Lugovskaya I.G. (VIMS)

NEW TRENDS OF DEEP-SEA POLYMETALLIC SULFIDES TECHNOLOGICAL RESEARCH

The article is devoted to the study of the material composition and technological properties of a new mineral species of minerals of the World Ocean — deep-sea polymetallic sulphides (DSPS). In the course of research, the behavior in the technological processes of copper, iron and sulfur was studied, and the potential for the use of this type of raw material as a source for the associated production of rare and dispersed elements was estimated. It is shown that the prospects for processing DSPS are associated with combined technologies, including flotation and pyro-hydro metallurgical processing of concentrates. It was revealed that rare and scattered elements mainly concentrate in concentrates of copper, zinc and iron. The industrial content of selenium has been determined and the possibility of its associated production in the processing of initial ores of DSPS and copper concentrates has been investigated.
Keywords: deep-sea polymetallic sulfides, World Ocean, ore field, flotation, smelting, copper concentrates, selenium.

Глубоководные полиметаллические сульфиды (ГПС) являются комплексным минеральным сырьем и важной составной частью минерально-сырьевого потенциала Мирового океана. Основные их компоненты — медь, цинк, иногда свинец, в отдельных объектах серебро и