



Третья научно-практическая конференция
«МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА МЕТАЛЛОВ ВЫСОКИХ ТЕХНОЛОГИЙ.
ОСВОЕНИЕ, ВОСПРОИЗВОДСТВО, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ»
Москва, ВИМС - 2023

Месторождение бериллия Уенч в Западной Монголии: результаты опытно-промышленных испытаний и получения концентрата



Просекин А.С., Соловьев А.С. – КОО «ВАБК», г.Улан-Батор,
Алгебраистова Н.К., к.т.н., доцент – Сибирский федеральный университет, г.Красноярск



СИБИРСКИЙ
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Минерально-сырьевая база бериллия в мире

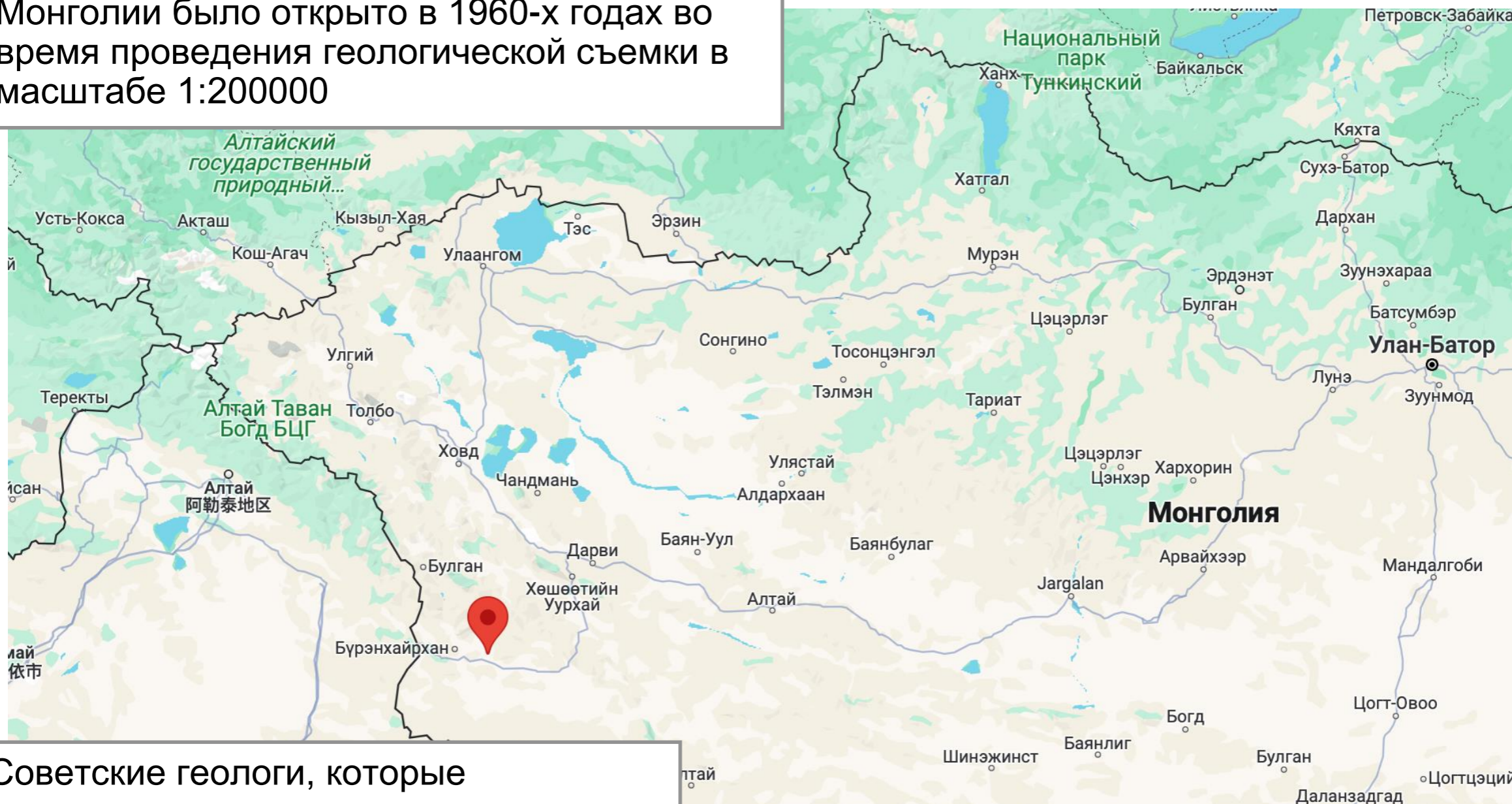
Бериллий - металл космической эры и высоких технологий

- Общие запасы оксида бериллия в мире оцениваются в 1,44 млн т, в т.ч. подтверждённые немногим более 191 тысяч тонн. 36% общих мировых запасов заключено в недрах американского континента, 23% – в Азии, 14% – в Африке, 3% – в Австралии. Общие запасы России составляют 16% от мировых
- Добыча бериллиевых сегодня руд ведётся в США, Франции, Норвегии, Швеции, Финляндии, Кении, Афганистане, Республике Танзания.
- Правительство США всемерно стимулирует геологические изыскания и освоение новых месторождений бериллиевых руд, на освоение месторождений которого выдаются ссуды и предоставляются займы на льготных условиях. Бериллий включен в I группу стратегических материалов, резервные запасы которых непрерывно накапливаются в специальном национальном фонде. Придаётся огромное значение увеличению производства бериллия для новейших областей техники, в частности, ядерной промышленности (реакторостроение), авиации, управляемых снарядов, космической технике.
- Направление работы на сегодня весьма актуально, так как бериллий является востребованным и редким металлом, его называют металлом космической эры и высоких технологий. По экспертным оценкам, с учетом трендов технологического развития бериллий будет являться одним из самых востребованных металлов 21 века.



Месторождение Уенч, Зап.Монголия

Месторождение пегматитов Уенч в Западной Монголии было открыто в 1960-х годах во время проведения геологической съемки в масштабе 1:200000



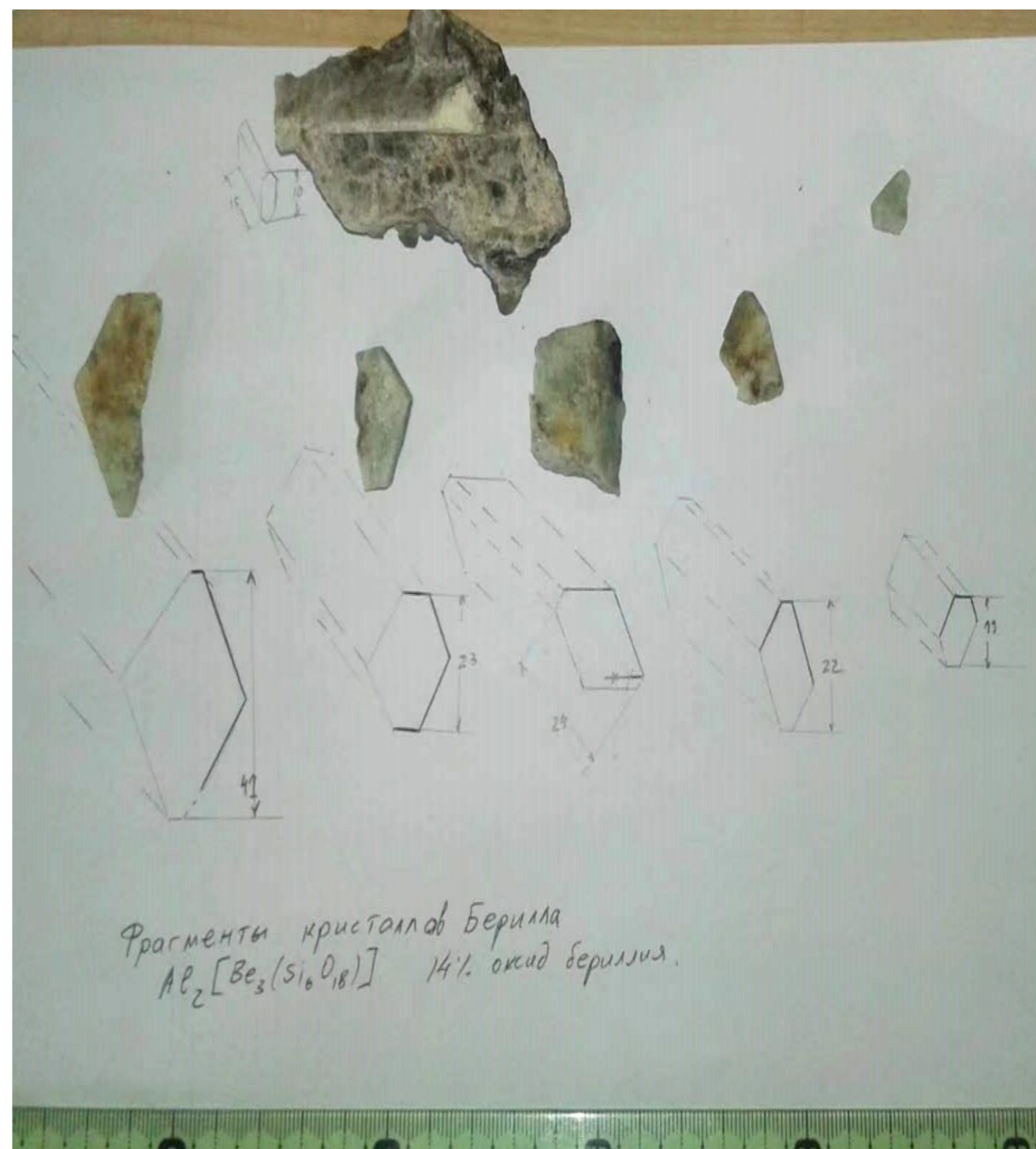
Советские геологи, которые исследовали пегматитовые площади месторождения Уенч, определили бериллеву минерализацию в пегматитах, если вмещающие породы образованы материнскими гранитами.

Монгольская компания КОО «ВАБК» (West Asia Berillium Company) более 15 лет занимается изучением бериллия в Монголии.

Образцы минералов месторождения Уенч

- Основная часть пегматитов развита в сланцах, соответственно без берилла, но представляющая интерес с точки зрения наличия в них мусковита с полевыми шпатами для керамического производства.
- В 2008 году КОО «ВАБК» на месторождении Уенч были обнаружены пегматитовые тела с кристаллами берилла.
- При проведении ГРП были отобраны пробы пегматита для проведения ОПИ на площади 10 км². 4 ящика проб были отправлены в лабораторию обогащения СФУ.
- Цель – изучение вещественного состава бериллийсодержащей пробы, изучение методов обогащения и подбор технологии производства бериллиевых концентратов.
- На фотографии справа - кристаллы берилла, добытые вручную из пегматитовых даек, с помощью перфоратора и камнереза. Всего для было добыто около 10-15 кг кристаллов берилла на площади примерно один квадратный метр.
- Добытые кристаллы оказались трещиноватые и плохой окраски. Из дробленых остатков каменных материалов были собраны кристаллы берилла с примерным определением структуры и формы.

Фрагменты кристаллов берилла, 14% оксид бериллия



Образцы минералов месторождения Уенч

В пределах лицензионной площади были обнаружены кристаллы алмазина, по внешнему виду трещиноватые и подходящие только для технического применения и приуроченные к породообразующим структурам, в основном к сланцам



Образцы минералов месторождения Уенч

Монгольские геологи предположили, что в двуслюдяных сланцах, если в них встретились пегматиты, можно обнаружить разновидность бериллов: изумруд, гошенит, аквамарин, ростерит и другие. Материнской породой для пегматитов, и не обязательно вмещающей, может быть любой кислый или щелочной магматизм, а сланцы – это, просто, вмещающие породы в данном случае. По аналогии, большинство уральских изумрудов находятся именно в слюдяных сланцах.

Это мнение подтвердилось результатами поисковых работ полевого сезона 2018 года. Образцы бериллов, полученные в результате ГРП показаны на фото.



Исследование проб в СФУ



С И Б И Р С К И Й
Ф Е Д Е Р А Л Ь Н Ы Й
У Н И В Е Р С И Т Е Т

Для определения вещественного состава бериллия в Монголии были отобраны пробы пегматита. Пробы были отправлены в Сибирский Федеральный университет, г.Красноярск, где были исследованы на кафедре обогащения полезных ископаемых Института цветных металлов под руководством к.т.н., доцента кафедры обогащения полезных ископаемых Алгебраистовой Натальи Константиновны, автора более 240 научных и методических трудов.

Исходная проба поступила в 4 деревянных ящика крупностью -160 мм. На пробу было получено санитарно-эпидемиологическое заключение о соответствии санитарным правилам СП2.6.2.798-99 «Ионизирующее излучение, безопасность. Обращение с минеральным сырьем и материалами с повышенным содержанием природных радионуклидов. (НРБ-99)».

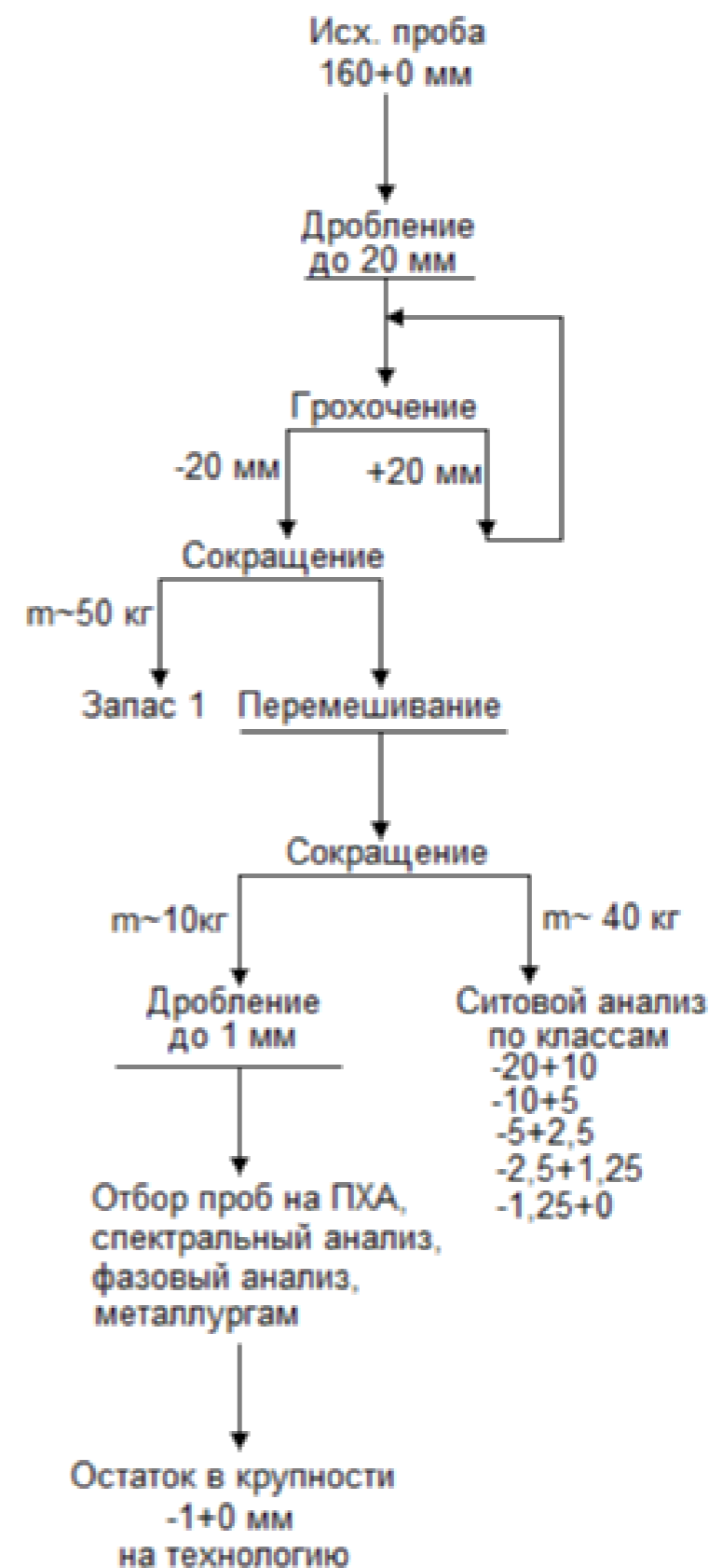
Гигиеническая характеристика материала

Вещества, показатели (факторы)	Гигиенический норматив (СанПиН, МДУ, ПДК и др.)
СП 2.6.1.798-99 (НРБ-99) Аэфф.м	272
Удельная активность Бк/кг, менее	740
Удельная активность Бк/кг	216,5±55,3
Активность Ra-226, Бк/кг	49,7
Активность Th-232, Бк/кг	54,6
Активность K-40, Бк/кг	1065
Запах, балл	Не более 1

Схема подготовки пробы к исследованиям

Для подготовки пробы к исследованиям разработана и реализована схема разделки пробы

- Дробление проводилось в две стадии с получением продукта крупностью -1 мм. После первой стадии дробления следовало поверочное грохочение на классы +20 мм и -20 мм.
- Материал крупностью более 20 мм додраблывался. Подрешетный продукт крупностью менее 20 мм сокращался методом квартования. Руда массой 50 кг составила запас 1, остальная часть подверглась перемешиванию методом кольца и конуса и последующему сокращению, которое производилось с соблюдением расчета минимальной массы пробы.
- От руды в крупности -1+0 мм были отобраны пробы на ПХА, спектральный, фазовый анализы и проба для металлургических исследований. Дробление материала осуществлялось на щековой дробилке типа ДЛЩ 80x150 и на валковой дробилке типа ДГ 200x125.



Минералогический состав исходной пробы

Рентгенофазовым, химическим и минералогическим анализами установлено, что в пробе присутствуют следующие минералы: берилл, кварц, полевые шпаты (микроклин, альбит, анортоклаз), мусковит, турмалин, гидроокислы железа

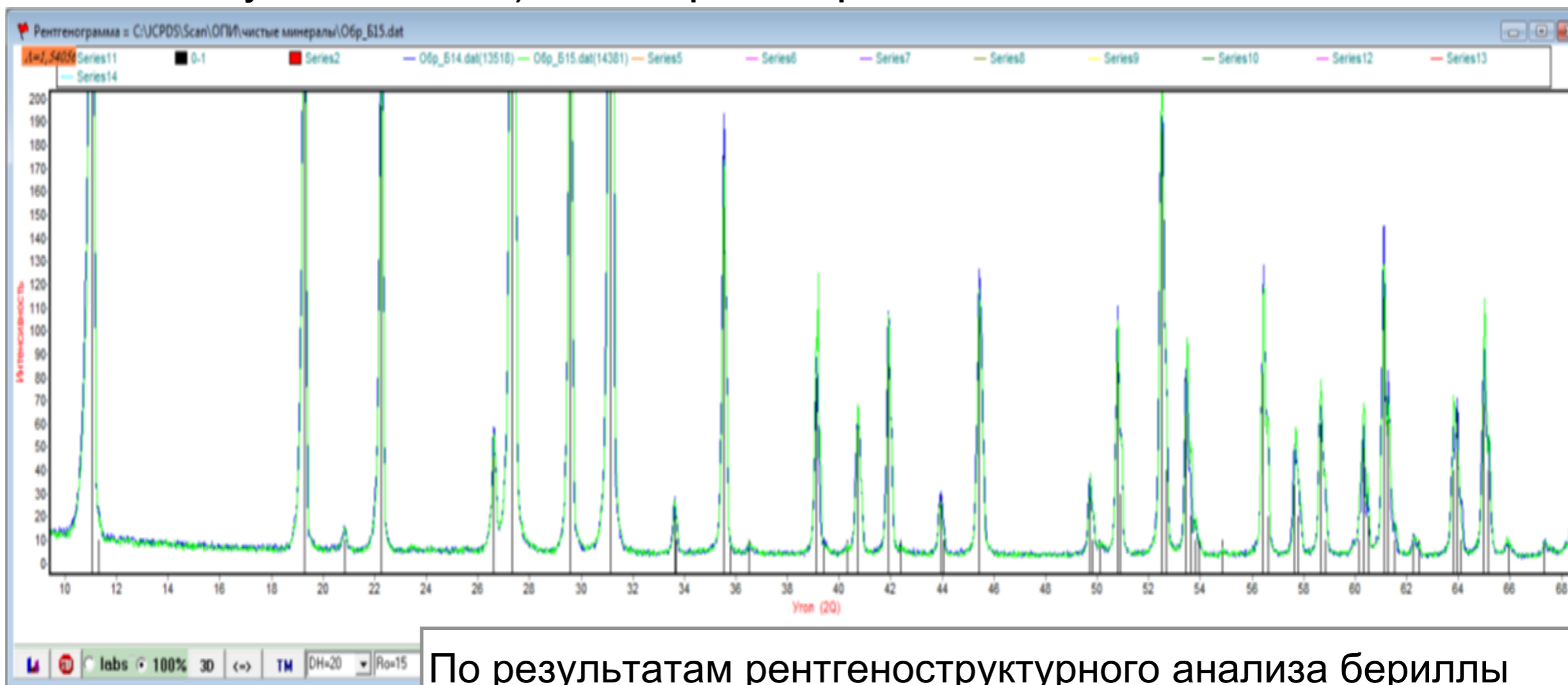
Берилл составляет основную массу пробы (примерно 78%), морфологически представлен призматическими кристаллами различных размеров от крупных (5-10 см) до более мелких (1,5-2 см по удлинению) и их обломками. Огранка более четко выражена в мелких кристаллах, имеющих габитус гексогональных призм, на гранях некоторых отмечается вертикальная штриховка. Большая часть кристаллов и обломков трещиноваты. Цвет берилла светлый бледно-зеленоватых тонов, реже встречаются кристаллы, окрашенные более интенсивно, в голубовато-зеленоватые тона, как правило, менее трещиноватые и менее замещенные.

Количественный минералогический состав исходной пробы

№ п/п	Минералы	Количество, %
1	Берилл	74-78
2	Кварц	16-17
3	Микроклин	3
4	Анортоклаз	
5	Альбит	3
6	Мусковит (гидрослюдь)	2,5
7	Турмалин	Ед.З
8	Гидроокислы железа (лимонит, гетит)	Ед.З

Рентгеноструктурный анализ образцов породы

Сравнение: Образец Б14 (преобладающий берилл) – синяя рентгенограмма, образец Б15 (берилл зеленовато-голубоватый чистый) – зеленая рентгенограмма



По результатам рентгеноструктурного анализа бериллы разного цвета (бледно-зеленоватый и голубовато-зеленоватый) совершенно идентичны и **соответствуют стандартному бериллу** (по базе рентгенографических данных PDF, 2001 г.), т.е. не содержат повышенного количества щелочей, каких-либо примесей и воды.

Рентгеноструктурный анализ образцов породы

- Кварц в пробе преимущественно светло- серого и дымчатого цвета образует прожилки мощностью 3-20 мм среди берилла, микроклина и включения в них различных размеров от 1,0-2,0 до десятых и сотых долей миллиметра.
- Полевые шпаты в пробе представлены в основном альбитом и микроклином, в редких случаях выявляется анортоклаз.
- Слюда в пробе белого цвета с перламутровым блеском представлена мусковитом и гидрослюдой.
- Гидроокислы железа довольно распространены в виде тонких дисперсных включений, окрашивающих берилл, развивающихся по трещинкам.
- Силикатный химический анализ показал, что основными компонентами в пробе является SiO_2 -69,8% и Al_2O_3 -17,61%.

Распределение компонентов по классам крупности

Класс крупности	Выход, %	Массовая доля, %										Распределение, %									
		BeO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	F	MnO	SiO ₂	CaO	Li ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O	BeO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	F	MnO	SiO ₂	CaO	Li ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O
-20 +10	65,77	11,4 2	20,2 7	0,49	0,003 1	0,008 9	64,4 6	0,11	0,14	0,76	0,81	67,1 3	66,0 1	61,6 1	58,5 7	56,9 7	65,4 8	61,4 9	66,0 9	62,2 3	64,4 0
-10 +5	16,63	10,9 9	20,4 4	0,59	0,003 1	0,009 8	64,7 5	0,12	0,14	0,87	0,86	16,3 3	16,8 3	18,7 6	14,8 1	15,8 6	16,6 3	16,9 6	16,7 1	18,0 1	17,2 9
-5 +2,5	8,56	10,8 3	20,1 3	0,50	0,002 8	0,009 8	65,3 6	0,12	0,14	0,87	0,85	8,28	8,53	8,18	6,88	8,17	8,64	8,73	8,60	9,27	8,80
-2,5 +1	2,37	10,4 7	19,3 9	0,53	0,006 2	0,012 0	66,2 8	0,13	0,14	0,88	0,87	2,22	2,28	2,40	4,22	2,77	2,43	2,62	2,38	2,60	2,49
-1 +0	6,67	10,1 3	19,2 5	0,71	0,008 1	0,025 0	66,2 5	0,18	0,13	0,95	0,87	6,04	6,35	9,05	15,5 2	16,2 3	6,82	10,2 0	6,22	7,89	7,02
Исходная руда	100	11,1 9	20,2 0	0,52	0,003 5	0,010 3	64,7 5	0,12	0,14	0,80	0,83	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

- С целью определения распределения компонентов по классам крупности, выполнен рассев исходного материала в крупности -20+0 мм на стандартных ситах.
- Анализ показал, что распределение оксида бериллия пропорционально выходам. Массовая доля ценного компонента изменяется при этом от 11,42 до 10,13%; причем крупные классы имеют более высокое содержание.
- Контрольными анализами определено, что в исходном материале содержание оксида бериллия - 11,19%, т.е. по массовой доле этого компонента продукт, присланный для исследований, удовлетворяет тех.условиям ТУ 95.1982-89 для концентрата бериллиевого флотационного и соответствует высшему сорту. Содержание сопутствующих компонентов не является браковочным признаком. Напрашивается вывод, что **поступивший на исследование продукт – концентрат, полученный после ручной выборки.**

Выбор технологии для производства концентрата

Промышленные минералы бериллия по своим физико-химическим свойствам близки к минералам пустой породы. Берилл, фенакит и берtrandит немагнитны, непроводники, имеют плотность от 2,6 до 3 г/см³, т.е. такую же плотность как основных минералов пустой породы. Поэтому **магнитная, электрическая сепарация и гравитационные методы обогащения к ним неприменимы**

В настоящее время применяют следующие методы переработки бериллиевых руд:

- **ручная сортировка**, основанная на различии цвета бериллиевых минералов. Применяется в забое и после дробления при наличии крупнозернистого берилла от 10 мм (иногда от 6) и крупнее;
- **избирательное измельчение**, основанное на высокой твердости берилла, хризоберилла, фенакита. Применяются при наличии в руде мягких пород, например слюдистых сланцев, талька;
- **флотация** для руд с мелкой вкрапленностью ценных минералов **с использованием собирателей анионного (жирные кислоты) и катионного типов**;
- **рентгенорадиометрическое обогащение**, представляющее собой автоматическую сортировку по наведенной радиоактивности облучением бериллиевой руды γ -лучами.;
- **комбинированные процессы переработки**, включающие флотацию бедных руд и химико-металлургическую переработку богатых руд и флотационных концентратов.

Выводы

Выбор технологии для производства концентрата

- Учитывая вещественный состав анализируемой пробы, для руды месторождения Уенч, аймака Ховд, перспективны ручная сортировка по цвету (как возможный вариант - оптическая сортировка), избирательное измельчение и метод рентгенорадиометического предобогащения с дальнейшей флотацией полученного промпродукта.
- Для окончательного выбора технологии требуется провести ОПИ (опытно-промышленные испытания) по трем выбранным видам технологии и после проведения ОПИ произвести сравнительный анализ полученных результатов.

Практическое значение настоящей НИР

- Представленные части проделанной работы по исследованию месторождения Уенч создают основу для дальнейшего освоения месторождения с российским участием.
- Как проект с российским инвестиционным участием, бериллиевое месторождение Уенч может стать одной из «точек сборки», «точек активации и активизации» российско-монгольского сотрудничества в сфере горнодобывающей промышленности, включающей в себя совместные научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы.
- Для продвижения государственных интересов России и интересов российской горнорудной науки и промышленности считаем целесообразным в рамках выделенных стратегических сырьевых направлений формирование мер государственной поддержки деятельности российских инвесторов как внутри страны, так и за её пределами. В частности такая поддержка, по нашему мнению, должна распространяться на использование иностранными проектами российских технологий, НИР и НИОКР, услуг, техники и оборудования.

Благодарим за внимание!



West Asia Berillium Company LLC, г. Улан-Батор, Монголия

Входит в состав холдинга «Казмонконтакт», который долгое время и целенаправленно занимается разработкой комплексных технологий переработки редких и редкоземельных металлов и элементов для горно-рудных объектов на территории Монголии на основе российских научно-технических разработок и предложений.



Александр Сергеевич Соловьев

*Исполнительный директор холдинга
«Казмонконтакт»*

Тел.: +976 99757175

Моб.т.: +7 915 263-59-20

alexsol63@gmail.com