

№ 2(40)  
2017

# THEFTA



## РЕДКИЕ ЗЕМЛИ ИТТЕРБЮ

27 апреля в г. Уппсала, Швеция состоялось очередное заседание рабочей группы международного проекта "Fennoscandian Ore Deposit Database" (FODD). В проекте уже несколько лет принимают участие Геологические службы Финляндии, Швеции и Норвегии, от России – ГУП «Минерал» и Институт геологии докембрия РАН (г. Санкт-Петербург), Институт геологии КарНЦ РАН (г. Петрозаводск) и Геологический институт КНЦ РАН (г. Апатиты). Читайте статью об этом событии.

В программу встречи, помимо заседания, была включена геологическая экскурсия в район д. Иттербю. Маршрут из Уппсала в Иттербю пролегал через Ваксхольм. Расположенный в 30 км к

В Стокгольмском архипелаге около 24000 островов, но лишь один сыграл значительную роль в истории химии, геологии и минералогии. Речь идет об о. Ресарё, а точнее о д. Иттербю, по-



Крепость Ваксхольм



Город Ваксхольм

СВ от Стокгольма на о. Ваксён, этот городок с населением менее 5000 человек считается столицей Стокгольмского архипелага. Нам удалось увидеть одну из основных достопримечательностей – Ваксхольмскую крепость XVI в. и прогуляться по набережной этого знаменитого курорта.

дарившей своё имя сразу четырём химическим элементам: иттрию (Y, № 39), тербию (Tb, № 65), эрбию (Er, № 68) и иттербию (Yb, № 70). Это удивительное место и стало главным объектом нашего интереса. Гидом экскурсии был Э. Йонссон, научный сотрудник Геологической службы Шве-



Э. Йонссон начинает экскурсию



Карьер Иттербю в 1920-х. Фото Tekniska museet.



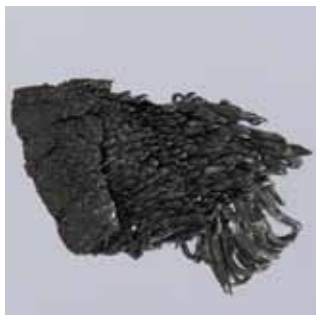
Слева: информационный стенд на входе в закрытый карьер. Справа: схема расположения месторождения (отмечено стрелкой), подземное хранилище, инфраструктура и дома на СВ о. Ресарё. Фото АК Arkitekter, 2012.

ции. Он дал нам разнообразную информацию о геологии, историческому развитию территории, рассказал об открытиях здесь редкоземельных элементов.

Коренные породы района принадлежат к южной части Свекокарельского домена, а именно восточной части рудной провинции Бергсланген. Доминируют супракристалльные породы и гранитоиды, образованные во временном интервале 2.00-1.88 млрд. лет. Здесь встречены пегматиты NYF-типа (обогащённые Nb, Y, F) и LCT-типа (обогащённые Li, Cs, Ta). Месторождение Иттербю относится к семейству NYF-пегматитов. Их возраст 1.79-1.80 млрд. лет. Помимо Nb, Y, F для пегматитов NYF-типа характерны U, Th, Ti, Zr, в меньшей степени Be, Sc, Ba, Fe, Mg, Ta и Ga. Основные минералы: кварц, ортоклаз, альбит, биотит, в меньшей степени мусковит. Кварц в Иттербю выработан почти полностью, его следы можно увидеть на стенках рудника. Более отчётливо выделяются зоны полевого шпата и крупносланцевые кристаллы хлоритизированного биотита.

Минералы, обогащённые РЗЭ, и циркон (метамиктный, разновидность «андербергит») обычно встречаются в единичных кристаллах и скоплениях, вырастающих на биотитовых пластинах, что можно видеть на стенках старого рудника. Иттербю – типичное место находки гадолинита-(Y), иттротанталита-(Y) и тенгерита-(Y). Кроме них, из обогащённых РЗЭ минералов обнаружены: алланит, ишикаваит-форманит-(Y), тантэвксенит-(Y), фергусонит-(Y) и метамиктный циркон. Их идентификация и разделение создают немалую сложность.

Уже в 1756 г. вблизи Иттербю был карьер, в котором добывали кварц, поставлявшийся на север провинции Уппланд для нужд металлургии. В конце XVIII в. начата добыча полевого шпата для знаменитых фарфоровых фабрик Рёрстранд (Rörstrands Porslinsfabrik) и Густавсберг (Gustavsberg). С 1865 г. и до закрытия месторождения в 1933 г. добыто 45000 т. кварца и 50000 т. полевого шпата. При этом глубина разработки достигла 170 м. Во время Второй мировой войны подзем-



Слева направо: иттрий, тербий, эрбий и иттербий. Фото: <http://images-of-elements.com>.

ная часть месторождения и пристань к северу от него служили хранилищами топлива для военно-воздушных и военно-морских сил Швеции.

Но совсем не военное и не горнопромышленное прошлое принесло мировую известность этой местности. Научная история д. Иттербю началась в 1787 г., когда молодой лейтенант шведской армии, заядлый минералог-любитель К.А. Аррениус нашёл здесь необычайно тяжёлый чёрный минерал. К счастью, он осознал важность находки, описал его, дал название «иттербит». А контакты в академической среде позволили разослать образцы минерала для анализа нескольким выдающимся химикам того времени.

Наибольших успехов достиг финн Ю. Гадолин (на тот момент профессор Королевской академии в Або / Турку). Он установил, что «иттербит» на 38 % состоит из неизвестной ранее «зем-

1878 г. Он преуспел в разделении эрбиевой «земли», получив оксиды двух элементов. Новый получил название иттербий. Ж. Мариньяк – один из крупнейших специалистов в химии редких земель во второй половине XIX в. В 1880 г. он получил оксид неизвестного редкоземельного элемента, позже (1886) названного гадолинием.

Значение этих открытий для нашей жизни в XXI в. сложно переоценить. Спрос на редкоземельные металлы переживает очередной всплеск, связанный с интересом различных отраслей промышленности, особенно высокотехнологичных. Можно долго перечислять приборы, содержащие редкоземельные металлы. Именно благодаря им электронные устройства стали такими компактными. В таблице приведены главные конечные продукты использования РЗЭ (Щипцов, 2013).

Лёгкие РЗЭ	Конечный продукт	Тяжёлые РЗЭ	Конечный продукт
лантан	водородный двигатель, металлические сплавы	тербий	люминофоры, постоянные магниты
церий	автокатализаторы, очистители нефти, металлические сплавы	диспрозий	постоянные магниты, водородный двигатель
празеодим	магниты	эрбий	люминофоры
неодим	автокатализаторы, очистители нефти, жёсткие диски, водородный двигатель	иттрий	флуоресцентные лампы, керамика, металлические сплавы
самарий	магниты	гольмий	стеклокрасители, лазеры
европий	телевизионные и компьютерные экраны	тулий	медицинские рентгеновские установки
		лютеций	катализаторы для очистки нефти
		иттербий	лазеры, стальные сплавы
		гадолиний	магниты

ли» (термин «оксид» в то время не использовался). Затем данные были подтверждены, «земля» получила название иттриевой, а минерал в знак уважения к заслугам Ю. Гадолина был переименован в гадолинит.

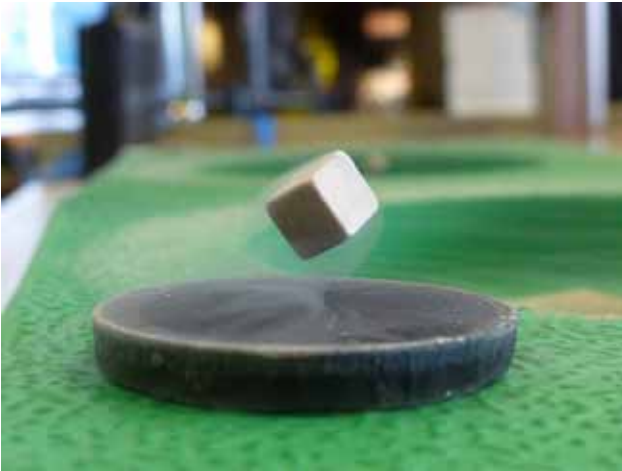
Следующими выделенными из чёрного минерала элементами стали тербий и эрбий. Их первооткрыватель – швед К.Г. Мосандер. В 1843 г. он опубликовал результаты исследования иттриевой «земли». Ему удалось выделить различающиеся по цвету осадки оксидов новых элементов. Они были названы, как и исходная «земля», в честь д. Иттербю. Бесцветная окись получила название иттрия, жёлтая – тербия, розовая – эрбия. В честь К.Г. Мосандера назван содержащий церий минерал мозандрит (правильнее было бы – мосандрит).

Последний элемент, иттербий, открыт гораздо позже. Это сделал швейцарец Ж. Мариньяк в

Иттрий обладает рядом уникальных свойств, что предопределяет его широкое использование в промышленности как огнеупора, легирующей добавки, конструкционного материала для ядерных реакторов. Иттриевые гранаты применяют в радиоэлектронике как лазерные материалы.

Оксид  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  превращается в высокотемпературный сверхпроводник при охлаждении жидким азотом. Если вы захотите положить магнит на охлаждённый диск из  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$ , это не удастся: магнит повиснет на расстоянии чуть меньше 1 см от диска и будет «левитировать» (Грэй, 2013).

Эрбий играет важнейшую роль в современных коммуникациях, усиливая оптический сигнал в оптоволоконном кабеле без его превращения в электрический. Допированные эрбием оптические усилители используются наиболее широко. Ещё одно применение эрбия – в атомной технике (Грэй, 2013).



Магнит левитирует над сверхпроводником, охлаждаемым жидким азотом. Фото Trevor Prentice.

Тербий имеет ограниченное применение, используется при производстве люминофоров, лазерных материалов и ферритов. Иттербий используется главным образом в лазерах.

До 1980-х бесспорным мировым лидером в добыче редких земель были США, в основном благодаря руднику Маунтин-Пасс. Было время, когда там добывали до 20000 т. в год, это более 60 % мировой добычи. Американское господство закончилось, когда Китай овладел технологией разделения редких земель и громко заявил о себе на рынке. Благодаря поддержке правительства, дешёвой рабочей силе и отсутствию природоохранных ограничений китайские предприятия обошли конкурентов (Фолджер, 2011). Хотя мировой рынок этих металлов сейчас зависит от Китая, который сокращает их вывоз, чтобы обеспечить ра-

стущие потребности собственного производства, всё же и другие страны обладают крупными запасами редких земель: Австралия, Канада и Россия (в том числе Хибино-Ловозерский комплекс).

Гадолинит – островной ортосиликат из группы датолита. Различают гадолинит-(Ce), гадолинит-(Y) и гадолинит-(Nd). Последний утверждён IMA лишь в 2016 г. Цвет от чёрного до буро-чёрного, коричневый, от зеленовато-голубовато-чёрного, зелёный, зеленовато-чёрный. Химический состав непостоянный, общая формула  $A_2B_2C_2T_2X_{10}$ , где  $A = Y, REE, Ca, Mn, Al$ ;  $B = Fe^{2+}, Fe^{3+}, Ca$ ;  $C = Be, V$ ;  $T = Si, P, As$ ;  $X = O, OH$  (Волошин, 2002). Распространён в кварцевом порфире в Гуассо-аль-Монте (провинция Варезе) и в миндалинах гранитов Бавено в Мортотано на Лаго-Мажоре (Италия), в Финбо, Иттербю, Фалуни в Швеции, Тисфьорд, Ивелаид, о. Гитерё близ Арендаля (Норвегия), Гарце и Силезии, Китае, Финляндии, Пакистане, США (окр. Льяно в шт. Техас, шт. Аризона, Колорадо, Сев. Каролина), месторождение Могов (Тянь-Шань, Таджикистан), в России – г. Плоская (Вост. Кейвы, Кольский п-ов), Ильменские горы (Ю. Урал), Аларенгинский массив (Респ. Тува). Очень редко встречается в кристаллах, обычно в виде сливных или зернистых плотных масс, отдельных зёрен, реже несовершенных кристаллов призматического облика. Размер кристаллов от долей мм до нескольких см, масса некоторых кристаллов достигает 80 кг (Барингер-Хил, США).

Если говорить об истории исследований гадолинита в России, стоит отметить роль Кольского п-ова. Кольские пегматиты с гадолинитом долгие годы представляли его единственное



Гадолинит-(Y). Вюнцпах, Кейвы, Кольский п-ов, Россия. Обр. ФМ № 88999, колл. В.И. Степанов. Фото А.А. Евсеев.



Гадолинит. Иттербю, Швеция. Обр. ФМ № 51372. Фото А.А. Евсеев.



Старый рудник, Иттербю.

месторождение на территории бывшего СССР. Первые находки гадолинита в СССР сделаны И.В. Бельковым в 1947 г. при изучении одного из полей редкоземельных пегматитов с амзонитом в районе Зап. Кейв на Кольском п-ове и детально описаны в 1958 г. Затем ареал находок гадолинита в Кейвах расширился. Минерал обнаружен во многих пегматитовых полях, а также в жильных изменённых щелочных гранитах и метасоматитах Ельозера. В 1980-х при детальном минералогическом исследовании дифференцированных амзонитовых рандпегматитов г. Плоской выявлены безжелезистые аналоги гадолинита – хинганит-(Y) и новый минеральный вид, хинганит-(Yb) (Волошин, 2002).

Возвращаясь к месторождению близ Иттербю, отметим, что в 1989 г. оно получило официальный статус исторического наследия. На входе в оставшейся от рудника участок установлен памятный знак. Территория охраняется согласно зако-

нам Королевства Швеции, поэтому собирать образцы запрещено. К входу в рудник ведёт деревянная лестница. Сверху открывается вид на Стокгольмский архипелаг. Если Вы захватите с собой счётчик Гейгера, то сможете определить радиоактивное излучение на оставшихся выходах породы. Дают о себе знать небольшие концентрации тория и урана. Это типично для шахт, где добываются редкие земли, и порой создаёт катастрофические последствия. Так, жителей деревень в окрестностях Баотоу (Внутренняя Монголия, Китай) пришлось эвакуировать, потому что вода и поля оказались заражены отходами разработок. Правительство пытается регулировать ситуацию в сфере защиты окружающей среды. Но если это возможно для крупных горнодобывающих компаний, то в отношении мелких шахт в Ю. Китае, часто работающих нелегально – малоэффективно (Фолджер, 2011).



Иттербю.



В ходе экскурсии, Иттербю.

Кроме четырёх элементов, названных в честь Иттербю, обнаружение гадолинита привело к открытию ещё ряда элементов, названия четырёх из которых связаны со Швецией. Это гадолиний (в честь Ю. Гадолина), гольмий (от лат. Стокгольм), скандий (Скандинавия) и тулий (старое лат. обозначение северных и Скандинавских стран Ultima Thule). Все они входят в группу редких земель, хотя встречаются в природе в 200 раз чаще, чем золото. Термин «редкие земли» скорее можно связать с трудностью их выделения и нахождением в природе в рассеянном состоянии. Рудные залежи, которые имеет смысл разрабатывать, довольно редки. Интересно, что в 1920 г. элемент № 39 «сменил свой символ» – принятое на тот момент обозначение Yt сократили до Y (Diner, 2016).

Глядя на историю случайной находки в 1787 г. минерала из Иттербю, можно проследить за перипетиями развития науки. Находка Аррениуса дала толчок новым открытиям, подвигнув учёных на исследования, совершавшиеся на протяжении как минимум двух веков. Сегодня Иттербю как уникальный объект горно-геологического насле-

дия привлекает любителей истории, химии, геологии и просто любознательных туристов (Jonsson, 2017).

#### Литература

1. Волошин А.В., Пахомовский Я.А., Сорохтина Н.В. Исследование состава минералов группы гадолинита из амазонитовых рандпегматитов Кольского п-ова // Вестник МГТУ. 2002. № 1. С. 61-70.
2. Грэй Т. Элементы: путеводитель по периодической таблице. М.: АСТ Corpus, 2013. 240 с.
3. Фолджер Т. Семнадцать элементов: редкоземельные металлы // National Geographic Россия. 2011. № 93. С. 148-157.
4. Щипцов В.В. Роль и место технологической минералогии в высоких технологиях XXI в. // Прогнозная оценка технологических свойств полезных ископаемых методами прикладной минералогии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. С. 37-46.
5. Dinér P. Yttrium from Ytterby // Nature Chemistry. 2016. N 8. P. 192.
6. Jonsson E. Ytterby field trip notes. FODD meeting in Uppsala, 28 of April 2017.

Щипцова Е.В., г. Петрозаводск

## МИНЕРАЛОГИЯ ТЕХНОГЕНЕЗА 2017

*Организаторы и участники рассказывают о ежегодном XVIII всероссийском научном семинаре «Минералогия техногенеза 2017», прошедшем в г. Миассе 22-25 июня 2017 г. Институты Кольского НЦ РАН и Кольское отделение РМО неизменно участвуют в этом ярком научном мероприятии.*

XVIII научный семинар «Минералогия техногенеза 2017» состоялся 22-25 июня 2017 г. в Миассе на базе Лаборатории минералогии техногенеза и геоэкологии Института минералогии УрО РАН. Мероприятие прошло под эгидой Комиссии по современному минералообразованию при поддержке Ильменского, Уральского, Кольского,

Сыктывкарского и Читинского отделений РМО. Научную, культурную и экскурсионную программу, издание материалов обеспечили сотрудники группы минералогии техногенеза ИМин УрО РАН.

Работа проходила по следующим секциям: Пленарная секция: общие вопросы минералогии техногенеза. I. Разнообразие объектов минерало-