



Уральское отделение  
Российской академии наук  
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОХИМИИ

Центр  
Коллективного  
Пользования  
ГЕОАНАЛИТИК



г. Екатеринбург  
2018

## Общие сведения

ЦКП «Геоаналитик», созданный в 2006 г. на базе лаборатории физико-химических методов исследования минерального вещества ИГГ УрО РАН, - междисциплинарный исследовательский центр, оснащенный современным аналитическим оборудованием и разнообразными методиками, которые позволяют получать количественную информацию о химическом (элементном и изотопном) и фазовом составе, параметрах кристаллической и электронной структуры, типе и концентрации дефектов решетки, оптических свойствах проб - горных пород и минералов, почв, грунтов, донных отложений, руд, продуктов их обогащения и переработки, природных и питьевых вод, а также синтетических соединений, техно- и биогенных объектов. Аналитическое оборудование ЦКП размещено в специализированных помещениях общей площадью порядка 1000 кв.м, оснащенных системами приточно-отточной вентиляции, климат-контроля и др., в том числе оборудование для химического разложения, хроматографического разделения и последующего исследования микроэлементного и изотопного состава проб проводится в блоке чистых помещений класса ИСО 6 и 7 общей площадью порядка 600 кв.м.

### Направления работы ЦКП

- Аналитическое обеспечение фундаментальных и прикладных исследований в области наук о Земле в уральском регионе.
- Выполнение международных, федеральных и региональных инициативных проектов и программ.
- Развитие (усовершенствование), апробация и презентация аналитических методик.
- Обучение студентов, аспирантов и стажеров, повышение



#### **Руководитель**

академик РАН Вотьяков Сергей Леонидович

Тел. 8-343-2879013

E-mail: [votyakov@igg.uran.ru](mailto:votyakov@igg.uran.ru);

#### **Заместитель**

К.ф.-м.н., доцент Щапова Юлия Владимировна

Тел. 8-343-2879027

E-mail: [Shchapova@igg.uran.ru](mailto:Shchapova@igg.uran.ru)

Сайт: [www.geoanalyst.igg.uran.ru](http://www.geoanalyst.igg.uran.ru)

## Кадры, структура, контакты

23 сотрудника, 10 - в возрасте до 35 лет, академик РАН, 5 кандидатов наук, 3 аспиранта, 6 групп, работающих в следующих направлениях: Электронно-зондовый микроанализ и электронная микроскопия.

Рентгенофлуоресцентный, атомно-эмиссионный и атомно-абсорбционный анализ.

Рентгеноструктурный и термический анализ.

Микроэлементный масс-спектрометрический анализ.

Изотопный масс-спектрометрический анализ и геохронология.

Физика и спектроскопия минералов, компьютерное моделирование структуры и свойств минералов.



Аввакумова  
Галина  
Аркадьевна



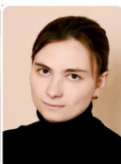
Стреленка  
Мария  
Владимировна



Михеева  
Анна  
Валерьевна



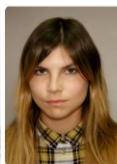
Шапова  
Юлия  
Владимировна



Лепеха  
Светлана  
Васильевна



Зайцева  
Мария  
Владимировна



Панкрушина  
Елизавета  
Алексеевна



Рянская  
Анастасия  
Дмитриевна



Татарина  
Людмила  
Алексеевна



Чередиченко  
Надежда  
Владимировна



Горбунова  
Надежда  
Петровна



Дерюгина  
Любовь  
Климентьевна



Замятин  
Дмитрий  
Александрович



Гуляева  
Тамара  
Яковлевна



Петрищева  
Валентина  
Георгиевна



Галахова  
Ольга  
Львовна



Неупокоева  
Галина  
Сергеевна



Киселева  
Дарья  
Владимировна



Солошенко  
Наталья  
Геннадьевна

Адрес: 620016, Екатеринбург, ул. Академика Вонсовского, 15

Тел.: 8-343-2879013, 8-343-2879027

E-mail: [Votyakov@igg.uran.ru](mailto:Votyakov@igg.uran.ru), [Shchapova@igg.uran.ru](mailto:Shchapova@igg.uran.ru)

Сайт: [www.geoanalyst.igg.uran.ru](http://www.geoanalyst.igg.uran.ru)

## Фундаментальные исследования

В 2007-2018 гг. в ЦКП выполнялись исследования, поддержанные рядом инициативных грантов и госконтрактов.

Грант РФФИ 07-05-00097 «Фосфатные и карбонатные биоминералы: наноструктура и микрогеохимия по данным ASM и LA ICP-MS методик, компьютерное моделирование свойств, геоэкологические реконструкции обстановки ранней Земли»;

Грант РФФИ 11-05-00035 «Минералы-геохронометры: кристаллохимия, микроструктура, временная эволюция U-Th-Pb-системы как основа для развития методики химического датирования»;

Грант РФФИ 14-05-00172 «Гетерогенные цирконы и монациты: спектроскопические и микронзондовые данные как основа для анализа их метамиктного состояния и использования в геохронометрии».

Грант РФФИ 17-05-00618\17 «Изотопные Lu-Hf- и U-Pb-системы, радиационно-термическая история и датирование гетерогенных цирконов по данным масспектрометрии и микронзонда: методические вопросы, использование при петрогенетических построениях».

Грант РФФИ 8-05-01153 «Структура и радиационные дефекты кислородной подрешетки U, Th-содержащих силикатных и фосфатных минералов: РФЭС, РЭС, рамановская, ЭПР-спектроскопия и оценки сохранности геохронологической информации»

Грант РНФ 16-17-10283 «Оптическая микроспектроскопия минералов-концентраторов редкоземельных и радиоактивных элементов: температурные эффекты лазероиндуцированной люминесценции и рамановского рассеяния, влияние структурного и химического беспорядка».

Госконтракт 02.740.11.0727 с Минобром РФ в рамках программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» «Геохимия, микроструктура и радиационные явления в минералах-концентраторах радиоактивных элементов как основа для петрогенетических, геохронологических и материаловедческих приложений».

Госконтракт в рамках научной школы НШ-9723.2016.5 «Биоминеральные образования: развитие методов материаловедческих исследований, приложения в фундаментальной медицине и науках о Земле (в палеоэкологических реконструкциях)».



## Прикладные исследования

В 2006-2018 гг. в ЦКП выполнялись различные междисциплинарные и хозяйственные работы с Институтом минералогии УрО РАН, Институтом геологии Коми НЦ, Институтом экологии растений и животных, Институтом высокотемпературной электрохимии, Ильменским государственным заповедником, Геологическим институтом КНЦ РАН (Апатиты); Институтом геологии УНЦ РАН (Уфа); Уральским федеральным университетом; Уральской горно-геологической академией; Уральской медицинской академией; Казанским университетом; Пермским университетом; ФГУП «ВИМС» (Москва), Уральским лесотехническим университетом, ОАО «Уральская геологосъемочная экспедиция»; ФГУП «УНИХИМ»; Российским федеральным ядерным центром института технической физики, Институтом криминалистики ФСБ; ОАО «Эверест» (Полевской); ОАО «Башкиргеология» (Уфа), ОАО «Тюменская центральная лаборатория», ООО «Проектно-изыскательская компания "НОРД"», ООО «Стройизыскания», ОАО «Тюменская центральная лаборатория», ОАО «Уральский финансовый холдинг» и др.



**С 2006 г. ЦКП принимает участие в Международной программе круговых лабораторных испытаний GeoPT, организованной Международной ассоциацией геоаналитиков (IAG).**

ЦКП оснащен испытательным оборудованием, аттестованными и поверенными средствами измерений, располагает фондом нормативных документов для проведения испытаний, включенных в область аккредитации.

ЦКП входит в состав Испытательного центра веществ, материалов и продукции nanoиндустрии ФГУП «Уральский научно-исследовательский институт метрологии».

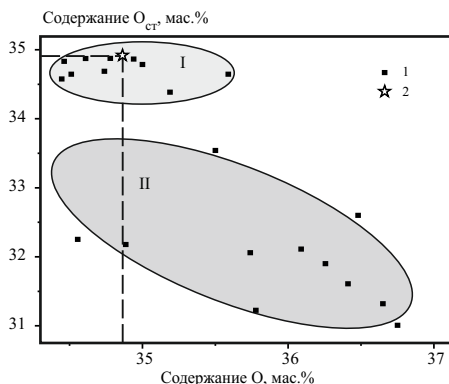
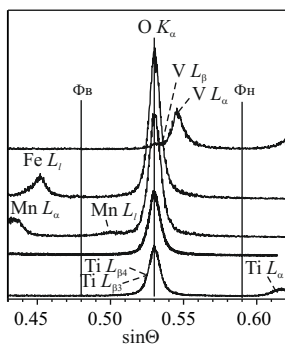
ЦКП аккредитован (2011-2016 гг.) Федеральным агентством по техническому регулированию на техническую компетентность при проведении качественного и количественного анализа химического и фазового состава горных пород и минералов различного состава, почв, грунтов, донных отложений, кварцевого сырья, железных, титано-магнетитовых, марганцевых, железо-ванадиевых, сульфидных и хромитовых руд и продуктов их обогащения и переработки, природных и питьевых вод (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.516761).

## Электронно-зондовый микроанализ

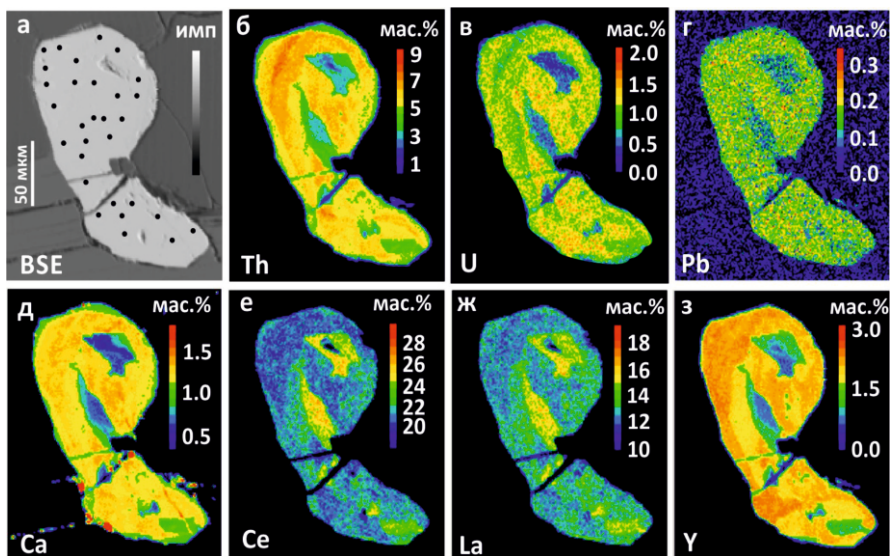
Микроанализатор Cameca SX 100 с пятью волновыми спектрометрами и энергодисперсионной приставкой Bruker XFlash 6; установки для напыления углеродного и металлического покрытий Q150TES фирмы Quorum Technologies: количественное определение (с содержанием от 0,01 до 100 мас.%) элементов до U, в том числе легких - O, F, Be и др. в пробах с локальностью до 1 мкм; элементное картирование зерен; регистрация SE-, BSE- и CL-изображений зерен; анализ их текстуры, выделения зон и минеральных включений с применением JPD-методики (Joint Probability Distribution [Вотьяков и др., 2014; Zamyatin et.al., 2017]), локальное неизотопное химическое датирование U-Th-минералов [Вотьяков и др., 2011].



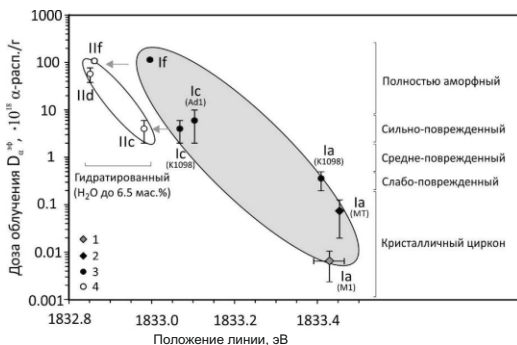
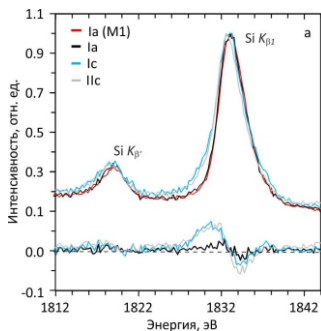
**Электронно-зондовый микроанализатор Cameca SX 100**



**Рентгеноэмиссионные спектры в области линии  $O K_{\alpha}$  металлического V,  $Fe_2O_3$ , родонита, циркона и  $TiO_2$  (сверху вниз); кристалл-анализатор LPCO. Вариации в зонах I-II циркона метаморфитов измеренного содержания кислорода (O) и рассчитанного ( $O_{ст}$ ) из условия стехиометрии матрицы.**

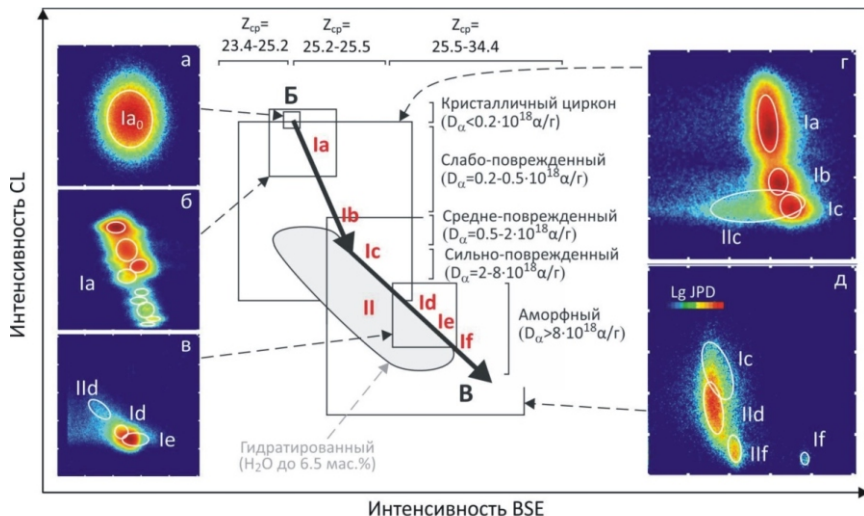


**BSE-изображение (а) и карты распределения Th, U, Pb (б-г) в зерне монацита Адуйского массива (Средний Урал) [Замятин и др. Доклады РАН. 2017]**

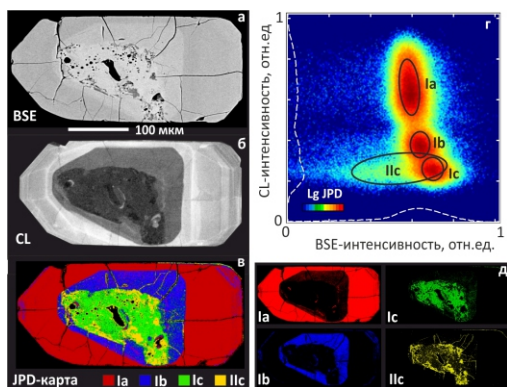


**Рентгеновские эмиссионные Si  $K_{\beta}$ -спектры (вверху) проб циркона различной степени метамиктности (1-6) и их отклонение от спектра кристаллического образца I (внизу) (а); соотношение положения линии Si  $K_{\beta}$  и дозы  $\alpha$ -облучения (б) в пробах циркона [Zamyatin, Shchapova, Votyakov, Nasdala, Lentz. Mineral. and Petrol. 2017]**

## JPD-анализ BSE- и CL-изображений зерен минералов



### Обобщенная диаграмма соотношения интенсивностей BSE vs. CL в цирконах

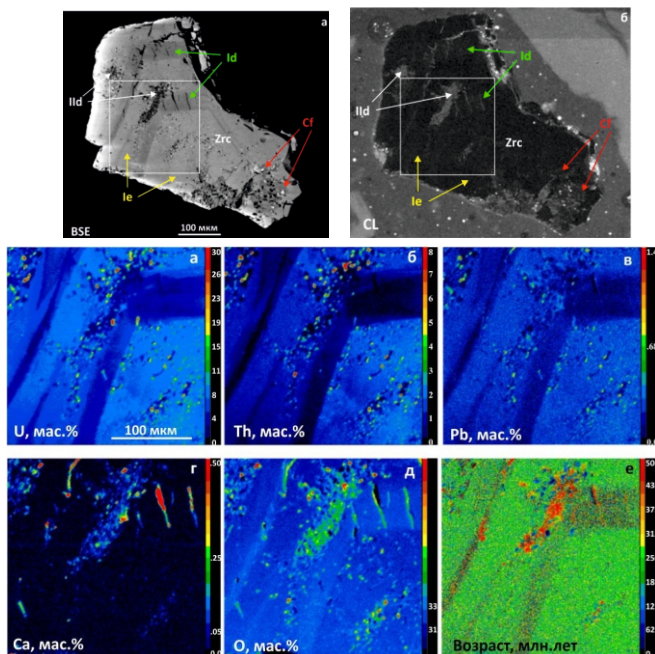


Данные JPD-анализа BSE и CL-изображений как первичная информация о текстуре, структурном состоянии и химическом составе минерала

BSE- (а), CL-изображения зерна циркона метаморфитов Мугоджар (б), JPD-карта зональности (в), JPD-гистограмма (г), изображения зон Ia-с и II (д), выделенных на JPD-гистограмме [Вотьяков, Замятин, Щапова и др. Докл. РАН. 2014]

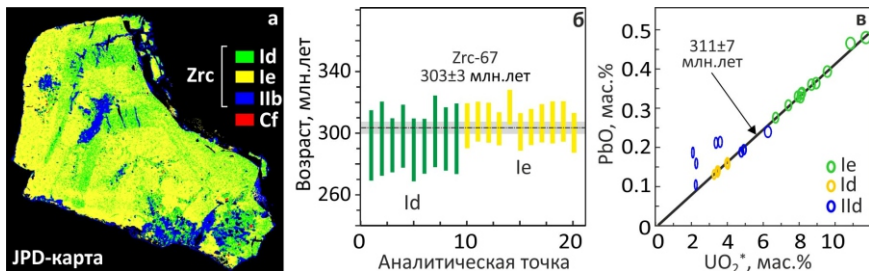
## Химическое микрозондовое датирование U, Th-минералов

Химическое неизотопное микрозондовое датирование - низкзатратный экспресс-метод определения возраста U-Th-минералов с высоким (до 1 мкм) пространственным разрешением; основан на усовершенствованной методике (патент № 2457468 «Способ электронно-микрозондового химического U-Th-Pb-датирования минералов-концентраторов радиоактивных элементов»); может быть использован при условии, что содержание нерадиогенного Pb в минерале пренебрежимо мало и его U-Th-Pb-система закрыта [Вотьяков и др. Кристаллохимия и физика радиационно-термических эффектов в U-Th-содержащих минералах как основа для их химического микрозондового датирования. Монография. 2011].

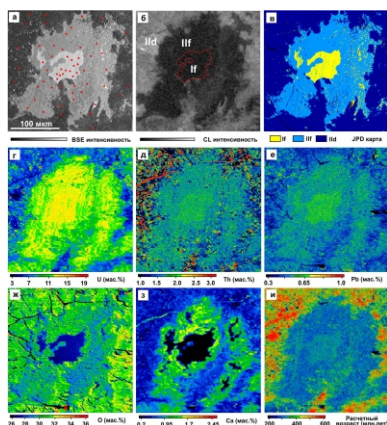


**BSE- и CL-изображения (а, б) циркона пегматитов Шарташского массива (Урал). Квадрат – участок картирования по содержанию U, Th, Pb, Ca, O и значения «возраста» циркона. Cf - включения коффинита; зоны Ild, Id, Ie выделены по данным JPD-анализа [Вотьяков, Прибавкин, Замятин. Доклады РАН. 2016].**

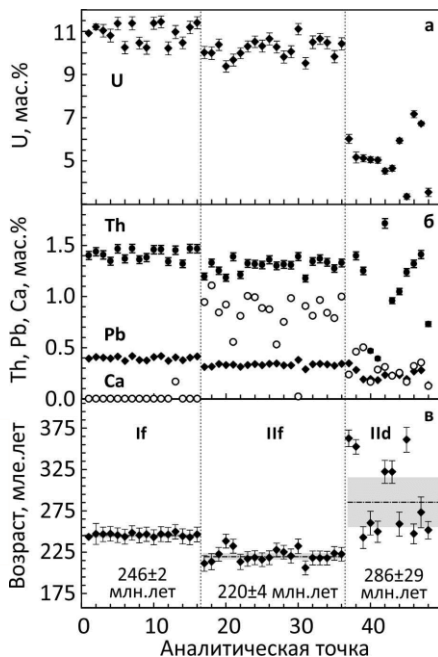




**JPD-карта зональности (а), вариации значений возраста в цирконе пегматов Шарташского массива и диаграмма  $PbO$  vs.  $UO_2^*$ . Эллипсы – значения погрешности  $2\sigma$ .**



**BSE-, CL-изображения участка циркона пегматов Адуйского массива (а,б); JPD-карта с зонами If и IIb, IIд (в); карты распределения элементов U, Th, Pb, O, Ca (г–з) и карта распределения значений возраста (и)**



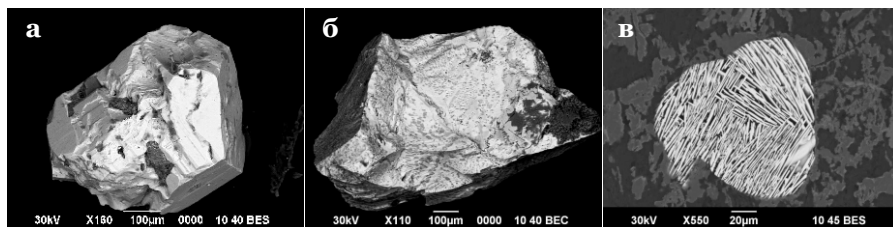
**Вариации содержания U, Th, Pb, Ca и возраста в цирконе пегматов Адуйского массива. Штрих-пунктир – средневзвешенное значение, серые прямоугольники – разброс значений в интервале с неопределенностью  $2\sigma$  [Zamyatin, Shcharova, Votyakov, Nasdala, Lentz. Mineral. and Petrol. 2017].**

## Электронная микроскопия

Сканирующий электронный микроскоп JSM-6390LV фирмы Jeol с энергодисперсионной приставкой INCA Energy 450 X-Max 80 и EBSD-приставкой NordlysNano Oxford Instruments: съемка микрообъектов (максимальное увеличение до 300 000, режимы работы - высоко- и низковакуумный для анализа биологических объектов); анализ их псевдообъемных 3D-изображений с использованием программного пакета Mex 5.1; полуколичественное (качественное) определение элементов от Na до U с содержанием от 0.1 до 100 мас.%; получение картин дифракции обратно-рассеянных электронов.



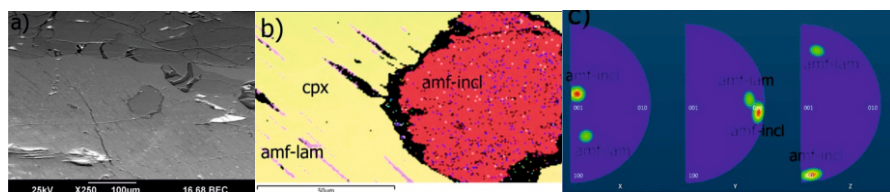
Сканирующий электронный микроскоп JSM-6390LV



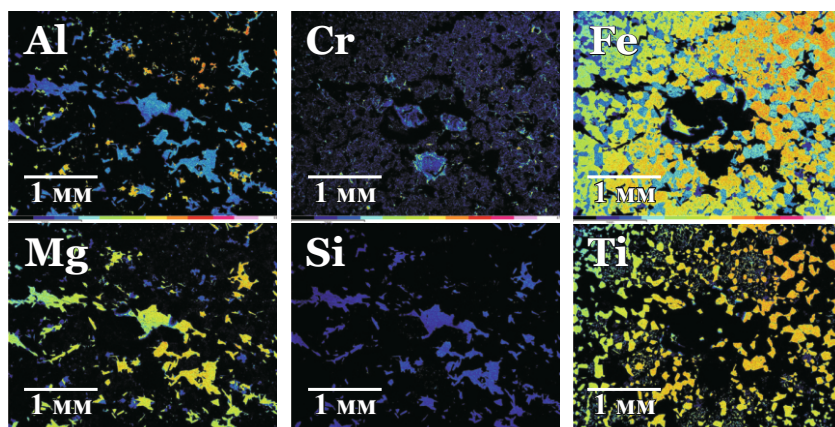
Изображения в отраженных электронах кристаллов платины и хромита (а, б) и зерна циркона (в)



**Микродифракционная картина Кикучи циркона метаморфитов Мугоджар, карты ориентаровок кристаллитов циркона и включений кварца, распределение ориентировок на обратных полюсных фигурах [Замятин, Щапова, Вотяков. Ежегодник ИГГ, 2014, 2015]**



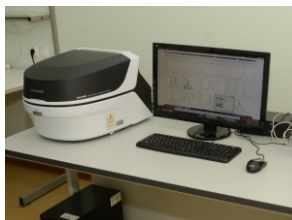
**BSE-изображение включений форстерита вмещающей матрицы клинопироксена (а), карта относительных ориентаций отдельного включения оливина (б), обратные полюсные фигуры по данным дифракции обратно-рассеянных электронов**



**Карты распределения содержания элементов в магнетит-ильменитовых рудах**

## Рентгенофлуоресцентный анализ

Рентгенофлуоресцентные энергодисперсионные спектрометры EDX900-HS и EDX-8000 фирмы Shimadzu, спектрометры рентгенофлуоресцентные многоканальные СРМ-25 фирмы Буревесник и СРМ-35 фирмы Научприбор, спектрометры рентгенофлуоресцентные волновые XRF 1800 фирмы Shimadzu и VRA-30 фирмы Carl Zeiss: неразрушающий, количественный, полуколичественный и оперативный качественный анализ твердофазных материалов с определением пороодообразующих и примесных элементов от Na до U с содержанием от 0.1 до 100 мас.% с локальностью до 1 мм.



**Энергодисперсионный EDX-800HS и волновые спектрометры**



**Многоканальные волновые спектрометры CPM-25 и CPM-35**



## Рентгеноструктурный и термический анализ

Дифрактометр XRD-7000 фирмы Shimadzu с поликапиллярной оптикой и высокотемпературной приставкой НТК-1200N фирмы Anton Paar для работы в диапазоне температур 25-1500°C: исследование структуры кристаллических объектов, определение фазового состава поликомпонентных проб - количественный бесстандартный полнопрофильный анализ дифрактограмм порошковых разориентированных проб с использованием программного комплекса SiroQuant с встроенной базой данных и пересчетом содержания минералов в оксиды с контролем рентгенофлюоресцентным методом, анализ соотношения глинистых минералов на основе изучения ориентированных препаратов [Рянская, Гуляева, 2017], анализ степени совершенства образцов и др.

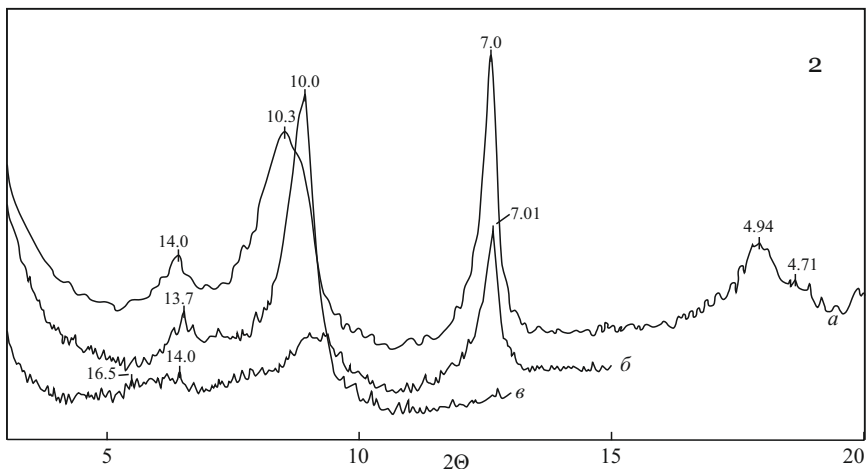
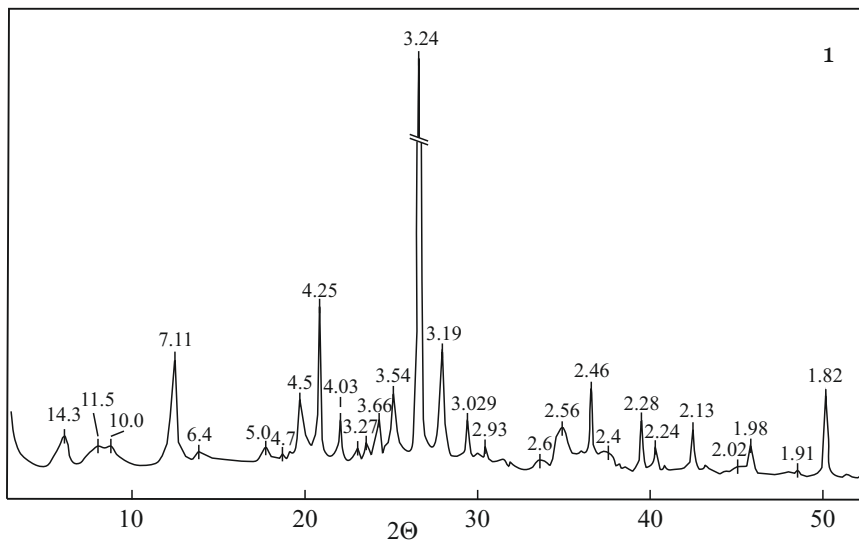


Термический анализатор Diamond TG-DTA фирмы Perkin Elmer: определение термических характеристик пород и минералов (массой более 3-10 мг) в диапазоне 25-1500°C, изучение окисления, дегазации и выделения ОН-группировок и воды и др.

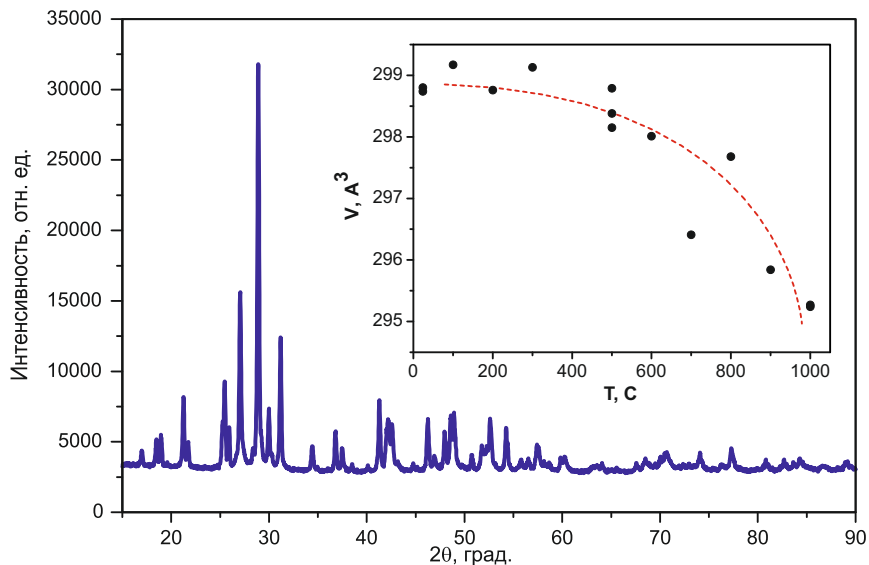


**Дифрактометр XRD-7000 и термический анализатор  
Diamond TG-DTA**

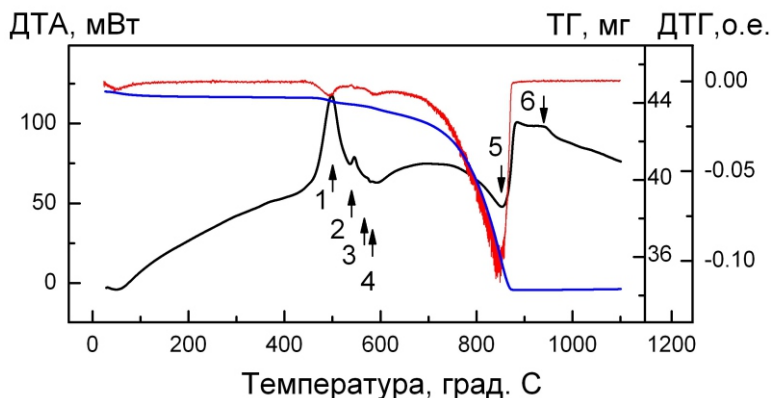




**Дифрактограммы типичного образца глинистых пород кодинской свиты (верхний девон, Средний Урал): 1 – исходное состояние; 2а – ориетированный образец; 2б – после насыщения этиленгликолем; 2в – после прокаливания при 600 °С [Мельничук, Рянская. Литосфера. 2017]**



**Порошковая рентгенограмма монацита гранитоидов Адуйского массива, Урал. На врезке – уменьшение объема элементарной ячейки монацита при отжиге от 100 до 1000°C, вызванное залечиванием радиационных повреждений.**



**Дифференциальная термогравиметрическая, термическая и термогравиметрическая кривые (красная, черная, синяя) полиминеральной пробы осадков. Стрелки - термические эффекты; 1, 2 – разложение пирита; 3 -  $\alpha$ - $\beta$ -переход кварца; 4-5 – дегидратация глинистых минералов и диссоциация кальцита; 6 – кристаллизация аморфных продуктов разложения каолинита.**

## Блок чистых помещений для микроэлементного и изотопного анализа

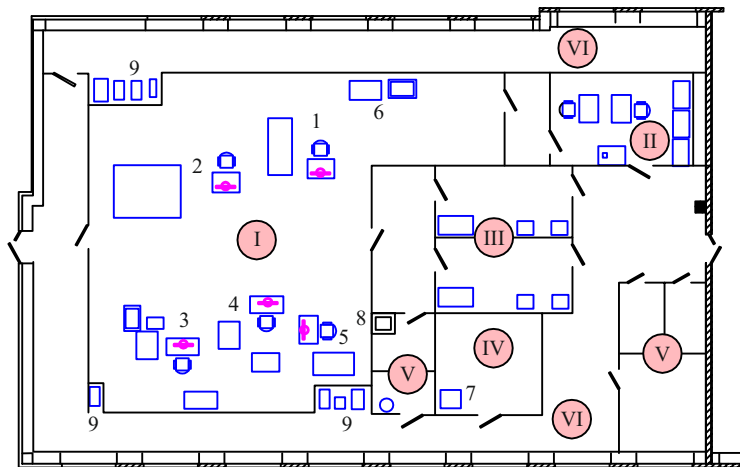


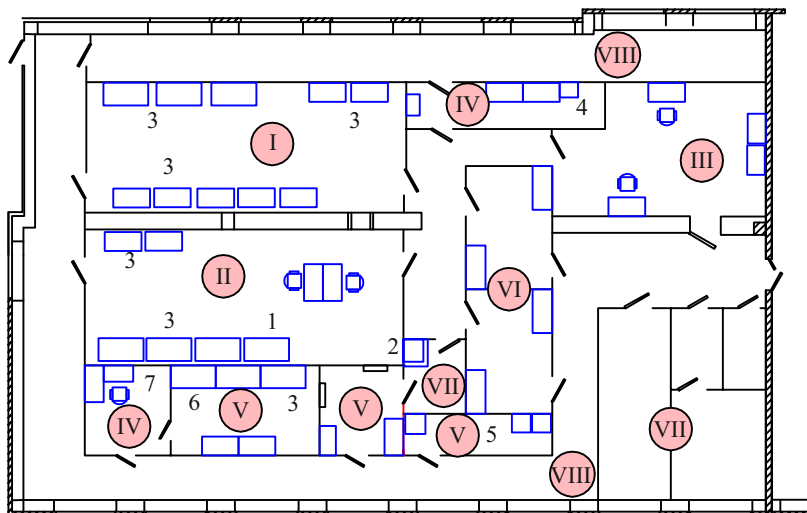
Схема помещений первого этажа блока чистых помещений класса ИСО 7 с масс-спектрометрическим оборудованием:

I - зал масс-спектрометров; II - помещение для обработки данных;  
III - санпропускники; IV - помещение для газификатора и подачи газов; V - технические помещения; VI - коридоры.

1-4 - масс-спектрометры Triton Plus, Neptune Plus, Elan 9000, NexION 300S с приставками для лазерной абляции NWR 213 и Ur266 Macro;  
5 - спектрометр Optima 8000; 6 - ламинарный шкаф с системой нанесения проб на ленточки масс-спектрометра; 7 - газификатор; 8 - подъемник на 2-3 этажи; 9 - системы охлаждения и компрессоры.



Зал масс-спектрометров блока чистых помещений



**Схема помещений второго и третьего этажа блока чистых помещений класса ИСО 6 с оборудованием для подготовки проб к микроэлементному и изотопному анализу:**

**I, II - помещения для химического разложения и хроматографической подготовки проб; III - помещения для обработки данных; IV - весовая; V - помещение для вскрытия проб; VI - санпропускники; VII - технические помещения; VIII - коридоры.**

**1 - системы очистки кислот Berghof и воды Savillex, установка деионизации воды Millipore; 2 - передаточные окна и подъемник на 1-3 этажи БЧП; 3 - ламинарные и вытяжные шкафы; 4 - дистилляторы; 5 - шкафы для химреактивов; 6 - установки автоклавного вскрытия АНКОН и Berghof, микроволновые печи ПЛП-01 и MWS 3+ и 4+; 7 - весы аналитические с антистатическим комплектом.**



**Лаборатории в блоке чистых помещений с оборудованием для подготовки проб к микроэлементному и изотопному анализам**

## Подготовка проб для микроэлементного анализа

Проводится в лабораторных помещениях класса чистоты ИСО 6, оснащенных автоклавной и СВЧ техникой для вскрытия пород, минералов, руд, техногенных продуктов, металлов и сплавов (СВЧ-печи ПЛП-01 Гефест фирмы Урал-Гефест, системы микроволнового разложения Speedwave MWS-3+ и MWS-4+ фирмы Berghof, автоклавные модули пробоподготовки Berghof и МКП-05 фирмы Анкон-АТ и др.).

Используются сверхчистые реактивы (кислоты, очищенные при температуре ниже температуры кипения в специализированных аппаратах фирмы Berghof; деионизованная вода, полученная с использованием установки Sartorius) и лабораторная посуда, изготовленная из PTFE и полипропилена.

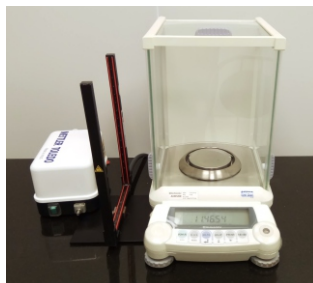




## Подготовка проб для изотопного анализа

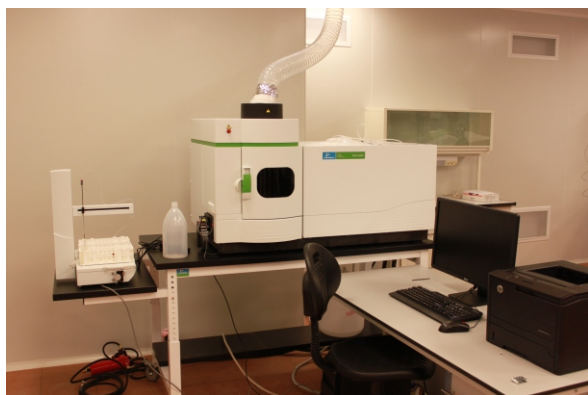
Проводится в лабораторных помещениях класса чистоты ИСО 6, оснащенных нагревательными плитами фирм Экрос и ТомьАналит, программируемым электрическим шкафом фирмы SNOL для вскрытия проб, антистатическим комплектом для весов Mettler Toledo и др.

Используются сверхчистые реактивы (вода и кислоты, очищенные дважды при температуре ниже температуры кипения в специализированных аппаратах фирмы Berghof и Savillex) и лабораторная посуда, изготовленная из PTFE и PFA фирм Nalgene и Savillex.



## Атомно-эмиссионный и атомно-абсорбционный анализ

Атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой Optima 8000 фирмы Perkin Elmer и атомно-абсорбционный спектрометр высокого разрешения с источником непрерывного спектра, пламенной и электротермической ионизацией атомов ContrAA 700 фирмы Analytik Jena: высокоточное определение следовых (до ppm) содержаний РЗЭ и рассеянных элементов (Li, B, Be, Sc, Ti, Cr, Ni, V, Co, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sb, Cs, Ba, Hf, Ta, Pb, Th, U) в растворах пород и минералов; высокая производительность.



**Спектрометр  
Optima 8000**



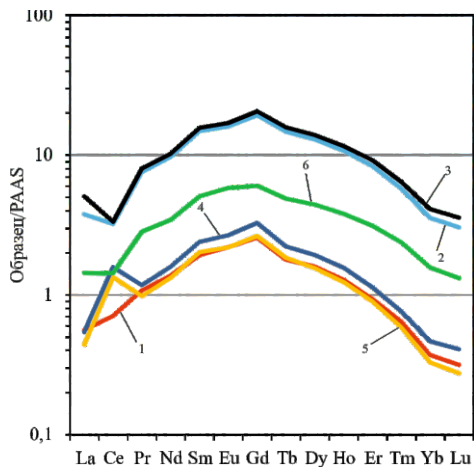
**Спектрометр  
ContrAA 700**

## Микроэлементный масс-спектрометрический анализ

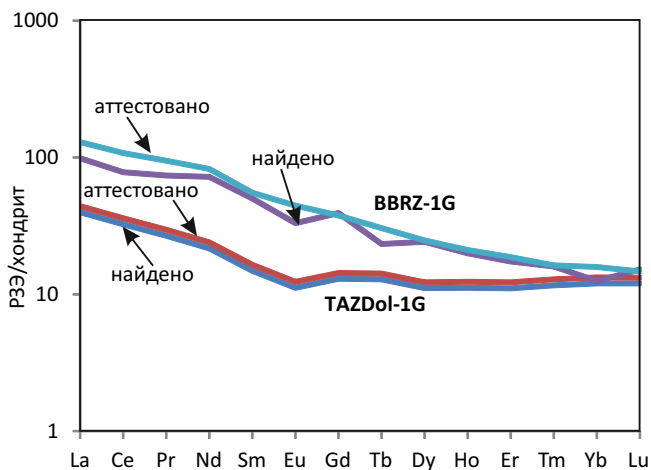
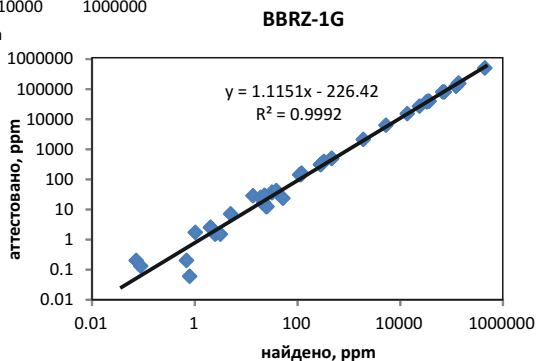
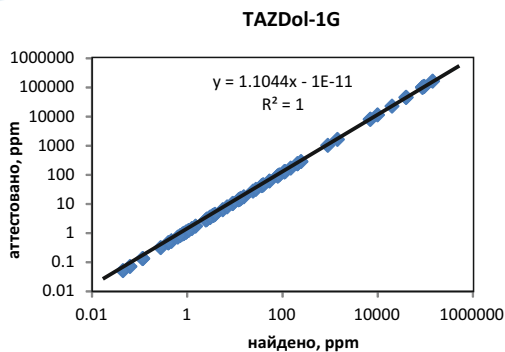
Квадрупольный масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой ELAN 9000 и приставкой для лазерной абляции проб UP266 Масго фирмы New Wave Research: определение следовых содержаний элементов с массой 2-270 а.е.м. в жидких и твердофазных пробах; одновременный анализ большой выборки элементов.



**Масс-спектрометр ELAN 9000 и приставка Up266 Масго**



**Распределения РЗЭ в конодонтах верхнего девона Южного Урала**



**Содержание микроэлементов в стандартах по данным масс-спектрометрического анализа с лазерной абляцией проб. Долерит TAZDol-1G (Университет Тасмании), базальт BBRZ-1G (Университет Самраиас, Бразилия). Кратер 70 мкм, стандарт для градуировки ВВМ-1 (базальт, USGS).**

## U-Pb-датирование и изучение Lu-Hf изотопного состава циркона

Масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой NexION 300S и приставкой для лазерной абляции проб NWR213 фирмы New Wave Research: U-Pb-датирование зерен циркона из кратера диаметром 25 мкм и выше.

Мультиколлекторный масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой Neptune Plus фирмы Thermo Fisher Scientific с приставкой для лазерной абляции NWR213: исследование Lu-Hf изотопного состава циркона.

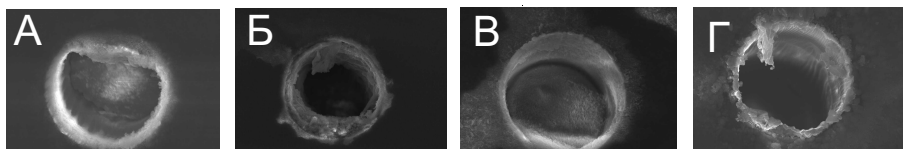


**Масс-спектрометр NexION 300S с приставкой NWR213**

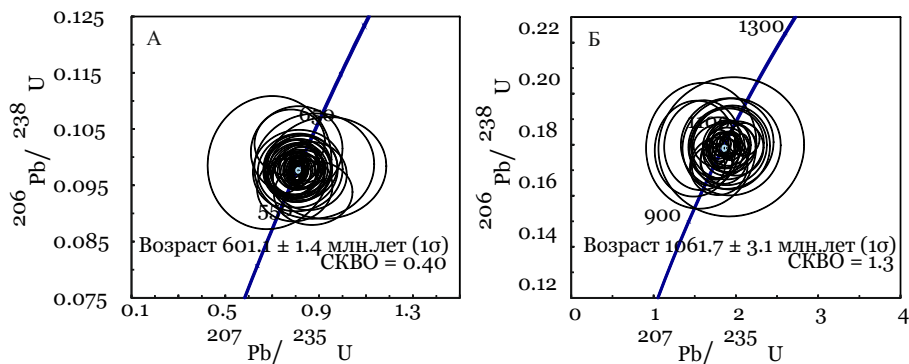


**Масс-спектрометр Neptune Plus**



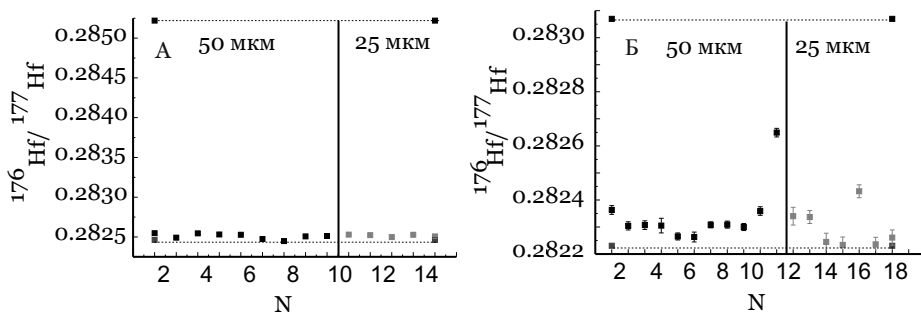


Типичные кратеры в стандартах циркона 91500 (А,Б), GJ-1 (В,Г) после лазерной абляции при различных параметрах лазерного пучка: А, В -  $P=11$  Дж/см<sup>2</sup>,  $v=10$  Гц,  $d=50$  мкм; Б, Г -  $21$  Дж/см<sup>2</sup>,  $20$  Гц,  $50$  мкм

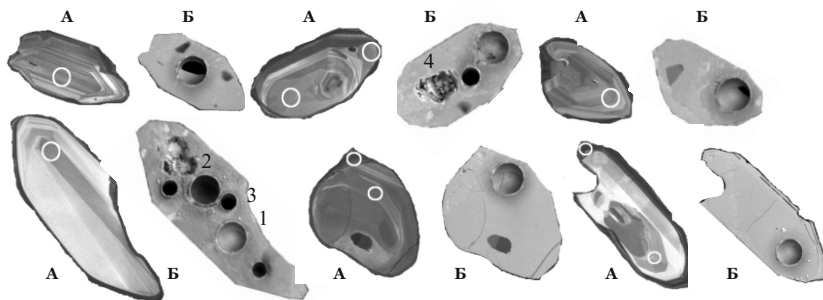


$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  vs.  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  для стандартов GJ-1 (А), 91500 (Б).

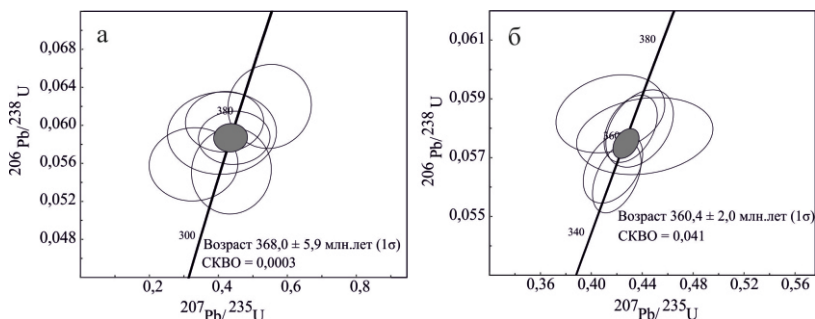
Незалитый эллипс - значения, соответствующие единичному измерению кратера; синий - средневзвешенные значения; сплошная линия - конкордия; погрешность  $1\sigma$ ; обработка данных с использованием программ GLITTER V.4.4 и Isoplot 4.15.



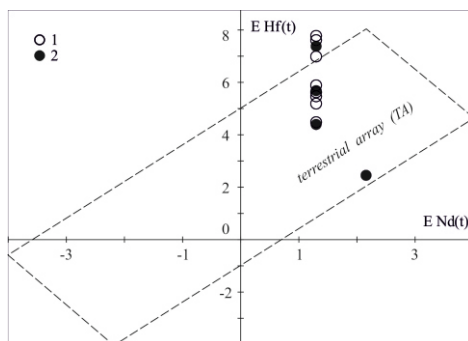
Вариации значений изотопного отношения  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  в стандартах GJ-1 (А), 91500 (Б) при диаметре кратера 50 и 25 мкм. Пунктир - значения  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  (база данных GeoREM); N - номер кратера; обработка Lu-Hf данных с использованием макроса Hf-INATOR Excel.



**CL- и BSE-изображения (а, б) зерен циркона NP-47 из гранита Неплюевского плутона (Южный Урал) после ЛА-ИСП-МС-анализа: 1 – U-Pb-датирование, 2, 3 – анализ Lu-Hf изотопной системы (кратер 50 и 25 мкм) [Осипова, Зайцева, Вотьяков. Доклады РАН. 2018]**



**$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  vs.  $^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$  для циркона NP-47 Неплюевского плутона: а – данные ЛА-ИСП-МС, б – SHRIMP (ЦИИ ВСЕГЕИ)**



**$\epsilon\text{Hf}$  vs.  $\epsilon\text{Nd}$  для гранита NP-47 Неплюевского плутона: 1, 2 – данные ЛА-ИСП-МС и SHRIMP (ЦИИ ВСЕГЕИ)**

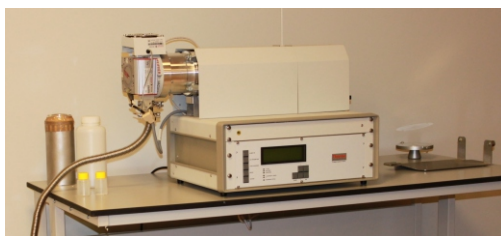
## Масс-спектрометрический анализ изотопного состава Rb, Sr, Sm, Nd и Pb

Мультиколлекторный термоионизационный масс-спектрометр Triton Plus фирмы Thermo Fisher Scientific: анализ Sm-Nd, Rb-Sr-изотопного состава пород и минералов с использованием метода изотопного разбавления.

Мультиколлекторный масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой Neptune Plus фирмы Thermo Fisher Scientific: анализ Sm-Nd, Sr и Pb-изотопного состава пород и минералов; для Sm-Nd-системы с использованием метода изотопного разбавления; для Sr - методом бреккетинга; для Pb - с применением Tl-нормализации по методике



**Масс-  
спектрометр  
Triton Plus**

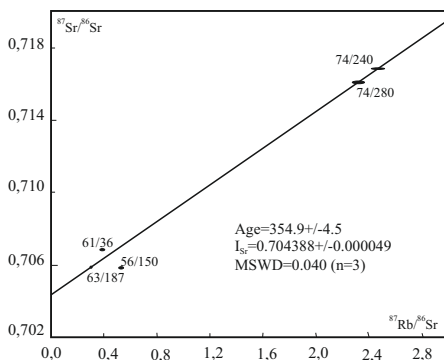


**Ламинарный шкаф с системой нанесения  
проб на ленты масс-спектрометра и  
дегазатор лент**

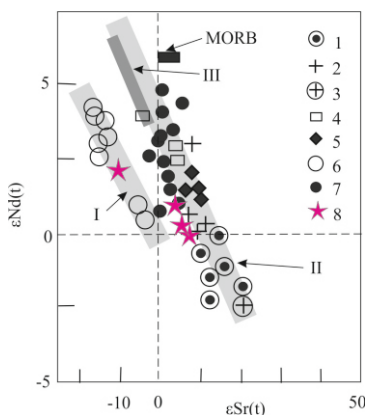
**Содержание и изотопные характеристики Rb, Sr, Sm, Nd в гнейсах [Ферштатер, Бородина, Солошенко, Стрелецкая. Литосфера. 2015]**

Проба	Rb,ppm	Sr,ppm	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2s$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2s$	$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$	$\epsilon\text{Sr}$
56/150	127	256.27	0.636	0.010	0.706495	0.000030	0.703324	-10.9
61/36	62.37	434.87	0.415	0.006	0.707067	0.000033	0.705000	12.9
63/187	74	705.90	0.319	0.005	0.705960	0.000033	0.704367	3.9
74/240	136.46	160.16	2.467	0.037	0.716866	0.000008	0.704573	6.9
74/280	161.06	201.03	2.319	0.035	0.716096	0.000057	0.704537	6.4

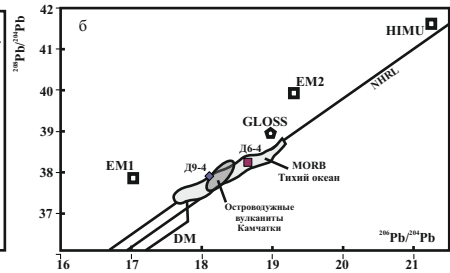
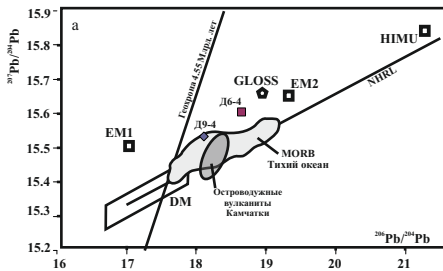
Проба	Sm, ppm	Nd, ppm	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\sigma$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\sigma$	$(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$	$\epsilon\text{Nd}$	T-DM Gol
74/240	3.63	20.74	0.10598	0.00011	0.512429	0.000013	0.512186	0.0	1021
74/280	3.49	20.30	0.10402	0.00008	0.512434	0.000009	0.512195	0.2	996
63/187	4.97	24.88	0.12069	0.00013	0.512543	0.000009	0.512266	1.5	996
56/150	3.74	21.24	0.10642	0.00021	0.512546	0.000018	0.512302	2.2	860



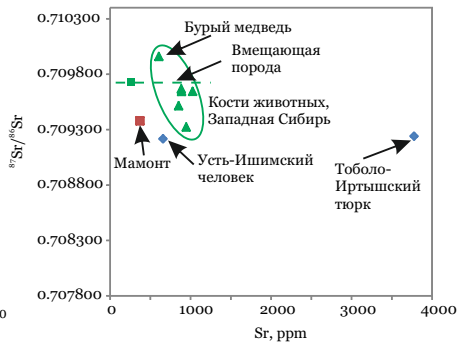
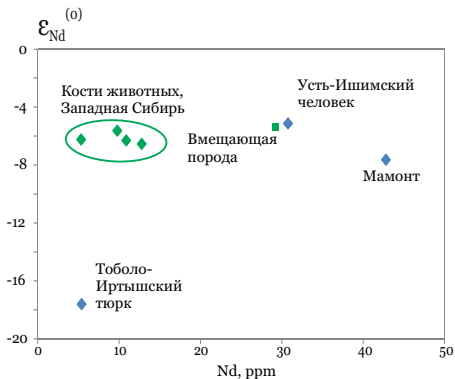
**$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  vs.  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  для гнейсов, вмещающих граниты в Кочкарском антиклинории (Южный Урал) [Ферштатер, Бородина, Солошенко, Стрелецкая. Литосфера. 2015]**



**$\epsilon\text{Sr}(t)$  vs.  $\epsilon\text{Nd}(t)$  для гранитоидов (1-7) и гнейсов (Южный Урал, 8). I - зона Главного Уральского разлома; II- северо-западный и юго-восточный островодужно-континентальные мегаблоки; III - Платиноносный пояс Урала**



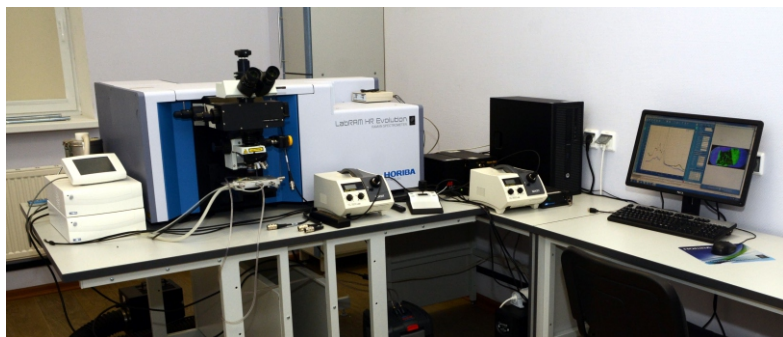
**Изотопный состав свинца в габбро (Д9-4) и тоналите (Д6-4) Ревдинского массива (Урал) [Берзин, Стрелецкая, 2014].**  
**DM, EM1, EM2, HIMU по [Zindler, Hart. 1986], NHRL - Northern Hemisphere Reference Line, MORB Тихого океана по [Plank, Langmuir. 1998], GLOSS - global subducted sediments (средний состав субдуцируемых осадков) по [White et al. 1987], островодужные вулканиты Камчатки по [Saha et al. 2005].**



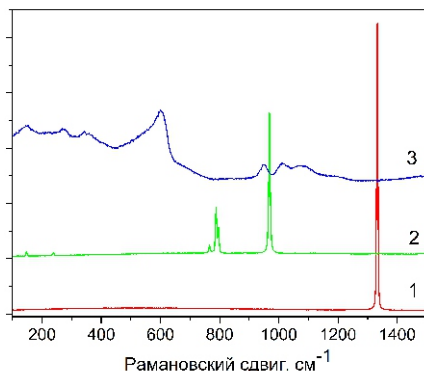
**Содержание и изотопный состав Nd и Sr в костных остатках древнего человека (палеолитического усть-ишимского и средневекового тоболо-иртышского), в костном детрите мамонта, оленя благородного и северного, бизона, бурого медведя, шерстистого носорога (местонахождения Западной Сибири и Печорского Приуралья) и в пробе смывов вмещающих грунтов с костей мамонтовой фауны [Стрелецкая и др. Металлогения древних и современных океанов. 2017].**

## Рамановская спектроскопия минералов

Спектрометр Horiba LabRam HR800 Evolution фирмы Horiba Scientific с микроскопом Olympus BX-FM и термостолком Linkam THMS 600 (решетки 1800 и 600 шт/мм, He-Ne и Ar лазеры - линии 633, 514 и 488 нм): получение и анализ рамановских спектров (спектров комбинационного рассеяния света) минералов, материалов, минеральных и газово-жидких включений с пространственным разрешением до 1 мкм и спектральным разрешением до  $0.8 \text{ см}^{-1}$  в диапазоне температур 78-873 К; идентификация фаз; исследование локальных особенностей структуры и состава минералов (деформации и напряжения, твердые растворы, структурное несовершенство, радиационные повреждения и др.), термических структурных преобразований и фазовых переходов; картирование зерен по параметрам рамановских спектров.

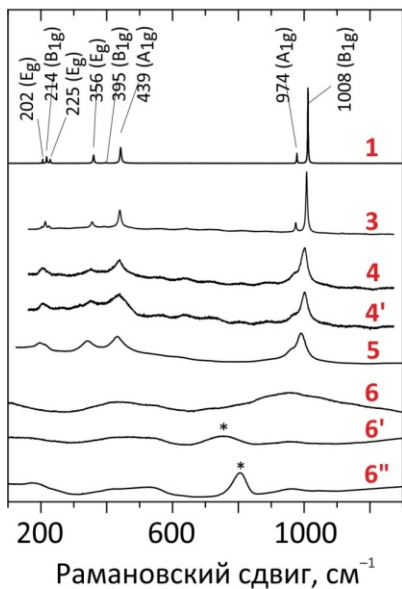


**Рамановский спектрометр Horiba LabRam HR800**

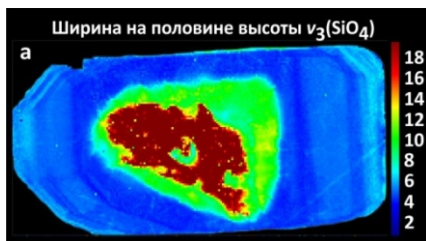


**Экспресс-идентификация  
твердых фаз для решения  
прикладных  
минералогических и  
геммологических задач:  
рамановские спектры алмаза  
(1) и его имитаций -  
муассанита SiC (2) и  
кубического ZrO<sub>2</sub>:Y (3).  
Возбуждение лазером с  
длиной волны 633 нм.**

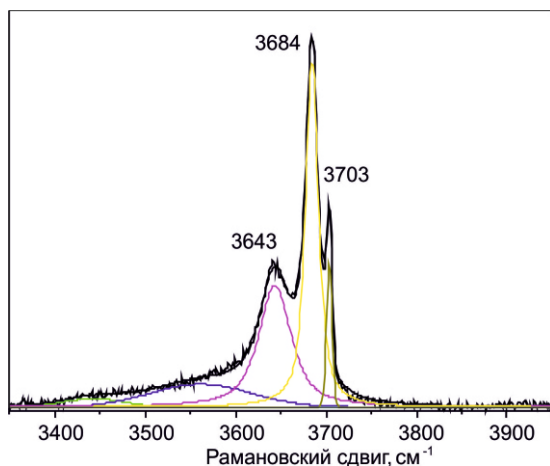




### Оценка степени метамиктности циркона по параметрам спектров рамановского рассеяния



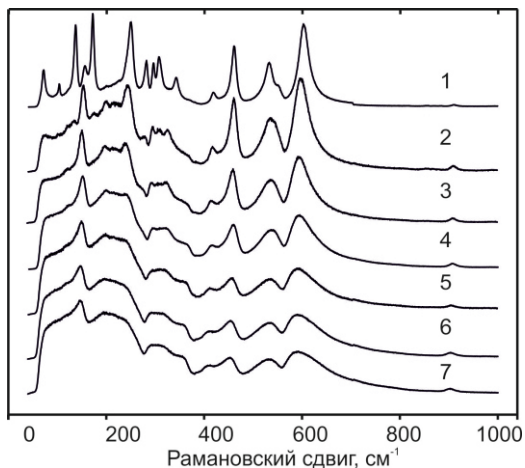
Спектры рамановского рассеяния в цирконах 1-6 с различной степенью метамиктности; карта распределения ширины линии в зерне циркона метаморфитов Мугоджар



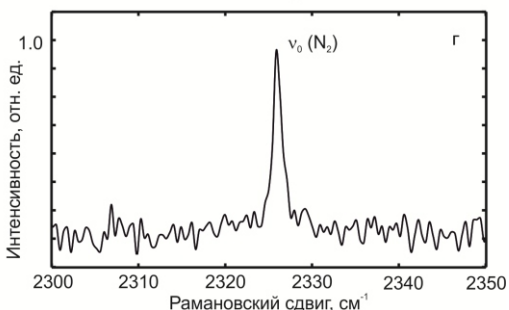
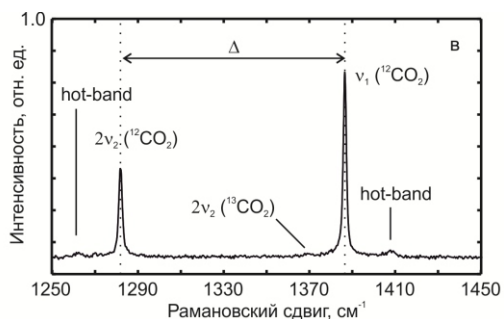
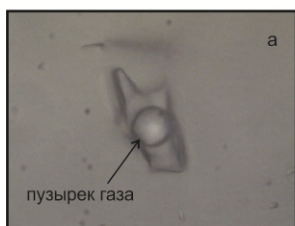
Идентификация полиморфной модификации на основе данных рамановского рассеяния

Рамановский спектр в «водной» области и его разложение на компоненты для lizardite в шлифе ультраосновной породы.

Идентификация полиморфной модификации на основе соответствия линий собственным колебаниям растяжения внутренних (3703) и внешних (3643 и 3684  $\text{cm}^{-1}$ ) OH-групп в структуре минерала. Возбуждение лазером с длиной волны 514 нм.



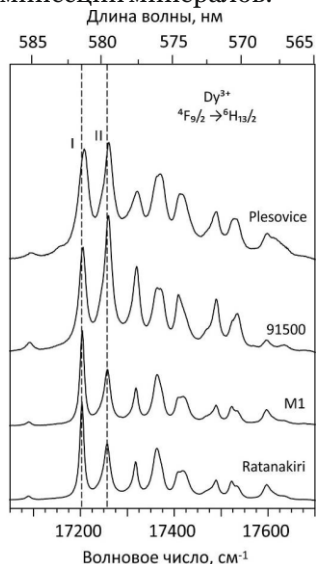
**Спектры рамановского рассеяния титанита Шабровского месторождения, Урал при разных температурах (1-7 - 25, 125, 205, 305, 405, 505 и 585 °С), иллюстрирующие фазовый переход в минерале**



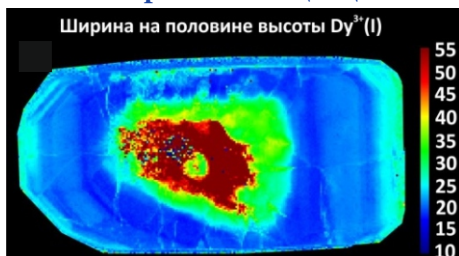
**Оптические изображения типичных ГЖВ в кварце (рудупроявление Красное, Бодайбинский район, Восточная Сибирь) (а, б) и фрагменты их спектров рамановского рассеяния (в, г). Режим «на отражение» (а, б); мощность лазера 3.3 и 14 мВ (в, г). [Панкрушина, Вотяков, Анкушева и др. 2018].**

## Люминесценция минералов

Спектрометр Horiba LabRam HR800 и катодолюминесцентный анализатор импульсный КлавиР с временным разрешением: исследование спектров люминесценции при 78-873 К при возбуждении Ar и He-Ne-лазерами; анализ особенностей структуры и состава минералов; картирование зерен по параметрам спектров; изучение импульсной катодолюминесценции минералов.



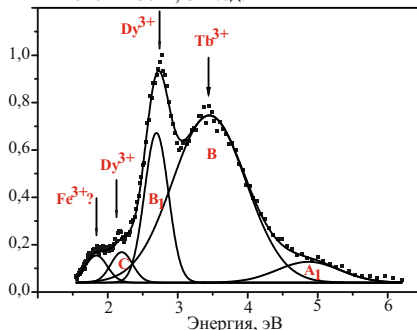
### Оценка степени метамиктности циркона по параметрам спектров лазеролюминесценции



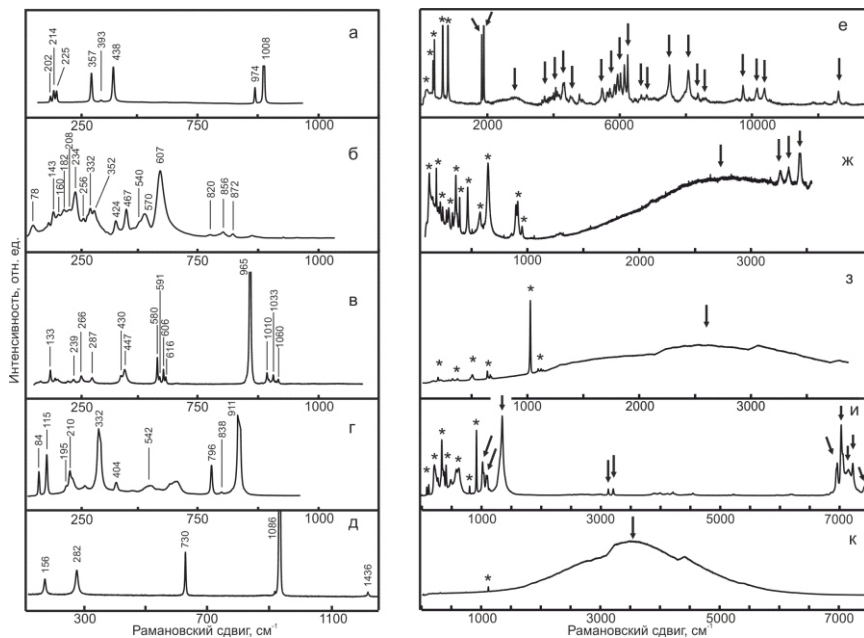
Спектры лазеролюминесценции примесных ионов Dy<sup>3+</sup> в цирконах с различной степенью метамиктности; карта распределения ширины линии в зерне циркона метаморфитов Мугоджар



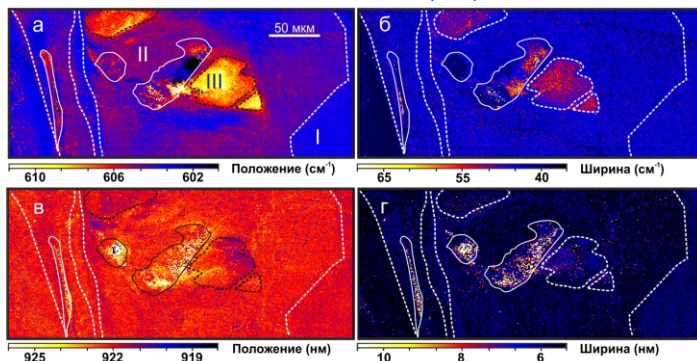
Интенсивность, отн.ед.



Катодолюминесцентный анализатор КлавиР и спектр люминесценции циркона с разложением на компоненты, связанные с ионами РЗЭ и собственными А-В-С-дефектами



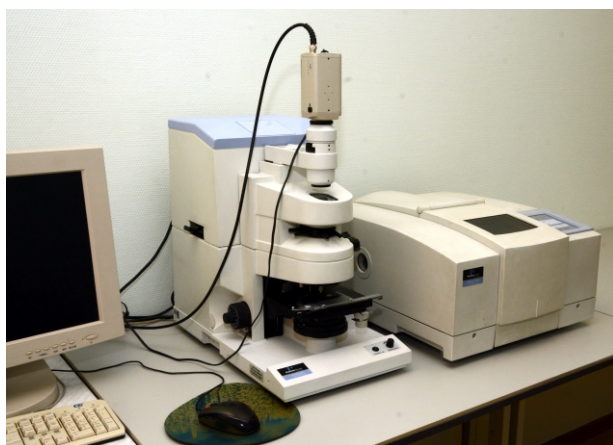
**Спектры рамановского рассеяния (а-д, возбуждение 633 нм) и суперпозиционные спектры рамановского рассеяния и лазеролюминесценции (ж-к, возбуждение 514 нм; е, 488 нм) циркона (а, е), титанита (б, ж), апатита (в, з), шеелита (г, и), кальцита (д, к). Числа (а-д) и звездочки (е-к) - положение рамановских линий; стрелки (е-к) - положение линий люминесценции.**



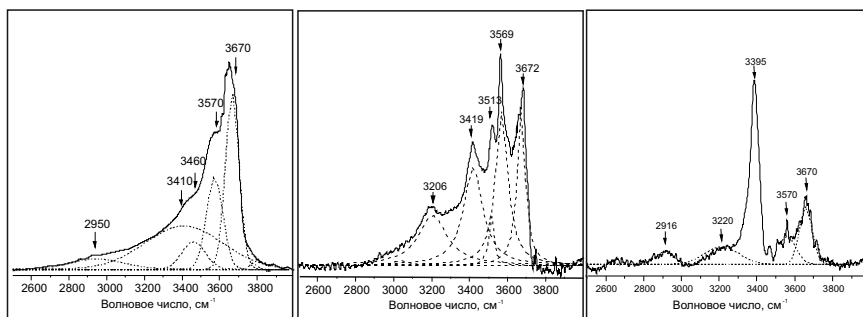
**Карты распределения положения и ширины рамановской линии 606-610  $\text{см}^{-1}$  колебательной моды Ti-O (а, б) и линии 920-923 нм люминесценции примесного иона  $\text{Nd}^{3+}$  (д, е) в титаните. Пунктир - зональность; сплошная линия - включения циркона.**

## Инфракрасная спектроскопия минералов

ИК Фурье-спектрометр Spectrum One с микроскопом Multiscopre фирмы PerkinElmer: исследование ИК-спектров минералов; качественная идентификация фаз; исследование локальных особенностей структуры и состава минералов; определение содержания ОН-групп в зернах номинально безводных силикатов (оливина, пироксенов) с пространственным разрешением 50 мкм и выше.



**Спектрометр Spectrum One и ИК-микроскоп FT-IR Microscope**



**Фрагменты ИК-спектров поглощения в высокочастотной («водной») области клино-, ортопироксена и оливина ультрамафитов Урала и их разложение на индивидуальные полосы поглощения**



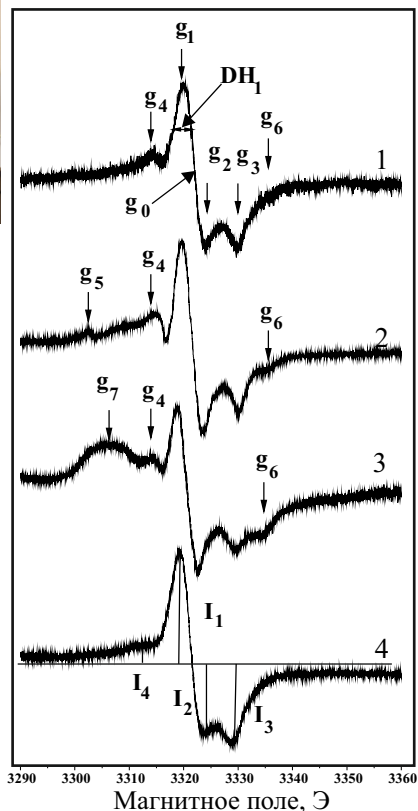
## Радиоспектроскопия минералов

Радиоспектрометр ESR-70-03 DX/2 с термоприставкой для 77–400 К: исследование спектров минералов в исходном состоянии и после различных видов облучения и отжига; информация о микро- и наностроении, типе, локальной структуре и концентрации собственных и примесных парамагнитных дефектов, оценка межпозиционного распределения катионов в твердых растворах минералов, анализ радиационных явлений, паледозиметрические реконструкции и др.

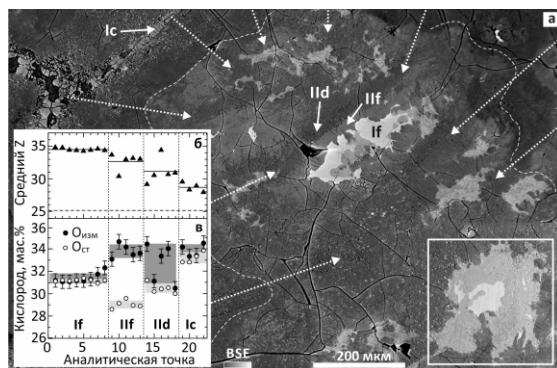
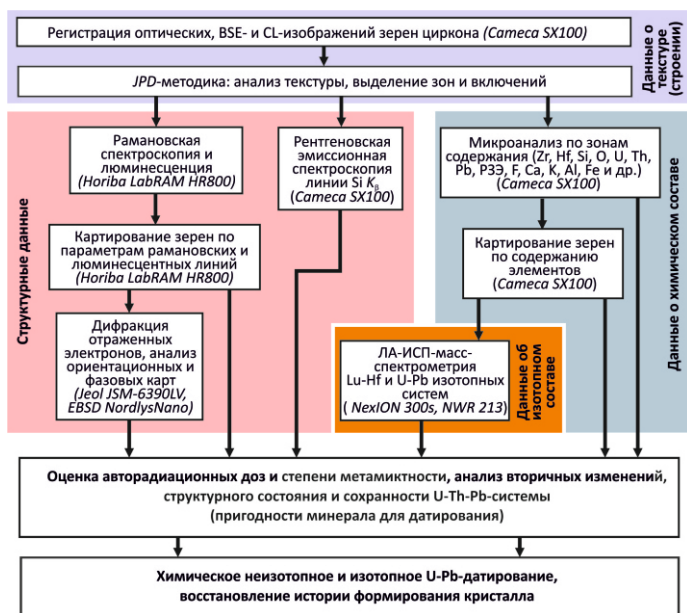


**Радиоспектрометр  
ESR-70-03 DX/2**

**ЭПР-спектры облученных пучком электронов ископаемых костных остатков различных мелких млекопитающих из ряда местонахождений Урала (1-4) [Вотяков, Смирнов и др., Физико-химические характеристики ископаемых костных остатков млекопитающих и проблема оценки их относительного возраста. Монография. 2009]**



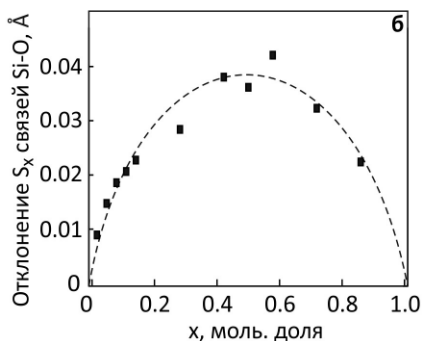
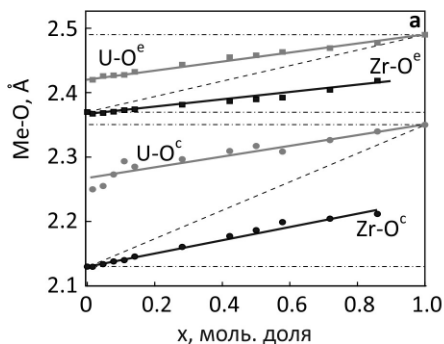
# Алгоритм исследования зерен циркона локальными методами



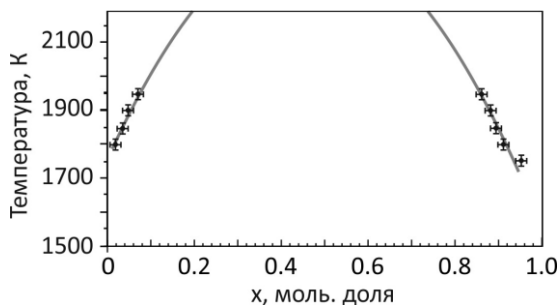
**BSE-изображение фрагмента кристалла циркона пегматитов Адуйского массива (а), вариации значений среднего атомного номера  $Z$  (б), содержания измеренного и стехиометричного кислорода  $O_{изм}$  и  $O_{ст}$  (в). Пунктир – средние значения, серые прямоугольники – разброс по зонам.**

## Компьютерное моделирование структуры и свойств минералов

Программные продукты – *ab initio* кластерный Х $\alpha$ -метод дискретного варьирования Х $\alpha$ -DVM [Averill, Ellis, 1977], полуэмпирический метод атомистического моделирования структуры GULP [Gale, 2010], метод молекулярной динамики DL-POLY [Todorov, Smith, 2010] и Монте-Карло SRIM [Zeigler, 2008]: моделирование атомной и электронной структуры минералов, состояния химической связи, строения и спектроскопических свойств собственных и примесных дефектов, расчет термодинамических свойств и структуры твердых растворов, моделирование взаимодействия излучения с веществом.



**Средние катион-кислородные расстояния в твердых растворах  $(Zr_{1-x}, U_x)SiO_4$  (а) и среднее квадратичное отклонение Si-O расстояний от аддитивной величины (б) [Замятин и др. Физика и химия стекла, 2013]**



**Расчетные кривые сольвуса в системе  $(Zr_{1-x}, U_x)SiO_4$**

# Научно-образовательная деятельность

С 2004 г. сотрудниками ЦКП на физическом факультете УрГУ (Естественно-научном институте УрФУ) организовано обучение студентов по специализации «физика и химия минералов»; его выпускники работают в ЦКП. Под руководством сотрудников ЦКП выполнено большое число курсовых и дипломных работ студентами УрФУ, УГГУ; проходили стажировку аспиранты Омского госуниверситета и УГМА. С 2015 г. ЦКП принимает участие в работе Уральского научно-образовательного консорциума биомедицины, фармации и медицинской инженерии.

В 2007 и 2014 гг. ЦКП провел Международные конференции «Спектроскопия и кристаллохимия минералов». Начиная с 2009 г. ЦКП ежегодно проводит Всероссийскую молодежную научную школу-конференцию «Минералы: строение, свойства, методы исследования».



Российская академия наук  
Уральский федеральный университет  
Институт физики и химии минералов им. А.Д. Золотарькова  
Российский федеральный университет «Кортеж»  
Российские федеральные университеты  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»

**Минералы: строение, свойства, методы исследования**

Международная научная конференция  
СВЕТОДИФФУЗИОННАЯ И КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКАЯ ШКОЛЫ 2007  
29 апреля - 7 октября 2007 года  
Материалы международной научной конференции  
Самара 2007

Российская академия наук  
Уральский федеральный университет  
Институт физики и химии минералов им. А.Д. Золотарькова  
Российский федеральный университет «Кортеж»  
Российские федеральные университеты  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»

**Минералы: строение, свойства, методы исследования**

18-19 октября 2012

Российская академия наук  
Уральский федеральный университет  
Институт физики и химии минералов им. А.Д. Золотарькова  
Российский федеральный университет «Кортеж»  
Российские федеральные университеты  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»

**Минералы: строение, свойства, методы исследования**

18-19 октября 2012

Российская академия наук  
Уральский федеральный университет  
Институт физики и химии минералов им. А.Д. Золотарькова  
Российский федеральный университет «Кортеж»  
Российские федеральные университеты  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»

**Минералы: строение, свойства, методы исследования**

18-19 октября 2012

Российская академия наук  
Уральский федеральный университет  
Институт физики и химии минералов им. А.Д. Золотарькова  
Российский федеральный университет «Кортеж»  
Российские федеральные университеты  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»  
Всероссийский федеральный исследовательский университет «Кортеж»

**Минералы: строение, свойства, методы исследования**

18-19 октября 2012

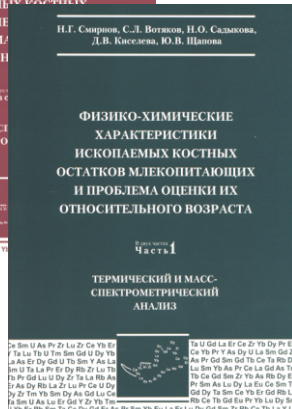
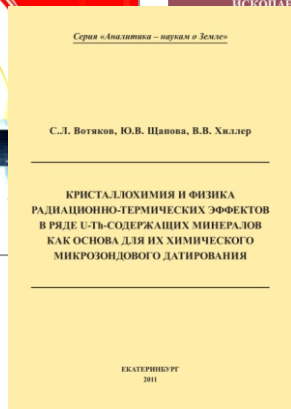
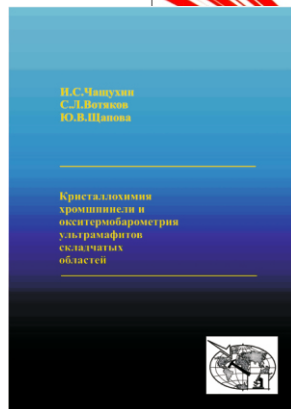


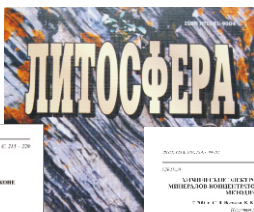




## Публикации сотрудников ЦКП

Сотрудниками ЦКП ежегодно публикуется 10-15 научных работ в области материаловедения природного вещества; в последние годы опубликовано 2 монографии, получен патент, защищены 3 кандидатские диссертации, в том числе в 2017 г. Д.А. Замятиным. Отработаны методики и проведены комплексные экспериментальные исследования реальной дефектной структуры и физических свойств минералов разных классов (природных и синтетических, био- и техногенных); созданы модели, изучены механизмы образования и распада дефектов их решетки; исследованы явления и процессы, стимулированные радиацией и термобарохимическими воздействиями; выполнены исследования в области теоретической физики минералов, моделирования их атомного, электронного строения, физико-химических свойств и процессов дефектообразования; на основе усовершенствованной методики микронзондового анализа выполнены исследования локального состава и проведены химические датировки U-Th-содержащих минералов из ряда уральских объектов; результаты материаловедческих исследований использованы в петрогенетических построениях, в геоэкологии, в биомедицинских приложениях и др.





## Публикации 2013-2018 гг.

Замятин Д.А., Щапова Ю.В., Вотяков С.Л. и др. Структура и термодинамические свойства твердых растворов циркон-коффинит по данным моделирования // *Физ. хим. стекла*. 2013. Т.39. С.118-133.

Виноградова Н.С., Щапова Ю.В., Вотяков С.Л. и др. Электронное строение и радиационная стойкость ортофосфатов  $\text{LnPO}_4$  ( $\text{Ln}=\text{Ce}, \text{Nd}, \text{Sm}$ ) // *Жур. структ. хим.* 2014. № 5. С.835-840.

Вотяков С.Л., Прибавкин С.В., Замятин Д.А. Химическое датирование циркона из гранитных пегматитов Шарташского массива (Средний Урал) // *Доклады РАН*. 2016. 470, 8386.

Зайцева М.В., Пупышев А.А., Щапова Ю.В., Вотяков С.Л. Методические аспекты U/Pb датирования цирконов на Neptune Plus с лазерной приставкой NWR 213 // *Аналитика и контроль*. 2016. 10. С. 121-137.

Zamyatin D., Shchapova Yu., Votyakov S., Nasdala L., Lenz C. Alteration and chemical U-Th-total Pb dating of heterogeneous high-uranium zircon from a pegmatite from the Aduiskii Massif, Middle Urals, Russia // *Mineral. Petrol.* 2017. V.111. Iss. 4. P.475-497.

## Перечень услуг ЦКП «Геоаналитик»

Количественный рентгенофлуоресцентный анализ проб (минералов, горных пород, почв, донных отложений и др.) на содержание элементов Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, Cr, V, Mn, Fe<sub>общ</sub> и др. на спектрометре СРМ-35 (типовой «силикатный» анализ); определение потерь при прокаливании гравиметрическим методом и Fe<sup>2+</sup>/Fe<sub>общ</sub> титриметрическим методом.

Рентгенофлуоресцентный анализ состава проб на волно- и энергодисперсионном спектрометрах XRF-1800 и EDX-8000.

Масс-спектрометрический анализ твердых и жидких проб (растворов, вод) на содержание РЗ и рассеянных элементов (Li, B, Be, Sc, Ti, Cr, Ni, V, Co, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Sb, Cs, Ba, Hf, Ta, Pb, Th, U) на масс-спектрометрах с индуктивно-связанной плазмой ELAN 9000, NexION 300S, включающий химическое разложение проб; определение микроэлементного состава проб минералов на масс-спектрометрах с приставками для лазерной абляции Uр266 Macro и NWR 213.

Анализ состава твердых и жидких проб методом атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии на оптических спектрометрах Optima 8000 и ContrAA, включающий химическое разложение твердых проб.

Электронно-зондовый микроанализ состава минералов в полированных шлифах (сборках) на микроанализаторе Cameca SX-100; получение и анализ BSE-, SE-, CL-изображений, элементное картирование зерен, химическое неизотопное датирование U, Th-минералов.

Сканирующая электронная микроскопия, полуколичественный (качественный) энергодисперсионный микроанализ и анализ дифракции обратно-рассеянных электронов в минералах на электронном микроскопе JSM-6390LV с приставками INCA Energy350X-Max50 и NordlysNano; получение BSE- и SE-изображений, элементное картирование.

Масс-спектрометрический анализ изотопного состава Pb, Sm и Nd проб на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой NEPTUNE Plus и ТИМС-анализ изотопного состава Sm и Nd, Rb и Sr на термоионизационном масс-спектрометре TRITON Plus, включающий химическое разложение и хроматографическое разделение проб.

U-Pb-датирование цирконов на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой NexION 300S и приставкой для лазерной абляции NWR 213; обработка результатов.

Определения Lu-Hf-изотопного состава цирконов на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой NeptunePlus и приставкой NWR 213; обработка результатов.

Качественный и полуколичественный (с использованием программы Siroguant) рентгенофазовый анализ проб с идентификацией минеральных фаз, в том числе глинистых фракций и сложных смесей на дифрактометре XRD-7000; обработка и интерпретация результатов.

Термический анализ проб на дериватографе Diamond TG-DTA; обработка и интерпретация результатов.

Исследование спектров рамановского рассеяния и лазеролюминесценции минералов при охлаждении-нагревании в диапазоне 78-873 К на спектрометре LabRam HR Evolution с термостолником Linkam THMS 600, с Ar и He-Ne лазерами; качественная идентификация фаз с использованием базы данных KnowItAll (Bio RAD); исследование локальных особенностей структуры и состава минералов (с разрешением 1-3 мкм, режим «на отражение»); картирование зерен по параметрам спектров; анализ флюидных и минеральных включений (режим конфокальной съемки с разрешением 1-3 мкм «на просвет»).

Исследование ИК-спектров проб (порошки, монокристаллы на просвет) на ИК-Фурье спектрометре Spectrum One с микроскопом MultiScope (с разрешением до 50-100 мкм); анализ структурного состояния воды и OH-группировок, нарушений решетки и др., обработка и интерпретация результатов.

Исследование импульсной катодолюминесценции проб на приборе «КлавиР», обработка и интерпретация результатов.

Исследование парамагнитных дефектов в пробах в диапазоне температур 78-400 К на радиоспектрометре ESR-70-03 DX/2; обработка и интерпретация результатов.

Пробоподготовка: монтаж зерен в шашку на основе эпоксидной смолы (сплава Вуда), шлифование, полирование, напыление образца углеродом для микросондового и электронно-микроскопического анализа, прессование проб для рентгенофлуоресцентного анализа, дробление проб до фракции менее 1 мм, истирание проб.

Обучение работе на приборах и оборудовании.

**ЦКП УрО РАН «Геоаналитик»  
готов сотрудничать со всеми  
заинтересованными организациями –  
геологическими партиями, экологическими,  
природоохранными и другими  
организациями по выполнению анализов  
твердых и жидких проб, проведению учебно-  
методических курсов, школ, семинаров и  
тематических выставок**

**ЦКП УрО РАН «ГЕОАНАЛИТИК»**

**Адрес: 620016, Екатеринбург, ул. Академика  
Вонсовского, 15**

**Тел. 8-343-2879013, 8-343-2879027**

**E-mail: [votyakov@igg.uran.ru](mailto:votyakov@igg.uran.ru)**