

**THE SHARED RESEARCH FACILITIES "GEOSPECTRUM" OF THE GEOLOGICAL INSTITUTE SB RAS**

S.V. Kanakin , V.B. Khubanov , B.Zh. Zhalsaraev , V.F. Posokhov , B.V. Dampilova ,
E.A. Khromova , A.M. Khubanova , B.B. Lygdenova

Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6a Sakhyanova St, Ulan-Ude 670047, Republic of Buryatia, Russia

ABSTRACT. The Shared Research Facilities "Geospectrum" of the Geological Institute SB RAS (Ulan-Ude) was created based on the analytical base of the Geological Institute SB RAS (GIN SB RAS, Ulan-Ude). Its equipment is used for isotopy of light elements, U-Th-Pb geochronology of igneous, metamorphic and sedimentary rocks. In addition, a large volume of mineralogical and geochemical research is carried out to solve petrological, geochemical, lithological-geochemical and environmental basic and applied problems.

KEYWORDS: The Shared Research Facilities "Geospectrum"; U-Th-Pb isotope dating; LA-ICP-MS; stable isotopes; LA-IRMS; electron microscopy; X-ray spectral analysis; microanalysis; spectral analysis

FUNDING: Shared Research Facilities "Geospectrum" of the GIN SB RAS (the city of Ulan-Ude) operates within the program for basic scientific research (projects: AAAA-A21-121011890029-4; AAAA-A21-121011390002-2; AAAA-A21-121011390003-9; AAAA-A21-121011390004-6; AAAA-A21-121011890033-1).

SHORT COMMUNICATION

Received: December 6, 2021

Revised: January 11, 2022

Accepted: January 20, 2022

Correspondence: Sergei V. Kanakin, skan_61@mail.ru

FOR CITATION: Kanakin S.V., Khubanov V.B., Zhalsaraev B.Zh., Posokhov V.F., Dampilova B.V., Khromova E.A., Khubanova A.M., Lygdenova B.B., 2022. The Shared Research Facilities "Geospectrum" of the Geological Institute SB RAS. *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (2), 0583. doi:10.5800/GT-2022-13-2-0583

ЦЕНТР КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ «ГЕОСПЕКТР» ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА СО РАН

**С.В. Канакин, В.Б. Хубанов, Б.Ж. Жалсараев, В.Ф. Посохов, Б.В. Дампилова,
Е.А. Хромова, А.М. Хубанова, Б.Б. Лыгденова**

Геологический институт СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Республика Бурятия, Россия

АННОТАЦИЯ. Центр коллективного пользования «Геоспектр» Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ) создан на основе аналитической базы Геологического института СО РАН (ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ). На его оборудовании проводятся исследования в области изотопии легких элементов, U-Th-Pb геохронологии магматических, метаморфических и осадочных пород. Кроме того, выполняется большой объем минералого-геохимических исследований с целью решения петрологических, геохимических, литолого-геохимических и экологических научных и прикладных задач.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ЦКП «Геоспектр»; U-Th-Pb изотопное датирование; LA-ICP-MS; стабильные изотопы; LA-IRMS; электронная микроскопия; рентгеноспектральный анализ; микроанализ; спектральный анализ

ФИНАНСИРОВАНИЕ: ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ) функционирует в рамках выполнения программы фундаментальных исследований (проекты: АААА-А21-121011890029-4; АААА-А21-121011390002-2; АААА-А21-121011390003-9; АААА-А21-121011390004-6; АААА-А21-121011890033-1).

1. ВВЕДЕНИЕ

Центр коллективного пользования «Геоспектр» (ЦКП) организован на основе аналитической базы Геологического института СО РАН (ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ) в 2018 г. Цель создания ЦКП – реализация приоритетных направлений развития ГИН СО РАН в сфере научно-образовательной и инновационной деятельности путем содействия пополнению и использованию парка научного оборудования, а также организации коллективного доступа к этому оборудованию. При создании ЦКП ставились следующие задачи: (1) обеспечение бесперебойной работы дорогостоящего оборудования, создание открытых условий, необходимых для выполнения фундаментальных и прикладных работ ГИН СО РАН и внешних потребителей; (2) содействие обучению студентов и аспирантов и обеспечение им доступа к оборудованию Центра, подготовка высококвалифицированных специалистов и научных кадров; (3) развитие и адаптация существующих методов, разработка и внедрение новых методов, востребованных для опробования и анализа окружающей среды современной научно-исследовательской и научно-прикладной конъюнктурой.

2. СОСТОЯНИЕ ЦКП, ОБОРУДОВАНИЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Центр оснащен современным оборудованием, способным выполнять аналитические и исследовательские работы по изотопному, элементному анализу горных пород, руд, минералов, органического вещества.

Газовый масс-спектрометр Finnigan MAT-253 (Thermo Scientific, год выпуска: 2009) предназначен для определения изотопных отношений водорода, углерода, азота, серы, а также благородных газов. К масс-спектрометру прилагаются опции – газбенч, элементный анализатор, лазерная абляция с экстракцией кислорода из силикатов и окислов (LA-IRMS метод, Laser Ablation

Stable Isotope Ratio Mass Spectrometer). На опции газбенч проводится определение изотопного состава углерода и кислорода в карбонатах методом разложения в безводной 100%-ной ортофосфорной кислоте с последующим измерением выделившегося CO_2 . На данной опции также поставлена методика определения изотопного состава кислорода в воде путем изотопного уравнивания с двуокисью углерода и последующего измерения этого газа. Определение изотопного состава водорода в воде проводится тоже методом изотопного уравнивания, но только в атмосфере водорода в присутствии платинового катализатора, и дальнейшего измерения изотопного состава водорода на масс-спектрометре. На элементном анализаторе с окислительным реактором (Flash EA) задействована методика определения изотопного состава углерода и азота в веществах органического и неорганического происхождения (почва, коллаген костей, растения, графит и др.) методом высокотемпературного сжигания в атмосфере кислорода с последующим восстановительным режимом. Затем в образовавшихся CO_2 и N_2 определяется изотопный состав углерода и азота. Определенные успехи достигнуты на опции лазерная абляция с экстракцией кислорода из силикатов и окислов методом сжигания вещества лазером в атмосфере BrF_5 . Так производится выделение чистого кислорода и затем определение его изотопного состава на масс-спектрометре [Doroshkevich et al., 2016]. Для определения изотопного состава кислорода используются породобразующие, редкие и тугоплавкие минералы, а также тонкорастертый вал. Масса навески 2–5 мг.

IRMS подход в ЦКП «Геоспектр» широко используется для экологических, палеогеографических и археологических исследований [Khubanova et al., 2016, 2017; Kradin et al., 2021]. С помощью измерения отношений изотопов углерода, азота, кислорода в водных и органических матрицах изучается генезис водных объектов,

условия осадконакопления, проводится реконструкция среды обитания флоры, фауны и человека в прошлом. Подготовка проб для изотопного анализа ведется в современной химической лаборатории, которая оснащена всем необходимым оборудованием: системой очистки приточного воздуха с помощью HEPA фильтров, вытяжными химическими шкафами, аналитическими микровесами, центрифугой, системами очистки кислот (subPUR Milestone и фторопластовый дистиллятор BSB-939-IR Berghof) и воды (дистилляторы и деионизатор Purelab Maxima ELGA), системой для сушки навесок, ультразвуковой ванной, химической посудой (кварцевая, полипропиленовая и фторопластовая), соответствующими химическими реактивами. Реализована методика выделения коллагена: его очистка от минерального (карбонаты, фосфаты) и органического (липиды, гуминовые кислоты, разрушенные белки) вещества, а также измерения изотопных отношений углерода и азота с использованием IRMS [Kradin et al., 2021].

На базе масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой Element XR (Thermo Scientific, год выпуска: 2010) и приставки лазерного пробоотбора LA UP-213 (New Wave) адаптирована и реализована LA-ICP-MS (Laser Ablation Inductive-Coupled Plasma Mass-Spectrometry) технология U-Th-Pb изотопного датирования цирконов [Khubanov et al., 2016; Buyantuev et al., 2017]. В ЦКП «Геоспектр» с помощью этого метода получены новые геохронологические данные для магматических, метаморфических и осадочных комплексов Полярного Урала, Прибайкалья, Забайкалья, Восточного Саяна, Западного Сангилены, Монголии, Северо-Восточного Казахстана, Рудного Алтая, Новосибирских островов, Якутии, Колымского нагорья, Южного Приморья и Чукотки.

На рентгенофлуоресцентном кристалл-дифракционном спектрометре ARL PERFORM'X-4200 (Thermo Scientific, год выпуска: 2013) и энергодисперсионном поляризационном спектрометре ЭДПР-1 (собственная разработка) проводится элементный анализ при комплексном исследовании горных пород, а также анализ других твердофазных и жидких материалов. Реализованы методики определения элементов от Be до U в широком диапазоне концентраций (от 0.1 ppm до 100 %). Группа обеспечена комплектом подготовки проб (мельница, автоматический пресс, печь-автомат для сплавления, лабораторные аналитические весы). В рамках совершенствования и расширения возможностей рентгенофлуоресцентного анализа исследованы и предложены новые базовые модели поляризации рентгеновского излучения с подавлением фона и повышения контрастности аналитических линий [Zhalsaraev, 2019, 2020]. На основе этих теоретических представлений и расчетов создан опытный образец энергодисперсионного поляризационного рентгеновского спектрометра ЭДПРС-1 для одновременного экспресс-анализа около 30 элементов со средними атомными номерами. Кроме того, для изучения форм подвижности тяжелых металлов в природной среде освоена методика

последовательного экстрагирования элементов из твердофазных матриц в растворы с различной кислотностью в статическом и динамическом режиме с последующим определением состава экстрактов [Dampilova et al., 2017].

Растровый электронный микроскоп LEO-1430VP (Carl Zeiss, год выпуска: 2002) с системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350 (Oxford Instruments) позволяет получать высококачественные растровые изображения в обратнорассеянных и вторичных электронах для изучения объектов в топографическом, композиционном и смешанном контрасте. Спектрометр INCA Energy 350 регистрирует рентгеновские спектры элементов от В до U, имеет удобное и эффективное программное обеспечение для проведения качественного и количественного микроанализа вещества. На этом оборудовании активно ведутся минералого-геохимические исследования для решения петрологических, геохимических, литолого-геохимических и экологических научных и прикладных задач [Orsoev et al., 2018; Peretyazhko et al., 2018; Sharygin et al., 2020]. Специальный режим вакуумной системы (VP) микроскопа позволяет изучать объекты без нанесения на них токопроводящего покрытия, вследствие чего это оборудование позволяет проводить исследования биологических и полимерных материалов, а также археологических артефактов. На базе данного прибора разработана программа идентификации минералов и документирования результатов исследования [Kanakin, 2018].

Большой объем аналитических работ в ЦКП выполняется с использованием химической подготовки проб со спектральным окончанием. Для этого используются следующие приборы: 1) дифракционный спектрограф ДФС-13, в котором вместо фотокассеты установлен многоканальный анализатор эмиссионных спектров производства «ВМК-Оптоэлектроника», г. Новосибирск; с помощью этого оборудования производится анализ микропримесей золота, серебра и элементов группы железа; 2) атомно-эмиссионный спектрометр с индуктивно связанной плазмой Optima-2000 DV, он обеспечивает количественное определение около 70 элементов в различных объектах: геологических, экологических, биомедицинских и др.; предел обнаружения – до 0.1 ppb (мкг/л); широко используется для выполнения рутинных и контрольных анализов горных пород, воды, почвы и т.д.; 3) спектрометр PinAAcle 900F (Perkin Elmer, установлен в 2013 г.), на нем методом атомно-абсорбционного анализа определяются CaO, MgO, MnO, Fe₂O₃, Ag, микропримеси, пламенно-фотометрическим методом – Na₂O, K₂O, Li, Rb, Cs. Спектрофотометр UNICO 1201, он применяется для определения SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, P₂O₅.

3. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Одним из основополагающих факторов успешного и углубленного развития исследований в науках о веществе, жизни и Земле является современная высокоэффективная и разносторонне развитая аналитическая

база, основанная на инновационных физико-химических подходах анализа вещества. Перспективы развития аналитической базы ЦКП «Геоспектр»:

1) усиление аналитических возможностей за счет модернизации и адаптации существующего оборудования – развитие петрохронологического направления через расширение области применения LA-ICP-MS для датирования апатита, сфена, а также микроэлементного анализа состава минеральных геохронометров; освоение методов автоклавного, со сплавлением с щелочным флюсом, и кислотного разложения геологических проб для РФА и ICP-MS анализа; развитие РФА для измерения элементного состава сплавов, карбонатных, фосфатных и органогенных матриц; разработка метода извлечения и очистки костного и зубного фосфата для измерения изотопного состава кислорода в фаунистических остатках; разработка алгоритмов расчета и пополнение электронных баз состава минералов и расширение области применения электронно-растровых исследований твердофазного вещества в сферах экологии, географии и материаловедения; развитие спектральных методов с увеличением списка рудных элементов и динамического диапазона методов (от микросодержаний до рудных концентраций);

2) приобретение и реализация новых методик и приборов. Следует отметить, что приборный парк ЦКП «Геоспектр» не обновлялся более десяти лет, и вопрос об упреждении потери методов по причине морального и физического устаревания оборудования стоит очень остро. Поскольку научное оборудование не может приносить высокие доходы и прибыль, самостоятельное, силами ГИН СО РАН без финансовой поддержки со стороны, приобретение нового дорогостоящего оборудования и проведение ремонта существующих установок невозможно. Для решения этой проблемы необходимо участие государства и/или разработка специальных программ и механизмов дополнительного финансирования, доступных для научных учреждений второй категории;

3) структурная оптимизация: а) обеспечить возможность переобучения сотрудников для реализации собственного научного потенциала в области аналитики и ее применения; б) создать аналитико-исследовательские подразделения (группы, лаборатории), в том числе совместные с иными образовательными и научными учреждениями, ориентированные, помимо рутинного анализа, на решение научно-изыскательных, прикладных и конструкторских задач; в) аналитико-исследовательские подразделения подвести под руководство научных сотрудников с собственными научными задачами в рамках возглавляемых аналитических методов;

4) кадровое развитие и образовательная деятельность. Развитие научно-образовательного кластера ЦКП для обучения бакалавров, магистратов и аспирантов методам аналитической химии, петрографии, геофизики, моделирования, мониторинга в рамках выполнения поисково-исследовательских задач и научно-

квалификационных работ. Привлечение сторонних исследователей в качестве консультантов, аналитиков-исследователей и научных и административных руководителей групп/лабораторий;

5) существенное расширение научно-исследовательских и научно-прикладных услуг за счет привлечения в состав ЦКП дополнительных установок и приборов геофизического, петрологического и экологического профиля, действующих в ГИН СО РАН;

6) интеграция материально-технических и интеллектуальных ресурсов ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН с другими научными и образовательными учреждениями, что позволит более быстро и гибко решать различные аналитико-исследовательские, научно-исследовательские и прикладные задачи, удовлетворяющие потребности института и партнеров;

7) участие в грантах различных фондов, расширение области приложения аналитических услуг, поиск и разработка новых направлений фундаментальных исследований.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Центр коллективного пользования «Геоспектр» обладает аналитической базой для решения большого круга научно-исследовательских и научно-прикладных задач в науках о Земле. В настоящее время широко используются: IRMS метод исследования отношений стабильных изотопов в различных минералогических и биологических матрицах; электронно-растровые методы изучения структуры геологических пород и химического состава минералов и стекол; рентгеноспектральный анализ твердофазных и жидкофазных объектов; U-Pb изотопное LA-ICP-MS датирование цирконов; химико-спектральные методы для изучения валового состава горных пород и руд. Расширение возможностей ЦКП «Геоспектр» будет существенно способствовать получению новых фундаментальных знаний и внедрению инновационных аналитических подходов в сфере естественно-научного познания, а также увеличит общую научную и, соответственно, публикационную активность и значимость отечественной научной отрасли.

5. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят руководство и сотрудников ГИН СО РАН, а также всех исследователей, использующих возможности ЦКП «Геоспектр», за помощь и поддержку. Особая признательность выражается младшему научному и инженерно-техническому персоналу ЦКП: Н.А. Арефьевой, С.В. Бартановой, М.Д. Буянтуеву, Н.А. Виноградову, Т.Т. Врублевской, М.Г. Егоровой, О.В. Корсун, Л.В. Митрофановой, Е.Д. Утиной, В.Л. Посоховой, Г.Д. Санжиеву, В.А. Тюгашеву, Е.В. Ходыревой, Т.Г. Хумаевой.

6. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Все авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

7. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Все авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

The authors contributed equally to this article.

8. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Buyantuev M.D., Khubanov V.B., Vrublevskaya T.T., 2017. U/Pb LA-ICP-MS Dating of Zircons from Subvolcanics of the Bimodal Dyke Series of the Western Transbaikalia: Technique, and Evidence of the Late Paleozoic Extension of the Crust. *Geodynamics & Tectonophysics* 8 (2), 369–384 (in Russian) [Буянтуев М.Д., Хубанов В.Б., Врублевская Т.Т. U-PB LA-ICP-MS датирование цирконов из субвулканитов бимодальной дайковой серии Западного Забайкалья: методика, свидетельства позднепалеозойского растяжения земной коры // Геодинамика и тектонофизика. 2017. Т. 8. № 2. С. 369–384]. <https://doi.org/10.5800/gt-2017-8-2-0246>.
- Dampilova B.V., Fedotov P.S., Dzhendloda R.Kh., Fedunina N.N., Karandashev V.K., 2017. Comparative Study of Methods for Evaluating the Mobility of Element Species in Contaminated Soil and Technogenic Sand under Batch and Dynamic Extraction. *Journal of Analytical Chemistry* 72, 1113–1119. <https://doi.org/10.1134/S1061934817100045>.
- Doroshkevich A.G., Veksler I.V., Izbrodin I.A., Ripp G.S., Khromova E.A., Posokhov V.F., Travin A.V., Vladykin N.V., 2016. Stable Isotope Composition of Minerals in the Belaya Zima Plutonic Complex, Russia: Implications for the Sources of the Parental Magma and Metasomatizing Fluids. *Journal of Asian Earth Sciences* 116, 81–96. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2015.11.011>.
- Kanakin S.V., 2018. The Program for the Identification of Minerals and Documentation of the Results of Electron Microprobe Analysis. In: *Geodynamics and Metallogeny of Northern and Central Asia. Proceedings of the V All-Russian Conference (August 27–31, 2018)*. Buryatian State University, Ulan-Ude, p. 206–208 (Russian) [Канакин С.В. Программа идентификации минералов и документирования результатов электронно-зондового микроанализа // Геодинамика и минерагения Северной и Центральной Азии: Материалы V Всероссийской конференции (27–31 августа 2018 г.). Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2018. С. 206–208].
- Khubanov V.B., Buyantuev M.D., Tsygankov A.A., 2016. U–Pb Dating of Zircons from PZ₃–MZ Igneous Complexes of Transbaikalia by Sector-Field Mass Spectrometry with Laser Sampling: Technique and Comparison with SHRIMP. *Russian Geology and Geophysics* 57 (1), 190–205. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2016.01.013>.
- Khubanova A.M., Khubanov V.B., Novoseltseva V.M., Sokolova N.B., Klement'ev A.M., Posokhov V.F., 2017. Features of C and N Stable Isotopes Composition in the Collagen of Equus Ferus and Alces Americanus Teeth from the Archaeological Site Ust-Keul I (Northern Angara Region). *Bulletin of the Irkutsk State University. Geoarchaeology, Ethnology, and Anthropology Series* 21, 33–59 (in Russian) [Хубанова А.М., Хубанов В.Б., Новосельцева В.М., Соколова Н.М., Клементьев А.М., Посохов В.Ф. Особенности состава изотопов углерода и азота в коллагене зубов Equus Ferus и Alces Americanus из археологического местонахождения Усть-Кеуль I (Северное Приангарье) // Известия ИГУ. Серия Геоархеология. Этнология. Антропология. 2017. Т. 21. С. 33–59].
- Khubanova A.M., Klement'ev A.M., Khubanov V.B., Posokhov V.F., Murzintseva A.E., 2016. Diet and Environment Reconstruction of Coelodonta Antiquitatis in the Late Pleistocene by C-N Isotope Analyses of Paleontological Material (Archeological Complex Khotyk and Kamenka, Western Transbaikalia). *Environmental Dynamics and Global Climate Change* 7 (1), 163–169 (in Russian) [Хубанова А.М., Клементьев А.М., Хубанов В.Б., Посохов В.Ф., Мурзинцева А.Е. Первые данные об изотопном составе углерода и азота в костных остатках Coelodonta antiquitatis из позднеплейстоценовых археологических комплексов Хотык и Каменка Западного Забайкалья // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2016. Т. 7. № 1. С. 163–169]. <https://doi.org/10.17816/edgcc71163-169>.
- Kradin N.N., Khubanova A.M., Bazarov B.A., Miyagashv D.A., Khubanov V.B., Konovalov P.B., Klementiev A.M., Posokhov V.F., Ventresca Miller A.R., 2021. Iron Age Societies of Western Transbaikalia: Reconstruction of Diet and Lifestyles. *Journal of Archaeological Science: Reports* 38, 102973. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.102973>.
- Orsoev D.A., Mekhonoshin A.S., Kanakin S.V., Badmatsyrenova R.A., Khromova E.A., 2018. Gabbro-Peridotite Sills of the Late Riphean Dovyren Plutonic Complex (Northern Baikal Area, Russia). *Russian Geology and Geophysics* 59 (5), 472–485. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.04.002>.
- Peretyazhko S.I., Savina E.A., Khromova E.A., Karmanov N.S., Ivanov A.V., 2018. Unique Clinkers and Paralavas from a New Nyalga Combustion Metamorphic Complex in Central Mongolia: Mineralogy, Geochemistry, and Genesis. *Petrology* 26, 181–211. <https://doi.org/10.1134/S0869591118020054>.
- Sharygin V.V., Ripp G.S., Yakovlev G.A., Seryotkin Yu.V., Karmanov N.S., Izbrodin I.A., Grokhovsky V.I., Khromova E.A., 2020. Uakitite, VN, a New Mononitride Mineral from Uakit Iron Meteorite (IIAB). *Minerals* 10 (2), 150. <https://doi.org/10.3390/min10020150>.
- Zhalsaraev B.Z., 2019. The Scattering Suppression of X-Rays with Energy of 20–200 keV in Spectrometers with Barkla Polarizers. *X-Ray Spectrometry* 48 (6), 628–636. <https://doi.org/10.1002/xrs.3046>.
- Zhalsaraev B.Z., 2020. X-Ray Scattering and Polarization in Wavelength-Dispersive Spectrometers. *X-Ray Spectrometry* 49 (4), 480–492. <https://doi.org/10.1002/xrs.3142>.