

Научная статья

УДК 550.42:546.027+550.93(470)

doi:10.52349/0869-7892_2024_100_59-72

Программа систематических изотопно-геохимических и геохронологических исследований геологических комплексов территории России: методы и первые результаты 2022–2024 гг.¹**Г. А. Бабин¹✉, А. Г. Пахалко¹,
А. А. Соболева², А. Е. Цыбульская¹,
М. Э. Кутырева¹, Г. А. Олейникова¹,
В. Б. Хубанов³, С. А. Сергеев¹**

¹Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия, Gennadiy_Babin@karpinskyinstitute.ru ✉

²Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия

³Геологический институт им. Н. Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ, Россия; Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

Ключевые слова: Россия, геохронология, изотопно-геохимические исследования, методы, предварительные результаты

Благодарности: работы проведены по Государственному заданию Федерального агентства по недропользованию от 14.01.2022 г. № 049-00018-22-01.

Для цитирования: Программа систематических изотопно-геохимических и геохронологических исследований геологических комплексов территории России: методы и первые результаты 2022–2024 гг. / Г. А. Бабин [и др.] // Региональная геология и металлогения. 2024. Т. 31, № 4. С. 59–72. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_59-72



© Г. А. Бабин, А. Г. Пахалко, А. А. Соболева, А. Е. Цыбульская, М. Э. Кутырева, Г. А. Олейникова, В. Б. Хубанов, С. А. Сергеев, 2024

Аннотация. В Институте Карпинского при поддержке Роснедра начата реализация долговременной Программы систематического геохронологического и изотопно-геохимического изучения геологических комплексов территории России, нацеленной на широкое внедрение в практику геолого-разведочных работ результатов современных лабораторно-аналитических исследований. Программой предусматривается изотопное датирование, изучение петрографического, петрогеохимического и изотопно-геохимического составов магматических, метаморфических и осадочных пород. На первом этапе, в 2022–2024 гг. датирование с сопутствующим комплексом аналитических исследований проведено в 500 опорных пунктах, расположенных в горно-складчатых регионах России. Полученные результаты оперативно используются при уточнении региональных схем корреляции магматизма и метаморфизма, составлении новых и обновлении существующих геологических карт, во многих случаях способствовали значительному прогрессу в части реконструкции металлогенической эволюции и геологической истории развития регионов. В качестве примера приведены результаты геохронологических исследований интрузивных пород Кузнецкого Алатау и зеленосланцевого комплекса Западного Саяна в Алтае-Саянской складчатой области. Итоговыми документами работ являются Паспорта, которые суммируют результаты петрологических, изотопно-геохимических и геохронологических исследований по каждому изученному объекту в рамках Программы. В дополнительные материалы к статье помещены примеры Паспортов для интрузивного, метаморфического и осадочного комплексов.

¹Дополнительные материалы к статье доступны по ссылке: https://reggeomet.ru/archive/100/Babin_Pril_07.11.2024.pdf.

Original article

UDC 550.42:546.027+550.93(470)
doi:10.52349/0869-7892_2024_100_59-72

Program of systematic isotope, geochemical, and geochronological studies of geological complexes in Russia: Methods and initial results of 2022–2024¹

G. A. Babin¹✉, A. G. Pakhalko¹, A. A. Soboleva²,
A. E. Tsybul'skaya¹, M. E. Kutyreva¹, G. A. Oleynikova¹,
V. B. Khubanov³, S. A. Sergeev¹

¹All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky, Saint Petersburg, Russia, Gennadiy_Babin@karpinskyinstitute.ru✉

²Institute of Geology of the Komi Science Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

³Geological Institute named after Academician N.L. Dobretsov, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, Russia; Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. Karpinsky Institute launched a Rosnedra-driven long-term program for the systematic geochronological, isotope, and geochemical study of geological complexes in Russia in order to mainstream modern laboratory and analytical data in geological exploration. The program involves isotope dating, studying the petrographic, petrogeochemical, isotope, and geochemical compositions of igneous, metamorphic, and sedimentary rocks. The first stage of 2022–2024 covered dating as well as a set of analytical studies in 500 base stations in fold-belt regions of Russia. The obtained findings contribute to promptly specifying regional correlation diagrams for magmatism and metamorphism, creating new geological maps, and updating current ones; they frequently led to significant progress in reconstructing the metallogenic evolution and geological history of regional development. The geochronological results of studying the intrusive rocks of the Kuznetsk Alatau and greenschist complex of the Western Sayan in the Altai-Sayan Fold Area serve as an example. The Passports finalize the work by summarizing the results of petrological, isotope, geochemical, and geochronological studies for each explored object in the program. The Supplementary Data section contains examples of Passports for intrusive, metamorphic, and sedimentary complexes.

Keywords: Russia, geochronology, isotope and geochemical studies, methods, preliminary results

Acknowledgments: the research was supported by the Federal Subsoil Resources Management Agency (state geological study, No. 049-00018-22-01 dated 14.01.2022).

For citation: Program of systematic isotope, geochemical, and geochronological studies of geological complexes in Russia: Methods and initial results of 2022–2024 / G. A. Babin [et al.]. *Regional Geology and Metallogeny*. 2024; 31 (4): 59–72. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2024_100_59-72

¹The supplementary data are available at https://reggeomet.ru/en/archive/100/Babin_Pril_07.11.2024.pdf.

ВВЕДЕНИЕ

До конца 1990-х гг. наблюдалось драматическое отставание в оснащённости геологических организаций России современной аналитической и, в частности, изотопной аппаратурой. Это обстоятельство во многом определяло состояние геологической изученности недр по сравнению с таковой в ведущих горнодобывающих странах мира. Для российской территории имелись лишь устаревшие и несистематизированные геохронологические данные, основанные главным образом на K-Ar методе, Rb-Sr изохронном и U-Pb по цирконам в варианте класси-

ческого валового анализа. Точность и адекватность этой информации по большей части сомнительна. Региональные металлогенические работы, базирующиеся на методах изотопной геохимии, практически отсутствовали. Охарактеризованные изотопно-хемостратиграфическими методами разрезы осадочных пород были редки, что ограничивало возможности расчленения и корреляции немых осадочных толщ, часто имеющих важное нефте-газоконтролирующее значение.

Два основных научных направления деятельности геологического Института Карпинского — региональная геология и металлогения — в своем многолетнем

развитии закономерно подошли к этапу некоторого переполнения геологических карт и металлогенических построений субъективными воззрениями и схемами, не опирающимися на достоверные аналитические данные о физико-химических характеристиках и свойствах исследуемых геологических объектов. Во многом это определилось общим системным кризисом советской и российской науки, отсутствием современной лабораторно-аналитической базы. Сегодня со всей очевидностью встал вопрос о необходимости обратить самое серьезное внимание на качество баз данных, составляющих основу создаваемых геологических карт, поскольку именно оно определяет практическую эффективность региональных исследований. Повсеместно отмечается отсутствие системной геохронологической основы подготовки нового поколения Госгеолкарт, а также надежных реперных абсолютных датировок и специализированных изотопных исследований при геологоразведочных работах.

В настоящее время на территории России ведутся работы по созданию комплектов Государственных геологических карт (далее — ГК) масштаба 1 : 1 000 000 (третье издание) и 1 : 200 000 (второе поколение), составление и актуализация сводных и обзорных карт геологического содержания масштаба 1 : 2 500 000 и мельче. Начаты реализация долговременной госпрограммы по мониторингу ГК масштаба 1 : 1 000 000 и создание Единой геолого-картографической системы России. Отличительной особенностью ГК нового поколения является широкомасштабное систематическое применение современных изотопно-геохронологических и изотопно-геохимических методов и технологий. Во многом это объясняется созданием в ФГБУ «Институт Карпинского» центра изотопных исследований (далее — ЦИИ), техническим перевооружением центральной лаборатории (далее — ЦЛ) и, как следствие, возможностью применить при работах комплекс методов, недоступных ранее.

Однако, несмотря на широкое применение в последнее десятилетие современных методов исследования вещества, обоснованность геологических, тектонических и металлогенических построений в регионах с наиболее сложным строением остается недостаточным. Данное обстоятельство напрямую связано с пока еще невысокой изотопно-геохимической и геохронологической изученностью этих территорий, неполным учетом результатов уже проведенных исследований, а также с недостаточным уровнем систематизации, обобщения и имплементации имеющихся материалов в геологические основы современных карт территории России. В первую очередь это относится к регионам с широким развитием магматических и метаморфических пород, которые в то же время характеризуются наиболее высоким металлогеническим потенциалом (Урал, Алтае-Саянская складчатая область, Енисейский кряж, Тува, Восточный Саян, Забайкалье и другие регионы).

Особенно актуальна проблема повышения качества геологических карт для регионов с преимущественным развитием метаморфических комплексов

(щиты и краевые поднятия древних платформ, кристаллический фундамент кратонных блоков и др.). Так, например, ввиду недостатка геохронологических данных на геологических картах Алдано-Станового щита в основу расчленения метаморфических образований до сих пор положены традиционные стратиграфические схемы с выделением серий, свит и толщ. Хотя предварительный анализ уже имеющихся изотопно-геохронологических данных свидетельствует о том, что стратиграфический принцип расчленения и корреляции глубокометаморфизованных пород в данном случае неприемлем, а субъективные представления о времени и последовательности формирования субстрата метаморфических образований и рубежах метаморфизма не согласуются с результатами изотопного датирования. Опыт работ показывает, что основой расчленения и корреляции метаморфических образований и сопряженных с ними комплексов ультраметаморфогенных гранитоидов в подобных регионах должны служить результаты изотопного датирования и геохимического доизучения пород.

Недостаток современной изотопно-геохимической и геохронологической информации по регионам с широким развитием магматических и метаморфических пород в значительной мере снижает как научную, так и прогностическую ценность карт. Слабая изотопно-геохимическая и геохронологическая изученность сдерживает создание межрегиональной (межсерийной) схемы корреляции магматических и метаморфических комплексов территории России, которая должна служить петрологической основой государственных, сводных и обзорных карт территории России.

Для решения обозначенных проблем, повышения качества работ и результатов современных лабораторно-аналитических исследований Роснедра с 2022 г. начата реализация долговременной Программы систематического геохронологического и изотопно-геохимического изучения геологических (преимущественно магматических и метаморфических) комплексов территории России, первый этап которой охватывает 2022–2024 гг. Основным исполнителем работ выступает ФГБУ «Институт Карпинского». Имеющиеся в институте лабораторно-аналитические возможности позволяют выполнять практически любые анализы горных пород, руд, минералов, воды и объектов экологического мониторинга для решения задач, связанных с созданием ГК, а также обеспечением геологосъемочных, поисковых и разведочных работ. Особенно важны изотопные исследования, позволяющие получать принципиально новую информацию об объекте изучения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Принятый подход к изучению геологических объектов в рамках Программы предусматривает комплексный характер лабораторно-аналитических исследований, при котором изотопное дати-

рование пород сопровождается изучением их петрографического, петрогеохимического и изотопно-геохимического составов.

Изотопное датирование проводится следующими методами:

- U-Pb-датирование (методом SIMS на приборе SHRIMP-IIe) акцессорных зерен циркона, бадделита, титанита, апатита (магматические и ортометаморфические породы);

- U-Pb-датирование с использованием лазерной абляции (LA-ICP-MS) или методом SIMS на приборе SHRIMP-IIe детритовых зерен циркона (вулканогенно-осадочные, осадочные и параметаморфические породы);

- Sm-Nd, Rb-Sr и Re-Os ID-TIMS-изохронное датирование мономинеральных фракций и пород.

Сопутствующие аналитические исследования в пунктах датирования включают:

- петрографическое изучение;
- силикатный анализ (PCA);
- определение содержаний 42 редких и редкоземельных элементов (ICP-MS);

- изучение Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем (ID-TIMS).

- при необходимости проводится определение Lu-Hf изотопной системы в акцессорном цирконе, микрозондовые исследования минералов.

Основной объем аналитических работ в рамках Программы проведен ЦЛ и ЦИИ, часть анализов с использованием лазерной абляции (LA-ICP-MS) выполнена в Аналитическом центре минералого-геохимических и изотопных исследований ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ).

1. Изотопное датирование и изотопно-геохимические работы.

Основным методом датирования горных пород является U-Pb метод по акцессорному циркону, это связано с тем, что U-Pb система в цирконе весьма консервативна и существует внутренний критерий оценки достоверности полученного возраста. Наличие в ЦИИ оборудования для реализации локальных методов анализа (SIMS с использованием прибора SHRIMP-IIe, лазерная абляция с ICP-MS) позволяет датировать в пределах единичных зерен минерала различные зоны роста и генерации, отвечающие различным геологическим процессам. Это дает возможность при анализе одной пробы распознать и датировать множество процессов, что особенно актуально для полигенных и метаморфических пород.

ЦИИ располагает лучшими образцами масс-спектрометрической техники для решения этих задач. ЦИИ — единственный среди изотопных лабораторий РФ, который имеет аттестат аккредитации в системе ГОСТ Р ИСО МЭК 17025-2019, его оборудование зарегистрировано в Росреестре средств измерений, и таким образом его продукция является легитимной и достоверной.

Определение возраста пород проводится локальным уран-свинцовым методом вторично-ионной масс-спектрометрии (SIMS) без разрушения анализируемого минерального индивида в домене размером 20 × 20 × 2 мкм. В ЦИИ с 2003 г. с функ-

ционирует прибор SIMS SHRIMP-IIe/МС — Прецизионный высокоразрешающий ионный микрозонд второго поколения с мультиколлектором (Sensitive High Resolution Ion Micro Probe = SHRIMP-II/МС). SHRIMP-IIe имеет исключительную чувствительность и разрешающую способность среди всех существующих вторично-ионных микрозондов в области U-Pb систематики.

В 2017 г. SIMS SHRIMP-II/МС в ЦИИ прошел глубокую модернизацию силами завода-изготовителя до уровня SHRIMP-IIe/МС (e=extended). Датирование ведется по различным минералам-геохронометрам (циркон, бадделит, пироксид, титанит, перовскит, рутил, апатит и др.) с точностью лучше 1,5 % в интервале от архея до кайнозоя.

Реализация локальной методики требует проведения предварительного изучения кристаллов для того, чтобы идентифицировать и охарактеризовать различные зоны роста минералов, в том числе катодолюминесцентного, оптического и микрозондового изучения кристаллов при помощи сканирующего электронного микроскопа CamScan MX 2500, оснащенного системой INCA Energy 200 с энергодисперсионным спектрометром и катодолюминесцентным детектором CLI/QUA 2. Особенностью и преимуществом локального датирования является возможность выбора наиболее сохранившихся кристаллических фаз минеральных зерен.

При датировании основных и ультраосновных пород, а также эффузивов, маломощных даек в каждом конкретном случае обосновывается аутигенность циркона. В большинстве случаев это возможно осуществить уже при предварительном морфологическом исследовании с применением оптической микроскопии или при углубленном электронно-микроскопическом и катодолюминесцентном исследовании. В более сложных случаях для обоснования аутигенности или для привязки той или иной генерации циркона к конкретному геологическому событию применяются дополнительные геохимические и изотопно-геохимические методы исследования: изучение изотопной систематики Hf и распределения элементов-примесей, включая редкоземельные элементы.

Для датирования пород методом лазерной абляции в ЦИИ запущена новая лазерно-абляционная система LSX-213nm G2+ (Teledyne CETAC Technologies, США) на основе твердотельного наносекундного лазера в комбинации с масс-спектрометром ICP (ионизация в индуктивно-связанной плазме) высокого разрешения NEPTUNE (Thermo Scientific, Германия). Характеристики наносекундного лазерного источника, запущенного в ЦИИ: длина волны 213 нм, частота 1–20 Гц, длительность импульса 3–5 нс, размер лазерного пятна от 4 до 200 мкм. Эти характеристики позволяют использовать систему для таких востребованных видов локальных изотопных анализов как датировки источников сноса осадочных бассейнов по детритовому циркону, изучение Lu-Hf-систем в цирконе, определение индикативных элементов (REE, Hf и др.) в акцессорных и породообразующих минералах.

При отсутствии автохтонных акцессорных цирконов применяются Sm-Nd, Rb-Sr, Re-Os изохронные

методы датирования с использованием термоионизационной масс-спектрометрии. Имеющийся в арсенале ЦИИ масс-спектрометр нового поколения TRITON TI (Thermo Scientific, Германия), построенный на базе многоколлекторной изотопной платформы, обеспечивает воспроизводимость по Sr и Nd лучше 5 ppm, что делает этот прибор одним из точнейших средств измерения изотопных геохронометров. Эти методы датирования более трудоемки и имеют более высокую неопределенность. С другой стороны, они позволяют дополнительно оценить начальные соотношения изотопов Nd и Sr, что является важнейшим изотопно-геохимическим критерием генезиса пород.

Сопутствующее датированию изучение Sm-Nd и Rb-Sr изотопных систем (ID-TIMS) позволяет уточнить природу магматических источников по значениям ϵ_{Nd} и ϵ_{Sr} , а также определить Nd-модельный возраст пород.

Опыт работы показывает, что среди геохронологических методов доминирующим является локальный вариант изучения U-Pb системы в цирконе — около 75 % определений возраста, остальное приходится на изохронные Sm-Nd и Rb-Sr методы. В единичных, особенно сложных случаях, дополнительно применяются Re-Os датирование по молибденитам и определение Hf модельного возраста по цирконам.

Более развернутая характеристика методов и инструментария геохронологических исследований и изотопной геохимии ЦИИ приведена в работе С. А. Сергеева с соавторами (Обзор современных методов изотопной геохронологии (составная часть Геохронологического Атласа) / С. А. Сергеев [и др.]. СПб., 2015. URL: https://karpinskyinstitute.ru/ru/info/geochron-atlas/geoch-atlas_obzor.pdf).

В ЦКП «Геоспектр» Геологического института им. Н. Л. Дубрецова СО РАН (г. Улан-Удэ) U-Pb изотопный анализ циркона методом лазерной абляции выполнялся на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR (Thermo Fisher Scientific), соединенным с приставкой для лазерного прибора UP-213 с длиной волны излучения 213 нм (New Wave Research). Инструментальные параметры приборов и методика измерений описаны в [28].

2. *Определение содержаний химических элементов в породе.*

Работы проводились в ЦЛ. Лаборатория аккредитована ААЦ «Аналитика», аттестат аккредитации № ААС.А.00619, в соответствии с требованиями международного стандарта ГОСТ ISO/IEC 17025-2019.

Определение содержаний основных породообразующих оксидов (силикатный анализ) осуществляется рентгеноспектральным флуоресцентным методом с использованием рентгеновского многоканального спектрометра ARL-9800 (Швейцария), позволяющего производить измерения в области длин волн от 1,2 до 0,18 нм. Анализ выполняется по методике предприятия III категории точности МП № 17/2013, разработанной в ЦЛ и включенной в область аккредитации.

Для определения содержаний микрокомпонентов (редких, редкоземельных и некоторых дру-

гих химических элементов) использовался метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). ЦЛ оснащена тремя масс-спектрометрами с индуктивно-связанной плазмой: «Элан-6100 DRC» и «Agilent-7700x» ведущих фирм-производителей аналитической техники «Перкин-Элмер» и «Agilent Tech». Работа проводилась по методикам предприятия (МП № 10/2010 и МП № 25/2020), разработанным в ЦИ и внесенным в область аккредитации. Применение современного программного комплекса позволяет обеспечить пределы обнаружения элементов в горных породах на уровне 0,0002–0,01 г/т.

Определялись содержания 42 элементов. Для вскрытия проб горных пород, в зависимости от свойств определяемых элементов, использовались два способа. Метод сплавления пробы с метаборатом лития является наилучшим для анализа на редкоземельные элементы, тугоплавкие металлы, некоторые другие элементы и применялся для определения содержания Ba, Be, Ce, Cr, Cs, Dy, Er, Eu, Ga, Gd, Hf, Ho, La, Lu, Mo, Nb, Nd, Pr, Rb, Sm, Sn, Sr, Ta, Tb, Th, Tm, U, V, W, Y, Yb, Zr. Метод «полного» разложения проб смесью концентрированных кислот и окислителей основан на реакциях компонентов пробы с кислотами и образованием солей, растворимых в разбавленной азотной кислоте. Данный способ оптимален для определения элементов, образующих легколетучие соединения и применялся для определения концентраций Ag, Bi, Co, Cu, Li, Ni, Pb, Sb, Sc, Zn.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ (2022–2024 гг.)

Исследованиями в 2022–2024 гг. была охвачена вся территория России. Приоритетными являлись горноскладчатые регионы, обладающие значительным металлогеническим потенциалом. Выбору объектов предшествовал комплексный анализ геологического строения и изученности территорий. Предпочтение отдавалось рудоносным комплексам, петротипическим объектам либо объектам, получение новой информации по которым давало возможность разрешения каких-либо ключевых проблем геологического строения или металлогении региона.

Датирование магматических и метаморфических комплексов с сопутствующим комплексом аналитических исследований проведено в 500 опорных пунктах (рис. 1). Полученные результаты оперативно использовались при уточнении схем корреляции магматизма и метаморфизма, составлении новых и обновлении существующих ГК среднего и мелкого масштаба, сводных и обзорных карт России, во многих случаях способствовали значительному прогрессу в части реконструкции металлогенической эволюции и геологической истории развития регионов.

Так, например, для раннепалеозойских гранитоидных интрузий центральной части Кузнецкого Алатау (Алтае-Саянская складчатая область), с которыми связаны многочисленные промышленно значимые месторождения, в первую очередь золоторудные

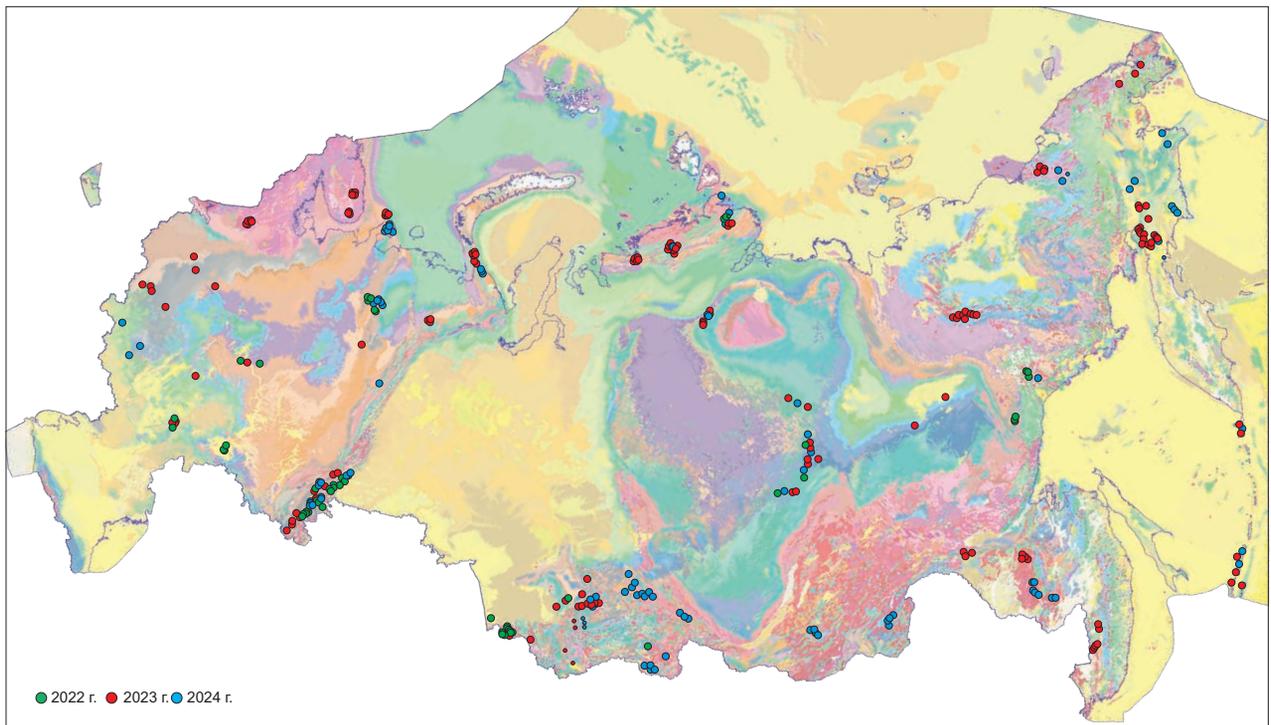


Рис. 1. Расположение пунктов геохронологических и изотопно-геохимических исследований геологических комплексов в 2022–2024 гг.

Fig. 1. Location of geochronological, isotope, and geochemical research points of geological complexes in 2022–2024

и молибден-порфировые, получено 30 новых U-Pb датировок, выполненных методом SIMS с использованием прибора SHRIMP-IIe. Привлечение ретроспективной информации по региону в части изотопного датирования [1; 5; 7; 8; 10; 13–15; 21–25; 29–32], а также комплексный анализ геохронологических данных и геохимических материалов позволили в значительной мере уточнить существующую схему корреляции магматических комплексов Кузнецкого Алатау и обосновать шесть этапов раннепалеозойского магматизма (рис. 2).

Ранне-среднекембрийский этап (515 ± 3 — 502 ± 3 млн лет) представлен диорит-гранодиоритовой ассоциацией с островодужными характеристиками (садринский, мартайгинский? комплексы). К среднему кембрию — раннему ордовику приурочено становление гранодиорит-гранитных батолитов (Тигертышский, Уйбатский, Улень-Туимский и др.) аккреционно-коллизивной природы тигертышского комплекса с двумя фазами внедрения (499 ± 4 — 484 ± 5 и 480 ± 3 — 468 ± 4 млн лет).

С гранитными батолитами пространственно сопряжены более мелкие, почти разновозрастные интрузии габбро-монцодиорит-сиенитового состава, формирование которых предположительно связывается с деятельностью раннепалеозойского плюма [19]. Они подразделяются на когтахский габбро-монцодиоритовый с сиенитами комплекс среднекембрийского возраста (496 ± 3 — 505 ± 5 млн лет) и юлинский сиенит-граносиенитовый комплекс позднего кембрия — раннего ордовика (471 ± 3 — 492 ± 4 млн лет).

Особую проблему представляет определение возраста гранитоидов, с которыми в Кузнецком Алатау сопряжено молибденовое оруденение промышленных масштабов (Сорское, Агаскырское, Ипчульское месторождения и серия проявлений) [3; 27]. Рудоносные интрузии пространственно связаны с гранитами тигертышского комплекса, образуют среди них небольшие (менее $5\text{--}7$ км²) гипабиссальные интрузивы, трещинные плитообразные тела и штоки (сорская «каркасная» интрузия), отличаются повышенной щелочностью, представлены мелко- и тонкозернистыми, редко среднезернистыми граносиенитами, кварцевыми сиенитами, сиенитами, умереннощелочными гранитами и лейкогранитами, часто их порфировыми разностями [2; 20; 26].

Время формирования и объем этого рудоносного комплекса дискуссионны. Результаты Ar-Ar датирования пород Сорского месторождения показывают широкий разброс возрастов в интервале от ордовика до раннего девона [26]. U-Pb-датирование пород также не привело к однозначным выводам. Полученные данные свидетельствуют о длительном развитии рудо-магматической системы в интервале от среднего кембрия до карбон-пермского времени [1].

Дополнительные геохронологические исследования (U-Pb метод SIMS с применением SHRIMP-II) в рамках настоящего проекта пород Сорского и близлежащих интрузивных массивов, анализ совокупных изотопно-геохимических данных позволили ограничить возраст рудоносной интрузии интервалом 449 ± 3 — 466 ± 3 млн лет O₂₋₃. При этом так называемые «рудные порфиры» (грейзенизированные

лейкогранит-порфиры, умереннощелочные лейкогранит-порфиры с молибденовой минерализацией) характеризуются наиболее молодыми изотопными возрастными и достаточно узким временным интервалом 451 ± 3 — 449 ± 3 млн лет (рис. 3).

По результатам настоящей работы эту интрузивную ассоциацию предлагается обособить в самостоятельный сорский сиенит-граносиенит-субщелочно-лейкогранитовый комплекс O_{2-3} . Его формирование предполагается в обстановке трансформной континентальной окраины Сибирского палеоконтинента. Другая точка зрения предусматривает участие в генезисе пород мантийного плюма [3].

Завершают раннепалеозойский магматизм в Кузнецком Алатау схожие по облику и составу с сорским комплексом гипабиссальные гранитоиды с возрастом 423 ± 3 — 433 ± 4 млн лет S_{1-2} (саксырский комплекс).

Другой пример касается джебашской зеленосланцевой толщи, имеющей широкое распространение в Западном Саяне и рассматриваемой в качестве элемента аккреционной призмы венд-кембрийской островной дуги, о чем, в частности, свидетельствуют проявления высокобарного метаморфизма среди зеленых сланцев [17; 18]. Вопрос о возрасте зеленосланцевого комплекса, природе субстрата и метаморфизма является предметом длительных дискуссий. С учетом скудных палеонтологических остатков (микрофитолиты, микрофоссилии) возраст толщи условно принимается в интервале поздний венд — нижний кембрий (томмот) [9]. Высокобарический метаморфизм, по данным $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -исследований фенгита и глаукофана из сланцев джебашской серии, датируется ордовикским ($464,1 \pm 9,7$ млн лет) [4].

В рамках настоящей Программы проведено U-Pb изотопное датирование с помощью лазерной абляции детритовых цирконов из зеленых сланцев джебашской серии в разрезе по р. Енисей (ниже Саяно-Шушенской ГЭС). В результате исследований установлено, что минимальный возраст детритовых зерен магматического генезиса в сланцах составляет 497–481 млн лет (\mathcal{C}_3) (рис. 4). Из этого следует, что возраст осадков, которые служили протолитом сланцев, не может быть древнее верхнего кембрия и что в качестве таковых могли служить сопряженные с джебашской серией и обладающие схожим строением разрезов и текстурой флишеидные фации малоабаканской $V-\mathcal{C}_1$, кохошской $\mathcal{C}_1?$ и каратозской \mathcal{C}_{2-3} толщ. Можно также отметить хорошую сходимость спектра распределения возрастов детритовых зерен циркона джебашской толщи и горноалтайской серии $\mathcal{C}_1-\mathcal{C}_{2-3}$ [6].

Для каждого изученного в рамках Программы геологического объекта предусматривается составление итогового документа — Паспорта, который суммирует результаты петрологических, изотопно-геохимических и геохронологических исследований, содержит краткие сведения по изученному объекту (географическая и координатная привязка, геологическая позиция, формационная принадлежность и другие сведения). Информация включает поясняющий текст, фрагменты карт, таблицы, схемы, графики, фотографии и другие элементы, иллю-

стрирующие результаты исследований. Примеры паспортов для различных типов геологических комплексов приведены в дополнительных материалах к статье. В дальнейшем планируется публикация сборников Паспортов, сгруппированных по регионам РФ. Работами также предусмотрена интеграция результатов с электронным ресурсом ФГБУ «Институт Карпинского» «Геохронологический атлас-справочник» [<http://geochron.karpinskyinstitute.ru/>].

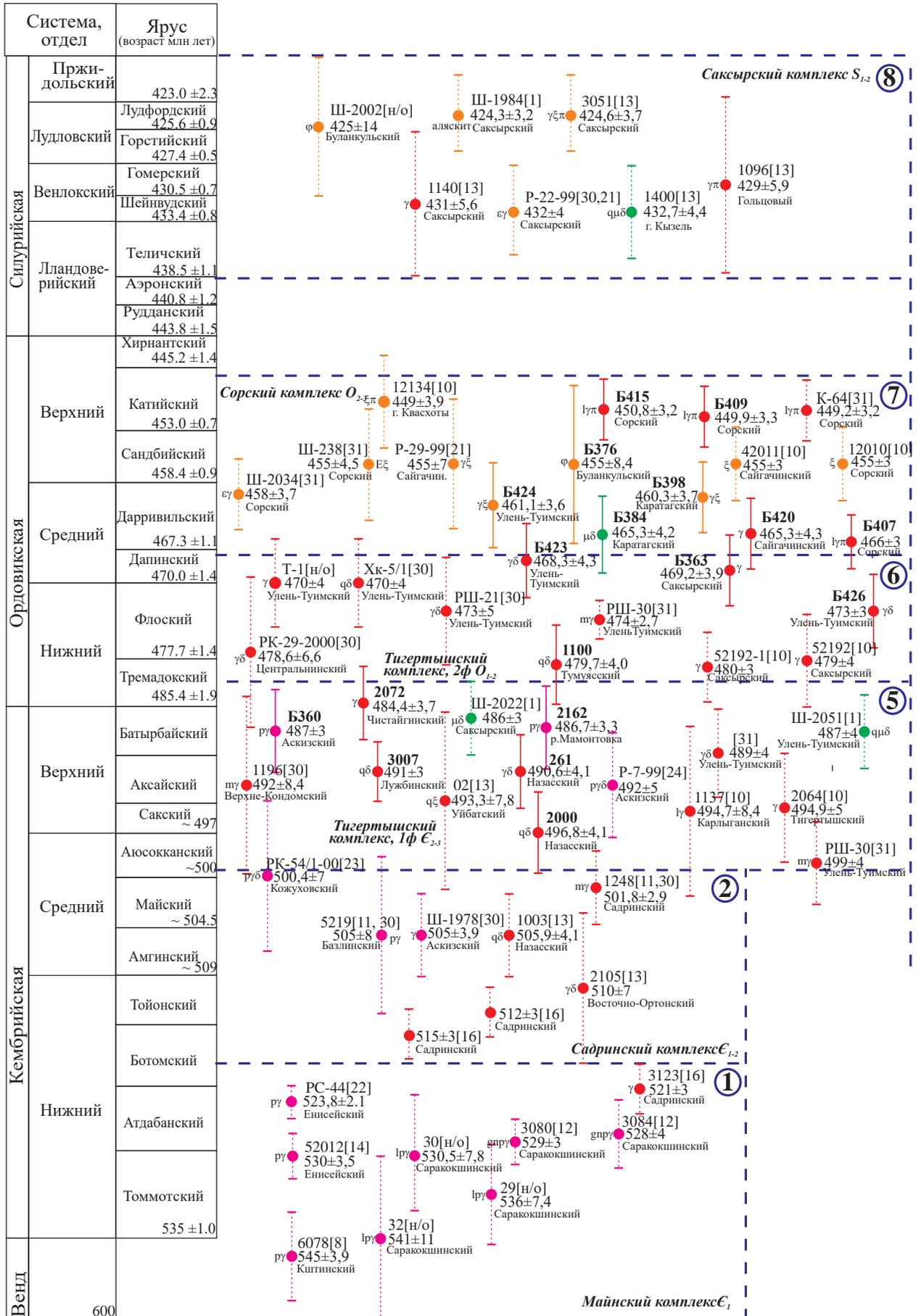
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая положительный опыт первого этапа систематических исследований, очевидную важность геохронологических и изотопно-геохимических работ для дальнейшего развития государственного геологического картирования с выходом на качественно новый уровень, планируется продолжение подобных работ в рамках постоянно действующей государственной программы. При этом анализ состояния дел в этой области позволяет на данном этапе сформулировать ряд актуальных задач, связанных с обеспечением государственных карт нового поколения результатами современных аналитических исследований, их систематизацией и применением в практике региональных геологических работ.

1. Появилось огромное количество новой высококачественной и высокоточной аналитической информации, имеющей большое геологическое значение. Объем новой информации на порядок превышает количество результатов, полученных за все предыдущие годы. Предстоит большая работа по систематизации и осмыслению этой информации, для чего необходимо создание специальной постоянно действующей рабочей группы экспертов ФГБУ «Институт Карпинского» при Научно-редакционном совете по геологическому картированию территории Российской Федерации Федерального агентства по недропользованию.

2. В ряде случаев существовавшие геологические модели строения территорий оказались несостоятельными и требуют переосмысления. Серийные легенды часто нуждаются не только в коррекции, но и в кардинальном пересмотре, что определяет необходимость проведения целенаправленной работы по их совершенствованию на всей территории РФ, с переводом этого направления в перспективе в режим текущего мониторинга.

3. Стала очевидной актуальность проведения специальных опытно-методических работ на типовых геологических структурах (полигонах), главным образом полихронных — полиметаморфических, ремобилизованных и многостадийных. Такие работы дадут ответ о применимости конкретного комплекса методов изотопного анализа к изучению индикативных геологических процессов, позволят разработать и внедрить новые эффективные подходы исследований, начиная с первичного геологического изучения объекта и его опробования, заканчивая интерпретацией и имплементацией изотопной информации. Проведение опытно-методических работ позволит



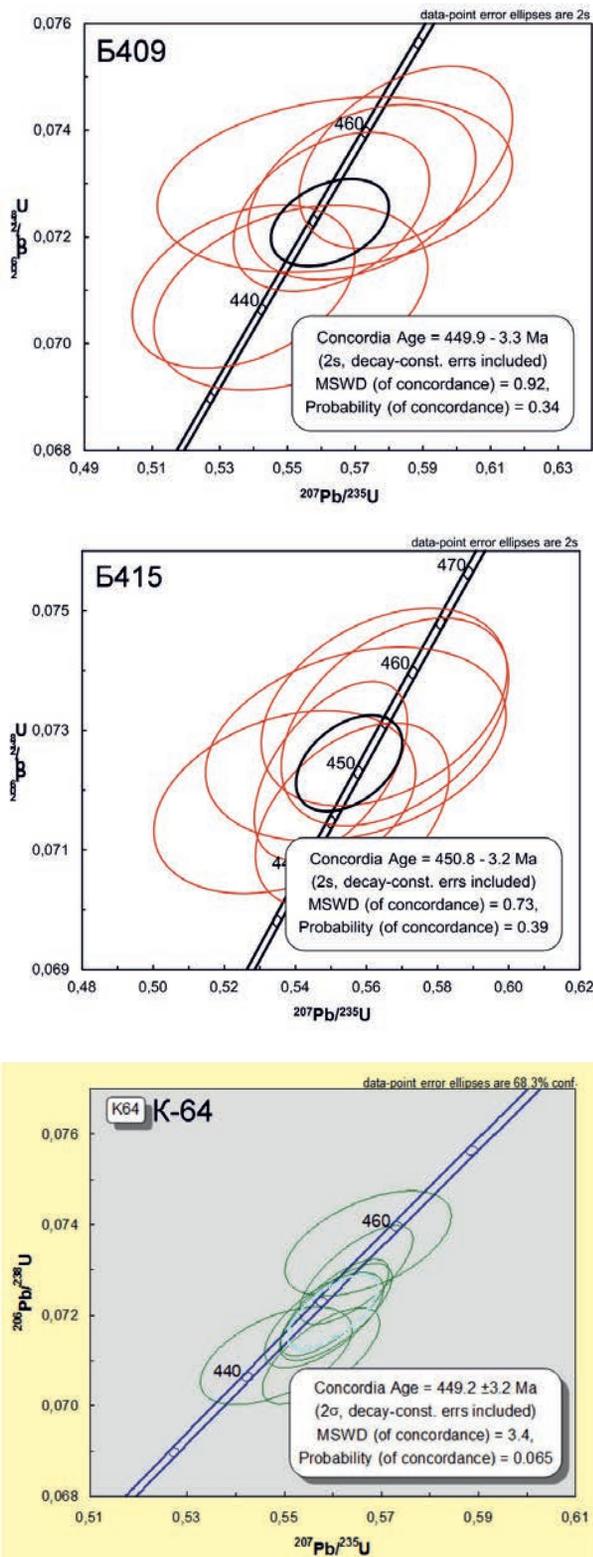


Рис. 3. Диаграммы с конкордиями для цирконов «рудных порфиров» сорского комплекса (Сорский массив, Сорское молибденовое месторождение)

Источник: составлено авторами Г. А. Бабиным, А. Г. Пахалко, М. Э. Кутыревой, С. А. Сергеевым, источник пробы K-64: [32]

Fig. 3. Concordia diagrams for zircons of the “ore porphyries” of the Sorsk Complex (Sorsk Massif, Sorsk molybdenum deposit)

Source: by the authors G. A. Babin, A. G. Pakhalko, M. E. Kutyreva, S. A. Sergeev, source of sample K-64: [32]

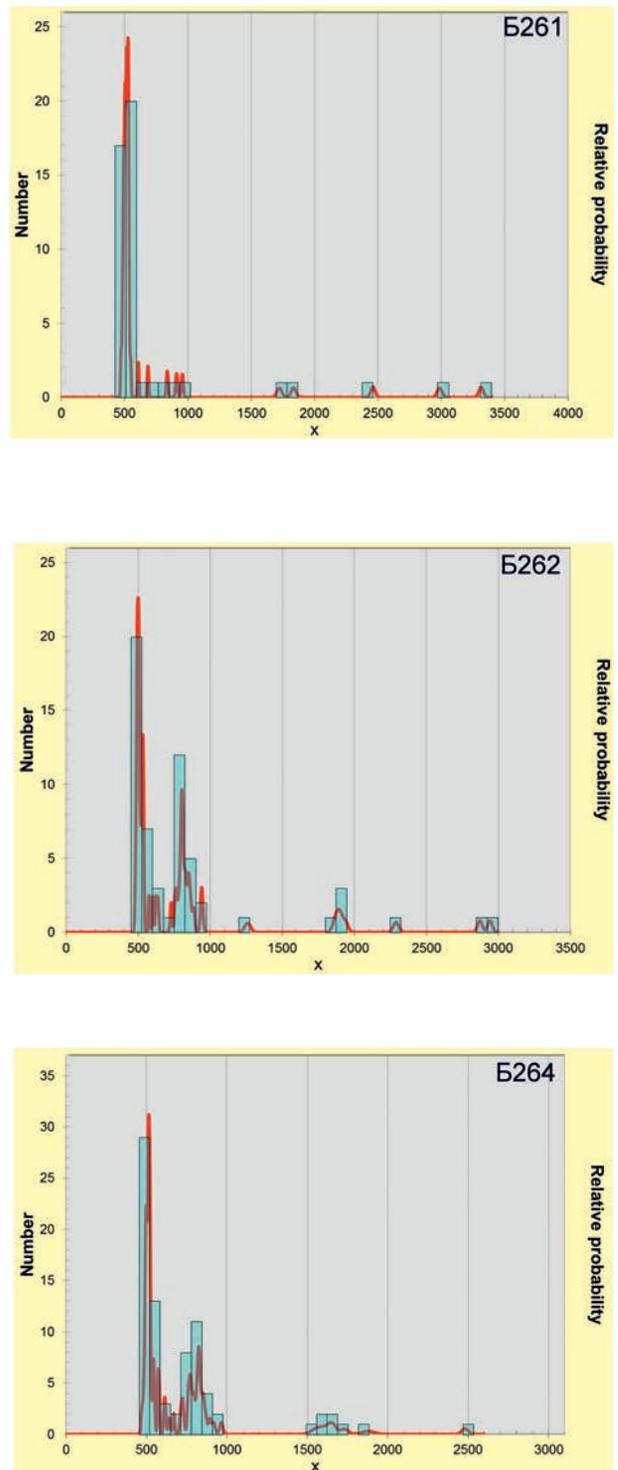


Рис. 4. Гистограммы частоты встречаемости и кривые относительной вероятности возрастов цирконов из зеленых сланцев джебашской серии (пробы B261, B262, B264)

Fig. 4. Bar charts of occurrence frequency and relative probability curves of zircon ages from green schists of the Dzhebash series (samples B261, B262, B264)

разработать и внедрить дополнительные высокоэффективные методы исследования, реализация которых возможна с использованием имеющегося оборудования (изотопные систематики Li, Cu, Ni, Ag, Lu-Hf, La-Ce в породах и минералах, C, O, N, S во включениях в минералах и др.).

4. Назрела необходимость разработки унифицированного комплекса современных лабораторно-аналитических исследований, необходимого для получения полномасштабного и научно-адекватного геологического знания о конкретной территории (например, лист Государственный геологической карты) и обязательного для применения при расходовании средств государственного бюджета. Результаты этих исследований должны составить основу новых региональных схем корреляции геологических событий и процессов рудообразования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм западной части АССО и молибденовое оруденение / Г. А. Бабин [и др.] // Геодинамическая эволюция Центрально-Азиатского подвижного пояса. Материалы совещания. Вып. 6. Т. 1. Иркутск : ИЗК СО РАН, 2008. С. 27–31.
2. Сорский Cu-Мо-порфировый магматический центр (Кузнецкий Алатау): о связи базитов и гранитоидов по Sm-Nd-изотопным и геохимическим данным / А. П. Берзина [и др.] // Докл. РАН. 2010. Т. 430, № 1. С. 78–84.
3. Берзина А. П., Берзина А. Н., Гимон В. О. Сорское Cu-Мо-порфировое месторождение (Кузнецкий Алатау): магматизм, влияние мантийного плюма на развитие рудно-магматической системы // Геология и геофизика. 2011. Т. 52, № 12. С. 1974–1986.
4. Глаукофановые сланцы Куртушибинского хребта: геохимия, природа протолита, возраст / Н. И. Волкова [и др.] // Геодинамическая эволюция Центрально-Азиатского подвижного пояса. Мат. совещ. Вып. 6. Т. 1. Иркутск : ИЗК СО РАН, 2008. С. 71–73.
5. Эволюция палеозойского гранитоидного магматизма Кузнецкого Алатау / В. В. Врублевский [и др.] // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 4. С. 287–311. <https://doi.org/10.15372/GiG20160202>.
6. Гусев Н. И., Шокальский С. П., Гусев А. И. Магматизм и меднопорфировое оруденение месторождения Кульбич, Горный Алтай // Региональная геология и металлогения. 2011. № 46. С. 85–97.
7. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Минусинская. Лист N-45-XXVIII (Шира). Объяснительная записка / М. Н. Секретарев, А. П. Липишанов. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2001. 170 с.
8. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская. Лист N-45 — Новокузнецк. Объяснительная записка / Г. А. Бабин [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2007. 665 с.
9. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Лист N-46 — Абакан. Объяснительная записка / В. В. Беззубцев [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2008. 391 с.
10. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Минусинская. Лист N-46-XXIX — Усть-Бюрь. Объяснительная записка / А. Д. Котельников [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2018. 330 с. (в печати).
11. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Кузбасская. Лист N-45-XXXV — Чаныш. Объяснительная записка / Г. А. Бабин [и др.]. М. : Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2018. 200 с.
12. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Горно-Алтайская. Лист M-45-IV. Объяснительная записка / О. М. Попова [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2018. 402 с. (в печати).
13. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Минусинская. Лист N-45-XXIV — Балыкка. Объяснительная записка / А. Д. Котельников [и др.]. М. : Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ», 2019. 187 с. URL: http://geo.mfvsegei.ru/200k/Zap/Zap_N-45-XXIV.pdf (дата обращения 21.11.2024).
14. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Западно-Саянская. Лист N-46-XXVI — Саяногорск. Объяснительная записка / Т. А. Шаталина [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2019. 224 с.
15. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Минусинская. Лист N-45-XXX — Таштып. Объяснительная записка / А. Д. Котельников [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2020. 375 с. (в печати).
16. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Горно-Алтайская. Лист N-45-XXXIV. Объяснительная записка / О. М. Попова [и др.]. СПб. : Картофабрика ВСЕГЕИ, 2024. 565 с. (в печати).
17. Добрецов Н. Л., Пономарева Л. Г. Офиолиты и глаукофановые сланцы Западного Саяна и Куртушибинского пояса // Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна). Труды ИГиГ. Вып. 407. Новосибирск : Наука, 1977. С. 128–156.
18. Эколиты и глаукофановые сланцы в складчатых областях / Н. Л. Добрецов [и др.]. Новосибирск : Наука, 1989. 235 с.
19. Позднеордовикский возраст камптонитов агардагского комплекса Юго-Восточной Тувы — свидетельство проявления плюмового магматизма при коллизионных процессах / А. Э. Изох [и др.] // Докл. РАН. 2001. Т. 379, № 5. С. 511–514.
20. Перфилова О. Ю. Металлогеническая специализация палеозойских интрузивных комплексов восточного склона Кузнецкого Алатау (на примере Сорского и Коммунарского рудных районов) // Проблемы металлогении юга западной Сибири. Томск : Томский государственный университет, 1999. С. 52–55.
21. Раннепалеозойские гранитоидные батолиты Алтае-Саянской складчатой области / С. Н. Руднев [и др.] // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Мат-лы Всероссийской научной конф. Вып. 3. Т. 1. Томск, 2002. С. 201–207.
22. Руднев С. Н., Крук Н. Н., Куйбида М. Л. Плагииграниты Алтае-Саянской складчатой области: возрастные рубежи, особенности вещественного состава и источники расплавов // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса. Мат-лы совещания. Т. 2. Иркутск : ИЗК СО РАН, 2005. С. 81–84.
23. Раннепалеозойские батолиты северной части Кузнецкого Алатау: вещественный состав, возраст и источники / С. Н. Руднев [и др.] // Петрология. 2008. Т. 16, № 4. С. 421–448.
24. Ранние этапы островодужного плагиигранитоидного магматизма Горной Шории и Западного Саяна / С. Н. Руднев [и др.] // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 1. С. 27–44.
25. Руднев С. Н. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Алтае-Саянской складчатой области и Озерной зоны Западной Монголии / отв. ред. Г. В. Поляков. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2013. 300 с.
26. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ геохронология магматических и метасоматических событий в Сорском Cu-Мо-порфировом рудном узле (Кузнецкий Алатау) / В. И. Сотников [и др.] // Геология и геофизика. 2001. Т. 42, № 5. С. 786–801.

27. Хомичев В. Л., Ломаев В. Г. Сорское медно-молибденовое месторождение. 2-е изд., переработанное. Новосибирск : СНИИГГиМС, 2013. 264 с.

28. Хубанов В. Б., Буянтуев М. Д., Цыганков А. А. U-Pb изотопное датирование цирконов из PZ₃-MZ магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставление с SHRIMP данными // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 1. С. 241–258. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-5-690-705>.

29. The Glafirinskoe and related skarn Cu-Au-W-Mo deposits in the Northern Altai, SW Siberia, Russia: Geology, igneous geochemistry, zircon U-Pb geochronology, mineralization, and fluid inclusion characteristics / S. G. Soloviev [et al.] // *Ore Geology Reviews*. 2021. No. 138. 104382. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104382>.

30. Geology, mineralization, igneous geochemistry, and zircon U-Pb geochronology of Early Paleozoic shoshonite-related Julia skarn deposit, SW Siberia, Russia / S. G. Soloviev [et al.] // *Ore Geology Reviews*. 2022. Vol. 142. 25 p. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104706>.

31. Сводный отчет Изотопное датирование рудоносных магматических и метаморфических комплексов Алтае-Саянской складчатой области для Госгеокарты-1000 (по результатам работ за период с 01.01.99 г. по 31.12.2001 г.). В 2-х кн. / А. Г. Владимиров [и др.]. Новосибирск, 2002ф. ОФ ИГиМ СО РАН. 970 с.

32. Салтыкова Т. Е. Геологический отчет о результатах работ по объекту: «Изотопно-геохимическое и геохронологическое обеспечение Государственного геологического картирования масштаба 1 : 1 000 000». В 3 кн. СПб., 2008. ОФ ВСЕГЕИ.

REFERENCES

1. Early Paleozoic granitoid magmatism of the western part of the ASSO and molybdenum mineralization / G. A. Babin [et al.]. *Geodynamic evolution of the Central Asian mobile belt. Proc. conference. Issue. 6. Vol. 1*. Irkutsk: IEC SB RAS; 2008. P. 27–31. (In Russ).

2. Sorsk Cu-Mo-porphyry magmatic center (Kuznetsk Alatau): on the connection between mafic rocks and granitoids according to Sm-Nd isotope and geochemical data / A. P. Berzina [et al.]. *Reports of the Academy of Sciences*. 2010; 430 (1): 78–84. (In Russ).

3. Berzina A. P., Berzina A. N., Gimon V. O. Sorskoye Cu-Mo porphyry deposit (Kuznetsk Alatau): magmatism, influence of mantle plume on the development of the ore-magmatic system. *Geology and Geophysics*. 2011; 52 (12): 1974–1986. (In Russ).

4. Glaucofane schists of the Kurtushibinsky ridge: geochemistry, nature of the protolith, age / N. I. Volkova [et al.]. *Geodynamic evolution of the Central Asian mobile belt. Mat. meeting Iss 6. Vol. 1*. Irkutsk: IEC SB RAS; 2008. pp. 71–73. (In Russ).

5. Evolution of Paleozoic granitoid magmatism of the Kuznetsk Alatau / V. V. Vrublevsky [et al.]. *Geology and Geophysics*. 2016; 57 (4): 287–311. <https://doi.org/10.15372/GiG20160202> (In Russ).

6. Gusev N. I., Shokal'skiy S. P., Gusev A. I. Magmatism and porphyry copper mineralization of the Kulbich deposit, Gorny Altai. *Regional Geology and Metallogeny*. 2011; (46): 85–97. (In Russ).

7. State Geological Map of the Russian Federation, scale 1 : 200,000. Second edition. Minusinsk Series. Sheet N-45-XVIII — Shira. Explanatory note / M. N. Sekretarev, A. P. Lipishanov. St. Petersburg: VSEGEI Map Factory; 2001. 170 p. (In Russ).

8. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Altai-Sayan Series. Sheet N-45 — Novokuznetsk. Explanatory Note / G. A. Babin [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2007. 665 p. (In Russ).

9. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1 : 1,000,000 (third generation). Sheet N-46 — Abakan.

Explanatory Note / V. V. Bezzubtsev [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2008. 391 p. (In Russ).

10. State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 200,000. Second edition. Minusinsk Series. Sheet N-46-XIX — Ust-Byur. Explanatory Note / A. D. Kotelnikov [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2018. 330 p. (In print). (In Russ).

11. State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 200,000. Second edition. Kuzbass Series. Sheet N-45-XXXV — Chanysh. Explanatory Note / G. A. Babin [et al.]. Moscow: Moscow Branch of the Federal State Budgetary Institution VSEGEI; 2018. 200 p. (In Russ).

12. State Geological Map of the Russian Federation, scale 1 : 200,000. Second edition. Gorno-Altayskaya series. Sheet M-45-IV. Explanatory Note / O. M. Popova [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2018. 402 p. (In Russ).

13. State Geological Map of the Russian Federation, scale 1 : 200,000. Second edition. Minusinskaya Series. Sheet N-45-XXIV — Balyksa. Explanatory Note / A. D. Kotelnikov [et al.]. Moscow: Moscow Branch of VSEGEI; 2019. 187 p. URL: http://geo.mfvsegei.ru/200k/Zap/Zap_N-45-XXIV.pdf (accessed 21.11.2024). (In Russ).

14. State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 200,000. Second edition. West Sayan Series. Sheet N-46-XXVI — Sayanogorsk. Explanatory Note / T. A. Shatalina [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory; 2019. 224 p. (In Russ).

15. State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1 : 200,000. Second edition. Minusinsk Series. Sheet N-45-XXX — Tashtyp. Explanatory Note / A. D. Kotelnikov [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory; 2020. 375 p. (In press). (In Russ).

16. State Geological Map of the Russian Federation, scale 1 : 200,000. 2nd ed. Gorno-Altai Series, sheet N-45-XXXIV. Explanatory Note / O. M. Popova [et al.]. St. Petersburg: VSEGEI Cartography Factory; 2024. 565 p. (In press). (In Russ).

17. Dobretsov N. L., Ponomareva L. G. Ophiolites and glaucophane schists of the Western Sayan and Kurtushibinsky belt. *Petrology and metamorphism of ancient ophiolites (using the Polar Urals and Western Sayan as an example). Proceedings of the Institute of Geology and Geophysics. Iss. 407*. Novosibirsk: Nauka; 1977. P. 128–156. (In Russ).

18. Eclogites and glaucophane schists in folded areas / N. L. Dobretsov [et al.]. Novosibirsk: Nauka; 1989. 235 p. (In Russ).

19. Late Ordovician age of camptonites of the Agardag complex of Southeastern Tuva — evidence of plume magmatism during collision processes / A. E. Izokh [et al.]. *Reports of the Russian Academy of Sciences*. 2001; 379 (5): 511–514. (In Russ).

20. Perfilova O. Yu. Metallogenic specialization of Paleozoic intrusive complexes of the eastern slope of the Kuznetsk Alatau (on the example of the Sorsky and Kommunarovsky ore regions). *Problems of metallogeny of the south of Western Siberia*. Tomsk: Tomsk State University; 1999. P. 52–55. (In Russ).

21. Early Paleozoic granitoid batholiths of the Altai-Sayan folded region / S. N. Rudnev [et al.]. *Petrology of igneous and metamorphic complexes. Proc. of the All-Russian scientific conf. Iss. 3. Vol. 1*. Tomsk; 2002. P. 201–207. (In Russ).

22. Rudnev S. N., Kruk N. N., Kuibida M. L. Plagiogranites of the Altai-Sayan folded region: age boundaries, features of material composition and melt sources. *Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt. Mat. meeting. Vol. 2*. Irkutsk: IEC SB RAS; 2005. P. 81–84. (In Russ).

23. Early Paleozoic batholiths of the northern part of the Kuznetsk Alatau: material composition, age and sources / S. N. Rudnev [et al.]. *Petrology*. 2008; 16 (4): 421–448. (In Russ).

24. Early stages of island-arc plagiogranitoid magmatism in Mountain Shoria and Western Sayan / S. N. Rudnev [et al.]. *Geology and Geophysics*. 2013; 54 (1): 27–44. (In Russ).

25. Rudnev S. N. Early Paleozoic granitoid magmatism of the Altai-Sayan folded region and the Lake zone of Western Mongolia / Ed. G. V. Polyakov. Novosibirsk: Publishing house

of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2013. 300 p. (In Russ.).

26. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronology of magmatic and metamorphic events in the Sorsky Cu-Mo porphyry ore cluster (Kuznetsk Alatau) / V. I. Sotnikov [et al.]. *Geology and Geophysics*. 2001; 42 (5): 786–801. (In Russ.).

27. Khomichev V. L., Lomaev V. G. Sorskoye copper-molybdenum deposit. 2nd ed., revised. Novosibirsk: SNIIGiMS; 2013. 264 p. (In Russ.).

28. Khubanov V. B., Buyantuev M. D., Tsygankov A. A. U-Pb isotope dating of zircons from PZ3-MZ igneous complexes of Transbaikalia by magnetic sector mass spectrometry with laser sampling: determination procedure and comparison with SHRIMP data. *Geology and Geophysics*. 2016; 57 (1): 241–258. <https://doi.org/10.24930/1681-9004-2020-20-5-690-705> (In Russ.).

29. The Glafirinskoe and related skarn Cu-Au-W-Mo deposits in the Northern Altai, SW Siberia, Russia: Geology, igneous geochemistry, zircon U-Pb geochronology, mineralization, and

fluid inclusion characteristics / S. G. Soloviev [et al.]. *Ore Geology Reviews*. 2021; (138): 104382. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104382>.

30. Geology, mineralization, igneous geochemistry, and zircon U-Pb geochronology of Early Paleozoic shoshonite-related Julia skarn deposit, SW Siberia, Russia / S. G. Soloviev [et al.]. *Ore Geology Reviews*. 2022; (142): 25. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104706>.

31. Summary report Isotope dating of ore-bearing igneous and metamorphic complexes of the Altai-Sayan folded region for the State Geomap-1000 (based on the results of work for the period from 01.01.99 to 31.12.2001). In 2 books / A. G. Vladimirov [et al.]. Novosibirsk; 2002f. OF IGIM SB RAS. 970 p. (In Russ.).

32. Saltykova T. E. Geological REPORT on the results of work on the object: "Isotope-geochemical and geochronological support for the State Geological Mapping at a scale of 1 : 1,000,000". In 3 books. St. Petersburg; 2008. OF VSEGEI.

Геннадий Алексеевич Бабин

Кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий отделом

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0009-0002-5992-3750>
SPIN-код РИНЦ 4675-1155
Gennadiy_Babin@karpinskyinstitute.ru

Алексей Геннадьевич Пахалко

Ведущий инженер

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-3102-6794>
SPIN-код РИНЦ 2206-7442
Aleksey_Pahalko@karpinskyinstitute.ru

Анна Алексеевна Соболева

Кандидат геолого-минералогических наук,
доцент, ведущий научный сотрудник

Институт геологии имени Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук, Сыктывкар, Россия

Scopus Author ID 6602728500
ResearcherID J-9298-2018
SPIN-код РИНЦ 8272-7400
РИНЦ Author ID 61678
aa_soboleva@mail.ru

Александра Евгеньевна Цыбульская

Ведущий геолог

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Aleksandra_Tsybulskaya@karpinskyinstitute.ru

Gennady A. Babin

PhD (Geology and Mineralogy),
Head of Department

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0009-0002-5992-3750>
RSCI SPIN-code 4675-1155
Gennadiy_Babin@karpinskyinstitute.ru

Aleksey G. Pakhalko

Leading Engineer

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-3102-6794>
RSCI SPIN-code 2206-7442
Aleksey_Pahalko@karpinskyinstitute.ru

Anna A. Soboleva

PhD (Geology and Mineralogy),
Associate Professor, Leading Researcher

Institute of Geology of the Komi Science Center
of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences,
Syktывkar, Russia

Scopus Author ID 6602728500
ResearcherID J-9298-2018
RSCI SPIN-code 8272-7400
RSCI Author ID 61678
aa_soboleva@mail.ru

Aleksandra E. Tsybulskaya

Leading Geologist

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

Aleksandra_Tsybulskaya@karpinskyinstitute.ru

Марина Эдуардовна Кутырева

Заместитель заведующего отделом

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Marina_Kutyreva@karpinskyinstitute.ru

Галина Андреевна Олейникова

Кандидат химических наук,
начальник Центральной лаборатории

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

galina_oleynikova@karpinskyinstitute.ru

Валентин Борисович Хубанов

Кандидат геолого-минералогических наук,
заведующий лабораторией

Геологический институт им. Н. Л. Добрецова
Сибирского отделения Российской академии наук, Улан-Удэ,
Россия; Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской академии наук, Москва, Россия

Scopus Author ID 6507227953

ResearcherID JBR-9586-2023

SPIN-код РИНЦ 3279-8648

РИНЦ Author ID 71232

khubanov@mail.ru

Сергей Андреевич Сергеев

Кандидат геолого-минералогических наук,
директор Центра изотопных исследований

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-8460-8715>

Scopus Author ID 35467278500

ResearcherID N-4385-2013

SPIN-код РИНЦ 6353-0561

Sergey_Sergeev@karpinskyinstitute.ru

Marina E. Kutyreva

Deputy Head of Department

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

Marina_Kutyreva@karpinskyinstitute.ru

Galina A. Oleynikova

PhD (Chemistry),
Head of Central Laboratory

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

galina_oleynikova@karpinskyinstitute.ru

Valentin B. Khubanov

PhD (Geology and Mineralogy),
Head of Laboratory

Geological Institute named after Academician N. L. Dobretsov,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude,
Russia; Schmidt Institute of Physics of the Earth
of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Scopus Author ID 6507227953

ResearcherID JBR-9586-2023

RSCI SPIN-code РИНЦ 3279-8648

RSCI Author ID 71232

khubanov@mail.ru

Sergey A. Sergeev

PhD (Geology and Mineralogy),
Director, Centre of Isotopic Research

All-Russian Geological Research Institute of A. P. Karpinsky,
Saint Petersburg, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-8460-8715>

Scopus Author ID 35467278500

ResearcherID N-4385-2013

RSCI SPIN-code 6353-0561

Sergey_Sergeev@karpinskyinstitute.ru

Вклад авторов: Бабин Г. А., Пахалко А. Г. — концепция публикации, подготовка текста, иллюстраций, дополнительных материалов.
Сергеев С. А., Олейникова Г. А., Хубанов В. Б. — подготовка текста. Соболева А. А., Цыбульская А. Е. — подготовка дополнительных материалов.
Кутырева М. Э. — организация работ по проекту, подготовка дополнительных материалов.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: Babin G. A., Pakhalko A. G. — research concept, writing the draft, creating illustrations, preparing supplementary data.
Sergeev S. A., Oleynikova G. A., Khubanov V. B. — writing the draft. Soboleva A. A., Tsybul'skaya A. E. — preparing supplementary data.
Kutyreva M. E. — project work organization, preparing supplementary data.

Conflict of interest: the authors declare no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 08.11.2024
Одобрена после рецензирования 27.11.2024
Принята к публикации 28.12.2024

Submitted 08.11.2024
Approved after reviewing 27.11.2024
Accepted for publication 28.12.2024