

ГЕОЛОГИЯ
ГЕОЛОГИЯ
GEOLOGYDOI 10.51885/1561-4212_2021_3_21
MPHTI 44.29.01**А.В. Травин, А.Г. Владимиров, Н.Г. Мурзинцев, И.Ю. Анникова,
С.В. Хромых, П.Д. Котлер**

Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, Россия

E-mail: travin@igm.nsc.ru***E-mail:** vladimir@igm.nsc.ru**E-mail:** murzintsevng@gmail.com**E-mail:** iyuannikova@mail.ru**E-mail:** serkhrom@igm.nsc.ru**E-mail:** pkotler@yandex.ru**ПЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ
КАЛБА-НАРЫМСКОГО ПОЯСА (ВОСТОЧНЫЙ КАЗАХСТАН)****ҚАЛБА-НАРЫМ БЕЛДЕУІНІҢ СИРЕК МЕТАЛЛ КЕН ОРЫНДАРЫНЫҢ
ПЕТРОЛОГИЯЛЫҚ МОДЕЛІ (ШЫҒЫС ҚАЗАҚСТАН)****PETROLOGICAL MODEL OF RARE METAL DEPOSITS OF THE
KALBA-NARYM BELT (EAST KAZAKHSTAN)**

Аннотация. Для пород гранодиорит-гранитной ассоциации Калбинского батолита Алтайской аккреционно-коллизонной системы и связанных с ними редкометалльных месторождений и рудопроявлений проведена сравнительная реконструкция их термической истории на основании опубликованных и новых данных изотопного датирования. Показано, что консолидация гранитоидных массивов происходила в диапазоне 288-297 млн лет, при этом возраст формирования редкометалльных месторождений и рудопроявлений асубулакского комплекса согласуется с возрастом формирования второй фазы гранитов калбинского комплекса, а также с импульсом тектонической активности в пределах Иртышской сдвиговой зоны (ИСЗ). Закрытие изотопной K/Ar системы слюд для различных участков батолита растягивается до возраста 270 млн лет. В это же время произошло формирование запечатывающих структурные деформации ИСЗ долеритовых даек миролюбовского комплекса, что свидетельствует в пользу общего подъема территории и синорогенического коллапса Алтайской коллизонной системы. Полученные в результате численного моделирования термические тренды для гранитоидов Калбинского батолита согласуются с экспериментальными только в том случае, если в качестве источника образования рудных тел рассматриваются остаточные расплавы, связанные с дифференциацией глубинного магматического очага гранитного состава.

Ключевые слова: гранитоидные батолиты, редкометалльное оруденение, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование, U/Pb датирование, термохронология.

Аңдатпа. Алтай аккрециялық-коллизиялық жүйесінің Қалба батолитінің гранодиорит-гранитті ассоциациясының жыныстары және олармен байланысты сирек металл кен орындары мен кен білімдері үшін жарияланған және изотоптық мерзімдеудің жаңа деректері негізінде

олардың термиялық тарихына салыстырмалы қайта құру жүргізілді. Гранитоидты массивтердің шоғырлануы 288-297 миллион жыл аралығында болғандығы көрсетілген, бұл асубулак кешенінің сирек металды кен орындары мен кен білінімдерінің қалыптасу жасы қалба кешенінің граниттерінің екінші фазасының қалыптасу жасына, сондай – ақ Ертіс ығыспа белдемі (ЕЫБ) шеіндегі тектоникалық белсенділік импульсіне сәйкес келеді. Батолиттің әртүрлі учаскелері үшін изотоптық K/Ar слюда жүйесінің жабылуы 270 миллион жасқа дейін созылады. Осы уақытта ЕЫБ құрылымдық деформацияларын әсерлейтін миролубов кешенінің долеритті сығылмалары қалыптасты, бұл аумақтың жалпы көтерілуін және Алтай коллизиялық жүйесінің синорогенді коллапсын дәлелдейді. Егер гранит құрамды терең магмалық ошағының дифференциациясымен байланысты қалдық балқымалар кен денелерінің пайда болу көзі ретінде қарастырылса ғана Қалба батолитінің гранитоидтары үшін сандық модельдеу нәтижесінде алынған жылу трендері эксперименталды болып саналады.

Түйін сөздер: гранитоидты батолиттер, сирек металды кендену, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ мерзімдеу, U/Pb мерзімдеу, термохронология.

Abstract. Rocks of the granodiorite-granite Association of the Kalba Batholith of the Altai accretion-collision system and related rare metal deposits and ore formations were subjected to comparative reconstruction of their thermal history based on new data of published and isotopic periodization. It is shown that the concentration of granitoid massifs was in the range of 288-297 million years, which corresponds to the age of formation of rare metal deposits and ore formations of the asubulak complex, the age of formation of the second phase of granites of the Kalba complex, as well as the pulse of tectonic activity within the Irtysh shear belt (EIB). The closure of the isotopic K/Ar Mica system for various batolite sites lasts up to 270 million years. At this time, dolerite compressions of the mirolyubov complex were formed, affecting the structural deformations of the EIB, which indicates the general uplift of the territory and synorogenic collapse of the Altai collision system. Thermal trends obtained as a result of quantitative modeling for granitoids of Kalba batholite are considered experimental only if residual melts associated with the differentiation of a granite-containing deep igneous Focus are considered as a source of formation of ore bodies.

Keywords: granitoid batholiths, rare metal ore mining, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ timing, U/Pb timing, thermochronology.

Введение. Калба-Нарымский гранитоидный пояс представляет собой главную редкометалльную структуру Алтайской аккреционно-коллизийной системы [1, 2]. Его формирование является результатом взаимодействия Таримского плюма и структур Алтайской коллизийной сдвиговой системы [3]. Здесь сосредоточены многочисленные месторождения и рудопроявления пегматитового, альбитит-грейзенового, грейзеново-кварцевожильного и гидротермального типов, среди которых к ведущему геолого-промышленному типу относятся месторождения сподуменовых пегматитов (Ta, Nb, Be, Li, Cs, Sn) асубулакского комплекса. В пределах Иртышской сдвиговой зоны (ИСЗ), на северо-восточном фланге Калба-Нарымского пояса, расположено Ново-Ахмировское месторождение, представленное штоком топаз-циннвальдитовых гранитов. По отношению к Калбинскому батолиту (возраст 288-297 млн лет, рис. 1, табл. 1) сподуменовые пегматиты занимают «внутригранитную» позицию [3, 4]. Структурно-геологические и геохронологические исследования указывают на тесную пространственно-временную связь сподуменовых пегматитов с субширотными разломами, оперяющими Иртышскую сдвиговую зону, при этом их датировки согласуются с возрастом активации ИСЗ – 285 млн лет [5]. С учетом сказанного, для понимания механизмов формирования редкометалльных месторождений необходима детальная реконструкция и сопоставление термической эволюции как вмещающих их гранитоидных массивов, так и самих месторождений.

Материалы и методы исследования. С использованием опубликованных [3, 4, 5, 6, 7 и др.] и новых данных мультиминерального изотопного датирования (табл. 1) проведена

сравнительная реконструкция термической истории гранитоидных комплексов Калбинского батолита и редкометалльных месторождений (рис. 1).

Для $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования были отобраны образец среднезернистого слабoporфи ровидного биотитового гранита из Прииртышского массива (№ 1123) и образец гранит-гранодиорита из Черновинского массива (№ 1156).

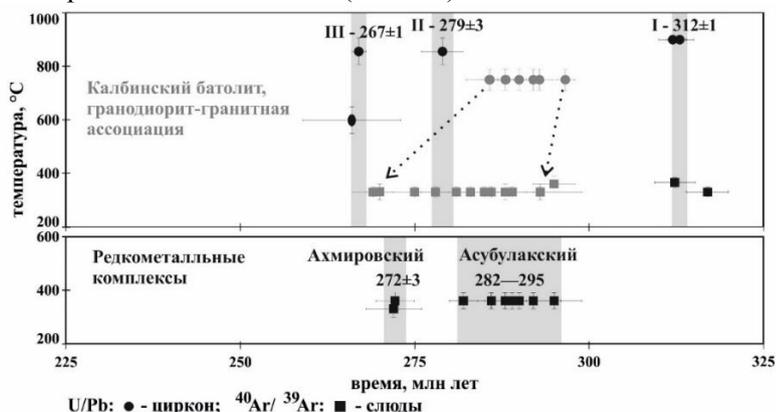


Рисунок 1. Сводка геохронологических данных для гранитов калбинского комплекса и редкометалльных месторождений Калба-Нарымского пояса на термохронологической диаграмме (возраст – температура формирования, либо закрытия изотопной системы). На верхней диаграмме черным показаны датировки I – габбро иртышского комплекса, II, III – даек лампрофиров, долеритов миролюбовского комплекса

Изотопное $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ определение возраста методом ступенчатого прогрева выполнено в Центре коллективного пользования научным оборудованием многоэлементных и изотопных исследований СО РАН (ЦКП МИИ СО РАН, г. Новосибирск) для биотитов мономинеральных фракций из гранитов Прииртышского (образец 1123) и Черновинского (образец 1156) массивов. Отбор проб биотита производился вручную под бинокулярной лупой из фракции 0,3-0,1 мм измельченного образца. Облучение образцов было проведено в канале научного реактора ВВР-К в Научно-исследовательском институте ядерной физики (Томск). Градиент нейтронного потока за период облучения не превышал 0,5 % в размере образца. В качестве монитора использован стандартный K/Ar образец мусковит МСА-11 (ОСО № 129-88), подготовленный Всесоюзным научно-исследовательским институтом минерального сырья Министерства геологии СССР (ВИМС) в 1988 году. Для его калибровки в качестве $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ монитора использовались международные стандартные образцы: мусковит Bern 4m и биотит LP-6 [8]. По результатам калибровки в качестве возраста мусковита МСА-11 было принято среднее, которое составило $311,0 \pm 1,5$ млн лет [9]. Нагревание образцов происходило в кварцевом реакторе с помощью внешней резистивной печи. Контроль температуры осуществлялся посредством хромель-алюмелевой термопары. Точность регулировки температуры составляла ± 1 °C. Холостой опыт по ^{40}Ar (10 мин при 1200°C) не превышал 5×10^{-10} нсм³. Очистку выделяемого аргона производили вымораживанием с помощью стеклянного аппендикса, погруженного в жидкий азот, и ZrAl-SAES-геттеров. Изотопный состав аргона измерялся на масс-спектрометре Noble gas 5400 фирмы «Микромасс» (Англия). Особое внимание уделялось контролю фактора изотопной дискриминации с помощью измерения порции очищенного атмосферного аргона. Среднее значение отношения $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ на период измерений составило 298 ± 1 . Для коррекции на изотопы ^{36}Ar , ^{37}Ar , ^{40}Ar , полученные при облучении Ca, K, использованы следующие ко-

эффиценты: $(^{39}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})\text{Ca} = 0,000891 \pm 0,000005$; $(^{36}\text{Ar}/^{37}\text{Ar})\text{Ca} = 0,000446 \pm 0,000006$; $(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})\text{K} = 0,089 \pm 0,001$. Значение полной постоянной распада ^{40}K , в соответствии с [10], принималось равным $5,543 \times 10^{-10} \text{ год}^{-1}$.

Результаты и их обсуждения. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования приведены на рис. 2 и в табл. 2.

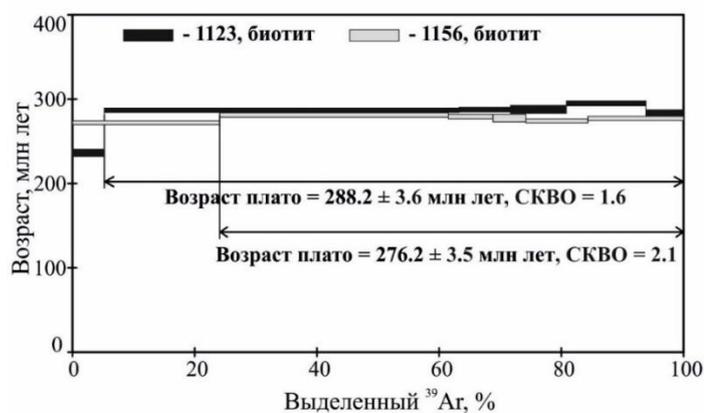


Рисунок 2. Результаты $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирования биотитов из гранитов Прииртышского (образец 1123) и Черновинского (образец 1156) массивов

В спектрах биотитов Прииртышского (образец 1123) и Черновинского (образец 1156) массивов, являющихся вмещающими для редкометалльных месторождений, выделяются кондиционные плато, характеризующиеся значениями возраста $288,2 \pm 3,6$ и $276,2 \pm 3,5$ млн лет соответственно. Новые датировки попадают в диапазон значений $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраста, полученных по биотитам из гранитов гранодиорит-гранитной ассоциации Калбинского батолита ранее [3].

На основании имеющихся U/Pb датировок, консолидация гранитоидных массивов гранодиорит-гранитной ассоциации Калбинского батолита происходила в диапазоне 288–297 млн лет (рис. 1, табл. 1). Относительно возраста консолидации гранитов закрытие изотопной K/Ar системы слюд для различных участков батолита растягивается до возраста 270 млн лет (рис. 1). В это же время произошло формирование запечатывающих структурные деформации ИСЗ долеритовых даек миролюбовского комплекса, что свидетельствует в пользу общего подъема территории и синорогенического коллапса Алтайской аккреционно-коллизонной системы.

Нами проведено численное моделирование истории консолидации и остывания Калба-Нарымского гранитоидного батолита и связанных с ним редкометалльных месторождений.

Решение уравнений теплопроводности и диффузии проводилось численным методом, основанным на центрально-симметричной разностной схеме. При выборе начальных условий моделирования и сценариев эволюции учитывались: 1) наблюдаемый диапазон датировок одной изотопной системы в минеральных зернах одного вида, зависящий от положения точки отбора в пределах гранитоидного массива (например, центр – край, кровля – нижняя часть или же в пределах современного эрозионного среза), от принадлежности изученных образцов к различным магматическим комплексам, фазам магматизма; 2) диапазон значений датировок, полученных различными изотопными методами, по минералам одной пробы; 3) наличие поздних процессов по отношению к магматической камере, этапы формирования которой могут быть разделены во времени на десятки

миллионов лет. Моделируя те или иные конфигурации и последовательность геологических событий, в том числе наложенных, можно подобрать термические истории, которые будут удовлетворять реальным датировкам с достаточно большой степенью достоверности. Таким образом, становится возможным подтвердить или опровергнуть тот или иной вариант геологического сценария.

При моделировании термической истории формирования редкометалльных рудопроявлений Калба-Нарымского гранитоидного батолита (месторождения сподуменовых пегматитов (Ta, Nb, Be, Li, Cs, Sn) асубулакского комплекса, Ново-Ахмировская РМС) по методике [11] были рассмотрены две модели: однокаскадная и двухкаскадная магматические колонны, заполненные гранитным расплавом. Состав гранитной магмы отвечал среднему составу главной фазы калбинского комплекса, средний приведенный состав которой составляет (%): кварц – 27,13; плагиоклаз – 38,3; ортоклаз – 25,71; корунд – 1,9; гиперстен – 2,07; рутил – 0,38; ильменит – 0,3; гематит – 3,91; апатит – 0,44; циркон – 0,04. Состав вмещающей рамы соответствовал среднему составу такырской свиты, средний нормативный состав которой составляет (%): кварц – 33,12; плагиоклаз – 39; ортоклаз – 11,58; корунд – 1,69; гиперстен – 7,32; рутил – 0,61; ильменит – 0,21; гематит – 6,09; апатит – 0,37. Для данных составов были пересчитаны плотность, теплоемкость и теплопроводность слагающих пород. Для указанного выше среднего нормативного минерального состава родоначальной гранитной магмы оценка температуры ликвидуса составила 860 – 850 °С. Температура солидуса расплава определялась в соответствии с давлением и степенью консолидации расплава, как указано выше в математической модели. Также, учитывая уникальность Ново-Ахмировского штока топаз-циннвальдитовых гранитов, предпринята попытка оценить химический состав кристаллизовавшихся пород и остаточного расплава. В силу крайне малых размеров Ново-Ахмировского штока Li-F гранитов и скрытого под ним гранитного массива (поперечный размер штока ~300 м, а массива – 5-20 км) остывание после кристаллизации должно было быть быстрым, поэтому за возраст внедрения массива можно принять $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датировку (272 млн лет).

Расчетные термические тренды для гранитоидов Калбинского батолита согласуются с экспериментальными только в том случае, если в качестве источника образования рудных тел рассматриваются остаточные расплавы, связанные с дифференциацией глубокого магматического очага гранитного состава. Поэтому в конечной модели при численном моделировании рассматривалась эволюция гранитной магмы в двухуровневой магматической колонне, где составная камера на уровне промежуточных глубин соответствует гранитным массивам калбинского комплекса, а нижняя – источнику родоначального расплава (рис. 3).

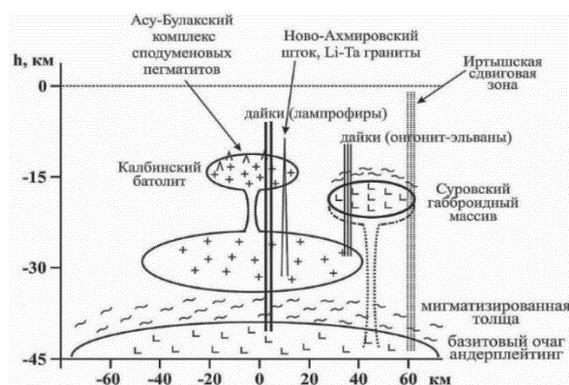


Рисунок 3. Конфигурация редкометалльной рудно-магматической системы

Калба-Нарымского пояса, принятая для численного моделирования

В качестве каналов, облегчающих подъем рудоносных расплавов, могли послужить оперяющие Иртышскую сдвиговую зону разломы. В то же время остаточный расплав на глубинных уровнях системы должен сохраниться в течении 20 млн лет, до момента формирования Ново-Ахмировского штока (272 млн лет, рис. 1, 2).

Таблица 1. Сводка геохронологических данных для гранитоидов гранодиорит-гранитной ассоциации Калбинского батолита и редкометалльных месторождений, рудопроявлений

Массив, порода	Метод, минерал	Возраст, млн лет	Источник
Раннекалбинский гранодиорит-гранит-лейкогранитный комплекс			
Асубулакский массив, граниты	U/Pb, LA-ICP-MS, циркон	296 ± 1,3	12
	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar, биотит	284,9 ± 2,2	3
Черновинский массив, гранит-гранодиорит, образец 1156	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar, биотит	296 ± 1,3	Настоящая работа
Асубулакский сподумен-пегматитовый комплекс			
Месторождения Асубулак, Белогорское, Огневка	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar, мусковит, лепидолит	295 ± 4 - 281 ± 2	3
Позднекалбинский гранит-лейкогранитный комплекс			
Шибендинский, Черновинский, Миролубовский, Сергеевский, Кемиркаинский массивы	U/Pb, LA-ICP-MS, циркон	288,1 ± 1,2	3, 12
	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar, биотит, мусковит	282,5 ± 2,1 - 269 ± 3	3
Прииртышский массив, биотитовый гранит, образец 1123	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar, биотит	288,2 ± 3,6	Настоящая работа
Миролубовский онгонит-лампрофир-долеритовый дайковый комплекс			
Дайка, секущая Черновинский гранитоидный массив	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar, амфибол	279 ± 3	13
Чечекский дайковый пояс, онгониты	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar, мусковит	285 ± 3	14, 15
	Rb/Sr порода-мусковит	266 ± 7	6
Дайка, секущая Монастырский гранит-лейкогранитный массив	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar, биотит	267 ± 1	14, 15
Ново-Ахмировская рудно-магматическая система			
Ново-Ахмировский шток: топаз-циннвальдитовые граниты	Rb/Sr порода-лепидолит	272 ± 4	6
	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar, лепидолит	272,4 ± 2,4	7

Заключение. Таким образом, предложена петрологическая модель, связывающая формирование пород гранодиорит-гранитной ассоциации Калбинского батолита и редкометалльных месторождений, учитывающая: 1) плюмовую активность мантии, определяющую масштабное гранитообразование в земной коре, 2) сдвиговые деформации в литосфере, контролировавшие внедрение сподуменовых пегматитов в оперяющих субширотных разломах Иртышской сдвиговой зоны.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ИГМ СО РАН.

Список литературы

1. Щерба Г.Н., Беспаяев Х.А., Дьячков Б.А., Мыслик А.М., Ганженко Г.Д., Сапаргалиев Е.М. Большой Алтай: (геология и металлогения): В 3 кн.; Кн. 2. Металлогения. – Алматы: РИО ВАК РК, 2000. – 400 с.
2. Дьячков Б.А. Генетические типы редкометалльных месторождений Калба-Нарымского пояса. – Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2012. – 129 с.
3. Хромых С.В., Цыганков А.А., Котлер П.Д., Навозов О.В., Крук Н.Н., Владимиров А.Г., Травин А.В., Юдин Д.С., Бурмакина Г.Н., Хубанов В.Б., М.Д. Буянтуев, Анциферова Т.Н., Караваяева Г.С. Позднепалеозойский гранитоидный магматизм Восточного Казахстана и Западного Забайкалья: тестирование плюмовой модели // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57. – № 5. – С.983-1004.
4. Khromykh S.V., Kotler P.D., Smirnov S.Z., Travin A.V., Vladimirov A.G., Sokolova E.N., Oitseva T.A., D'yachkov B.A., Kuzmina O.N., Mizernaya M.A., Agaliyeva B.B. Rare-metal pegmatite deposits of the kalba region, eastern kazakhstan: age, composition and petrogenetic implications // Minerals. – 2020. – Vol.10. – Iss. 11. – P.1-15.
5. Травин А.В., Бовен А., Плотников А.В., Владимиров В.Г., Теуниссен К., Владимиров А.Г., Мельников А.Г., Титов А.В. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ датирование деформаций в Иртышской зоне смятия (Восточный Казахстан) // Геохимия. – 2001. – № 12. – С. 1347-1350.
6. Довгаль В.Н., Дистанова А.Н., Саботович С.А., Палесский С.В., Титов А.В., Чупин В.П., Маслов В.И., Козлов М.С. О происхождении позднепалеозойских литий-фтористых гранитоидов Юго-Западного Алтая // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36. – № 3. – С. 64-72.
7. Мурзинцев Н.Г., Анникова И.Ю., Травин А.В., Владимиров А.Г., Дьячков Б.А., Маслов В.И., Ойцева Т.А., Гаврюшкина О.А. Термохронология и математическое моделирование динамики формирования редкометалльно-гранитных месторождений Алтайской коллизионной системы // Геодинамика и тектонофизика. – 2019. – 10(2) . – С.375-404.
8. Baksi A.K., Archibald D.A., Farrar E. Intercalibration of $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating standards // Chem. Geol. – 1996. – V. 129. – P. 307-324.
9. Травин А.В. Термохронология раннепалеозойских коллизионных, субдукционно-коллизионных структур Центральной Азии // Геология и геофизика. – 2016. – Т. 57. – № 3. – С. 553-574.
10. Steiger R.H., Jäger E. Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology // Earth Planet Sci. Lett. – 1977. – V. 36. – P. 359-362.
11. Владимиров А.Г., Анникова И.Ю., Мурзинцев Н.Г., Травин А.В., Соколова Е.Н., Смирнов С.З., Гаврюшкина О.А., Ойцева Т.А. (2019) Возрастные рубежи и оценка длительности формирования Калгутинской Мо-*W* рудно-магматической системы (Алтай): термохронология и математическое моделирование // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60. – № 8. – С. 1126-1152.
12. Котлер П.Д., Хромых С.В., Владимиров А.Г., Навозов О.В., Травин А.В., Караваяева Г.С., Крук Н.Н., Мурзинцев Н.Г. Новые данные о возрасте и геодинамическая интерпретация гранитоидов Калба-Нарымского батолита (Восточный Казахстан): Доклады РАН, 2015. – 462 (5). – С. 572-577.
13. Хромых С.В., Котлер П.Д., Гурова А.В., Семенова Д.В. Посторогенные дайковые пояса Алтайской коллизионной системы: геологическая позиция, состав и возраст. Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. – С. 163-165.
14. Хромых С.В., Соколова Е.Н., Смирнов С.З., Травин А.В., Анникова И.Ю. Геохимия и возраст редкометалльных дайковых пород Восточного Казахстана: Доклады РАН, 2014. – 459 (5). – С. 612-617.
15. Хромых С.В., Котлер П.Д., Гурова А.В., Семенова Д.В. Посторогенные дайковые пояса Алтайской коллизионной системы: геологическая позиция, состав и возраст. Корреляция алтаид и уралид: магматизм, метаморфизм, стратиграфия, геохронология, геодинамика и металлогения. –Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2018. – С. 163-165.

References

1. SHCHerba G.N., Bespaev H.A., D'yachkov B.A., Mysnik A.M., Ganzhenko G.D., Sapargaliev E.M. Bol'shoj Altaj: (geologiya i metallogeniya). V 3 kn. Kn. 2. Metallogeniya / Almaty: RIO VAK

- RK, 2000. 400 s.
2. D'yachkov B.A. Geneticheskie tipy redkometall'nyh mestorozhdenij Kalba-Narymskogo poyasa // Ust'-Kamenogorsk: VKGTU, 2012. – 129 s.
 3. Hromyh S.V., Cygankov A.A., Kotler P.D., Navozov O.V., Kruk N.N., Vladimirov A.G., Travin A.V., YUdin D.S., Burmakina G.N., Hubanov V.B., M.D. Buyantuev, Anciferova T.N., Karavaeva G.S. Pozdnepaleozojskij granitoidnyj magmatizm Vostochnogo Kazahstana i Zapadnogo Zabajkal'ya: testirovanie plyumovoj modeli//Geologiya i geofizika, 2016. T. 57, № 5. S.983-1004.
 4. Khromykh S.V., Kotler P.D., Smirnov S.Z., Travin A.V., Vladimirov A.G., Sokolova E.N., Oitseva T.A., D'yachkov B.A., Kuzmina O.N., Mizernaya M.A., Agaliyeva B.B. Rare-metal pegmatite deposits of the kalba region, eastern kazakhstan: age, composition and petrogenetic implications // Minerals. 2020. Vol.10. Iss. 11. P.1-15.
 5. Travin A.V., Boven A., Plotnikov A.V., Vladimirov V.G., Teunissen K., Vladimirov A.G., Mel'nikov A.G. i Titov A.V. 40Ar/39Ar datirovanie deformacij v Irtysknoj zone smyatiya (Vostochnyj Kazahstan) // Geohimiya. 2001. № 12. S. 1347-1350.
 6. Dovgal' V.N., Distanova A.N., Sabotovich S.A., Paleskij S.V., Titov A.V., CHupin V.P., Maslov V.I., Kozlov M.S. O proiskhozhdenii pozdnepaleozojskih litij- ftoristyh granitoidov YUgo-Zapadnogo Altaya // Geologiya i geofizika. 1995. T. 36. № 3. S. 64–72.
 7. Murzincev N.G., Annikova I.YU., Travin A.V., Vladimirov A.G., D'yachkov B.A., Maslov V.I., Ojceva T.A., Gavryushkina O.A. TERMOHROLOGIYA I MATEMATICHESKOE MODELIROVANIE DINAMIKI FORMIROVANIYA REDKOMETALL'NO-GRANITNYH MESTOROZHDENIJ ALTAJSKOJ KOLLIZIONNOJ SISTEMY. Geodinamika i tektonofizika. 2019;10(2):375-404.
 8. Baksi A.K., Archibald D.A., Farrar E. Intercalibration of 40Ar/39Ar dating standarts // Chem. Geol. 1996. V. 129. P. 307-324.
 9. Travin A.V. Termohronologiya rannepaleozojskih kollizionnyh, subdukcionno-kollizionnyh struktur Central'noj Azii // Geologiya i geofizika. 2016. T. 57. № 3. S. 553-574.
 10. Steiger R.H., Jäger E. Subcommission on geochronology: convention on the use of decay constants in geo- and cosmochronology // Earth Planet Sci. Lett. 1977. V. 36. P. 359-362.
 11. Vladimirov A.G., Annikova I.YU., Murzincev N.G., Travin A.V., Sokolova E.N., Smirnov S.Z., Gavryushkina O.A., Ojceva T.A. (2019) Vozrastnye rubezhi i ocenka dlitel'nosti formirovaniya Kalgutinskoj Mo-W rudno-magmaticheskoj sistemy (Altaj): termohronologiya i matematicheskoe modelirovanie. Geologiya i geofizika. 2019. T. 60. № 8. S. 1126-1152.
 12. Kotler P.D., Hromyh S.V., Vladimirov A.G., Navozov O.V., Travin A.V., Karavaeva G.S., Kruk N.N., Murzincev N.G. (2015) Novye dannye o vozraste i geodinamicheskaya interpretaciya granitoidov Kalba-Narymskogo batolita (Vostochnyj Kazahstan). Doklady RAN, 462 (5), 572-577.
 13. Hromyh S.V., Kotler P.D., Gurova A.V., Semenova D.V. (2018) Postorogennye dajkovye poyasa Altajskoj kollizionnoj sistemy: geologicheskaya poziciya, sostav i vozrast. Korrelyaciya altaid i uralid: magmatizm, metamorfizm, stratigrafiya, geohronologiya, geodinamika i metallogeniya. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 163-165.
 14. Hromyh S.V., Sokolova E.N., Smirnov S.Z., Travin A.V., Annikova I.YU. (2014) Geohimiya i vozrast redkometall'nyh dajkovyh porod Vostochnogo Kazahstana. Doklady RAN, 459 (5), 612-617.
 15. Hromyh S.V., Kotler P.D., Gurova A.V., Semenova D.V. (2018) Postorogennye dajkovye poyasa Altajskoj kollizionnoj sistemy: geologicheskaya poziciya, sostav i vozrast. Korrelyaciya altaid i uralid: magmatizm, metamorfizm, stratigrafiya, geohronologiya, geodinamika i metallogeniya. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 163-165.
-
-