

УДК 552.42:546.35

## ВОЗРАСТ РУДОНОСНОГО МАГМАТИЗМА АУНИКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗАПАДНО-ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ БЕРИЛЛИЕНОСНОЙ МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЙ ПРОВИНЦИИ

© 2003 г. Д. А. Лыхин, академик В. И. Коваленко, В. В. Ярмолук, Г. С. Рипп

Поступило 12.05.2003 г.

На территории Западного Забайкалья известен ряд месторождений и рудопроявлений бериллия, в том числе одно из крупнейших в мире Ермаковское берtrandит-фенакит-флюоритовое месторождение. Рудные бериллиевые объекты рассредоточены в пределах полосы, протянувшейся более чем на 800 км от Витимского плоскогорья на востоке до бассейна р. Джида на западе, и объединяются в Западно-Забайкальскую бериллиеносную провинцию [1]. Однако причины, условия и геологические факторы формирования провинции изучены недостаточно, в первую очередь из-за отсутствия надежных геохронологических данных о возрасте оруденения и контролирующего его магматизма. Полученные нами надежные геохронологические данные имеются только для Ермаковского и отчасти для Оротского берtrandитового месторождений [2, 3], расположенных в центре провинции, тогда как месторождения ее фланговых участков в этом отношении остаются практически не изученными.

В настоящем сообщении представлены новые данные о возрасте магматизма Ауникского полевошпат-флюорит-фенакит-берtrandитового месторождения. Оно находится в северо-западной части Витимского плоскогорья, в междуречье Чины и Малого Амалата [4], отвечающей восточному краю металлогенической провинции. В строении Ауникского месторождения принимают участие интрузивные породы, отнесенные к гуджирскому интрузивному комплексу (Т-Jgd) и представленные небольшими массивами лейкогранитов и керсантитов, а также дайками сиенитового и базитового составов. Флюорит-калиевополевошпат-фенакитовые и кварц-полевошпат-флюорит-фенакит-берtrandитовые руды образуют линзовидные и более сложные тела. Бериллиевое оруденение является прожилково-вкрапленным. В рудах берtrandит преобладает над фенакитом.

Оруденение сосредоточено в экзоконтактовых зонах лейкогранитов, вмещающими породами для которых являются осадочные отложения верхнего рифея: якшинская, тилимская, богдаринская свиты, представленные переслаивающейся толщей известняков, карбонатно-глинистых, глинистых и песчано-глинистых пород. Вмещающие породы изменены контактово-метасоматическими процессами.

По данным геологоразведочных работ наиболее ранними магматическими породами на месторождении являются керсантиты, образующие небольшой штук в восточной его части. Это – порфировидные, массивные породы с мелкозернистой основной массой, состоящей из биотита и плагиоклаза. Вкрапленники в них представлены сильно измененным калиевым полевым шпатом, в достаточном количестве присутствуют акцессорный апатит и магнетит, вторичные минералы – хлорит, серицит, карбонат.

Рудоносные лейкограниты представлены небольшим штокообразным телом, вытянутым в северо-западном направлении. Максимальная ширина тела лейкогранитов на поверхности 60 м, на глубине она увеличивается до 100 м. Типичные лейкограниты на месторождении – порфировидные, светло-серые, мелко-среднезернистые массивные породы с гипидиоморфнозернистой структурой, состоящие из калиевого полевого шпата, местами пертитизированного, кварца, альбита и акцессорных сфена, циркона и флюорита.

Самыми молодыми интрузивными породами на месторождении являются немногочисленные дайки сиенитового и базитового составов. Фельзитовые сиенит-порфиры – серые мелкозернистые породы, состоящие из калиевого полевого шпата, альбита и редкого кварца.

Вблизи массива рудоносных лейкогранитов во вмещающих осадочных породах развиты скарны и скарнированные породы, а также отмечаются ороговикование, окварцевание, флюоритизация, сульфидизация (пиритизация). Скарны состоят из диопсида, везувиана, волластонита, актинолита, эпидота, тремолита, кварца, полевого шпата.

*Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии  
Российской Академии наук, Москва*

На месторождении геологоразведочными работами (данные Е.И. Галанина, А.Ф. Зуева) выделены три субпараллельные линейно-вытянутые в северо-западном направлении минерализованные зоны дробления осадочно-метаморфических пород, сильно измененных контактово-метасоматическими процессами. В пределах этих зон отмечено до 35 рудных тел. Наиболее богатые участки рудных тел расположены в пропластках известняков и в меньшей мере известково-углистых сланцев. Прослой сланцев минерализованы слабее и часто служат естественной границей рудных тел или являются безрудными пропластками внутри рудных тел. Основные рудные тела расположены или в непосредственной близости от штокообразного тела лейкогранитов, или на удалении от него, где тяготеют к дайкам сиенитов, часть тел контролируется плоскостями (контактовыми зонами) даек и массивом лейкогранитов. По простиранию рудные тела прослежены на 150–300 м, их мощность от 3 до 60 м, на глубину они прослежены до 350 м (рис. 1).

В сравнительно однородных мраморизованных известняках в составе руд преобладают жилы и линзообразные тела с массивной и полосчатой текстурой. Мощность таких тел 0.5–2.5 м. Они сложены в основном флюоритом, а также в различных количествах встречается калиевый полевой шпат, альбит, кварц, фенакит и берtrandит. В породах существенно алюмосиликатного состава рудные тела сложены флюорит-полевошпатовыми прожилками с бериллиевыми минералами. Мощность прожилков от 1–2 до 5–7 см. В зальбандах они обычно представлены флюоритом, осевая часть прожилков сложена микроклином, реже кварцем и кальцитом. По периферии располагается альбит и берtrandит с реликтами микроклина. В составе бериллиевых руд также установлены следующие минералы: циркон, апатит, бастнезит, монацит, ферриторит, молибденит, пирит, сфалерит, галенит и арсенопирит.

В петрохимическом отношении магматические породы Ауникского месторождения относятся к субщелочному ряду. Содержание щелочей в лейкогранитах 8.4%, при преобладании  $K_2O$  над  $Na_2O$ . Для лейкогранитов характерен низкий коэффициент агпаитности ( $K_a < 0.7$ ). Лейкограниты характеризуются высокими содержаниями редкоземельных элементов, иттрия и тория, а также повышенными значениями рубидия, свинца, урана и относительно пониженными концентрациями цезия, бария, тантала, стронция, гафния, европия, титана (табл. 1, рис. 2). Дайки сиенитов характеризуются похожим с лейкогранитами распределением элементов-примесей, но без пониженных содержаниями гафния и циркония и с меньшими концентрациями тория, урана и редкоземельных элементов (табл. 1, рис. 2). Керсантиты по распределению редких и редкоземельных элементов отвечают

**Таблица 1.** Химический состав (мас. %) и содержание элементов-примесей (ppm) в породах Ауникского месторождения

| Компонент                      | 1     | 2      | 3     | 4     |
|--------------------------------|-------|--------|-------|-------|
| SiO <sub>2</sub>               | 53.11 | 62.69  | 77.68 | 31.09 |
| TiO <sub>2</sub>               | 2.18  | 0.51   | 0.07  | 0.91  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 18.25 | 17.99  | 11.36 | 9.21  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1.33  | 0.68   | 0.36  | 0.26  |
| FeO                            | 7.51  | 3.76   | 0.84  | 1.48  |
| MnO                            | 0.16  | 0.21   | 0.03  | 0.11  |
| MgO                            | 3.66  | 0.52   | 0.05  | 2.19  |
| CaO                            | 4.73  | 1.67   | 1.13  | 49.53 |
| Na <sub>2</sub> O              | 3.31  | 6.43   | 3.42  | 1.81  |
| K <sub>2</sub> O               | 4.67  | 5.70   | 4.91  | 2.22  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.68  | 0.09   | 0.02  | 0.27  |
| Сумма                          | 99.58 | 100.25 | 99.88 | 99.09 |
| Cr                             | 11.6  | 11.7   | 26.9  | 61.6  |
| Ni                             | 8.1   | 6.44   | 9.74  | 48.9  |
| Co                             | 27.9  | 2.16   | 2.76  | 7.63  |
| Sc                             | 11.3  | 5.10   | 2.67  | 2.63  |
| V                              | 120   | <10    | 42.8  | 57.7  |
| Cu                             | 10.2  | 20.7   | 6.95  | 38.9  |
| Pb                             | 115   | 172    | 122   | 66.3  |
| Zn                             | 221   | 224    | 214   | 93.9  |
| Rb                             | 89.2  | 773    | 459   | 667   |
| Cs                             | 6.9   | 3.9    | 2.76  | 2.92  |
| Ba                             | 1427  | 588    | 584   | 631   |
| Sr                             | 923   | 325    | 207   | 2088  |
| Ga                             | 22.1  | 30.2   | <0.5  | 8.77  |
| Li                             | 36.4  | 410    | 470   | 555   |
| Ta                             | 1.4   | 2.74   | 0.85  | 1.25  |
| Nb                             | 19.0  | 57.6   | 115   | 107   |
| Hf                             | 5.5   | 15.3   | 2.22  | 5.23  |
| Zr                             | 242   | 699    | 129   | 187   |
| Ti                             | 12540 | 3257   | 1485  | 1797  |
| Y                              | 31.1  | 50.5   | 603   | 430   |
| Th                             | 4.1   | 29.5   | 1333  | 285   |
| U                              | 1.2   | 5.82   | 25.2  | 9.85  |
| La                             | 38.8  | 74     | 351   | 35.3  |
| Ce                             | 83.9  | 161    | 976   | 96.3  |
| Pr                             | 10.3  | 16.7   | 90    | 10.6  |
| Nd                             | 41.7  | 57.1   | 256   | 33.3  |
| Sm                             | 8.6   | 10.6   | 72.1  | 10    |
| Eu                             | 2.8   | 1.33   | 2.07  | 0.64  |
| Gd                             | 7.7   | 8.67   | 58.6  | 10.3  |
| Tb                             | 1.1   | 1.42   | 16.2  | 3.74  |
| Dy                             | 6.2   | 7.57   | 107   | 34    |
| Ho                             | 1.3   | 1.75   | 22.7  | 9.8   |
| Er                             | 3.1   | 5.29   | 77.4  | 42.6  |
| Tm                             | 0.5   | 0.87   | 13.6  | 9.94  |
| Yb                             | 3.0   | 6.36   | 76.4  | 69.4  |
| Lu                             | 0.4   | 0.92   | 8.3   | 9.49  |
| Be                             | 3.2   | 17.2   | 34.9  | 888   |

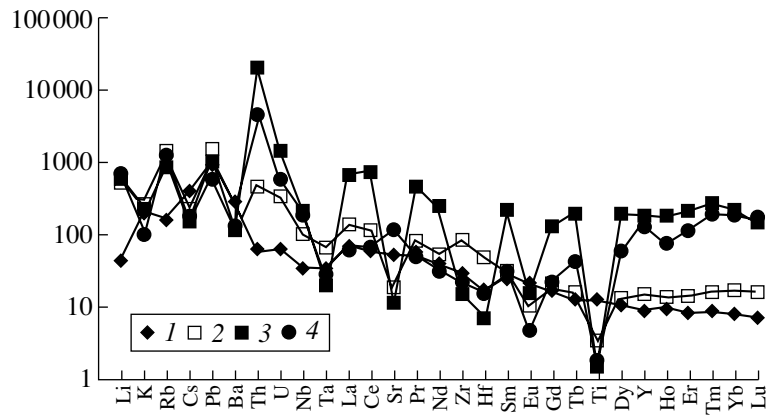
Примечание. 1 – керсантит; 2 – сиенит; 3 – лейкогранит; 4 – бериллиевые руды (среднее по шести пробам).



**Рис. 1.** Схема геологического строения Ауникского месторождения (по данным Е.И. Галанина и А.Ф. Зуева). 1 – известняки с прослоями сланцев; 2 – карбонатные сланцы с прослоями известняков; 3 – песчаники; 4 – дайки базитового состава; 5 – дайки сиенитов; 6 – лейкограниты; 7 – керсантиты; 8 – зона дробления и брекчирования; 9 – рудные тела; 10 – разрывные нарушения. На врезке – звездочками обозначены бериллиевые месторождения Западного Забайкалья: Ау – Ауникское, Ер – Ермаковское.

сравнительно мало дифференцированным породам (табл. 1, рис. 2), они характеризуются небольшими минимумами концентраций лития, рубидия, ниобия, тантала, гафния и максимумом содержа-

ния свинца. Руды, состоящие из флюорита, калиевого полевого шпата, альбита, кварца и фенакита с бертрандитом, характеризуются повышенными содержаниями тяжелых редкоземельных элемен-



**Рис. 2.** Спайдер-диаграммы, нормализованные к PRIM для пород Ауникского месторождения. 1 – керсантит; 2 – сиенит; 3 – лейкогранит; 4 – бериллиевые руды (среднее по шести пробам).

тов, а также повышенными концентрациями иттрия, самария, тория, лития, рубидия, свинца, стронция и пониженными – калия, цезия, бария, тантала, титана и европия.

Таким образом, проведенные нами исследования по распределению элементов-примесей в магматических породах и бериллиевых рудах Ауникского месторождения показали, что руды и массивы лейкогранитов характеризуются значительным обогащением многими редкими элементами, в том числе иттрием и торием. Поэтому Ауникское месторождение можно считать комплексным полевошпат-флюорит-фенакит-бертрандит-редкометальным.

На Ауникском месторождении нами наряду с изучением распределения элементов-примесей проведены Rb–Sr-геохронологические исследования рудоносных лейкогранитов, керсантитов и сиенитов. Изотопный анализ стронция и определение концентраций рубидия и стронция методом

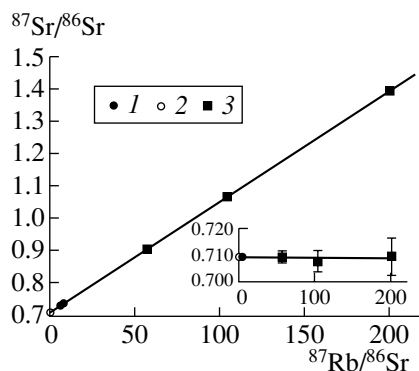
изотопного разбавления проводился в лаборатории изотопной геохимии и геохронологии ИМГРЭ на масс-спектрометре МИ-1201Т в двухлучтовом режиме. Разложение образцов и выделение Rb и Sr проводилось по стандартной методике [5]. Расчет возраста проводился по Д. Йорку [6]. Значение изотопного состава стронция в стандарте (SRM-987), измеренное в период проведения настоящей работы, составляет  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0.71026 \pm 7$ .

Массив керсантитов датировался по апатиту, биотиту и породе в целом (Ау-736бар, Ау-736mса, Ау-736, табл. 2). Полученная изохрона имеет наклон, отвечающий возрасту  $276.3 \pm 20.2$  млн. лет, при начальном изотопном отношении  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0.7058 \pm 3$ , СКВО = 0.3 (табл. 2). Так как значение СКВО значительно меньше единицы, то можно считать, что рубидий-стронциевая изотопная система керсантита и составляющих его минералов закрылась одновременно, в связи с чем

**Таблица 2.** Концентрация рубидия, стронция и изотопный состав стронция в образцах магматических пород Ауникского месторождения

| № обр.       | Состав        | Rb, мкг/г | Sr, мкг/г | $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ | $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ | $\pm 2s$ | $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0$ |
|--------------|---------------|-----------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|----------|-------------------------------------|
| Ау-736       | Керсантит     | 88        | 887       | 0.286                           | 0.70689                         | 0.00007  | 0.70576                             |
| Ау-736бар    | Апатит        | 3.2       | 1536      | 0.006                           | 0.70576                         | 0.00007  | 0.70573                             |
| Ау-736mса    | Слюда         | 211       | 137       | 4.4                             | 0.72319                         | 0.00007  | 0.70574                             |
| Ау-737       | Сиенит        | 883       | 339       | 7.6                             | 0.73582                         | 0.00007  | 0.70987                             |
| Ау-738       | Лейкогранит   | 487       | 217       | 6.5                             | 0.73185                         | 0.00007  | 0.70948                             |
| Ау-738F1     | Флюорит       | 5.8       | 2713      | 0.006                           | 0.70959                         | 0.00010  | 0.70957                             |
| Ау-738 KFsp* | КПШ 2.72–2.68 | 474       | 24        | 57                              | 0.90657                         | 0.00010  | 0.70943                             |
| Ау-738 KFsp* | КПШ 2.61–2.58 | 1686      | 47        | 104                             | 1.06708                         | 0.00174  | 0.70820                             |
| Ау-738 KFsp* | КПШ <2.58     | 1930      | 30        | 200                             | 1.39798                         | 0.00176  | 0.71011                             |
| Ау-739       | Лейкогранит   | 396       | 171       | 6.7                             | 0.73256                         | 0.00008  | 0.70954                             |

\* Разные плотностные фракции калиевого полевого шпата.



**Рис. 3.** Rb–Sr-изохрона по рудоносным лейкогранитам и сиениту Ауникского месторождения. 1 – лейкограниты и сиенит, 2 – флюорит, 3 – калиевый полевой шпат.  $T = 241.6 \pm 1.6$  млн. лет,  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0.70958 \pm 12$ , СКВО = 1.21.

полученный нами возраст  $\sim 276$  млн. лет отвечает времени становления этих пород.

Для датирования массива рудоносных лейкогранитов из них были выделены и проанализированы три плотностные фракции калиевого полевого шпата и акцессорный флюорит (Ау-738 KFsp, Ау-738 Fl, табл. 2), а также анализировались два образца лейкогранитов и дайка сиенита (Ау-738, Ау-739, Ау-737). Построенная по этим данным изохрона имеет возраст  $241.6 \pm 1.6$  млн. лет, при начальном изотопном отношении  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0.70958 \pm 12$ , СКВО = 1.21 (табл. 2, рис. 3). Из полученных данных следует, что рубидий-стронциевая изотопная система в лейкогранитах и составляющих их минералах (флюорите и калиевом полево шпате) закрылась одновременно и полученный возраст  $241.6 \pm 1.6$  млн. лет отвечает времени кристаллизации штока лейкогранитов. Возраст дайки сиенитов, скорее всего, совпадает с возрастом рудоносных лейкогранитов или является очень близким.

Проведенные нами геохронологические Rb–Sr-исследования в районе Ауникского месторождения показали, что наиболее ранними магматическими породами в его пределах являются керсантиты с возрастом  $\sim 276.3 \pm 20.2$  млн. лет. Возраст образования рудоносных лейкогранитов и дайки сиенитов составляет  $241.6 \pm 1.6$  млн. лет, и очевидно, что они представляют независимый от керсантитов этап магматизма. В то же время лейкограниты относительно близки по составу к рудоносным гранитоидам Ермаковского и Оротского месторождений, отвечающих субщелочным и щелочным лейкогранитам с возрастом  $225 \pm$

$\pm 5$  млн. лет [2, 3]. Имеющееся расхождение в возрасте рудоносных гранитоидов изученных бериллиевых месторождений (в рамках триаса) может быть объяснено проявлением Ауникского месторождения в краевой части Западно-Забайкальской бериллиевой провинции, тогда как Ермаковское и Оротское месторождения занимают центральную ее часть. Отметим также, что триасовый возраст в Прибайкалье имеют многочисленные массивы субщелочных и щелочных гранитоидов малокуналейского комплекса, которые близки по составу к рудоносным гранитам бериллиевых месторождений и широко распространены в пределах той же территории [7]. Таким образом, формирование бериллиевого оруденения как в центральной, так и в восточной части металлогенической провинции происходило в триасе в связи с гранитоидным магматизмом повышенной щелочности. Соответствие редкометалльных гранитоидов по составу и возрасту породам малокуналейского комплекса, а также пространственная и структурная сопряженность с зоной распространения последних позволяет связать образование провинции с рифтогенезом, который охватил территорию Западного Забайкалья в раннем мезозое [8]. В результате этого рифтогенеза в регионе возникла протяженная зона грабенов, выполненная бимодальными вулканическими толщами и контролирующая распределение не только массивов малокуналейского комплекса, но и всех известных месторождений и рудопроявлений бериллия в регионе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 03–05–64971, 02–05–64191, 02–05–64190, 02–05–64196).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куприянова И.И., Новикова М.И., Шпанов Е.П. // Разведка и охрана недр. 1994. № 3. С. 13–14.
2. Лыхин Д.А., Костицын Ю.А., Коваленко В.И. и др. // Геология руд. месторождений. 2001. Т. 43. № 1. С. 52–70.
3. Лыхин Д.А., Коваленко В.И., Ярмолюк В.В. // ДАН. 2002. Т. 385. № 4. С. 529–532.
4. Грачев В.С. // Геология, магматизм и полез. ископаемые Забайкалья. 1974. Т. 5. № 13. С. 107–111.
5. Костицын Ю.А. // Геохимия. 1991. № 10. С. 1437–1443.
6. York D. // Can. J. Phys. 1966. V. 44. P. 1079–1086.
7. Занвилевич А.Н., Литвиновский Б.А., Андреев Г.В. Монголо-Забайкальская щелочно-гранитная провинция. М.: Наука, 1985.
8. Ярмолюк В.В., Литвиновский Б.А., Коваленко В.И. и др. // Петрология. 2001. Т. 9. № 4. С. 351–380.