

## ГРАНОСИЕНИТ-ЛЕЙКОГРАНИТОВАЯ АССОЦИАЦИЯ СТАНОВОГО ТЕРРЕЙНА: НОВЫЕ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ И ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ\*

*Приведены результаты геохронологических (U-Pb метод по цирконам на микрозонде SHRIMP-II) и изотопно-геохимических исследований пород Чубачинского массива граносиенит-лейкогранитовой ассоциации Станового террейна. Для граносиенитов I фазы получен изотопный возраст в  $144 \pm 3$  млн. лет, при СКВО = 0,072. Гранитоиды характеризуются близкими значениями  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0,707178-0,707216$  и различными  $\varepsilon_{\text{Nd}} = -11,48 - -15,47$ , что указывает на метамагматический состав и разный возраст протолитов. Двухстадийный модельный возраст  $T_{\text{Nd}}(\text{DM-2st})$  граносиенитов и субщелочных гранитов составляет 1,9 и 2,2 млрд. лет соответственно. Содержания радиогенного Nd в гранитоидах свидетельствуют об их существенно коровом составе.*

*Ключевые слова: Становой террейн, граносиенит-лейкогранитовая ассоциация, U-Pb метод по циркону, SHRIMP-II, изотопный состав Sr и Nd, раннепротерозойская кора.*

## GRANOSIENITIC-LEUCOGRANITIC ASSOCIATION OF THE STANOVVOY TIRREYN: THE NEW GEOCHRONOLOGICAL AND ISOTOPE-GEOCHEMICAL DATA

*Results geochronological (U-Pb method on zircon are given in SHRIMP-II microprobe) and isotope - geochemical researches of breeds of the Chubachinsky massif of granosiyenit-leykograditovy association of Stanovoy terreyn. For granosienites the I phases the isotope age in  $144 \pm 3$  million years is received, at MSWD = 0,072. Granitoids are characterized by close values  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0,707178-0,707216$  and various  $\varepsilon_{\text{Nd}} = -11,48-15,47$  that points to metamagmatic content and various age of protolitas. The two-phasic model age of TND (DM-2st) granosienites and subalkaline granites makes 1,9 and 2,2 billion years respectively. Maintenance of radiogenic Nd in granitoids specifies about them significantly to crust content.*

*Keywords: Stanovoy terreyn, granosiyenit-leykograditovy association, U-Pb a method on zircon, SHRIMP-II, isotope content of Sr and Nd, early Proterozoic bark.*

В пределах Станового террейна широко развиты массивы граносиенит-лейкогранитовой ассоциации условно позднеархейского позднестанового комплекса и условно раннепротерозойского тукурингского комплекса [1], расположенные преимущественно в его западной части. Геохронологическими исследованиями последних лет установлено, что среди субщелочных гранитоидов данных

\* Автор благодарит Л.П. Курника, Н.Н. Петрук и В.В. Кошеленко за содействие в проведении исследований.

комплексов присутствуют позднемезозойские, для которых различными методами получены позднеюрско-раннемеловые датировки.

Проведены исследования изотопного возраста граносиенитов I фазы и изотопно-геохимических особенностей пород граносиенит-лейкогранитовой ассоциации, что позволило уточнить возраст ее формирования, установить состав и возраст исходного субстрата. Это имеет большое значение для обоснования гранитоидного магматизма Верхнего Приамурья на рубеже в 150-130 млн. лет.

#### Аналитические методики

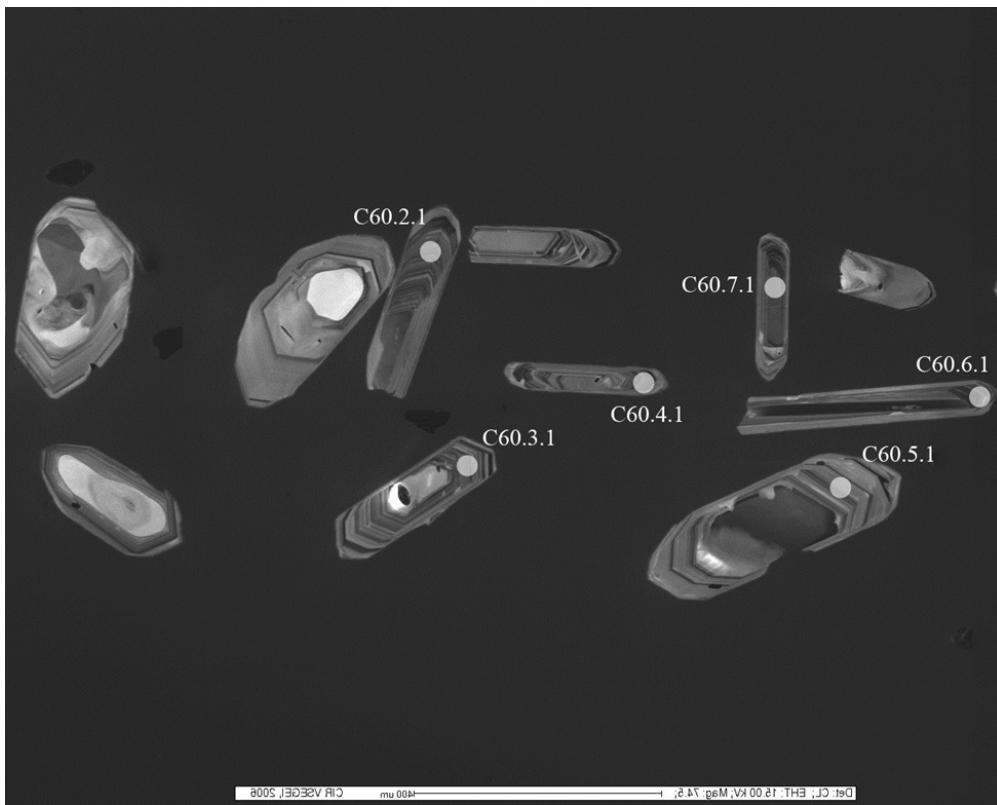
U-Pb датирование цирконов осуществлялось на ионном микрозонде SHRIMP-II в Центре изотопных исследований ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского. Измерения U-Pb отношений на SHRIMP-II проводились по методике, описанной в статье [2]. Интенсивность первичного пучка молекулярных отрицательно заряженных ионов кислорода составляла 5 нА, диаметр пятна (кратера) – 25 мкм. Обработка полученных данных осуществлялась с использованием программы SQUID [3]. U-Pb отношения нормализовались на значение 0,0668, приписанное стандартному циркону TEMORA, что соответствует возрасту этого циркона 416,75 млн. лет [4]. Погрешности единичных анализов (отношений и возрастов) приводятся на уровне одной сигма, погрешности вычисленных конкордантных возрастов и пересечений с конкордией – на уровне двух сигма. Построение графиков с конкордией [5] осуществлялось с использованием программы ISOPLOT/EX [6].

Анализ изотопного состава Sr и Nd выполнен на многоколлекторном масс-спектрометре TRITON (Thermo) (Центр изотопных исследований, ВСЕГЕИ) по стандартной методике. Уровень холостого опыта в процессе проведения аналитических работ составлял для Rb-0,01 нг, Sr-0,2 нг, Sm-0,01 нг, Nd-0,05 нг. Средняя точность определения изотопных отношений ( $2\sigma$ ) составила:  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  – 0,7 %,  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  – 0,002%,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$  – 0,3%,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  – 0,005%. Изотопный состав стандарта NIST 987:  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,710244 \pm 0,000011$ . Изотопный состав стандарта Nd JNdi-1:  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512106 \pm 0,000002$ . При расчете величин  $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$  и модельных возрастов  $T_{\text{Nd}}(\text{DM})$  использованы современные значения CHUR по [7] ( $^{143}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,512638$ ,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,1967$ ) и DM по [8] ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,513151$ ,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,2136$ ). При расчете двухстадийных модельных возрастов  $T_{\text{Nd}}(\text{DM-2st})$  принята среднекорковая величина отношения  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,12$  [9].

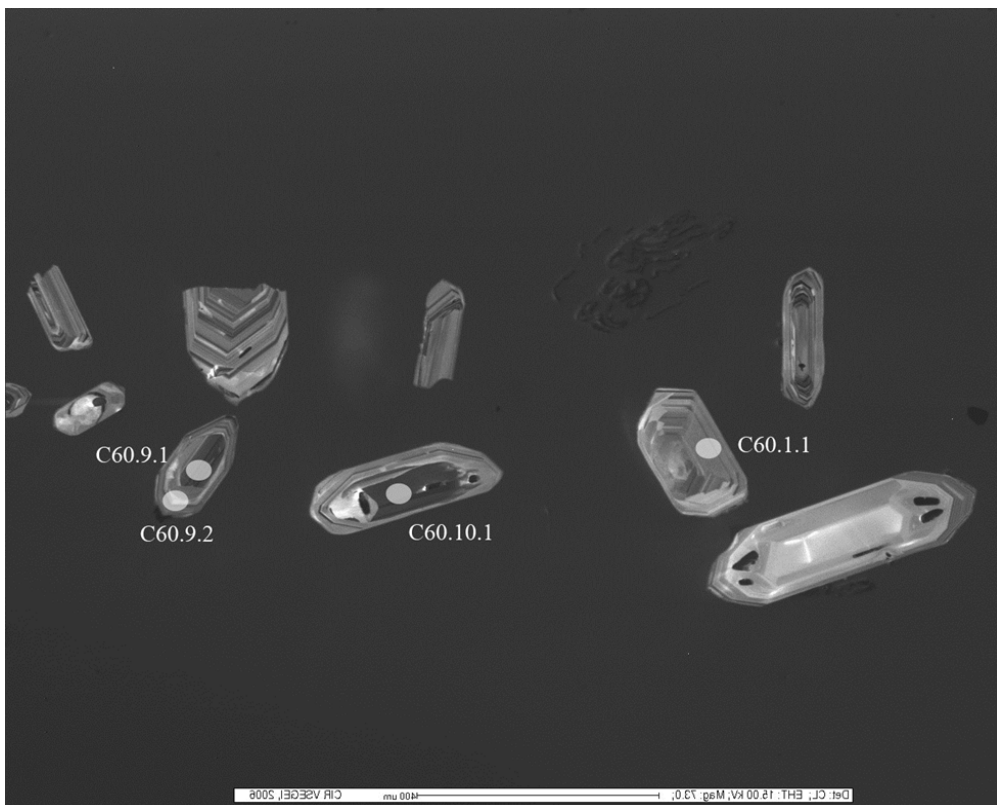
#### Геологическое строение массива

Чубачинский гранитоидный массив является петротипическим для граносиенит-лейкогранитовой ассоциации Станового террейна [10]. Массив расположен в междуречье истоков рек Нюкжа и Тимптон (рис. 1). В плане массив имеет близкую к овальной форму, несколько вытянутую в субширотном направлении и занимает площадь около 2500 км<sup>2</sup>. В его строении участвуют образования трех фаз, между которыми установлены интрузивные соотношения: I фаза – граносиениты, II фаза – граниты и лейкограниты нормальной и умеренной щелочности, III фаза – ультракислые лейкограниты нормальной и умеренной щелочности. Жильные образования комплекса представлены аплитами, пегматитами и пегматоидными гранитами. Наибольшим площадным развитием характеризуются умеренно-щелочные двуслюдяные граниты II фазы. С севера массив ограничен Становым структурным швом. К востоку от массива расположено несколько мелких массивов порфировидных биотитовых и двуслюдяных гранитов, представляющих, вероятно, его сателлиты [11]. Породы массива прорывают метаморфические и магматические образования раннего архея с образованием в них апофиз, а также содержат многочисленные их ксенолиты и ксеноблоки размером до первых километров, часть из которых, вероятно, является провесами кровли. В свою очередь породы Чубачинского массива прорваны интрузивными телами позднемезозойского возраста, а также рассечены разновозрастными дайками различной основности, которые нередко сгруппированы в дайковые пояса (рои) различной ориентировки. Массив перекрывается нижнемеловыми вулканогенно-осадочными отложе-

ниями карауловской свиты. Изотопный возраст вулканитов свиты, установленный К-Аг методом, варьирует от 129 до 95 млн. лет [1].



а)



б)

Рис. 1. Фото цирконов из граносиенитов I фазы Чубачинского массива (обр. С-60-198).  
Номера проб – см. табл. 2.

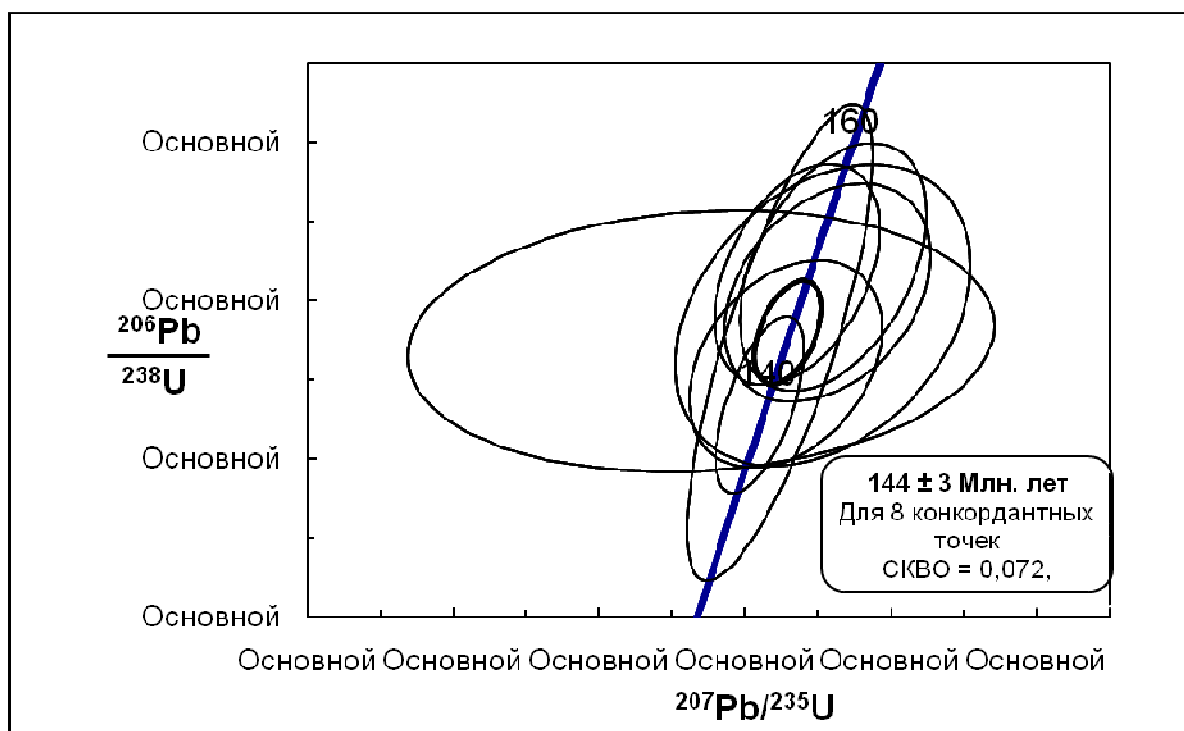


Рис. 2. Диаграмма с конкордией для цирконов из граносиенитов I фазы Чубачинского массива (табл. 2, обр. С-60-198).

### Петрохимические и геохимические особенности

Характеристика пород Чубачинского массива основана на данных, опубликованных в работах [10, 12].

Гранитоиды массива в целом характеризуются как мета- и перглиноземистые I типа, преимущественно субщелочной серии. От граносиенитов I фазы к ультракислым гранитам III фазы в целом отмечается снижение суммы щелочей. Содержания  $K_2O$  при этом слабо растут, а  $Na_2O$  заметно снижаются. По соотношению  $SiO_2$  и  $K_2O$  в преобладающем большинстве они являются высококалиевыми породами, а степень окисленности железа свидетельствует об их принадлежности к магнетитовой серии.

Гранитоиды граносиенит-лейкогранитовой ассоциации отличаются от других мезозойских гранитоидов Верхнего Приамурья наиболее низкими содержаниями Cs, Rb, Th, U, высокими – Ba, Sr (кроме ультракислых гранитов III фазы); по отношению к примитивной мантии в них отмечаются отрицательные аномалии Cs, Rb, Th, U, Ta, Nb, Hf, Ti, положительные –Ba, K, La, Sr, P, Sm.

Граносиениты I фазы граносиенит-лейкогранитовой ассоциации в отличие от аналогичных мезозойских пород Верхнего Приамурья содержат больше Sr (1181-2123 г/т), Ba (1135-2314 г/т), меньше Rb (41-58 г/т), Cs (0,9-1,5 г/т), Ni (16-21 г/т), Co (1-3 г/т), V (16-58 г/т), PЗЭ (84 -96 г/т).

Граниты II фазы отличаются от мезозойских гранитов Верхнего Приамурья высокими содержаниями Ba (1601-2841 г/т) и, наряду с гранитами других ассоциаций Станового пояса, характеризуются низкими содержаниями Rb (50-97 г/т), Cs (0,2-0,6 г/т), а кроме того –Nb (0,4-9 г/т), V (15-47 г/т), Yb (0,07-0,54 г/т), Ta (0,2-0,5 г/т), Th (0,8-4,3), U (0,1-0,5 г/т), TPЗЭ (0,5-7,2 г/т).

Лейкограниты III фазы по сравнению с аналогичными по кремнекислотности породами других мезозойских гранитоидных ассоциаций Верхнего Приамурья обладают высокими содержаниями Sr (230-596 г/т), Sc (3,5 г/т), Ba (1058 г/т), PЗЭ (339,5 г/т), низкими – Cs (0,9-1,5 г/т), Y (0-15 г/т), Nb (0-6 г/т), Ni (16-21 г/т), V (16-58 г/т), Hf (0,55 г/т), Ta (0,6 г/т), Th (6,6 г/т).

Таблица 1

**U-Pb изотопные определенные методом SHRIMP-II для пород граносиенит-лейкогранитовой ассоциации Станового террейна**

Точка	Содержания, г/г			Изотопные соотношения				Возраст, млн. лет
	U	Th	<sup>206</sup> Pb*	<sup>207</sup> Pb* / <sup>235</sup> U	±%	<sup>206</sup> Pb* / <sup>238</sup> U	±%	
C60.6.1	1128	327	21	0,1441	3,4	0,0217	2,1	138±3
C60.2.1	324	81	6,19	0,151	7,2	0,0222	2,4	142±3
C60.7.1	419	59	8,1	0,150	7,0	0,0225	5,5	143±8
C60.10.1	163	483	3,19	0,128	26,0	0,0225	3,0	143±4
C60.1.1	80	5	1,56	0,161	10,0	0,0228	3,4	145±5
C60.4.1	312	51	6,18	0,163	7,1	0,0231	2,4	147±4
C60.3.1	291	35	5,84	0,1542	6,0	0,0233	2,4	149±4
C60.5.1	215	29	4,32	0,164	6,4	0,0234	2,7	149±4
C60.9.2	212	67	5,86	0,294	5,0	0,0322	2,4	204±5
C60.9.1	248	776	70,2	5,260	2,3	0,3301	2,1	1839±33

Примечание. \* Радиогенная часть свинца. Изотопные отношения скорректированы по <sup>204</sup>Pb. Неточности измерений изотопных соотношений и возраста даны при 1σ.

**Возраст массива**

Для определения U-Pb изотопного возраста граносиенитов I фазы Чубачинского массива на микрозонде SHRIMP-II использовались цирконы обр. С-60-198.

Цирконы граносиенитов I фазы представлены прозрачными, бесцветными или желтоватыми субидiomорфными и идиоморфными кристаллами. Форма изменяется от дипирамидально-длиннопризматической до дипирамидально-короткопризматической и изометричной. Цирконы содержат немногочисленные минеральные включения темно-бурого цвета. Катодолюминесцентное изображение цирконов демонстрирует концентрическую и секториальную зональности роста, свидетельствующие о магматическом происхождении цирконов (рис. 1).

В результате датирования U-Pb методом по циркону на микрозонде SHRIMP-II граносиенитов I фазы Чубачинского массива получен изотопный возраст в 144±3 млн. лет, при СКВО =0,072 (табл. 2).

Таблица 2

**Изотопный состав Sr и Nd пород граносиенит-лейкогранитовой ассоциации Верхнего Приамурья**

Показатели	Проба С-60-198	Проба Б-1
Возраст, млн лет	140	140
Rb, ppm	55,6	42,2
Sr, ppm	1476	1620,7
<sup>87</sup> Rb/ <sup>86</sup> Sr	0,10892	0,07527
<sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr	0,707395	0,707366
Sm, ppm	4,66	2,1
Nd, ppm	31,31	15,31
<sup>147</sup> Sm/ <sup>144</sup> Nd	0,08997	0,08287
<sup>143</sup> Nd/ <sup>144</sup> Nd	0,511952	0,511741
ε <sub>Nd</sub>	-11,48	-15,47
T(DM)	1476	1640
T(DM2)	1902	2231
( <sup>87</sup> Sr/ <sup>86</sup> Sr) <sub>0</sub>	0,707178	0,707216
ε <sub>Sr</sub>	40,33	40,87

Примечание. С-60-198 – граносиениты I фазы, Б-1 – субщелочные граниты II фазы.

Полученные данные по возрасту граносиенитов I фазы являются нижней возрастной границей формирования гранитоидов II фазы и позволяют считать достоверной оценку их возраста U-Pb методом по циркону в  $138 \pm 4,8$  млн. лет [11], а также исключают оценку возраста гранитов в  $147,3 \pm 2,4$  млн. лет, основанную на исследованиях апатита U-Pb методом [13].

Таким образом, возрастным интервалом формирования пород граносиенит-лейкогранитовой ассоциации, с учетом ошибки определения, оценивается в 147-133 млн. лет.

Наличие в граносиенитах реликтовых цирконов с возрастом в  $204 \pm 5$  млн. лет и  $1839 \pm 33$  млн. лет свидетельствует об участии в составе их протолита триасового и раннепротерозойского вещества.

### Состав и возраст источников

В работах [10,12] показано, что породы граносиенит-лейкогранитовой ассоциации – продукты самостоятельных расплавов, не связанных с процессами дифференциации единого первичного расплава, а образованных при частичном плавлении континентальной коры. Обедненность пород ассоциации такими элементами как Rb, Cs, U, Th, высокие содержания Ba, Sr, а также K в породах I и II фаз позволяют предполагать в качестве исходного для них субстрата гранатсодержащие гранулиты, которые характеризуются существенно полевошпатовым составом и, как известно, образуются в нижней части коры и обычно обеднены этими элементами. Наиболее вероятным первичным источником для пород граносиенит-лейкогранитовой ассоциации для граносиенитов I фазы являются гранулиты основного-среднего состава (метатрахибазальты-метатрахиандезиты?), а для гранитоидов II – гранулиты среднего-кислого состава (преимущественно метаграуваккового состава).

Участие корового вещества в составе мезозойских гранитоидов Верхнего Приамурья можно оценить по содержанию радиогенного Nd, который отражает состав источников гранитоидных магм. Количественная оценка содержаний корового компонента возможна с использованием Nd корового индекса (NCI) Депаоло [14]. Расчеты проведены при значении деплетированной мантии (DM резервуара) при  $\epsilon_{Nd} = +9,5$ , коровые резервуары взяты со средними значениями  $\epsilon_{Nd} = -16$  для раннепротерозойской коры по [11].

Согласно расчетам для граносиенитов I фазы раннепротерозойской провинции требуется 82% (обр. С-60-198), а для субщелочных гранитов II фазы – 98% (обр. Б-1) корового Nd при расчете с использованием среднего значения  $\epsilon_{Nd}$  раннепротерозойской коры.

Для оценки возраста источников магм нередко используются анализы изотопного состава стронция и неодима [15]. Соотношения Nd и Sm менее изменчивы, а соответственно и менее подвержены влиянию процессов внутрикорового плавления, метаморфизма, метасоматических преобразований, выветривания и осадкообразования, чем соотношения Sr и Rb, вследствие чего являются надежными индикаторами источников. Эти особенности Nd и Sm позволяют оценить возраст отделения первичных для гранитоидов расплавов от мантийного источника, а при их образовании за счет частичного плавления коровых пород – также и длительность пребывания в коре исходного субстрата. Эти задачи решаются на основе расчета модельных возрастов  $T_{Nd}(DM)$ , которые фиксируют время, когда  $^{143}Nd/^{144}Nd$  в породе было таким же, как и в мантийном источнике (DM). Фракционирование Nd и Sm во внутрикоровых процессах учитывается при расчете возраста по двухстадийной модели  $T_{Nd}(DM-2st)$ , первая стадия которой отвечает времени от формирования корового источника до его плавления в коре, а вторая охватывает интервал от момента кристаллизации породы до настоящего времени [16, 17]. Важно подчеркнуть, что получаемые модельные возрасты коровых источников следует рассматривать как оценки нижнего предела возраста формирования коры [15].

Граносиениты I фазы граносиенит-лейкогранитовой ассоциации характеризуются умеренными значениями первичных изотопных отношений  $Sr (^{87}Sr/^{86}Sr)_0 = 0,7072$ , а также более радиогенным составом неодима  $\epsilon_{Nd} = -11,48$  и меньшим двухстадийным модельным возрастом  $T_{Nd}(DM-2st) =$

1,9 млрд. лет по сравнению с гранитоидами II фазы. Умеренные значения первичных изотопных отношений Sr свидетельствуют о метамагматическом составе протолитов, а различия модельного возраста  $T_{Nd}(DM-2st)$  – о различии их возраста.

Значения  $T_{Nd}(DM-2st)$  для гранитоидов II фазы граносиенит-лейкогранитовой ассоциации варьируют в интервале 2,5-2,1 млрд. лет, а  $\epsilon_{Nd} = -18,5-14,0$ , что указывает на более древний, чем для граносиенитов, смешанный источник родоначального для них расплава, состоящего преимущественно из вещества раннепротерозойской ювенильной коры с возрастом около 2 млрд. лет с небольшой долей архейского корового компонента [11, 18]. Наличие вещества архейской коры подтверждается присутствием в гранитоидах II фазы реликтовых цирконов с возрастом в 2,5 млрд. лет [13].

Изотопно-геохимические различия пород I и II фаз в совокупности с геохимическими петрохимическими особенностями пород подтверждают вывод об автономности формирования исходных для них расплавов.

---

1. Мартынюк, М.В., Рямов, С.А., Кондратьев, В.А. Объяснительная записка к схеме расчленения и корреляции магматических комплексов Хабаровского края и Амурской области (Отчет по теме № 330 за 1987-1990 гг.). – Хабаровск, 1990. – 250 с.

2. Williams, I.S. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe. In: McKibben, M.A., Shanks III, W.C. and Ridley, W.I. (Eds). Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes // Reviews in Economic Geology. – 1998. – V. 7. – P.1-35.

3. Ludwig, K.R. SQUID 1.00. A User's Manual // Berkeley Geochronology Center Special Publication. – 2000. – № 2.

4. Black, L.P., Kamo, S.L. // Chemical Geology. – 2003. – V. 200. – P.155-170.

5. Wetherill, G.W. Discordant uranium-lead ages // Trans. Amer. Geophys. Union. – 1956. – V.37. – P.320-326.

6. Ludwig, K.R., User's manual for Isoplot/Ex, Version 2.10. A geochronological toolkit for Microsoft Excel // Berkeley Geochronology Center Special Publication. – 1999. – № 1a.

7. Jacobsen, S.B., Wasserburg, G.J. // Earth Planet. Sci. Lett. – 1984. – V. 67. – P. 137-150.

8. Goldstein, S.J., Jacobsen, S.B. // Earth Planet. Sci. Lett. – 1988. – V. 87. – P. 249-265.

9. Taylor, S.R., McLennan, S.M. The continental crust: its composition and evolution. Blackwell:Oxford. – 1985. – P. 312.

10. Стриха, В.Е. Мезозойские гранитоиды золотоносных районов Верхнего Приамурья. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2012. – Часть I. – 188 с.

11. Ларин, А.М., Котов, А.Б., Сальникова, Е.Б. и др. Мезозойские граниты Чубачинского массива тукурингского комплекса (Джугджуро-Становая складчатая область): новые геохимические, геохронологические и изотопно-геохимические данные // Петрология. – 2001. – Т. 9. – № 4. – С. 416-432.

12. Стриха, В.Е. Позднемезозойские коллизионные гранитоиды Верхнего Приамурья: новые геохимические данные // Геохимия. – 2006. – № 8. – С. 855-872.

13. Неймарк, Л.А., Ларин, А.М., Овчинникова, Г.В. и др., Свинцово-изотопные свидетельства архейского источника вещества в золоторудных месторождениях зон мезозойской активизации южной части Алдано-Станового щита // Петрология. – 1996. – Т. 4. – № 4. – С. 421-435.

14. DePaolo, D.J., Perry, F.V., Baldrige, W.S. Crustal versus mantle sources of granitic magma: a two parameter model based on Nd isotopic studies // Transaction of Royal Society of Edinburg, Earth Science. – 1992. – V. 83. – P. 435-446.

15. Коваленко, В.И., Ярмолюк, В.В., Ковач, В.П. и др. Источники фанерозойских гранитов Центральной Азии: Sm-Nd изотопные данные // Геохимия. – 1996. – №8. – С. 699-712.

16. Jacobsen, S.B. Isotopic constraints on crustal growth and recycling // Earth Planet. Sci. Lett. – 1988. – V. 88. – P. 315-329.

17. Liew, T.C., Hofmann, A.W. Precambrian crustal components, plutonic associations, plate environment of the Hercynian Fold Belt of central Europe: Indications from a Nd and Sr isotopic study // Contrib. Mineral. Petr. – 1988. – V. 98. – P. 129-138.

18. Ларин, А.М., Котов, А.Б., Ковач, В.П. и др. Этапы формирования континентальной коры центральной части Джугджуро-Становой складчатой области (Sm-Nd изотопные данные по гранитоидам) // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43, № 4. – С. 395-399.