

А. Н. ТИМАШКОВ, Н. В. ШАТОВА, Н. Г. БЕРЕЖНАЯ, Ю. С. БАЛАШОВА (ВСЕГЕИ),  
А. Б. МОРОЗОВА (СПбГУ), С. Г. СКУБЛОВ (ИГГД РАН),  
П. А. ЛЬВОВ, С. П. ШОКАЛЬСКИЙ, А. Г. ШАРИПОВ,  
А. В. МОЛЧАНОВ, А. В. РАДЬКОВ (ВСЕГЕИ)

## НОВЫЕ ДАННЫЕ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАНИТОИДНЫХ КОМПЛЕКСОВ И ТЕЛ ОСНОВНЫХ И УЛЬТРАОСНОВНЫХ ПОРОД СТАНОВОЙ СКЛАДЧАТОЙ ОБЛАСТИ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Приведены новые данные о возрасте докембрийских и палеозойских гранитоидов, метаморфизованных габброидов ункурхейского комплекса архея с уточнением их геологического положения, а также первичные сведения о возрасте ультрамафических образований условно раннего мела, традиционно выделявшихся ранее как раннеархейские.

Ключевые слова: *ультрамафиты, конкордия, оболочка, магматический, древнестановой.*

Provides the newer (rectified) age data on Precambrian and Paleozoic granitoids and metamorphosed gabbro from the unkurheysky complex archean body, specifying their geological position and primary age data for the ultramafic formations from around the Early Cretaceous body, previously tagged as Early Archean.

Keywords: *ultramafic, concordia, shell, magma, drevnestanovoy.*

Статья, опубликованная в [7], посвящена мезозойским гранитоидам, слагающим крупные интрузивные тела площадью до 2000 км<sup>2</sup>, обнажающиеся на запад от верховьев р. Олекма, на восток от верховьев р. Тимптон и в бассейне р. Гилуй (рис. 1). В ней представлены новейшие результаты, касающиеся гранитоидов древнестанового комплекса архея, палеозойских гнейсогранитов [3] предположительно ингамакитского комплекса, габброидов ункурхейского комплекса и предварительные результаты по мелким телам ранее нерасчлененных ортосланцев ультраосновного состава [4].

На исследуемой восточной территории установлены выходы раннемеловых вулканогенно-осадочных образований, которые несогласно залегают на гранитоидах тукурингского (позднестанового), тындинско-бакаранского комплексов мелового возраста и на более древних образованиях фундамента. Эти выходы с угловым несогласием залегают на подстилающих их породах, иногда имеют с ними тектонический контакт и представлены главным образом песчаниками и конгломератами, а также меловыми вулканитами (лавы андезитов, риолитов).

По правому водоразделу р. Нюкжа известны коренные выходы мезозойских интрузий ларбинского комплекса [4], образующие гомодромную серию пород: монцогаббро-монцонит-кварцево-монцонитовую-монцодиоритовую с возрастными от  $125 \pm 1 - 122,9 \pm 0,7$  до  $119,7 \pm 2,3$  млн лет [7], которые прорывают глубокометаморфизованные гнейсы и мигматиты полосчатые (рис. 2) — архейские соскладчатые плагиограниты и лейкограниты древнестанового комплекса. По имеющимся данным [6], в 1990-е годы в бассейне р. Нюкжа проводились геохронологические исследования плагиогранитов этого комплекса с применением U-Pb

метода изохронной цирконометрии. Получен возраст древнестановых гранитоидов около 3 млрд лет, свидетельствующий о начальной стадии крупнейшего гранитообразования, характерного для всех древних платформ (рис. 1, пр. 38).

С появлением более современных изотопных методов датирования цирконов и учитывая широкое распространение этих древних гранитоидов, возникла необходимость в уточнении возраста, полученного Е. П. Миронюком, Ю. Д. Пушкаревым и др. в 1996 г. Для этого был выбран сплошной скальный выход пород длиной более 2 км в субширотном направлении у подножия правого водораздела р. Нюкжа (железнодорожная полувыемка Байкало-Амурской магистрали). Координаты выхода  $122^{\circ}21'00''$  в.д.,  $56^{\circ}03'50''$  с.ш. и  $122^{\circ}22'00''$  в.д.,  $56^{\circ}03'00''$  с.ш. Относительно участка Е. П. Миронюка выбранный объект находится примерно в 20 км выше по течению р. Нюкжа. В его западной части выходят мигматиты грубополосчатые биотит-амфиболовые (рис. 2), лейкосома которых — светло-серые лейкократовые граниты равномерно-зернистые.

Мигматиты часто содержат угловатые скалины метагабброноритов, почти черных, размером до 1–1,5 м предположительно ункурхейского комплекса, вытянутых согласно полосчатости и гнейсовидности. Замеры гнейсовидности и полосчатости: аз. пад.  $90^{\circ}$ , угол пад.  $50-80^{\circ}$ . Лейкограниты имеют гипидиоморфнозернистую структуру и состоят из зерен кварца (45), плагиоклаза (20), микроклина (20), роговой обманки (10–15) и единичных зерен биотита. Акцессорные минералы — апатит, гранат, циркон. Лейкограниты относятся к низкощелочным и умеренно-щелочным образованиям натриевой, реже калиево-натриевой петрохимической группы.

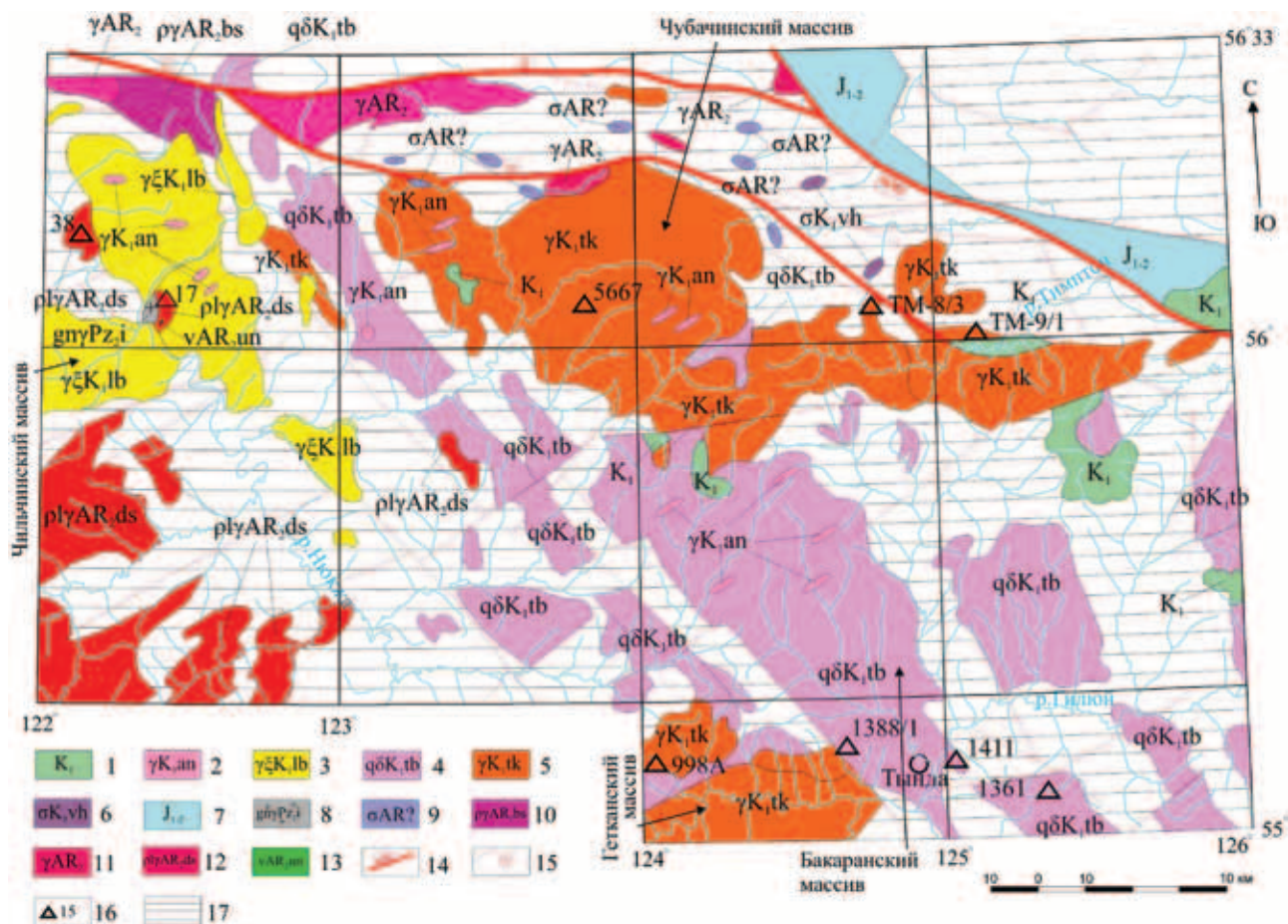


Рис. 1. Геологическая схема центральной части Становой складчатой области с точками отбора проб для геохронологического изучения региона. Масштаб 1 : 1 000 000

1 – раннемеловые вулканогенные и вулканогенно-осадочные образования; 2 – аинглинский комплекс. Граниты, гранит-порфиры; 3 – ларбинский комплекс. Монцодиориты, граносиениты, сиеногранодиориты порфировидные; 4 – тындинско-бакаранский комплекс. Граниты, иногда порфировидные; 5 – тукурингский комплекс (позднестановой). Граниты, иногда порфировидные; 6 – мелкие тела ультраосновных пород, гарцбургиты; 7 – юрские осадочные отложения; 8 – ингамакитский комплекс. Нейсограниты биотитовые; 9 – нерасчлененные образования ультраосновных пород; 10 – бес-тяхский комплекс. Нейсовидные плагииграниты, граниты, тоналиты; 11 – нерасчлененные граниты; 12 – древнестановой комплекс. Плагииграниты биотитовые, биотит-амфиболовые, лейкограниты и мигматиты; 13 – ункурхейский комплекс. Метагабронориты; 14 – Южно-Алданский надвиг; 15 – Становой глубинный разлом и тектонические нарушения более низкого порядка; 16 – места отбора проб для геохронологических исследований; 17 – стратифицированные архейские глубокометаморфизованные образования фундамента

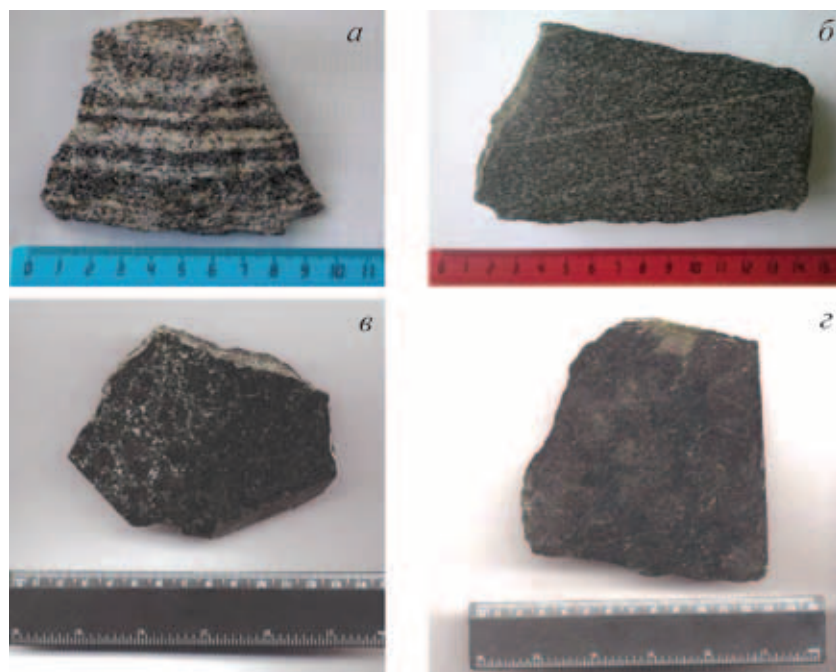


Рис. 2. Образцы из различных комплексов, проанализированные в ходе геохронологических исследований Становой складчатой области

а – пр. 17/23, мигматит биотит-амфиболовый полосчатый. Лейкосомы – лейкократовый гранит (древнестановой комплекс); б – пр. 17/27, гнейсогранит биотитовый (предположительно ингамакитский комплекс); в – пр. 17/13, скиалит оливинового габбронорита ункурхейского комплекса (самая темная часть образца) с постепенным переходом к монцитам ларбинского комплекса; г – пр. TM-11/13, гарцбургит

**Результаты U-Pb анализа цирконов из мигматитов биотит-амфиболовых  
(лейкосома – лейкограниты древнестанового комплекса) (пр. 17/23)**

Точки измерения	$^{206}\text{Pb}_c$ , %	U, г/г	Th, г/г	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$ , г/г	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ возраст	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$	±%	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	±%	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	±%	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	±%	K, отн. ед.
4.2	0,18	113	38	0,35	46,3	2512 ±28	2598 ±16	2,097	1,4	0,1742	0,94	11,44	1,6	0,4765	1,4	0,823
8.2	0,32	78	22	0,29	32,4	2529 ±32	2607 ±19	2,079	1,5	0,1752	1,1	11,60	1,9	0,4804	1,5	0,798
7.2	0,15	130	56	0,45	56,1	2627 ±28	2647 ±29	1,987	1,3	0,1794	1,1	12,44	2,2	0,503	1,3	0,602
5.2	0,00	242	47	0,20	97,6	2480 ±25	2683 ±8	2,131	1,2	0,1832	0,49	11,86	1,3	0,4692	1,2	0,927
2.1	0,03	150	47	0,32	65,2	2639 ±27	2706 ±10	1,977	1,3	0,1859	0,6	12,97	1,4	0,5059	1,3	0,904
9.2	0,00	233	45	0,20	96,4	2531 ±26	2735 ±10	2,079	1,2	0,1892	0,59	12,55	1,4	0,4809	1,2	0,9
3.2	0,84	101	8	0,08	42,9	2563 ±31	2815 ±23	2,041	1,5	0,1987	1,4	13,37	2,0	0,4882	1,5	0,725
7.1	0,00	348	193	0,57	157,0	2718 ±26	2944 ±6	1,907	1,2	0,2151	0,38	15,55	1,2	0,5244	1,2	0,951
1.2	0,23	92	69	0,77	45,6	2919 ±32	3024 ±15	1,744	1,4	0,2260	0,94	17,85	1,6	0,5727	1,4	0,82
4.1	0,05	96	59	0,64	47,3	2916 ±31	3027 ±10	1,748	1,3	0,2264	0,64	17,86	1,5	0,5721	1,3	0,9
6.1	0,00	66	57	0,89	32,8	2940 ±33	3043 ±12	1,731	1,4	0,2287	0,74	18,22	1,6	0,5778	1,4	0,884
9.1	0,01	1770	395	0,23	821,0	2782 ±26	3057 ±6	1,853	1,2	0,2308	0,35	17,17	1,2	0,5397	1,2	0,957
3.1	0,04	192	126	0,68	93,5	2899 ±29	3067 ±8	1,761	1,2	0,2321	0,48	18,17	1,3	0,5678	1,2	0,932
9.3	0,00	1282	74	0,06	594,0	2782 ±26	3080 ±6	1,853	1,2	0,2341	0,37	17,42	1,2	0,5397	1,2	0,953
8.1	0,00	1203	325	0,28	518,0	2620 ±25	3185 ±9	1,994	1,1	0,2501	0,55	17,29	1,3	0,5015	1,1	0,901
1.1	0,03	242	104	0,44	129,0	3113 ±32	3225 ±15	1,611	1,3	0,2565	0,97	21,95	1,6	0,6207	1,3	0,798
5.1	0,00	466	183	0,41	234,0	2973 ±28	3233 ±5	1,707	1,2	0,2577	0,34	20,82	1,2	0,586	1,2	0,961
10.1	0,00	492	90	0,19	259,0	3085 ±29	3305 ±10	1,63	1,2	0,2699	0,65	22,84	1,4	0,6137	1,2	0,877

Примечания. Погрешности даны на уровне 1-sigma.  $\text{Pb}_c$  и  $\text{Pb}^*$  показывают доли обыкновенного и радиогенного свинца. Ошибки в калибровке стандарта 0,45 % (не включены в указанные погрешности). Корректировка на обыкновенный свинец внесена по измеренному  $^{206}\text{Pb}$ .

Из пробы лейкогранитов (17/23), являющейся лейкосомой биотит-амфиболовых мигматитов весом 0,5 кг, выделена фракция циркона из 33 зерен различного облика и гетерогенного строения.

По результатам U-Pb датирования получено несколько возрастных групп от палеоархея до неогархея (рис. 3, табл. 1). Для интерпретации возрастных данных изучены состав датированных цирконов и распределение в них редкоземельных элементов (рис. 4).

Наиболее древний возраст получен по ядрам зерен 1.1, 5.1, 8.1, по ним построена дискордия с верхним пересечением  $3255 \pm 21$  млн лет. По зерну 10.1 получен дискордантный возраст  $3305 \pm 10$  млн лет. Ядро 5.1 представлено обломком неправильной формы с тонкой зональностью, 1.1 призматическое однородное, 8.1 черное в КЛ, 10.1 овальное ядро со слабым свечением и тонко-зональной краевой частью. Во всех древних ядрах содержание Hf 10 411–11 514, Y 1054–3044 мкг/г (в 10.1 – 678), Th/U 0,19–0,44, Gd 22–44 (1.1, 5.1) и в ядрах 8.1 – 19, 10.1 – 10 мкг/г. Содержание U 242–492 ppm, в 8.1 – 1203 мкг/г. По геохимическим характеристикам, цирконы состоят из кислых пород, окатанность некоторых древних цирконов указывает на их ксеногенную природу. Полученный дискордантный возраст (древнее 3200 млн лет) отвечает времени кристаллизации вмещающих стратифицированных образований фундамента, являющихся протолитом.

Вторая возрастная группа получена по грубозональным и однородным ядрам циркона 6.1, 4.1, 3.1 и оболочке 1.2, которые составляют в пробе более 50 %. Ядра представлены неокатанными обломками длиннопризматических кристаллов, по ним полу-

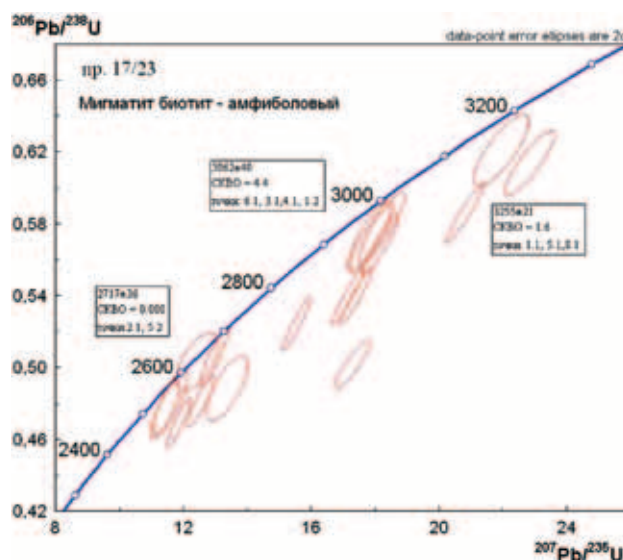


Рис. 3. Диаграмма с дискордиями для цирконов из мигматита биотит-амфиболового полосчатого

чен субконкордантный возраст  $3062 \pm 40$  млн лет. Содержание в ядрах U 66–192, Th 57–126 ppm, Th/U 0,64–0,89, Hf 7892–9320, Y 651–1361 мкг/г, Gd 10–31. По геохимическим характеристикам цирконы магматического генезиса отвечают породам среднего и основного состава (вероятно, унгкурхейского комплекса), сохранившегося в виде крупных скиалитов почти черного цвета.

По оболочкам 2.1, 5.2 по  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  получены дискордантные значения 2706–2683 млн лет. Содержание в ядрах U 150–242, Th 47 ppm, Th/U 0,2–0,3,

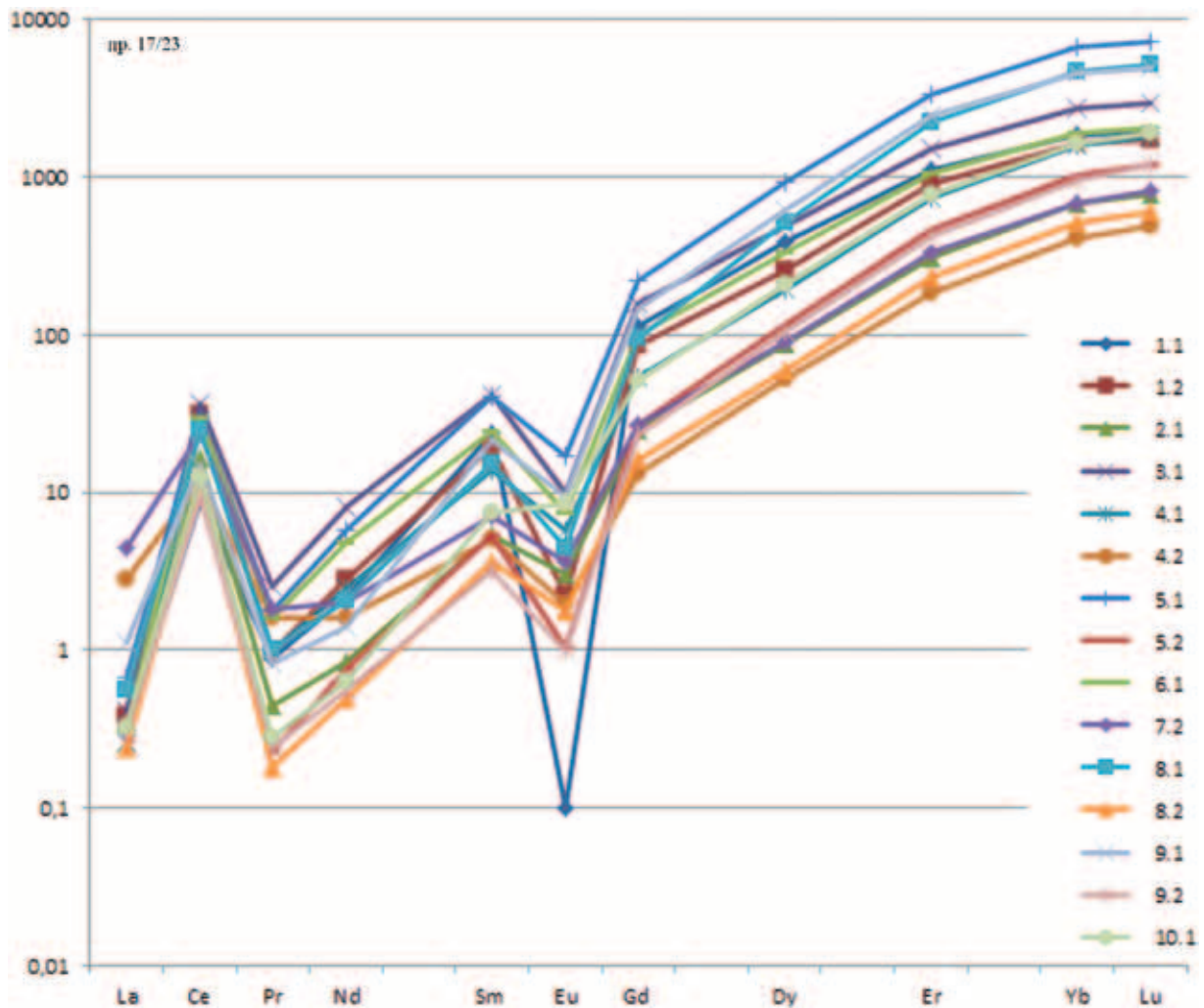


Рис. 4. Распределение редкоземельных элементов в цирконах из лейкогранитов (лейкосома мигматитов, пр. 17/23). Ксеногенные ядра 1.1, 1.2, 5.1, 8.1, 10.1; ядра протолита 3.1, 4.1, 6.1; метаморфические оболочки 2.1, 4.2, 5.2, 7.2, 8.2, 9.1, 9.2



Рис. 5. Катодолуминесцентное изображение типичных цирконов из мигматитов биотит-амфиболовых полосчатых (пр. 17/23) с точками измерений

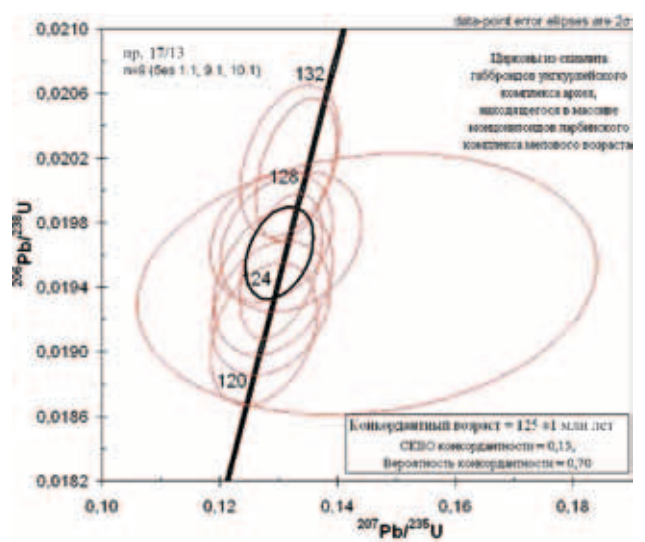


Рис. 6. Диаграмма с конкордией для монзонитоидов ларбинского комплекса мелового возраста (пр. 17/13)

Hf 8475–9465, Y 284–422 мкг/г, Gd 5. Содержание всех элементов и суммы РЗЭ в оболочках ниже, чем в ядрах, за исключением урана. Пониженное содержание РЗЭ, Y и снижение Th/U указывают на метаморфическое происхождение оболочек [8]. Образование оболочек, вероятно, произошло в результате растворения и перетолжения магматического циркона гранитоидов древнестанового комплекса в процессе мигматизации.

По оболочкам 7.2, 8.2, 4.2 по  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  получены дискордантные значения 2647–598 млн лет. Содержание в ядрах U 78–130, Th 22–56 ppm, Th/U 0,29–0,45, Hf 8301–8906, Y 160–293 мкг/г, Gd 2,6–5,3. Пониженное содержание РЗЭ в Y указывает на метаморфическое происхождение оболочек (рис. 4, табл. 5).

Небольшое различие возраста оболочек, вероятно, связано с захватом более древнего вещества ядер. Таким образом, возраст лейкогранитов древнестанового комплекса ~ 2,7, ортосланцев (метагаббронориты оливиновые ункурхейского комплекса) 3,0–3,1 млрд лет (рис. 5).

Результаты датирования лейкосомы мигматитов хорошо сопоставимы с полученными ранее данными по мигматитам Джугджуро-Становой складчатой области, в которых возраст вулканогенного протолита 3, а время формирования ранней лейкосомы 2,7 млрд лет [1, 2]. Возраст около 3 млрд лет, полученный Е. П. Миронюком, Ю. Д. Пушкаревым и др. (1994) по большим навескам смеси двух, а возможно, и более морфотипов циркона, скорее всего отвечает времени формирования протолита мигматитов [6].

Попытка датировать метаморфизованные скиалиты габброноритов оливиновых (предположительно ункурхейского комплекса архея), содержащихся в монцодиоритах ларбинского комплекса (пр. 17/13), закончилась неудачей. Циркон, выделенный из них, оказался раннемелового возраста (125 млн лет), что свидетельствует о воздействии на габбронориты монцонитоидов ларбинского комплекса, т. е. датировалась по сути гибридная порода с постепенными переходами от габброно-



Рис. 7. Участок стенки обнажения гнейсогранитов биотитовых предположительно ингамакитского комплекса с ксенолитами мигматитов полосчатых (пр. 17/23) и метагаббронорита ункурхейского комплекса (пр. 17/11)

ритов к монцонитам, возможно, к габбро-монцонитам (рис. 6, табл. 2). Соответственно получены конкордантные возрасты 122–139 млн лет ( $125 \pm 1$  млн лет).

В самом западном конце обнажения полосчатых мигматитов выходит небольшое тело гнейсогранитов биотитовых мелкозернистых серых (рис. 3, пр. 17/27) с округлыми ксенолитами кристаллосланцев и мигматитов полосчатых (рис. 7) площадью до 20 см<sup>2</sup>. Аз. падения гнейсовидности гнейсогранитов 130°, угол падения 50°. Гнейсограниты имеют гранобластовую структуру и состоят из кварца 20–25, плагиоклаза (олигоклаз) 50, ортоклаза 10, биотита 15–20 %. Акцессорные минералы – ортит, монацит, циркон. Гнейсограниты метаморфизованы приблизительно в амфиболитовой фации. Ширина выхода тела гнейсогранитов не более 100 м. По составу и геохимическим особенностям гнейсограниты, вероятно, относятся к III фазе ингамакитского комплекса гранитоидов, петротипический массив

Таблица 2

Результаты U-Pb анализа цирконов из скиалита габброидов ункурхейского комплекса (пр. 17/13)

Точки измерения	$^{206}\text{Pb}_c$ , %	U, г/г	Th, г/г	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*$ , г/г	$(1) \text{ }^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст		$(1) \text{ }^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}$	±%	$(1) \text{ }^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$		±%	$(1) \text{ }^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$		±%	К, отн. ед.
						±1,1	±1,1			±%	±%					
3.1	0,00	827	940	1,17	13,6	122	±1,1	52,34	0,9	0,0484	2,8	0,1275	2,9	0,0191	0,9	0,324
7.1	0,20	1105	1198	1,12	18,3	123	±1,1	51,89	0,9	0,0484	3,1	0,1287	3,2	0,0193	0,9	0,278
2.1	1,03	200	127	0,65	3,37	124	±2,1	51,49	1,7	0,0540	11	0,1450	11	0,0194	1,7	0,156
8.1	0,24	1615	1913	1,22	27	124	±1,2	51,47	1,0	0,0482	3	0,1291	3,2	0,0194	1,0	0,302
2.2	0,00	1577	2165	1,42	26,5	125	±1,2	51,21	0,9	0,04841	2	0,1304	2,2	0,0195	0,9	0,432
6.1	0,25	1098	911	0,86	18,6	126	+1,1	50,81	0,9	0,0487	3,5	0,1321	3,7	0,0197	0,9	0,245
4.1	0,25	1580	2398	1,57	26,8	126	±1,0	50,73	0,8	0,0474	3,2	0,1288	3,3	0,0197	0,8	0,253
5.1	0,00	2091	2853	1,41	36,1	128	±1,2	49,69	0,9	0,04792	1,9	0,1330	2,1	0,0201	0,9	0,427
3.2	0,12	1540	2117	1,42	26,7	129	±1,2	49,55	1,0	0,0474	2,4	0,1319	2,6	0,0202	1,0	0,371
1.1	0,00	1121	1203	1,11	19,5	129	±1,3	49,41	1,0	0,0494	2,3	0,1380	2,5	0,0202	1,0	0,402
10.1	0,04	8135	15 777	2,00	150	137	±1,7	46,63	1,3	0,04661	1,6	0,1378	2,1	0,0214	1,3	0,621
9.1	0,07	8405	19 030	2,34	157	139	±1,7	46,05	1,2	0,0491	3,5	0,1469	3,7	0,0217	1,2	0,331

Примечания. Ошибки в калибровке стандарта (пр. 17/13) 0,42 % (не включены в указанные погрешности). См. примеч. к табл. 1.

## Результаты U-Pb анализа цирконов из гранитоидов ингамакитского комплекса (пр. В-66 – петротип)

Точки измерения	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , %	U, г/г	Th, г/г	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/\text{г/г}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ возраст	$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$	±%	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	±%	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$ ±%	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$ ±%	К, отн. ед.		
пр. 17/27																
13.1	0,20	316	106	0,35	21,2	123,3 ±1,1		51,78	0,89	0,0472	3,7	0,1255	3,8	0,01931	0,89	0,235
9.1	1,52	629	789	1,30	25,3	122,8 ±1,1		51,99	0,89	0,0478	2,4	0,1269	2,6	0,01924	0,89	0,342
14.1	0,07	829	605	0,75	24,8	125,6 ±1,3		50,84	1	0,0494	2,9	0,1339	3,1	0,01967	1	0,34
8.1	4,21	950	464	0,50	16,3	121,9 ±1,7		52,38	1,4	0,045	28	0,117	29	0,01908	1,4	0,049
1.1	0,60	1273	702	0,57	10,4	121,2 ±1,3		52,69	1,1	0,0514	8,9	0,134	8,9	0,01898	1,1	0,126
6.1	0,46	1461	69	0,05	5,23	122,5 ±1,5		52,12	1,2	0,0515	4,1	0,1362	4,3	0,01919	1,2	0,285
4.1	0,30	1524	413	0,28	13,4	120,2 ±1,1		53,13	0,96	0,0489	2,4	0,1268	2,6	0,01882	0,96	0,37
2.2	0,02	969	577	0,61	17,9	137,1 ±1,5	78 ±62	46,52	1,1	0,0476	2,6	0,141	2,8	0,0215	1,1	0,382
10.1	8,00	8	7	0,85	0,172	143 ±11	920 ±1300	44,5	7,5	0,07	64	0,22	65	0,0225	7,5	0,116
12.1	0,00	42	1	0,01	0,853	150 ±3,9	274 ±200	42,5	2,7	0,0517	8,8	0,168	9,2	0,02355	2,7	0,288
15.1	—	55	19	0,36	1,62	217,2 ±5	408 ±170	29,19	2,3	0,0549	7,6	0,259	8	0,03426	2,3	0,295
2.1	0,00	214	130	0,63	6,39	220,6 ±2,5	314 ±73	28,73	1,2	0,0527	3,2	0,2528	3,4	0,03481	1,2	0,341
3.2	0,03	557	374	0,69	128	1523 ±12	2143 ±39	3,752	0,86	0,1334	2,2	4,9	2,4	0,2665	0,86	0,36
3.1	0,02	446	335	0,78	113	1669 ±13	2318 ±16	3,385	0,87	0,1476	0,92	6,013	1,3	0,2954	0,87	0,687
5.1	0,00	10	4	0,36	2,89	1873 ±47	1897 ±62	2,966	2,9	0,1161	3,5	5,4	4,5	0,3372	2,9	0,642
3.3	0,19	41	4	0,11	13,1	2022 ±27	2004 ±30	2,712	1,6	0,1233	1,7	6,26	2,3	0,3685	1,6	0,677
11.1	0,07	291	174	0,62	95,2	2079 ±17	2533,7 ±8,3	2,627	0,93	0,16758	0,49	8,796	1,1	0,3807	0,93	0,884
7.1	0,09	157	101	0,66	59,8	2362 ±21	2782 ±11	2,259	1,1	0,1946	0,7	11,87	1,3	0,4425	1,1	0,836
пр. В-66																
1.1	0,64	312	204	0,67	11,3	263,5 ±3,4	351 ±160	23,97	1,3	0,0535	7,1	0,308	7,2	0,04172	1,3	0,182
2.1	0,88	519	531	1,06	18,4	258,1 ±2,9	223 ±230	24,48	1,2	0,0506	9,9	0,285	10	0,04085	1,2	0,116
3.1	1,14	357	284	0,82	12,7	258,8 ±3,4	225 ±230	24,41	1,3	0,0506	10	0,286	10	0,04096	1,3	0,132
4.1	0,66	312	248	0,82	11	257,8 ±3,4	296 ±170	24,5	1,3	0,0522	7,5	0,294	7,6	0,04081	1,3	0,177
5.1	0,72	376	345	0,95	12,6	244,6 ±3,1	329 ±190	25,86	1,3	0,053	8,5	0,283	8,6	0,03868	1,3	0,15
5.2	1,30	341	199	0,60	12,2	260 ±3,8	214 ±330	24,29	1,5	0,0504	14	0,286	15	0,04116	1,5	0,102
6.1	1,02	201	69	0,35	7,16	259 ±4,4	630 ±210	24,4	1,7	0,0607	9,6	0,343	9,7	0,04099	1,7	0,177
7.1	0,74	339	254	0,77	12,3	265,5 ±3,1	400 ±210	23,78	1,2	0,0547	9,2	0,317	9,2	0,04205	1,2	0,128
8.1	0,66	296	203	0,71	10,6	262,8 ±6,2	406 ±180	24,03	2,4	0,0549	8,1	0,315	8,5	0,04161	2,4	0,283
9.1	1,30	318	221	0,72	11,2	255,6 ±3,5	225 ±340	24,73	1,4	0,0507	14	0,282	15	0,04045	1,4	0,095
10.1	1,22	388	225	0,60	13,6	255,4 ±3,3	268 ±320	24,74	1,3	0,0516	14	0,288	14	0,04042	1,3	0,093

Примечания. Ошибки в калибровке стандарта (пр. 17/27) 0,57, (пр. В-66) 0,44 % (не включены в указанные погрешности). См. примеч. к табл. 1.

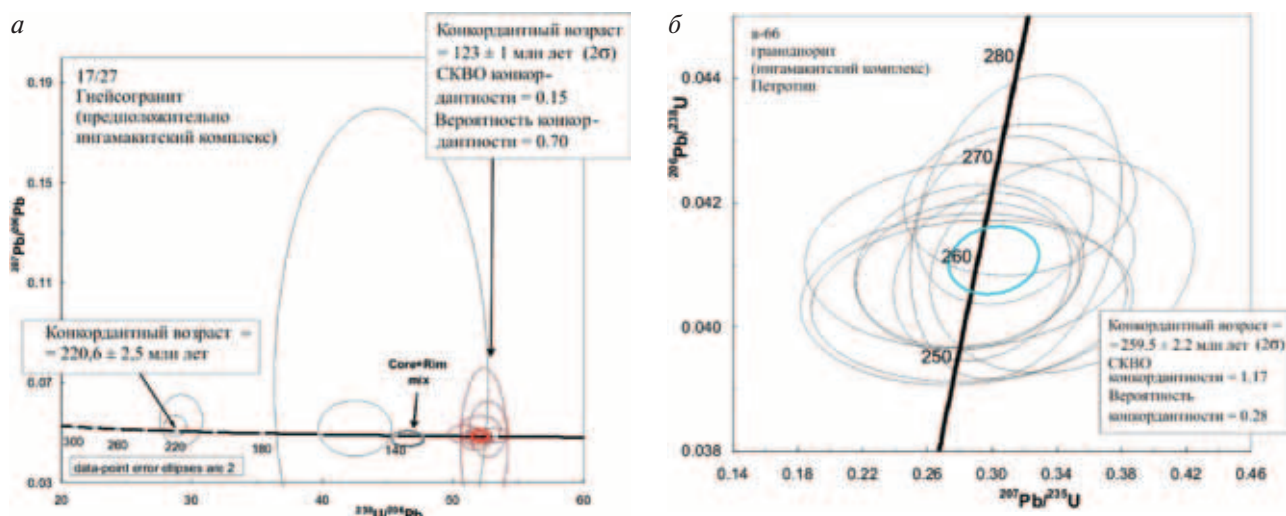


Рис. 8. Диаграммы с конкордиями для цирконов из гнейсогранитов биотитовых предположительно ингамакитского комплекса (пр. 17/27) – а и из гранодиоритов ингамакитского комплекса (петротип, В-66) – б

Результаты U-Pb анализа цирконов из тела гарцбургитов Пристановой зоны (пр. ТМ-11/13)

Точки измерения	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ , %	U, г/г	Th, г/г	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb}^*/\text{г/г}$	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ возраст		$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$ возраст		$^{238}\text{U}/^{206}\text{Pb}^*$	±%	$^{207}\text{Pb}^*/^{206}\text{Pb}^*$	±%	$^{207}\text{Pb}^*/^{235}\text{U}$	±%	$^{206}\text{Pb}^*/^{238}\text{U}$	±%	К, отн. ед.
						±	возраст	±	возраст									
1.1	0,00	244	159	0,68	4,72	143,7	±3,3	226	±140	44,4	2,3	0,0507	5,9	0,0507	5,9	0,02254	2,3	0,37
1.2	0,36	1811	1125	0,64	36,3	148,1	±2,7	152	±130	42,88	1,8	0,05193	1,8	0,0491	5,5	0,02324	1,9	0,32
1.3	4,48	1152	217	0,19	23,3	143,7	±3	-126	±420	42,41	1,9	0,0796	3,2	0,0437	17	0,02254	2,1	0,122
2.1	0,47	83	32	0,40	24,1	1868	±35	1775	±39	2,958	2,1	0,1127	1,4	0,1085	2,1	0,3362	2,2	0,711
3.1	0,10	235	132	0,58	65,6	1816	±30	1850	±19	3,069	1,9	0,114	0,93	0,1131	1	0,3254	1,9	0,879
3.2	0,84	1882	1490	0,82	47	183,3	±3,3	530	±99	34,38	1,8	0,0646	2,9	0,058	4,5	0,02884	1,8	0,379
3.3	2,08	493	8	0,02	10	148	±3,2	-437	±460	42,17	2,1	0,0555	3,3	0,0387	17	0,02323	2,2	0,126
3.4	0,47	747	10	0,01	15,5	152,7	±3	125	±130	41,54	2	0,0523	2,8	0,0485	5,5	0,02396	2	0,337
4.1	0,21	313	31	0,10	96,9	1979	±32	1899	±17	2,775	1,9	0,11814	0,75	0,1163	0,94	0,3594	1,9	0,893
4.2	1,39	11	7	0,63	3,31	1862	±64	1782	±140	2,94	3,8	0,1212	3,9	0,109	7,9	0,335	4	0,447
4.3	0,41	147	55	0,39	41,8	1838	±32	1821	±32	3,016	2	0,1149	1,2	0,1113	1,8	0,3299	2	0,753
5.1	2,32	1206	723	0,62	20,2	121,9	±2,4	-99	±260	51,2	1,9	0,0628	2,5	0,0442	11	0,01909	2	0,181
6.1	0,53	48	21	0,45	14,8	1951	±41	1877	±56	2,811	2,4	0,1195	2,2	0,1148	3,1	0,3535	2,4	0,62

Примечания. Ошибки в калибровке стандарта 0,74 % (не включены в указанные погрешности). См. примеч. к табл. 1.

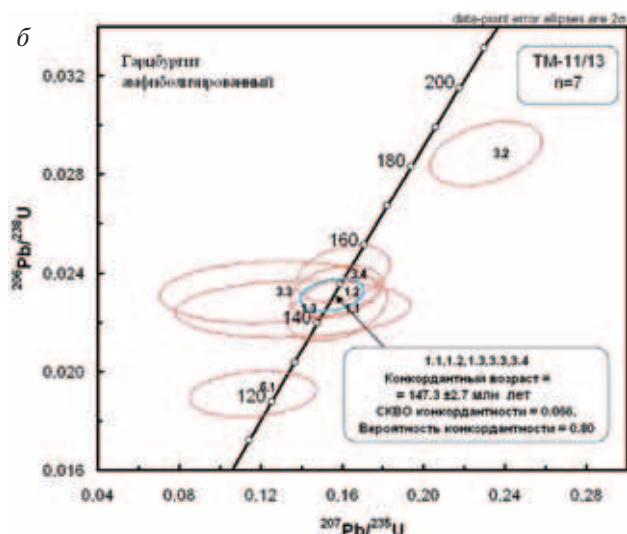
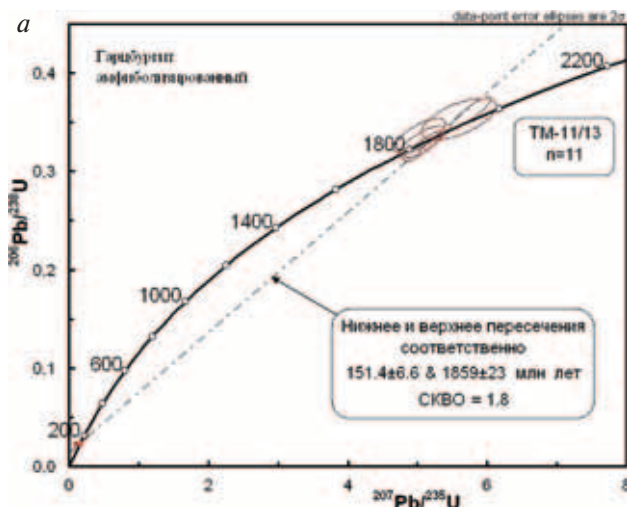


Рис. 10. Диаграммы с дискордией – а (общий вид) и конкордией – б (фрагмент) для цирконов из гарцбургитов (пр. ТМ-11/13) Пристановой зоны

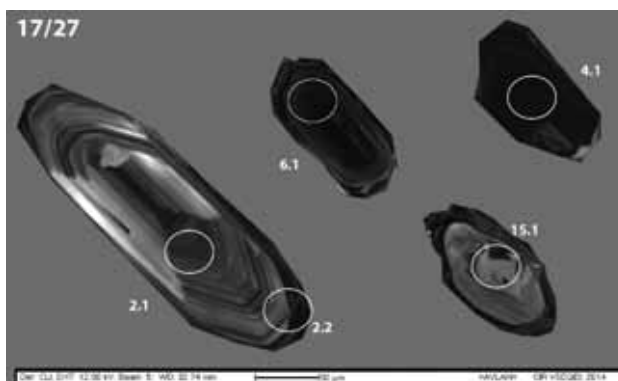


Рис. 9. Катодолуминесцентное изображение типичных зерен цирконов из гнейсогранитов биотитовых, возможно, ингамакитского комплекса (пр. 17/27)

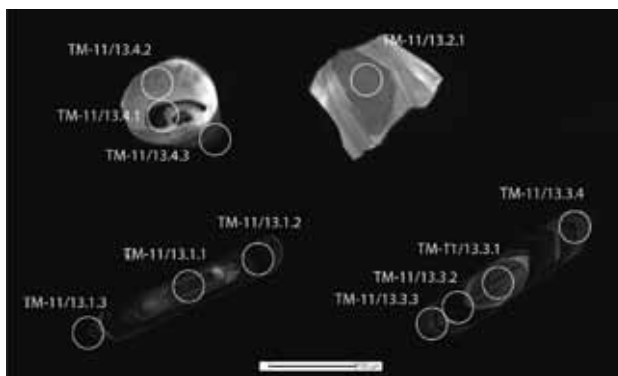


Рис. 11. Катодолуминесцентное изображение типичных зерен циркона из тела гарцбургитов

**Характеристика цирконов из гранитоидов древнестанового, ингамакитского, габброидов ункурхейского и ультрамафитов условно верхнехолодниканского комплексов**

Породы и название комплекса	Типоморфизм	Идентификация цирконов	U-Pb возраст, млн лет	Номера точек измерения в зернах циркона и типичные представители групп (рис. 5, 8)
Гранит лей-кократовый, пр. 17/23, древнестановой комплекс, шайба 1839	Фракция состоит из субидiomорфных и идио-морфных разнообразных по цвету кристаллов. Это желтые с включениями (5, 6, 7) и бесцветные прозрачные без включения (1, 2, 3, 4) овальной и призматической формы, мутные желтовато-коричневые зерна (8, 9, 10). Коричневые кристаллы трещиноватые с многочисленными включениями. Размер их 120–300 мкм, Ку 1,5–3,0. В КЛ изображении прозрачные цирконы состоят из различных ядер и светлых оболочек. Ядра 6.1, 4.1, 3.1 с ярким свечением и следами грубой зональности. В мутных кристаллах ядра также овальной и неправильной формы, черные в КЛ, оболочки 1, 2 с умеренным и ярким свечением. По ядрам и оболочке содержание U 66–192 г/т, Th/U 0,64–0,89	Протолит магматический	Субконкордантный 3062 ± 40	Ядра: 6.1, 4.1, 3.1. Широкая оболочка с ярким свечением 1.2
	Представлен широкими оболочками. U 150–242 г/т, Th/U 0,2–0,3 U 78–130 г/т, Th/U 0,29–0,45	Ультраметагенный, метаморфический	2706–2683 2647–2598	Оболочки 2.1, 5.2 Оболочки 7.2, 8.2, 4.2
	Ядра с тонкой магматической зональностью и умеренным свечением 1.1, 5.1. U 242–446 г/т, Th/U 0,41–0,44 U 492 г/т, Th/U 0,19	Унаследованные ядра (субстрат) ксеногенные	3255 ± 21 3305 ± 10	Ядра 1.1, 5.1, 8.1 Ядро 10.1
Гранитогнейс биотитовый, пр. 17/27, ингамакитский комплекс, шайба 1836	Желтые прозрачные и полупрозрачные субидiomорфные кристаллы длиннопризматические размером 80–300 мкм, Ку 1,2–4,5. В КЛ секториальные и тонкозональные. U 8–969 г/т, Th/U 0,01–0,85. Центральная часть зерен 12.1, 10.1, 15.1 перекристаллизована, так как содержит очень низкие концентрации Th 1–19	Магматический	Конкордантный 220 ± 2,5 (220–137)	Центральная часть 2.1, 15.1, 12.1, 10.1. Оболочка 2,2
	Желтые полупрозрачные длиннопризматические кристаллы. В КЛ видно их пятнистое строение (U 316–1524 г/т, Th/U 0,05–1,30) и каймы обрастания вокруг зерен всех разновидностей циркона	Вторичные (метаморфизм амфиболитовой фации)	Конкордантный 123 ± 1	Точки 1.1, 4.1, 6.1, 8., 1, 9.1, 13.1, 14.1
	Детритовые разновозрастные зерна. U 157–557 г/т, Th/U 0,62–0,78	Унаследованные зерна субстрата, в том числе и из лейкогранитов древнестанового комплекса	Дискордантный 2143–2782	Ядерная часть 7.1, 11.1, 3.1, 3.2
	Детритовые зерна, в КЛ оболочечная часть светлая. U 10–41 г/т, Th/U 0,11–0,36		Дискордантный 1897–2004	Точки 3.3, 5.1
Гранодиорит биотитовый, пр. В-66, ингамакитский комплекс (петротип), шайба 651	Желтые прозрачные субидiomорфные призматические длиной 200–300 мкм, Ку 2–3. В КЛ нарушенная магматическая зональность, имеются элементы секториальности. U 201–388, Th 69–531 г/т, Th/U 0,60–1,06	Магматический	Конкордантный 259,5 ± 2,2	Все точки измерения в одном кластере 244,6 ± 3,1 – 265,5 ± 3,1 млн лет
Гарцбургит, пр. ТМ-11/13, условно верхнехолодниканский ультрамафитовый, шайба 1754	Цирконы прозрачные розоватого цвета. Выделены две группы. Большинство (90 %) субидiomорфные зерна и их обломки. Длина 100–300 мкм, Ку 1–2. U 48–1882, Th 7–1490 г/т, Th/U 0,01–0,82	Ксеногенный однотипный	Дискордантный 1859 ± 23	Все точки находятся в этом кластере
	Вторая группа – два кристалла с четкой магматической зональностью, Ку 4, с ядрами (3.1)	Магматический?	Конкордантный 147,3 ± 2,7 Конкордантный 1816 ± 30	Точки 1.1, 1.2, 1.3, 3.3, 3.4 Ядро 3.1
	Светлый прозрачный обломок. В КЛ с секториальной зональностью слабого свечения. U 1206, Th 723 г/т, Th/U 0,62	Наложённые метасоматические процессы	Конкордантный 121,9 ± 2,4	5.1



(Ингамакитский плутон) которых находится западнее, в бассейне р. Лурбун, а в 40 км к западу от нашего обнажения в верховье р. Олекма расположен Сельхский плутон этого комплекса. Конкордантный возраст гранитоидов II фазы петротипического Ингамакитского плутона по циркону, полученный авторами на ионном микрозонде высокого разрешения SHRIMP II, составляет  $259,5 \pm 2,2$  млн лет (рис. 8, табл. 5). К-Аг датировки (валовые пробы) по ингамакитскому комплексу (по материалам предшественников) составляют возраст 220–360 млн лет [3].

Из пробы гнейсогранитов (17/27) биотитовых весом 0,5 кг выделена фракция из 34 разнообразных зерен циркона. По результатам U-Pb датирования (рис. 9, табл. 3) получен конкордантный возраст магматических цирконов  $220 \pm 5$  млн лет. К этой группе цирконов отнесены секториальные, тонкозональные ядра (2.1, 15.1, 12.1, 10.1) зерен и оболочка (2.2) с возрастными 137–220 млн лет, на которых отразились процессы перекристаллизации предположительно в раннем мелу, связанные с воздействием пород ларбинского комплекса на гнейсограниты. Об этом свидетельствует конкордантный возраст  $123 \pm 1$  млн лет, полученный по длиннопризматическим кристаллам циркона из этой же пр. 17/27 гнейсогранитов предположительно ингамакитского комплекса (рис. 9; табл. 5, точки 1.1, 4.1, 6.1, 8.1, 9.1, 13.1, 14.1). Помимо этого получены дискордантные разновозрастные значения 2782–2143 и слабодискордантные 1897–2004 млн лет, свидетельствующие о возрасте цирконов из вмещающего субстрата, в том числе и из метаморфизованных гранитоидов древнестанового комплекса и габброидов унгкурхейского комплекса архея.

Помимо гранитоидов различных комплексов Становой складчатой зоны и метагабброидов унгкурхейского комплекса, нами исследовались ультрамафитовые образования, слагающие мелкие тела Пристановой зоны, традиционно картируемые как архейские [4]. Одно из таких тел мощностью не более 10 м обнажается в железнодорожной выемке в районе ст. Золотинка (координаты  $124^{\circ}49'30''$  в.д.,  $56^{\circ}7'$  с.ш.), где оно сложено амфиболизированными гарцбургитами, крупнозернистыми массивными, прорывающими их глубокометаморфизованными кристаллическими сланцами семеновской свиты архея и протерозойскими габброидами с возрастными 1800–1970 млн лет.

Структура гарцбургитов панидиоморфнозернистая, гиперстен 30 отчетливо плеохроирует (Ng бледно-зеленый, Nm бледно-розовый, Nr розовый). Схема плеохроизма  $Nr > Nm > Ng$ . Сила двупреломления  $n_g - n_r \approx 0,015$ , угол (-)  $2v \approx 80-85^{\circ}$ , дисперсия угла оптических осей  $r > v$ . Оливин 15, угол (+)  $2v \approx 70-80^{\circ}$  (форстерит?), оливин на 1/4 серпентинизирован и слабо замещен идидингситом. Зеленая роговая обманка 50 и зеленая шпинель (плеонаст) 3–5 обычно в сростках с магнетитом.

Конкордантный возраст гарцбургитов ~ 140 млн лет (рис. 10, 11, табл. 4). Полученное значение требует повторного датирования и изучения. В пользу полученного результата свидетельствуют обнаруженные в этом регионе сходные по составу тела, не подвергшиеся диафорезу, которые прорывают образования фундамента [4], диафорированные в юрско-меловое время.

Таким образом, в Становой складчатой области вырисовывается определенная последовательность формирования молодых и древних магматических образований [7]:

– аинглинский комплекс. Гранит-порфиры  $116,6 \pm 2,1$  млн лет;

– ларбинский комплекс. Монцогаббро  $125 \pm 1$ , монцодиорит  $122 \pm 1$ , кварцевый монцодиорит порфиroidный  $119,7 \pm 2,3$  млн лет;

– тындинско-бакаранский комплекс. Монцонит-порфиры  $122,9 \pm 2,5$ , кварцевые диориты  $124,0 \pm 2,5-122,7 \pm 2$  млн лет;

– тукурингский (позднестановой) комплекс. Гранит биотитовый порфиroidный  $137 \pm 2$ , гранит биотитовый  $143,9 \pm 3,6$ , гранит биотитовый гнейсовидный  $142,3 \pm 3,4$  млн лет. В комплекс вошли также массивы гранитоидов, ранее выделявшиеся как кубыктинский, амуканский и неричинский комплексы  $AR_2-PR_1$ ;

– гарцбургиты амфиболизированные  $147,3 \pm 2,7$  млн лет;

– ингамакитский комплекс. Гранодиориты (петротипический Ингамакитский массив  $259,5 \pm 2,2$ , гнейсогранит биотитовый условно ингамакитский комплекс  $217-220$  млн лет);

– древнестановой комплекс. Лейкограниты из мигматитов биотит-амфиболовых  $2717 \pm 36$  млн лет;

– унгкурхейский комплекс. Оливиновый габбро-норит метаморфизованный  $3062 \pm 40$  млн лет.

Раннемеловой тукурингский комплекс выделен в Дальневосточной серийной легенде, поэтому название «позднестановой комплекс» более уместен для территории Становой складчатой области на листе О-51 – Алдан.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках проектной части государственного задания в сфере научной деятельности № 5.2.115.2014/к на 2014–2016 гг. Выражаем искреннюю благодарность сотрудникам ВСЕГЕИ – зам. зав. отделом прогнозной и геолого-экономической оценки месторождений полезных ископаемых П. Г. Падерину и вед. инженеру этого отдела А. Ф. Деменюку, участвовавшим в обсуждении и частичном финансировании изотопных исследований геологических объектов Становой складчатой области.

1. Глебовицкий В.А., Седова И.С., Матуков Д.И. и др. Геохимия и геохронология мигматитов Курультино-Нюкжинского сегмента и проблемы корреляции метаморфических событий в Джугджуро-Становой складчатой области // Петрология. 2008. Т. 16. № 6. – С. 627–657.

2. Глебовицкий В.А., Седова И.С., Бережная Н.Г., Пресняков С.И. Возраст мигматитов станового комплекса Восточной Сибири по результатам датирования цирконов U-Pb методом (SHRIMP) // Докл. РАН. 2008. Т. 420. № 1. – С. 80–84.

3. Макарьев Л.Б., Митрафонов Г.Л. и др. Объяснительная записка к Государственной геологической карте РФ масштаба 1 : 1 000 000 (новое поколение), лист О-50 – Бодайбо, 2007. – 523 с.

4. Миронок Е.П., Тимашков А.Н. и др. Объяснительная записка к Государственной геологической карте РФ масштаба 1 : 1 000 000 (второе поколение), лист О-(50)-51 – Алдан, 1999. – 42 с.

5. Миронок Е.П., Тимашков А.Н., Чухонин А.П., Ризванова Н.Г. Хронологические исследования фундамента Сибирской платформы // Регион. геология и металлогения. 1996. № 5. – С. 95–110.

6. Миронюк Е.П., Пушкарев Ю.Д., Тимашков А.Н., Костоянов А.И. Изотопный возраст древнестановых плагиогранитов (Алданский щит) // Докл. РАН. 1996. Т. 349. № 6. — С. 800–803.

7. Тимашков А.Н., Шатова Н.В., Бережная Н.Г. и др. Геохронологические исследования гранитоидов Становой складчатой области // Регион. геология и металлогения. 2015. № 61. — С. 35–49.

8. Rubatto D. Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism // Chem. Geol. 2002. Vol. 184. — P. 123–128.

1. Glebovitsky V.A., Sedova I.S., Matukov D.I. et al. Geochemistry and Geochronology migmatites Kurultino-Nyukzhinskogo segment and correlation of metamorphic events in Dzungdguro-Stanovoi fold area // Petrology. 2008. Vol. 16. N 6. — P. 627–657. (In Russia).

2. Glebovitsky V.A., Sedova I.S., Berezhnaya N.G., Presnyakov S.I. (IGGD). Age migmatites Stanovoi complex of Eastern Siberia on the results of the dating of zircon U-Pb method (SHRIMP) // Rep. Academy of Sci. 2008. Vol. 420. N 1. — P. 80–84. (In Russia).

3. Makar'ev L.B., Mitrofanov G.L. et al. The explanatory note to the State geological map of Russia, scale 1:1,000,000 (new generation), list O-50 — Bodaibo. 2007. — 523 p. (In Russia).

4. Myronyuk E.P., Timashkov A.N. et al. The explanatory note to the State geological map of Russia, scale 1:1,000,000 (second generation), list O-(50)-51 — Aldan. 1999. — 42 p. (In Russia).

5. Myronyuk E.P., Timashkov A.N., Chuhonin A.P., Rizvanova N.G. Chronological studies of the Siberian platform // Region. geology and metallogeny. 1996. N 5. — P. 95–110. (In Russia).

6. Myronyuk E.P., Pushkarev Y.D., Timashkov A.N., Kostoyanov A.I. Isotopic age drevnestanoviyh plagiogranites (Aldan Shield) // Rep. Academy of Sci. 1996. Vol. 349. N 6. — P. 800–803. (In Russia).

7. Timashkov A.N., Shatova N.V., Berezhnaya N.G. et al. Geochronological study of granitoids Stanovoi folded area // Region. geology and metallogeny. 2015. N 61. — P. 35–49. (In Russia).

8. Rubatto D. Zircon trace element geochemistry: partitioning with garnet and the link between U-Pb ages and metamorphism // Chem. Geol. 2002. Vol. 184. — P. 123–128

Тимашков Александр Николаевич — науч. сотрудник, ВСЕГЕИ <sup>1</sup>.

Шатова Надежда Витальевна — вед. инженер, ВСЕГЕИ <sup>1</sup>. <Nadezhda\_Shatova@vsegei.ru>

Бережная Наталья Георгиевна — канд. геол.-минер. наук, зав. сектором, ВСЕГЕИ <sup>1</sup>. <nataliaber@mail.ru>

Балашова Юлия Сергеевна — вед. инженер, ВСЕГЕИ <sup>1</sup>. <Juliya\_Balashova@rambler.ru>

Морозова Алена Борисовна — ст. преподаватель, СПбГУ <sup>2</sup>. <a.morozova@spbu.ru>

Скублов Сергей Геннадьевич — доктор геол.-минер. наук, ученый секретарь ИГГД РАН <sup>3</sup>, профессор, Горный университет <sup>4</sup>. <skublov@yandex.ru>

Львов Павел Алексеевич — инж. I кат., ВСЕГЕИ <sup>1</sup>.

Шокальский Сергей Павлович — канд. геол.-минер. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ <sup>1</sup>. <Sergey\_Shokalsky@vsegei.ru>

Шарипов Альберт Гизарович — инж. II кат., аспирант, ВСЕГЕИ <sup>1</sup>. <Albert\_Sharipov@vsegei.ru>

Молчанов Анатолий Васильевич — доктор геол.-минер. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ <sup>1</sup>. <Anatoly\_Molchanov@vsegei.ru>

Радков Александр Владимирович — ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ <sup>1</sup>. <Alexander\_Radkov@vsegei.ru>

Timashkov Alexander Nikolaevich — Researcher, VSEGEI <sup>1</sup>.

Shatova Nadezhda Vitalievna — Leading Engineer, VSEGEI <sup>1</sup>. <Nadezhda\_Shatova@vsegei.ru>

Berezhnaya Natalia Georgievna — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Sector, VSEGEI <sup>1</sup>. <nataliaber@mail.ru>

Balashova Julia Sergeevna — Leading Engineer, VSEGEI <sup>1</sup>. <Juliya\_Balashova@rambler.ru>

Morozova Alyona Borisovna — Senior Lecturer, St. Petersburg State University <sup>2</sup>. <a.morozova@spbu.ru>

Skublov Sergey Gennadievich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Academic Secretary of IGGD Russian Academy of Sciences <sup>3</sup>, Professor of the Mining University <sup>4</sup>. <skublov@yandex.ru>

Lvov Pavel Alekseevich — Engineer, VSEGEI <sup>1</sup>.

Shokalsky Sergey Pavlovich — Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Sector, VSEGEI <sup>1</sup>. <Sergey\_Shokalsky@vsegei.ru>

Sharipov Albert Gizarovich — Engineer, Ph.D. Student, VSEGEI <sup>1</sup>. <Albert\_Sharipov@vsegei.ru>

Molchanov Anatoly Vasilievich — Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Sector, VSEGEI <sup>1</sup>.

Radkov Alexander Vladimirovich — Senior Researcher, VSEGEI <sup>1</sup>. <Alexander\_Radkov@vsegei.ru>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Россия.

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74, Sredny prospect, St. Petersburg, 199106, Russia.

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет. Университетская наб., д. 7–9, Санкт-Петербург, 199034, Россия. St. Petersburg State University. 7-9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russia.

<sup>3</sup> Институт геологии и геохронологии докембрия РАН. Наб. Макарова, д. 2, Санкт-Петербург, 199034, Россия. RAS Institute of the Precambrian Geology and Geochronology (IPGG RAS). 2 Makarov Embankment, St. Petersburg, 199034, Russia

<sup>4</sup> Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». 21-я линия, д. 2, Васильевский остров, Санкт-Петербург, 199106, Россия. National Mineral Resources University (Mining University). 2, 21st Line, St. Petersburg, 199106, Russia.