

А. И. ЛАРИЧЕВ, С. В. ВИДИК,  
С. А. СЕРГЕЕВ, И. В. ОСАДЧИЙ (ВСЕГЕИ)

## Петрографическая характеристика и возраст пород Алдано-Анабарского блока фундамента Сибирской платформы по данным изучения керна глубоких скважин

Приводятся результаты изучения петрографического и химического состава и определения абсолютного возраста пород фундамента центральной части Сибирской платформы. По химическому составу проанализированные породы относятся к кислым и средним породам нормального и умереннощелочного ряда класса плутонов. Полученные возрастные датировки пород характеризуют четыре независимых этапа становления фундамента – 3,16–3,17; 2,83; 2,71–2,72 и 1,90 млрд лет, что соответствует диапазону от нижнелопийской эратемы (LP<sub>1</sub>) верхнего архея (AR<sub>2</sub>) до верхнекарельской (KR<sub>2</sub>) нижнего протерозоя (PR<sub>1</sub>).

*Ключевые слова:* Сибирская платформа, фундамент, геохимия, абсолютный возраст, цирконы, U/Pb датирование.

A. I. LARICHEV, S. V. VIDIK,  
S. A. SERGEEV, I. V. OSADCHIY (VSEGEI)

## Petrographic description and age of Aldan-Anabar block rocks of the Siberian Platform basement according to deep well logs

Results of studying the petrographic and chemical composition and determining the absolute age of basement rocks of the central Siberian Platform are described. Chemically, the analyzed rocks belong to the acid and medium rocks of the normal and moderately alkaline series of the pluton class. The REE distribution spectra, normalized to chondrite, are characterized by the predominance of light elements over heavy ones; at the level of heavy elements, the graph gradually flattens out. The obtained age datings of the rocks characterize four independent stages of the basement formation – 3,16–3,17; 2,83; 2,71–2,72 and 1,90 Ga, which corresponds to the range from the Lower Lopian Erathem (LP<sub>1</sub>) of the Upper Archean (AR<sub>2</sub>) to the Upper Karelian (KR<sub>2</sub>) of the Lower Proterozoic (PR<sub>1</sub>).

*Keywords:* Siberian Platform, basement, geochemistry, absolute age, zircons, U/Pb dating.

*Для цитирования:* Ларичев А. И. Петрографическая характеристика и возраст пород Алдано-Анабарского блока фундамента Сибирской платформы по данным изучения керна глубоких скважин / А. И. Ларичев, С. В. Видик, С. А. Сергеев, И. В. Осадчий // Региональная геология и металлогения. – 2022. – № 92. – С. 28–40. DOI: 10.52349/0869-7892\_2022\_92\_28-40

**Введение.** Сибирская платформа – уникальный по геологическому строению и металлогеническому потенциалу регион, имеющий стратегическое значение для экономики Российской Федерации. Поэтому весь спектр исследований, касающихся ее формирования, развития, рудогенеза и т. д., всегда будет актуальным. В частности это касается фундамента Сибирской платформы: вопросов строения, состава, условий формирования, которым в последнее время посвящаются все больше исследований [1–8; 10–12; 14]. Фундамент большей части территории платформы перекрыт осадочным чехлом, мощность которого составляет от 2–3 до 12–16 км, что значительно осложняет возможность его изучения. И если для получения представлений о строении фундамента Восточной Сибири основными методами были и остаются геолого-геофизические – моделирова-

ние гравитационного и магнитного полей, то для определения возраста и состава необходимо изучать непосредственно каменный материал, полученный (в перекрытых районах) либо в процессе бурения глубоких скважин, либо вынесенный в виде ксенолитов трубками взрыва. В рамках данного исследования по керну семи скважин изучены породы фундамента центральной части Сибирской платформы, что дополняет имеющуюся геологическую информацию о его составе и возрасте.

**Строение и возраст фундамента центральной части Сибирской платформы.** Сибирская платформа – одна из наиболее древних платформ Земли, главными признаками которых являются архейско-раннепротерозойский возраст фундамента, отсутствие связи между структурным планом фундамента и чехла, перерыв между

временем формирования фундамента и чехла в сотни миллионов лет, а также резкое несогласие структур фундамента и окружающих складчатых поясов. В строении платформы четко различаются два структурных этажа: фундамент и чехол. Фундамент сложен кристаллическими глубокометаморфизованными и магматическими, интенсивно дислоцированными породами архея и карелия.

В настоящее время имеется несколько схем районирования [4; 11; 12; 14], принципиально не противоречащих друг другу, но отличающихся в деталях. Становление фундамента Сибирской платформы происходило в архее–протерозое в несколько этапов, кроме того, имели место более поздние процессы активизации. По современным данным, фундамент представляет собой мозаику, сложенную разными по типу и возрасту тектоническими структурами – архейскими гранит-зеленокаменными и гранулитогнейсовыми областями и палеопротерозойскими подвижно-складчатыми поясами. Слагающие их архейские и раннепротерозойские структурно-формационные мегакомплексы являют собой продукты глубокой переработки осадочных и магматогенных образований в условиях гранулитовой и амфиболитовой фаций процессами ультраметаморфизма и многоактного проявления складчатых деформаций, усложненных блоковыми движениями. Становление архейских тектонических областей (гранит-зеленокаменных и гранулитогнейсовых) произошло в мезоархее и неоархее. Палеопротерозойские коллизионные пояса, которые обусловили формирование

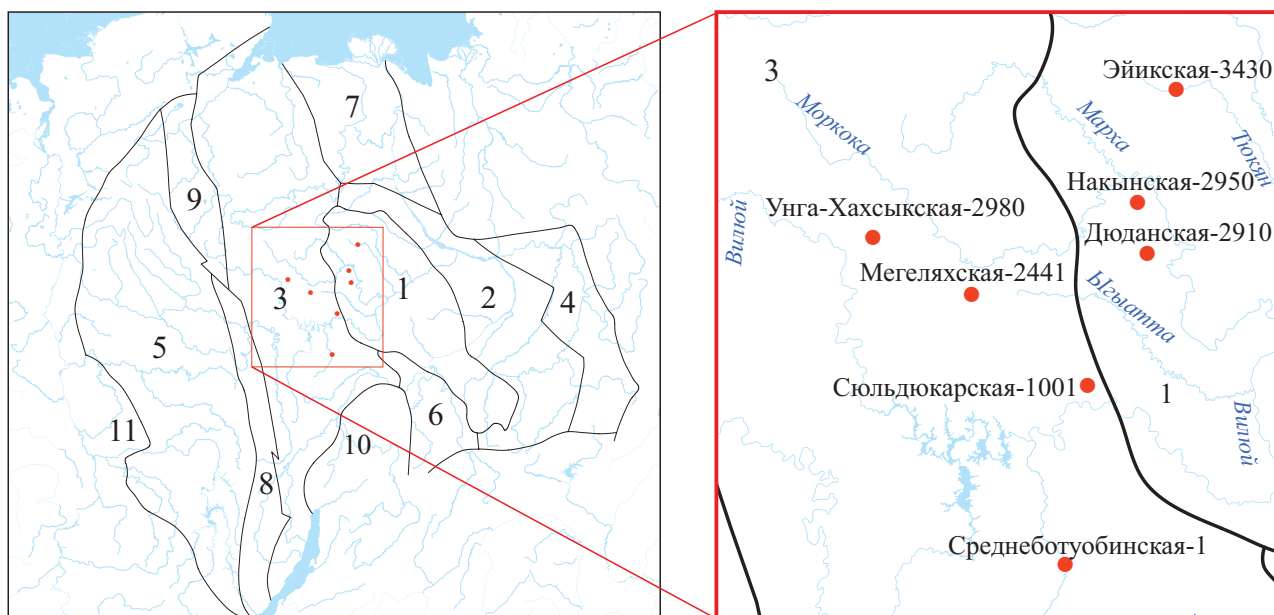
Сибирского кратона в качестве единой стабильной структуры, сформировались во временном интервале 2,1–1,8 млрд лет, образовав две возрастные группы: 2,1–1,9 и 1,9–1,8 млрд лет [4].

Согласно одной из наиболее ранних схем районирования [12], по особенностям строения раннедокембрийских комплексов в фундаменте платформы обособляются две обширные складчатые области: Алдано-Анабарская и Ангаро-Тунгусская. Центральная часть Сибирской платформы относится к Анабарской складчатой системе Алдано-Анабарского макроблока (области), которая была сформирована в раннем архее.

**Фактический материал и методы исследования.** В основу данной статьи положены результаты исследования образцов керна семи глубоких скважин (рис. 1), вскрывших образования фундамента. Минеральный состав и структурно-текстурные особенности пород изучались в литологической лаборатории ВСЕГЕИ в шлифах в проходящем свете при помощи поляризационного микроскопа Carl Zeiss. Определение названия породы производилось в соответствии с Петрографическим кодексом [9] и другими методическими и нормативными документами.

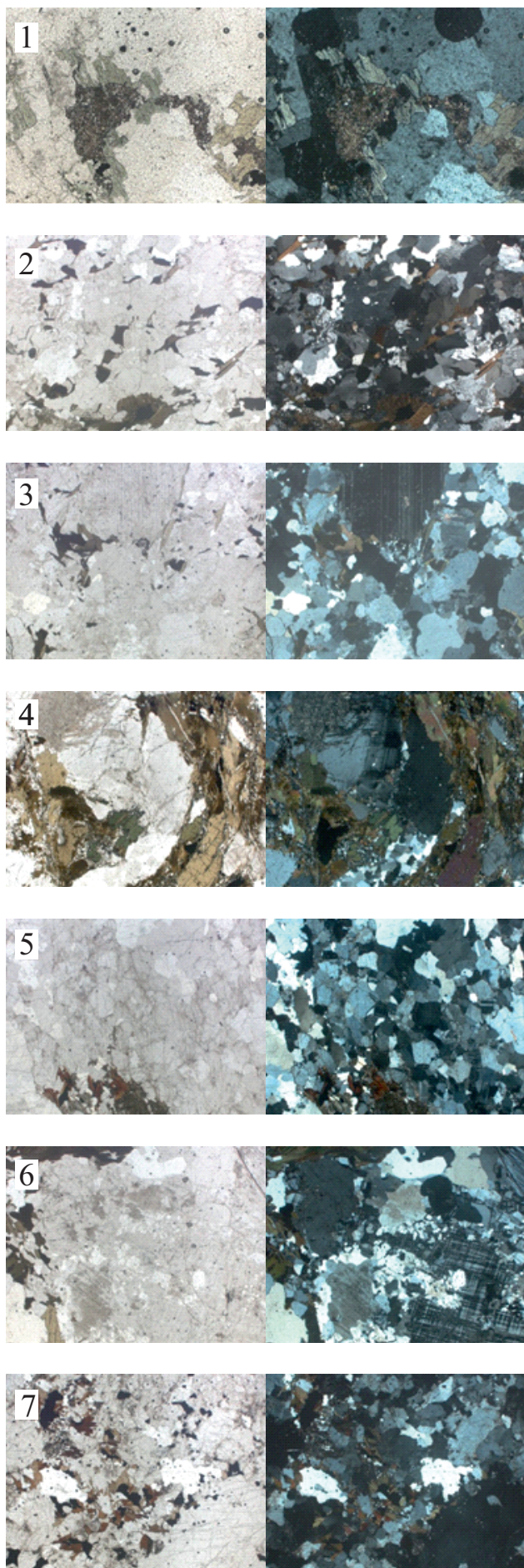
Содержания петрогенных, малых и редких элементов определены в ЦЛ ВСЕГЕИ по соответствующим методикам (см. <http://www.vsegei.ru/ru/structure/labanalytics/lab>). Редкоземельные элементы определены ICP-MS, аналитики В. А. Шишлов, В. Л. Кудряшов.

Геохронологические работы проводились в Центре изотопных исследований ФГБУ «ВСЕГЕИ» U-Pb локальным методом на вторично-ионном



**Рис. 1.** Схема тектонического районирования структурно-формационных комплексов фундамента Сибирской платформы (по В. С. Суркову, 1998) с точками расположения изученных скважин

Складчатые системы AR–PR: 1 – Алдано-Тимптонская (Иенгрский массив), AR, 2 – Тимптоно-Учурская, AR<sub>1</sub>, 3 – Анабарская, AR<sub>1</sub>, 4 – Батомгская, AR<sub>1</sub>–AR<sub>2</sub>, 5 – Ангаро-Тунгусская, AR<sub>1</sub>–AR<sub>2</sub>, 6 – Олекминская, AR–PR<sub>1</sub>, 7 – Оленёкская, PR<sub>1</sub>, 8 – Ангаро-Илимская, PR<sub>1</sub>, 9 – Котуйская, PR<sub>1</sub>, 10 – Байкало-Пагомская, PR<sub>2</sub>, 11 – Саяно-Енисейская, PR<sub>2</sub>. (Алдано-Анабарская область: 1, 2, 3, 4, 6, 7; Ангаро-Тунгусская область: 5, 8, 9)



масс-спектрометре SHRIMP-IIe по методике, принятой в ЦИИ [13]. Описание цирконов выполнила Е. Е. Середа. Выбор точек (участков) для датирования производился с помощью оптических и катодоллюминисцентных методов, отражающих внутреннюю структуру и зональность цирконов. Все приведенные возрасты рассчитаны на основе конкордантных (ненарушенных) изотопных систем. В двух случаях (обр. скважин Дюданская-2910 и Эйикская-3430) – по верхнему пересечению дискордии со СКВО около 1, также при наличии конкордантных результатов.

**Результаты исследования.** Согласно петрографическим (рис. 2) и аналитическим исследованиям, все породы относятся к типу магматических, классу plutonic, отрядам (группам) средних и кислых. В каждом отряде имеются представители подотрядов умереннощелочных и нормально- и низкощелочных. Четыре из семи являются плагиогранитами (образцы из скважин Среднеботуобинская-1п, Сьюльдокарская-1001, Мегеляхская-2441, Дюданская-2910).

Абсолютные содержания редкоземельных элементов в породах варьируют (табл. 1). Спектры распределения редкоземельных элементов, нормированных по хондриту (рис. 3), характеризуются преобладанием легких элементов над тяжелыми, на уровне тяжелых график постепенно выполаживается. При увеличении содержания REE положительная европиевая аномалия сменяется отрицательной (у низших четырех графиков аномалия положительная, причем у самого низкого она максимально выражена, а у верхних трех – отрицательная).

Результаты определения возраста представлены в табл. 2, катодоллюминисцентные изображения цирконов с точками зондирования – на рис. 4, диаграммы с конкордиями – на рис. 5.

Наиболее древние породы фундамента с возрастом 3,16–3,17 млрд лет вскрыты Среднеботуобинской и Мегеляхской скважинами.

*Среднеботуобинская-1п* скважина достигла кристаллического фундамента на глубине 1946 м, выше залегают отложения курсовской свиты нижнего венда. Макроскопически фундамент представлен серыми гнейсовидными породами, сложенными плагиоклазом, кварцем и роговой

**Рис. 2. Микрофотографии шлифов пород фундамента Сибирской платформы в проходящем свете и в скрещенных николях**

1 – образец 554. Скв. Среднеботуобинская-1п, глубина 2098,6 м. Плагиогранит. Увеличение объектива 10; 2 – образец 538. Скв. Мегеляхская-2441, глубина 3341 м. Гранодиорит. Увеличение объектива 2,5; 3 – образец 704. Скв. Дюданская-2910, глубина 3496,7 м. Гранодиорит. Увеличение объектива 2,5; 4 – образец 205. Скв. Эйикская-3430, глубина 2885,3 м. Кварцевый монцодиорит. Увеличение объектива 2,5; 5 – образец 58. Скв. Сьюльдокарская-1001, глубина 2581,5 м. Плагиогранит. Увеличение объектива 2,5; 6 – образец 545. Скв. Накынская-2950, глубина 3231,9 м. Граносиенит-порфир. Увеличение объектива 2,5; 7 – образец 87. Скв. Унга-Хахсыкская-2980, глубина 3992 м. Кварцевый диорит. Увеличение объектива 2,5

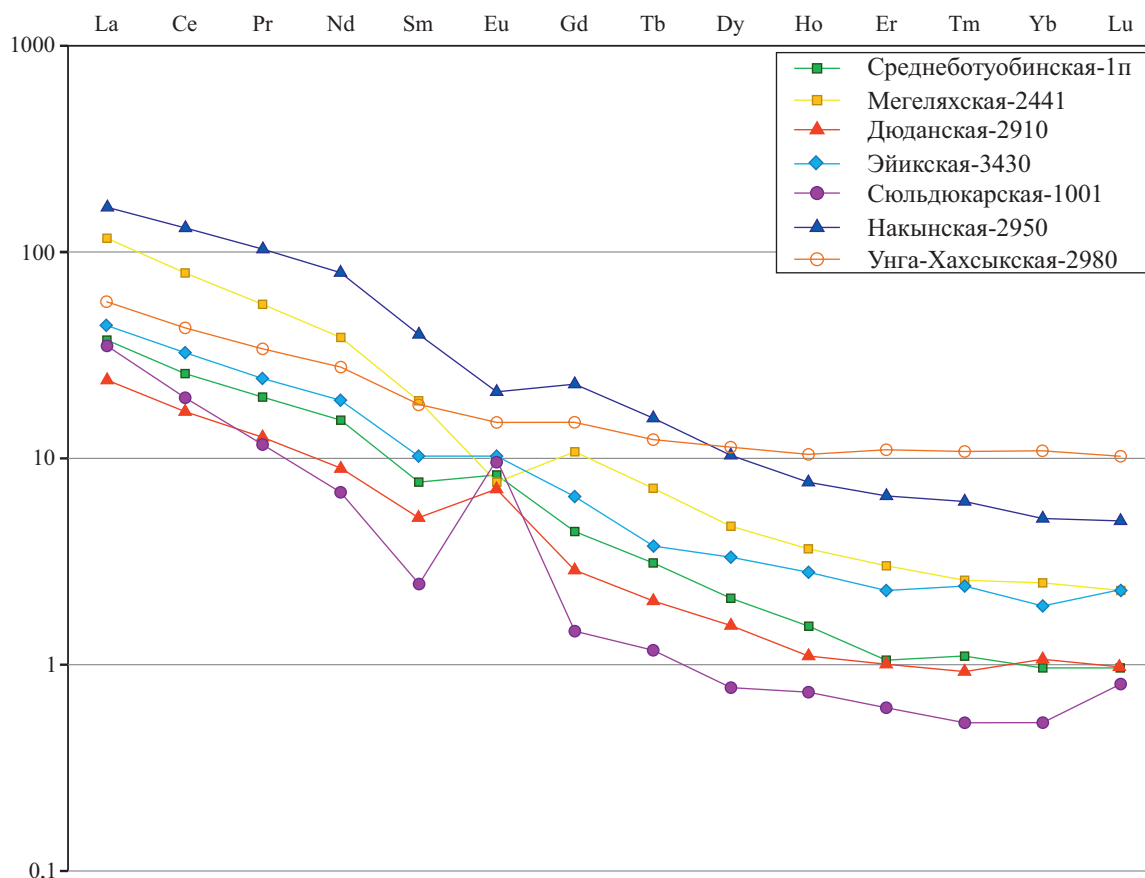
Таблица 1

**Содержания редкоземельных элементов  
в породах фундамента Сибирской платформы  
(ppm, по данным ICP-MS)**

№ обр.	554	538	704	205	58	545	87
Скважина	Среднеботуобинская-1п	Мегеляхская-2441	Дюданская-2910	Эйикская-3430	Сюльдюкарская-1001	Накынская-2950	Унга-Хахсыкская-2980
La	11,6	36,2	7,47	13,7	10,9	50,9	17,8
Ce	20,7	64,3	13,6	26,3	15,9	106	34,9
Pr	2,42	6,84	1,54	2,97	1,43	12,7	4,15
Nd	9,17	23,2	5,39	11,5	4,14	47,7	16,7
Sm	1,5	3,75	1,01	2,01	0,48	7,89	3,58
Eu	0,61	0,56	0,52	0,75	0,73	1,54	1,1
Gd	1,14	2,77	0,74	1,69	0,38	5,94	3,89
Tb	0,15	0,34	0,097	0,18	0,056	0,74	0,59
Dy	0,68	1,51	0,5	1,07	0,25	3,34	3,68
Ho	0,11	0,26	0,079	0,2	0,053	0,55	0,76
Er	0,22	0,63	0,21	0,48	0,13	1,38	2,33
Tm	0,036	0,083	0,03	0,078	0,017	0,2	0,35
Yb	0,2	0,52	0,22	0,4	0,11	1,07	2,29
Lu	0,031	0,073	0,031	0,074	0,026	0,16	0,33

обманкой, со слоистой текстурой, обусловленной расположением темноцветных минералов. В шлифе установлены кварц (около 25–30%), плагиоклаз (55–60%), зеленая роговая обманка и реликты пироксена (содержание темноцветных минералов в сумме 10–15%, в том числе пироксена 1–2%). Плагиоклазы в различной степени серицитизированы и хлоритизированы. Минеральный состав близок к составу плагиогранита. С учетом текстуры образец № 554 может быть определен как плагиогнейс(?). Химический состав породы: SiO<sub>2</sub> – 68,9%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 16%, K<sub>2</sub>O – 0,65%, Na<sub>2</sub>O – 5,14%, MgO – 1,31%, CaO – 4,83%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>общ. – 2,4%, TiO<sub>2</sub> – 0,24%. Спектр распределения редкоземельных элементов, нормированных по хондриту, характеризуется превышением содержаний легких элементов над тяжелыми при практически равных хондриту концентрациях Er, Tm, Yb, Lu, а также наличием незначительной положительной Eu аномалии.

Акцессорные цирконы серо-коричневого цвета, мутные, представлены кристаллами от 100 до 300 мкм, с коэффициентом удлинения до 5. Во многих имеются включения и трещины, каймы перекристаллизации и растворения. Мелкие кристаллы менее округлые, чем крупные. В катодных лучах (КЛ) обладают свечением от слабого до умеренного, с контрастной тонкой и грубой магматической зональностью с эле-



**Рис. 3. Спектры распределения редкоземельных элементов, нормированных по хондриту, в породах фундамента Сибирской платформы**

**Результаты уран-свинцового изотопного анализа цирконов из пород фундамента Сибирской платформы локальным методом на приборе SIMS SHRIMP-IIe**

Кратер	<sup>206</sup> Pb, %	U ppm	Th ppm	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb* ppm	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U возраст, млн лет	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>206</sup> Pb*	±%	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U	±%	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U	±%	Кк	
<b>Плаггиогранит (плаггиогнейс?), 554, Среднеботуобинская-1п</b>														
1.1	0,01	36	23	0,64	18,6	3034	±34	0,227	2,5	18,8	2,9	0,601	1,4	0,48
2.1	0,05	36	23	0,67	19,4	3133	±40	0,231	0,9	19,9	1,9	0,626	1,6	0,87
3.1	0,05	40	11	0,28	21,4	3095	±33	0,248	1,0	21,0	1,7	0,616	1,4	0,80
4.1	0,49	260	135	0,54	149,0	3298	±34	0,242	3,1	22,3	3,3	0,668	1,3	0,39
5.1	0,01	209	35	0,17	112,0	3126	±47	0,247	0,4	21,2	1,9	0,624	1,9	0,98
6.1	0,01	139	53	0,39	73,3	3082	±41	0,245	0,5	20,7	1,7	0,613	1,7	0,96
7.1	2,74	191	55	0,30	97,7	3011	±29	0,242	0,6	19,9	1,3	0,595	1,2	0,90
8.1	6,18	72	24	0,34	36,3	2977	±57	0,249	1,4	20,1	2,8	0,587	2,4	0,87
9.1	0,02	91	33	0,37	47,5	3063	±53	0,227	0,6	19,1	2,2	0,608	2,2	0,97
10.1	0,05	128	36	0,29	67,8	3102	±23	0,230	0,5	19,6	1,0	0,618	0,9	0,88
<b>Гранодиорит, 538, Мегеляхская-2441</b>														
1.1	0,01	106	184	1,79	56,4	3103	±17	0,232	0,7	19,8	1,0	0,618	0,7	0,72
1.2	0,02	380	314	0,85	195,0	3023	±9	0,235	0,4	19,4	0,5	0,598	0,4	0,73
2.1	0,11	101	139	1,42	54,0	3107	±17	0,250	0,7	21,4	1,0	0,619	0,7	0,72
3.1	0,06	206	258	1,29	109,0	3091	±14	0,247	0,5	21,0	0,7	0,615	0,6	0,77
4.1	0,05	103	155	1,56	55,0	3114	±19	0,239	0,8	20,4	1,1	0,621	0,8	0,71
5.1	0,01	226	225	1,03	122,0	3145	±14	0,247	0,9	21,4	1,1	0,629	0,5	0,51
6.1	0,04	130	174	1,38	71,5	3186	±15	0,244	0,6	21,5	0,8	0,639	0,6	0,72
6.2	0,04	355	434	1,27	195,0	3190	±10	0,247	0,4	21,8	0,5	0,640	0,4	0,73
7.1	0,15	900	469	0,54	287,0	2034	±6	0,219	1,6	11,2	1,6	0,371	0,3	0,21
8.1	0,14	78	88	1,16	36,4	2796	±21	0,221	1,8	16,6	2,0	0,543	0,9	0,45
8.2	0,53	1235	1405	1,18	102,0	590	±2	0,128	0,8	1,70	0,9	0,096	0,4	0,45
9.1	0,09	69	87	1,31	38,1	3202	±21	0,244	0,8	21,7	1,2	0,643	0,8	0,72
<b>Гранодиорит, 704, Дюданская-2910</b>														
1.1	0,15	381	159	0,43	134,0	2214	±147	0,195	0,7	11,0	7,9	0,410	7,9	1,00
2.1	1,07	642	498	0,80	92,9	1003	±23	0,169	0,6	3,90	2,6	0,168	2,5	0,97
3.1	0,30	448	145	0,33	133,0	1910	±22	0,192	0,5	9,10	1,4	0,345	1,3	0,94
4.1	0,19	241	131	0,56	96,6	2471	±28	0,198	0,5	12,8	1,5	0,467	1,4	0,94
5.1	0,01	106	56	0,55	50,9	2853	±22	0,200	0,7	15,3	1,2	0,557	1,0	0,80
5.2	0,21	371	189	0,53	116,0	1997	±41	0,191	0,5	9,60	2,4	0,363	2,4	0,98
6.1	1,07	292	217	0,77	98,3	2129	±15	0,197	0,9	10,6	1,2	0,391	0,8	0,69
7.1	0,06	297	253	0,88	148,0	2957	±25	0,221	0,3	17,7	1,1	0,582	1,1	0,95
8.1	0,01	228	107	0,48	104,0	2741	±19	0,201	0,4	14,7	1,0	0,530	0,9	0,90
9.1	0,01	133	69	0,53	68,2	3012	±37	0,217	0,5	17,8	1,6	0,596	1,5	0,96
10.1	0,13	168	38	0,23	70,3	2561	±61	0,199	0,5	13,4	2,9	0,488	2,9	0,98
<b>Кварцевый монцодиорит, 205, Эйкская-3430</b>														
1.1	0,02	141	112	0,81	67,4	2844	±16	0,193	0,8	14,8	1,0	0,555	0,7	0,67
2.1	0,19	126	98	0,80	43,1	2149	±12	0,189	0,8	10,3	1,0	0,396	0,6	0,61
3.1	0,10	155	87	0,58	68,5	2673	±12	0,188	0,7	13,3	0,9	0,514	0,6	0,65
4.1	0,06	196	121	0,64	87,7	2705	±12	0,188	0,6	13,5	0,8	0,521	0,5	0,64
5.1	0,11	267	90	0,35	122,0	2743	±10	0,187	0,5	13,7	0,7	0,530	0,4	0,67
5.2	0,09	680	69	0,10	300,0	2672	±16	0,187	0,3	13,2	0,8	0,514	0,7	0,92
6.1	0,06	148	160	1,11	67,4	2736	±15	0,188	0,6	13,7	0,9	0,529	0,7	0,71
7.1	0,05	500	165	0,34	228,0	2742	±9	0,189	0,4	13,8	0,5	0,530	0,4	0,73
8.1	0,01	134	104	0,80	61,5	2757	±14	0,187	0,7	13,8	0,9	0,534	0,6	0,67
8.2	0,07	489	173	0,37	218,0	2689	±7	0,188	0,4	13,4	0,5	0,518	0,3	0,67
9.1	0,08	214	169	0,82	94,0	2664	±11	0,189	0,6	13,3	0,8	0,512	0,5	0,66
9.2	0,07	371	112	0,31	165,0	2682	±8	0,188	0,4	13,4	0,6	0,516	0,4	0,67
10.1	1,56	1866	262	0,15	333,0	1201	±3	0,151	2,7	4,25	2,7	0,205	0,3	0,11
10.2	1,43	77	10	0,14	27,0	2185	±17	0,191	1,3	10,6	1,6	0,403	0,9	0,59

Кратер	<sup>206</sup> Pb <sub>c</sub> %	U ppm	Th ppm	<sup>232</sup> Th/ <sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb* ppm	<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U возраст, млн лет		<sup>207</sup> Pb*/ <sup>206</sup> Pb*	±%	<sup>207</sup> Pb*/ <sup>235</sup> U	±%	<sup>206</sup> Pb*/ <sup>238</sup> U	±%	Кк
10.3	0,38	329	164	0,51	128,0	2408	±10	0,187	0,5	11,7	0,7	0,453	0,5	0,67
10.4	0,05	352	118	0,35	159,0	2719	±9	0,189	0,4	13,6	0,6	0,525	0,4	0,67
11.1	0,01	502	468	0,96	239,0	2841	±8	0,204	0,3	15,6	0,5	0,554	0,3	0,71
11.2	0,03	367	108	0,31	164,0	2706	±9	0,186	0,4	13,4	0,6	0,522	0,4	0,67
12.1	0,14	423	258	0,63	179,0	2580	±8	0,189	0,4	12,8	0,5	0,492	0,4	0,66
<b>Плагиигранит, 58, Сюльдокарская-1001</b>														
1.1	0,01	605	65	0,11	280,0	2780	±31	0,199	0,3	14,8	1,4	0,539	1,4	0,98
1.2	0,01	13	4	0,35	5,5	2582	±47	0,187	2,0	12,7	3,0	0,493	2,2	0,74
2.1	0,08	14	11	0,77	6,3	2670	±46	0,184	1,8	13,0	2,8	0,513	2,1	0,77
3.1	0,01	276	123	0,46	128,0	2786	±19	0,199	0,5	14,8	0,9	0,541	0,8	0,88
4.1	0,01	46	38	0,87	20,9	2744	±29	0,187	1,0	13,7	1,6	0,531	1,3	0,79
5.1	0,11	89	34	0,40	38,9	2653	±22	0,185	0,9	13,0	1,3	0,509	1,0	0,77
5.2	0,02	146	217	1,54	66,0	2728	±20	0,187	0,5	13,6	1,0	0,527	0,9	0,86
6.1	0,05	140	80	0,59	62,0	2682	±35	0,183	0,6	13,0	1,7	0,516	1,6	0,94
7.1	0,01	586	18	0,03	253,0	2624	±16	0,186	0,7	12,9	1,0	0,502	0,7	0,75
8.1	0,01	192	48	0,26	64,9	2144	±15	0,158	1,4	8,60	1,6	0,395	0,8	0,51
8.2	0,78	34	41	1,26	16,1	2824	±33	0,185	1,4	14,0	2,0	0,550	1,4	0,73
9.1	0,01	144	70	0,50	69,4	2862	±22	0,200	0,5	15,4	1,1	0,559	1,0	0,90
9.1a	0,01	597	44	0,08	262,0	2657	±15	0,194	0,3	13,6	0,8	0,510	0,7	0,92
9.2	0,01	9	5	0,61	3,6	2572	±54	0,184	2,4	12,4	3,5	0,490	2,6	0,73
<b>Граносиенит-порфир, 545, Накынская-2950</b>														
1.1	0,11	186	205	1,14	82,2	2675	±11	0,186	0,6	13,2	0,8	0,514	0,5	0,67
2.1	0,01	103	104	1,05	45,9	2703	±15	0,186	0,8	13,4	1,0	0,521	0,7	0,67
3.1	0,08	127	175	1,42	57,3	2716	±14	0,188	0,7	13,6	1,0	0,524	0,6	0,67
4.1	0,08	61	72	1,22	28,5	2792	±24	0,187	1,0	14,0	1,5	0,542	1,1	0,72
4.2	0,36	137	147	1,11	62,5	2737	±14	0,186	0,8	13,5	1,0	0,530	0,6	0,63
5.1	0,01	261	278	1,10	119,0	2735	±10	0,189	0,5	13,7	0,7	0,529	0,5	0,67
5.2	0,01	105	69	0,68	48,1	2758	±15	0,186	0,8	13,7	1,0	0,534	0,7	0,67
6.1	0,31	75	89	1,22	34,8	2761	±18	0,187	1,0	13,8	1,3	0,535	0,8	0,63
7.1	0,01	138	126	0,95	62,2	2723	±14	0,188	0,7	13,7	0,9	0,526	0,6	0,67
8.1	0,04	103	105	1,06	46,6	2732	±15	0,188	0,8	13,7	1,0	0,528	0,7	0,67
9.1	0,04	257	154	0,62	115,0	2715	±10	0,186	0,5	13,5	0,7	0,524	0,5	0,67
10.1	0,09	79	93	1,21	35,7	2717	±18	0,189	0,9	13,7	1,2	0,524	0,8	0,66
<b>Кварцевый диорит, 87, Унга-Хасыкская-2980</b>														
1.1	0,33	64	20	0,32	19,4	1957	±15	0,120	1,9	5,90	2,1	0,355	0,9	0,44
2.1	0,42	19	25	1,40	5,4	1856	±28	0,113	3,4	5,21	3,8	0,334	1,7	0,45
3.1	0,06	1536	827	0,56	455,0	1909	±4	0,188	0,3	8,95	0,4	0,345	0,3	0,70
4.1	0,01	949	740	0,81	440,0	2783	±6	0,206	0,2	15,3	0,4	0,540	0,3	0,75
4.2	0,03	290	148	0,53	89,0	1971	±8	0,121	0,7	5,94	0,8	0,358	0,5	0,59
5.1	0,01	1090	229	0,22	332,0	1955	±4	0,122	0,3	5,95	0,4	0,354	0,2	0,58
6.1	0,04	801	125	0,16	245,0	1960	±5	0,121	0,4	5,94	0,5	0,355	0,3	0,62
7.1	0,05	1210	641	0,55	426,0	2213	±5	0,193	0,3	10,9	0,4	0,410	0,3	0,68
7.2	0,01	49	146	3,11	14,0	1860	±17	0,113	1,7	5,20	2,0	0,335	1,1	0,53
8.1	0,01	1240	539	0,45	453,0	2284	±5	0,197	0,3	11,5	0,4	0,425	0,3	0,73
8.2	0,01	61	57	0,96	18,1	1905	±15	0,115	1,5	5,46	1,8	0,344	0,9	0,53
8.3	0,10	229	36	0,16	67,8	1909	±10	0,118	0,8	5,63	1,0	0,345	0,6	0,58
9.1	0,37	35	62	1,84	10,1	1877	±24	0,115	2,4	5,38	2,8	0,338	1,5	0,52
10.1	0,01	669	285	0,44	281,0	2564	±7	0,193	0,3	13,0	0,5	0,488	0,3	0,74
11.1	0,17	111	45	0,42	33,2	1930	±14	0,119	1,2	5,74	1,5	0,349	0,8	0,58

Примечание. Погрешности приведены на уровне 1σ; Pb<sub>c</sub> и Pb\* – свинец обыкновенный (рассчитан по измеренному <sup>204</sup>Pb) и свинец радиогенный соответственно.

Погрешность калибровки по стандарту Темога 0,26%; Кк – коэффициент корреляции между ошибками определения изотопных отношений <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U и <sup>207</sup>Pb/<sup>235</sup>U.

Номера кратеров соответствуют номерам точек пробоотбора в цирконах на рис. 2.



Рис. 4. Микрофотографии кристаллов циркона (слева – в катодных лучах с точками зондирования, справа – под бинокулярном) 1 – обр. 554, скв. Среднеботуобинская-1п; 2 – обр. 538, скв. Мегеляхская-2441; 3 – обр. 704, скв. Дюданская-2910; 4 – обр. 205, скв. Эйикская-3430; 5 – обр. 58, скв. Стюльдюкарская-1001; 6 – обр. 545, скв. Накынская-2950; 7 – обр. 87, скв. Унга-Хахсыкская-2980

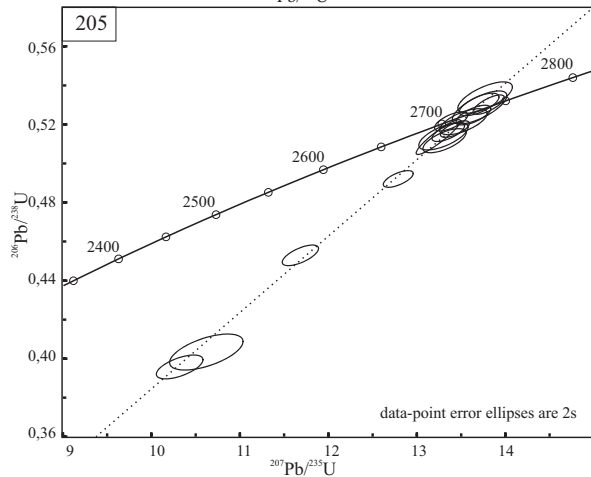
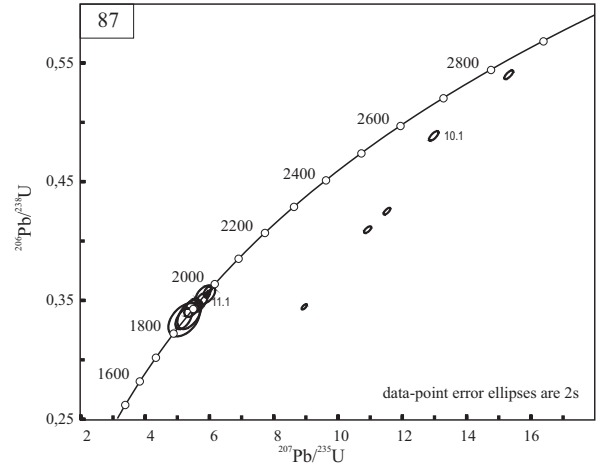
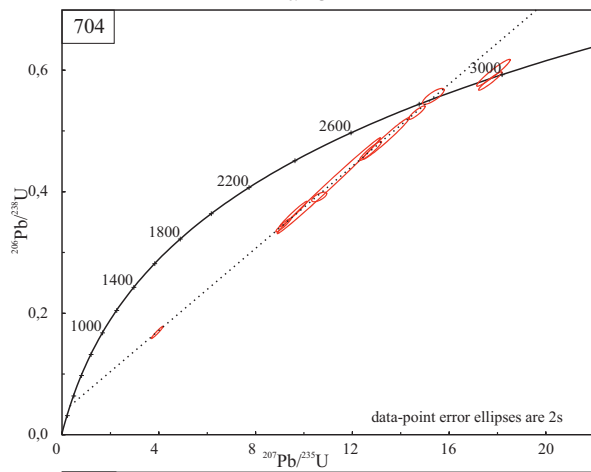
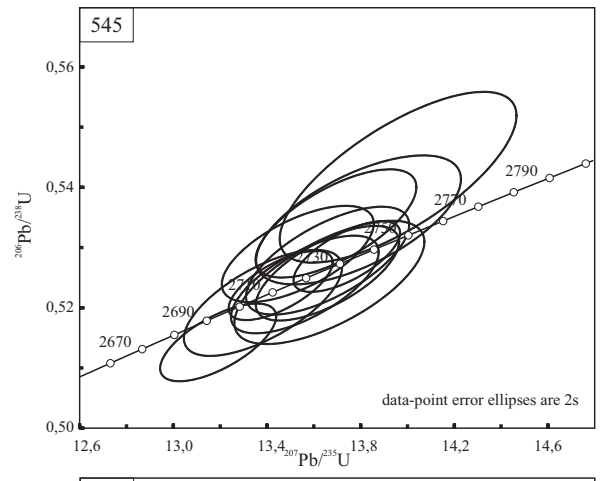
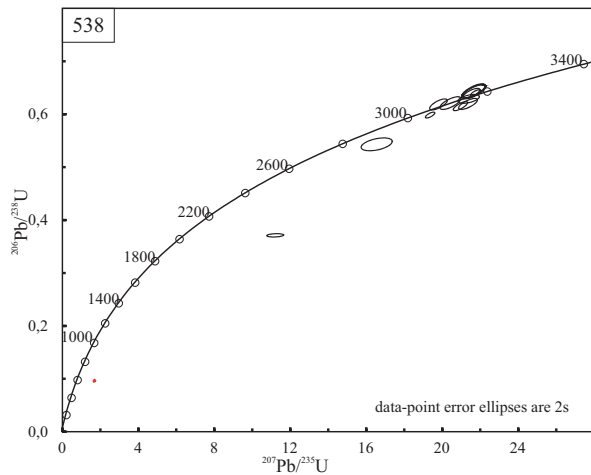
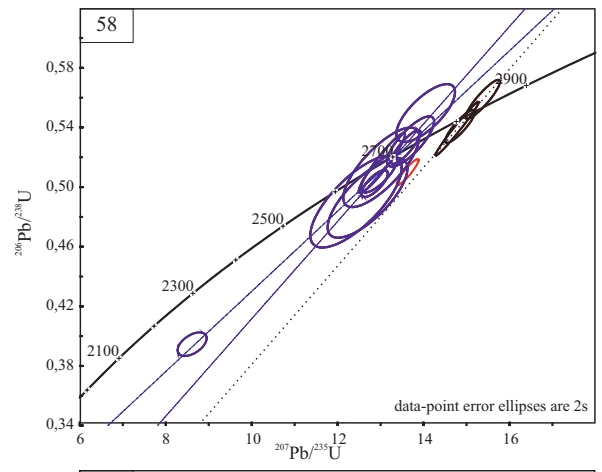
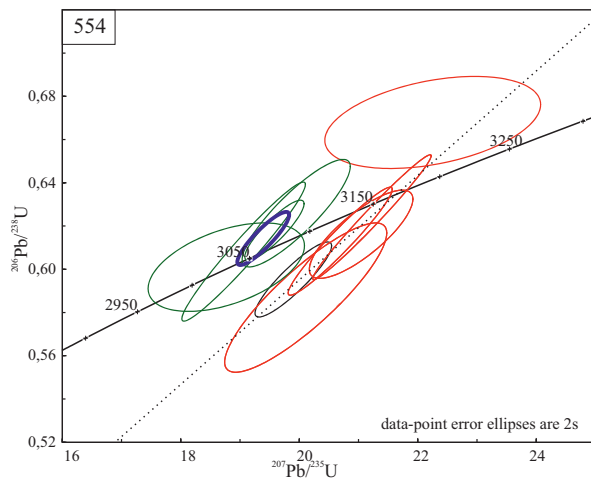


Рис. 5. Диаграммы с конкордиями для цирконов из пород фундамента Сибирской платформы  
Расшифровка образцов – см. табл. 2, рис. 2, 4

ментами секториальности. Среднее содержание  $U_{ср.} = 160$  ppm,  $Th/U = 0,4$ . Возраст цирконов соответствует времени кристаллизации породы  $3167,0 \pm 20,0$  млн лет. Часть цирконов ( $U_{ср.} = 73$  ppm,  $Th/U = 0,5$ ) затронута процессами химической коррозии, вторичной (метасоматической?) перекристаллизации, имевшими место  $3050 \pm 12$  млн лет тому назад и сопровождавшимися привнесением нерадиогенного свинца и выносом урана.

Аналогичный возраст установлен для пород скв. *Мегеляхская-2441*. Глубина вскрытия фундамента в скважине – 3340 м (абс. отм. –3067,9 м), выше залегают ангидритизированные песчаники и доломиты бюксской свиты венда. Согласно первичному описанию керна, в интервалах 3335,0–3349,0 и 3349,0–3360,0 м присутствуют гранитоиднейсы зеленовато-розовато-серые от мелко-среднекристаллических до крупнокристаллических, с полосчатой текстурой, разбитые разноориентированными трещинами. Содержание темноцветных минералов по разрезу непостоянно. Отобранный для анализа образец (№ 538, глубина 3341 м) характеризуется аномально высоким содержанием кремнезема –  $SiO_2 = 82,7\%$ . Концентрации остальных петрогенных компонентов таковы (%):  $Al_2O_3 = 8,49$ ,  $K_2O = 2,36$ ,  $Na_2O = 1,76$ ,  $MgO = 0,99$ ,  $CaO = 0,99$ ,  $Fe_2O_3_{общ.} = 1,79$ ,  $TiO_2 = 0,19$ . С учетом минерального состава (кварц около 20 %, плагиоклазы 25–30 %, КПШ – 25 %, биотит и роговая обманка – 20 %, магнетит – 5 %) образец условно может быть определен как гранодиорит. Плагиоклазы полисинтетически сдвойникованы, частично изменены. Отмечается присутствие мирмекитов, обрастание биотитом рудного минерала. Иногда наблюдается хлоритизация биотита. Абсолютные содержания редких земель несколько выше, чем в предыдущем образце, за исключением Eu, для которого на диаграмме наблюдается небольшой минимум. Линия тренда на графике распределения TR, нормированных по хондриту, наклонена в сторону тяжелых элементов.

Акцессорные цирконы крупные (200–450 мкм) коричневые, полупрозрачные представлены идиоморфными и слегка округлыми удлиненными кристаллами с коэффициентом удлинения 2–4. В катодных лучах обладают свечением от слабого до умеренного, с неконтрастной тонкой, грубой и пятнистой зональностью с элементами секториальности. Следы вторичной коррозии незначительные. Конкордантный U-Pb возраст цирконов из гранодиорита совпадает с таковым для плагиогнейса Среднеботуобинской скважины –  $3162,9 \pm 7,0$  млн лет, при этом Мегеляхские цирконы имеют выраженную ториевую геохимическую специализацию ( $U_{ср.} = 186$  ppm,  $Th/U = 1,32$ ). Вторичные процессы проявлены незначительно и представлены двумя высокоурановыми оболочками, предположительно, палеозойского возраста. В тектоническом плане это может соответствовать поздней активизации кратона.

Следующий возрастной этап развития фундамента (2831 млн лет) выявлен по породам *Дюдан-*

*ской-2910* скважины, вскрывшей фундамент под отложениями хоронохской свиты, на глубине 3492 м. Для анализа отобран образец № 704 массивного розовато-темно-серого гранодиорита с глубины 3496,7 м. Порода средне-мелкозернистая, максимальный размер характерен для полевых шпатов и составляет 2–3 мм. Содержание в породе (%):  $SiO_2 = 69,2$ ,  $Al_2O_3 = 17,9$ ,  $K_2O = 1,14$ ,  $Na_2O = 5,16$ ,  $MgO = 0,73$ ,  $CaO = 3,76$ ,  $Fe_2O_3_{общ.} = 1,58$ ,  $TiO_2 = 0,12$ , что позволяет отнести породы к группе кислых, к нормальному петрохимическому ряду. По данным петрографического анализа, в минеральном составе преобладают плагиоклазы (40–45 %), калиевые полевые шпаты содержатся в количестве около 20 %, кварца – порядка 25 %, темноцветных минералов, представленных зеленой роговой обманкой и, в меньшей степени, биотитом, – 8–10 %. Отмечаются единичные пластинки мусковита, зерна циркона и рудных минералов. Плагиоклазы слабо серицитизированы, пелитизированы, КПШ незначительно замутнены. Структура породы гипидиоморфная. По содержанию редкоземельных элементов порода близка к образцу из скв. Среднеботуобинская-1п – легкие преобладают над тяжелыми, концентрации последних примерно отвечают хондриту, на уровне Eu наблюдается незначительная положительная аномалия. Однако абс. концентрации TR от La до Ho несколько ниже.

Цирконы светло-коричневого цвета, от прозрачных до мутноватых, с тонкими трещинами и мелкими включениями. Представлены идиоморфными и субидиоморфными удлиненными кристаллами, мелкие разности часто сохраняют кристаллографическую огранку. Также имеются кристаллы со слабо корродированными поверхностями. Длина – от 80 до 300 мкм, коэффициент удлинения – от 1,5 до 5. В режиме катодолюминесценции видна тонкая зональность, свечение от слабого до сильного. Некоторые кристаллы имеют более яркую кайму, как правило, очень тонкую. Среднее содержание  $U_{ср.} = 186$  ppm,  $Th/U = 0,46$ . По результатам U-Pb изотопного анализа цирконов построена дискордия с верхним пересечением в  $2831,0 \pm 8,0$  млн лет ( $LP_2$ ),  $СКВО = 1,2$ , фиксирующая возраст кристаллизации гранодиорита. Ядерные домены зерен 7 и 9 (рис. 4) с возрастом  $2979,0 \pm 6,0$  млн лет,  $U_{ср.} = 215$  ppm,  $Th/U = 0,71$ , характеризуют протоит гранодиорита.

Третий этап (2,71–2,72 млрд лет) развития фундамента Сибирской платформы датируется по породам, отобранным из керна Эйикской, Сюльдюкарской и Накынской скважин.

В скважине *Эйикская-3430* глубина вскрытия фундамента составляет 2278 м (абс. отм. –2016,2 м). Он представлен магматической крупно-среднекристаллической породой темно-серого цвета с линзовидно-пятнистой текстурой, состоящей из плагиоклаза, КПШ и темноцветных минералов, преимущественно роговой обманки. В шлифе установлены амфибол, моноклинный пироксен, биотит, плагиоклазы, КПШ, а также

кварц и рудные минералы. Содержание темноцветных минералов около 25 %, плагиоклазов больше, чем КПШ (45 и 20 % соответственно); содержание кварца менее 10 %. Полевые шпаты сильно изменены, кварц мелкий, предположительно, перекристаллизован, пироксены частично карбонатизированы, роговая обманка биотитизирована и хлоритизирована. В целом порода несет следы катаклаза. По химическому составу ( $\text{SiO}_2$  – 67,0 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 17,4 %,  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,38 %,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 4,56 %,  $\text{MgO}$  – 1,3 %,  $\text{CaO}$  – 4,57 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  общ. – 2,78 %,  $\text{TiO}_2$  – 0,31 %) относится к кислым породам нормального ряда, но с учетом минерального состава может быть определена как кварцевый монцоидиорит. Содержание редкоземельных элементов и график их распределения близки к образцу из скв. Среднеботуобинская-1п, однако концентрация редкоземельных элементов, особенно тяжелых, несколько выше, из-за чего спектр распределения в области тяжелых выполаживается, начиная с Tb. На уровне Eu – очень слабая положительная аномалия.

Акцессорные цирконы образца 205 коричневого цвета, полупрозрачные. По морфологии – от короткопризматических до удлиненных, идиоморфные и субидиоморфные, некоторые имеют выраженную кристаллографическую огранку. Кристаллы крупные – до 500 мкм, коэффициент удлинения от 2 до 5. Кристаллы имеют многочисленные включения, внутренние дефекты и трещины. В катодных лучах обладают слабым свечением с неконтрастной зональностью. Зональное строение также хорошо видно в проходящем свете.

Возраст кристаллизации монцоидиорита определен по конкордантному кластеру результатов в  $2722,1 \pm 5,2$  млн лет, цирконы имеют  $\text{Ucr.} = 309$  ppm,  $\text{Th/U} = 0,53$ . Ядро зерна 11 (рис. 4) (вещество протолита монцоидиорита) более древнее:  $2855,8 \pm 5,3$  млн лет,  $\text{Ucr.} = 502$  ppm,  $\text{Th/U} = 0,96$ . Возраст – средне-верхнелопийский ( $\text{LP}_{2-3}$ ).

*Сюльдюкарская-1001* скважина на глубине 2567 м под отложениями бюкской свиты венда вскрыла зеленовато-серые мелкокристаллические породы, по первичному описанию – гранито-гнейсы. Согласно петрографическим исследованиям образца № 58, отобранного на глубине 2581,5 м, с учетом данных рентгеноспектрального флуоресцентного анализа, порода является плагиогранитом. Химический состав (%):  $\text{SiO}_2$  – 69,0,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 18,2,  $\text{K}_2\text{O}$  – 0,88,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 4,36,  $\text{MgO}$  – 0,62,  $\text{CaO}$  – 5,09,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,43. Минеральный состав (%): плагиоклаз 60–65, кварц 20–25, темноцветные минералы (биотит и реликты пироксены) 8–10, КПШ – менее 5, рудные – около 1. Плагиоклазы пелитизированы. Образец 58 характеризуется самыми низкими содержаниями редкоземельных элементов из всех проанализированных проб, причем концентрации тяжелых TR, начиная с Ho, ниже, чем в хондрите, а легких – выше. График распределения имеет отчетливый максимум на уровне Eu.

Цирконы серо-коричневого цвета, от прозрачных до мутных, в различной степени трещино-

ватых. Длина – от 80 до 250 мкм, коэффициент удлинения – от 1,5 до 6. По морфологии, внутреннему строению и типу свечения могут быть разделены на две группы: изометричные округлые зерна без зонального строения, с яркой люминисценцией и субидиоморфные овальные кристаллы с зональным внутренним строением, наличием неоднородного ядра и внешней трещиноватой оболочкой. Последние в КЛ имеют слабое до умеренного свечения внутренней части и более яркую кайму, часто не совпадающую с трещиноватой оболочкой.

U-Pb датировки цирконов распадаются на три конкордантных кластера. Первый и второй субсинхронны и характеризуют цирконы процесса кристаллизации расплава плагиогранита  $2714,4 \pm 12,0$  млн лет назад, (домены 5.1, 5.2, 6.1, 7.1, 8.1, 9.1a,  $\text{Ucr.} = 292$  ppm,  $\text{Th/U} = 0,48$ ) и безурановые постмагматические фазы перекристаллизации  $2702,4 \pm 9,0$  (светлые каймы, домены 1.2, 2.1, 4.1, 8.2, 9.2,  $\text{Ucr.} = 23$  ppm,  $\text{Th/U} = 0,77$ , рис. 4). Третий – темные ядра (домены 1.1, 3.1, 9.1,  $\text{Ucr.} = 342$  ppm,  $\text{Th/U} = 0,36$ ) с возрастом  $2820,0 \pm 9,0$  млн лет, унаследованные из протолита плагиогранита.

Таким образом, возраст образования всех проанализированных цирконов соответствует средне-верхнелопийской эратеме ( $\text{LP}_{2-3}$ ), однако кристаллизация породы происходила в несколько этапов, о чем свидетельствует неоднородное строение цирконов и полученные возрастные датировки.

В скв. Накынская-2950 фундамент установлен на глубине 3206 м, под образованиями хоронохской свиты. Образец (545), отобранный на глубине 3231,9 м, представлен граносиенит-порфиром с крупными выделениями КПШ (до 1 см). В шлифе преобладает КПШ (около 50 %) с характерной микроклиновой решеткой, также установлены плагиоклазы (значительно меньшего размера, содержание 15–20 %), темноцветные минералы – биотит, роговая обманка, реликты пироксена, суммарное содержание порядка 20 %, кварц (10–15 %, представлен мелкими зернами). Плагиоклазы сильно изменены; характерны мирмекиты. Химический состав (%):  $\text{SiO}_2$  – 66,0,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 18,3,  $\text{K}_2\text{O}$  – 5,32,  $\text{Na}_2\text{O}$  – 5,22,  $\text{MgO}$  – 0,52,  $\text{CaO}$  – 2,22,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  общ. – 1,29,  $\text{TiO}_2$  – 0,52. Спектр распределения редких земель в целом подобен вышеописанным образцам, однако абсолютные содержания выше. На графике на уровне Eu наблюдается очень незначительное понижение.

Выделенные для определения возраста цирконы светло-коричневого цвета, прозрачные, представлены субидиоморфными и идиоморфными кристаллами с зональным строением, с многочисленными включениями и дефектами. Кристаллы короткопризматические, слабо удлиненные, некоторые овальные. Длина цирконов составляет 150–400 мкм, коэффициент удлинения 2–3. В КЛ демонстрируют слабое свечение, с тонкой осцилляторной зональностью и пятнистостью.

Возраст магматической кристаллизации породы определен в  $2723,8 \pm 6,4$  млн лет (LP<sub>3</sub>), система конкордантная, Уср. = 139 ppm, Th/U = 1.04. Унаследованные фазы и фазы перекристаллизации не выявлены.

Наиболее молодой (1,90 млрд лет) этап геологического развития фундамента выявлен в Унга-Хахсыкской-2980 скважине, где глубина вскрытия фундамента составляет 3940 м (абс. отм. – 3521,5 м), перекрывается он образованиями бюкской свиты венда. Отобранный на глубине 3992 м образец (№ 87) представлен кварцевым диоритом. Макроскопически порода темно-серая мелкозернистая, с включениями мелкозернистого пирита, со слабой полосчатой текстурой. Под микроскопом установлено, что она сложена преимущественно плагиоклазом (около 70 %), содержание биотита – 12–15 %, кварца – менее 10 %. Содержание рудных минералов достаточно высокое – 5–7 %. Плагиоклазы пелитизированы и серицитизированы, по трещинам развивается хлорит. Содержание основных петрогенных компонентов (%): SiO<sub>2</sub> – 55,0, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 14,9, K<sub>2</sub>O – 0,76, Na<sub>2</sub>O – 3,08, MgO – 4,75, CaO – 9,24, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>общ. – 10,4, TiO<sub>2</sub> – 0,98. Образец характеризуется самым пологим спектром распределения редкоземельных элементов и практически горизонтальным – тяжелых (нормирование по хондриту, рис. 3). Содержания последних – максимальные из всех изученных пород.

Акцессорные цирконы светло-коричневого цвета, мутные представлены субидиоморфными округлыми кристаллами. Длина зерен – от 70 до 200 мкм, коэффициент удлинения 1–3. В КЛ обладают слабым свечением и обнаруживают следы неконтрастной зональности. Большинство цирконов имеют двухфазное строение: более темную центральную часть и более светлую краевую. Вероятно, внутренние фазы представляют собой материал протолита, скорее всего осадочного происхождения. Впоследствии он подвергся анатектическому плавлению с формированием из расплава как новой популяции цирконов (зерна 1, 2, 9 и 11), так и кайм обрастания (4.2, 7.2, 8.2) на детритовой популяции. Последняя демонстрирует наличие как минимум двух источников: либо в виде исходных зерен циркона (3, 5, 6, 10), либо в виде сохранившихся ядер (4.1, 7.1, 8.1, рис. 4).

Более древние ядра имеют высокие содержания урана и минимальный возраст 2,87 млрд лет. Конкордантный U-Pb возраст второй детритовой популяции составляет  $1970,5 \pm 8,3$  млн лет, Уср. = 946 ppm, Th/U = 0,19. Низкоурановые цирконы новой популяции отражают как геохимические условия среды минералообразования (Уср. = 56 ppm, Th/U = 1,42), так и время формирования диорита ( $1896,6 \pm 15,0$  млн лет).

#### Обсуждение результатов и выводы.

В пределах фундамента выявлены (по доступным для исследования образцам) 4 независимых этапа его развития – 3,16–3,17; 2,83; 2,71–2,72 и 1,90 млрд лет. Полученные результаты подтверждают имеющуюся информацию об архей-

ско-протерозойском возрасте пород фундамента Сибирской платформы, его неоднородном блочном строении, а также о наличии нескольких этапов более поздней активизации. Однако разными исследователями (для разных районов Сибирской платформы) получены несколько отличающиеся оценки возраста, что может указывать на еще более сложную историю становления фундамента, чем предполагалось ранее. Так, по данным Н. С. Прияткиной [10], в корях выветривания рифейских пород Восточно-Анабарского бассейна, перекрывающих фундамент, установлены цирконы магматических комплексов с возрастом 2,9, 2,7 и 2,15–1,95 млрд лет. В. С. Шацким изучены цирконы ксенолитов из кимберлитовых трубок с конкордантными возрастными индивидуальными зернами 2,95, 2,7, 2,4 млрд лет, отвечающие этапам образования коры. В. С. Бочкаревым с соавторами [1; 2] зафиксированы этапы формирования 2908 млн лет (скв. Чайкинская-397),  $2563 \pm 5,4$  млн лет (скв. Юрубченская-1),  $2517 \pm 13$  (скв. Енгидинская-154) и несколько этапов активизации. Выявленный в большинстве случаев возраст 2,7 млрд лет может характеризовать один из наиболее значимых этапов, проявленный на большей территории платформы. Полученный нами возраст 3,16–3,17 млрд лет также является одним из наиболее древних, определенных U/Pb методом для Сибирской платформы по породам керн скважин.

Оценки возраста в целом хорошо согласуются со схемой тектонического районирования В. С. Суркова и уточняют границу между Анабарской и Алдано-Тимптонской складчатых системами Алдано-Анабарской области, которая должна проходить западнее скв. Сюльдюкарская-1001. Возраст пород Анабарского блока составляет 3162–3167 млн лет, Алдано-Тимптонского (Иенгский массив) 2831; 2714–2723 млн лет. Возраст 1970,5 млн лет, установленный для пород скв. Унга-Хахсыкская-2980, характеризует этап анатектического плавления исходной породы. Он является не характерным для Анабарского блока фундамента и требует дополнительного изучения.

Существенная разновозрастность пород верхних горизонтов вскрытого на различных глубинах фундамента может указывать не только на его тектоническую неоднородность (блоковое строение), но и на неравномерность проявления корообразующих процессов по латерали. И в том, и в другом случае геохронологическая информация способна помочь в геодинамической реконструкции глубокозалегающих комплексов пород, включая их рельеф как важный фактор формирования осадочных бассейнов.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания № 049-00009-18 «Создание, актуализация и подготовка к изданию сводных и обзорных карт геологического содержания территории России и прилегающих акваторий», объект «Получение предварительных данных для актуализации Норильской, Анабаро-Вилуйской,

Ангаро-Енисейской и Алдано-Забайкальской серийных легенд Госгеолкарты-1000/3 (в пределах Сибирской платформы) на основе сейсмофациального анализа, межсерийной корреляции стратиграфических подразделений венда и палеозоя и палеорекопструкций».

1. Бочкарев В. С. Первые данные об абсолютном возрасте фундамента Сибирской платформы, полученные на основе U-Pb датирования цирконов на SHRIMP II (Поздний архей) / В. С. Бочкарев, А. М. Брехунцов, К. Г. Лукомская, С. П. Шокальский, С. Л. Пресняков // Горные ведомости. — Тюмень: СибНАЦ, 2011. — № 12. — С. 6–22.

2. Бочкарев В. С. Новые данные о возрасте фундамента Западной и Восточной Сибири по U-Pb системе цирконов на SHRIMP II / В. С. Бочкарев, А. М. Брехунцов, С. А. Сергеев, С. П. Шокальский // Горные ведомости. — Тюмень: СибНАЦ, 2014 — № 3. — С. 56–71.

3. Гладкочуб Д. П. Удзинский мезопротерозойский палеорифт (север Сибирского кратона): новые данные о возрасте базитов, стратиграфии и микрофитологии / Д. П. Гладкочуб, А. М. Станевич, А. В. Травин, А. М. Мазукабзов, К. М. Константинов, Д. С. Юдин, Т. А. Корнилова // Доклады АН. — 2009. — Т. 425, № 5. — С. 642–648.

4. Глебовицкий В. А., Хильтова В. Я., Козаков И. К. Тектоническое строение Сибирского кратона: интерпретация геолого-геофизических, геохронологических и изотопно-геохимических данных // Геотектоника. — М., 2008. — № 1. — С. 12–26.

5. Гурьянов В. А. Раннедокембрийские гранитоиды Батомского выступа фундамента юго-востока Сибирской платформы: возраст и геодинамическая обстановка формирования / В. А. Гурьянов, А. Н. Диденко, А. Ю. Песков, Г. В. Роганов, В. А. Дымович // Тихоокеанская геология. — Хабаровск, 2016. — Т. 35, № 3. — С. 23–44.

6. Исаков В. М., Старосельцев К. В., Хуторянский В. К. Геологическое строение погребенного фундамента Сибирской платформы в бассейнах рек Пеледуй и Чайка // Региональная геология. Стратиграфия и палеонтология докембрия и нижнего палеозоя Сибири. Сб. науч. трудов / Редакторы: И. В. Будников, Б. Г. Краевский. — Новосибирск: СНИИГГиМС, 2010. — С. 171–179.

7. Ковач В. П., Котов А. Б., Смелов А. П. и др. Этапы формирования континентальной коры погребенного фундамента восточной части Сибирской платформы: Sm-Nd изотопные данные // Петрология. — М.: Наука, 2000. — Т. 8, № 4. — С. 394–408.

8. Купцова А. В., Худoley А. К., Молчанов А. В. Литогеохимия верхнепротерозойских терригенных отложений Южной части Восточно-Анабарского бассейна: эволюция состава источников сноса и вторичные изменения // Вестник СПбГУ. Сер. 7.2011. Вып. 1. — С. 17–31.

9. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Издание второе, переработанное и дополненное / Гл. ред. О. А. Богатиков, О. В. Петров. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. — 200 с.

10. Прияткина Н. С., Худoley А. К., Эрнст Р. Э. Новые данные о строении и возрасте фундамента Сибирского кратона по результатам U-Pb датирования обломочных цирконов // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Материалы научного совещания. — Иркутск, 2018. — Вып. 16. — С. 209–210.

11. Смелов А. П. Первые данные о составе и возрасте погребенного фундамента Алданской антеклизы (Сибирская платформа): результаты датирования ксеногенного циркона из кимберлитов трубки Манчары / А. П. Смелов, Е. А. Белоусова, А. И. Зайцев, О. Б. Олейников,

А. Д. Павлушин, Н. А. Опарин // Отечественная геология. — М., 2013. — № 5. — С. 68–72.

12. Сурков В. С. Структура Земной коры Сибири и тектоническое строение фундамента Западно-Сибирской плиты и Сибирской платформы / В. С. Сурков, М. П. Гришин, В. И. Лотышев, Л. В. Смирнов // Геофизические методы изучения Земной коры. — Новосибирск, 1998. — С. 8–20.

13. Schuth S., Gornyy V. I., Berndt J., Shevchenko S. S., Sergeev S. A., Karpuzov A. F., Mansfeldt T. Early Proterozoic U-Pb Zircon Ages from Basement Gneiss at Solovetsky Archipelago, White Sea, Russia // Int. J. Geosci. — 2012. — Vol. 3. — No 2. — Pp. 289–296. DOI: 10.4236/ijg.2012.32030.

14. Skuzovatov S., Shatsky V. S., Ragozin A. L., Smelov A. P. The evolution of refertilized lithospheric mantle beneath the northeastern Siberian craton: Links between mantle metasomatism, thermal state and diamond potential. Article in Geoscience Frontiers. August 2022. — DOI: 10.1016/j.gsf.2022.101455.

1. Bochkarev V. S., Brekhuncov A. M., Lukomsкая K. G., Shokal'skij S. P., Presnyakov S. L. Pervye dannye ob absolyutnom vozraste fundamenta Sibirskoy platformy, poluchennyye na osnove U-Pb datirovaniya cirkonov na SHRIMP II (Pozdnyj arkhej). Gornye vedomosti. Tjumen', SibNAC, 2011, no. 12, pp. 6–22.

2. Bochkarev V. S., Brekhuncov A. M., Sergeev S. A., Shokal'skij S. P. Novye dannye o vozraste fundamenta Zapadnoj i Vostochnoj Sibiri po U-Pb sisteme cirkonov na SHRIMP II. Gornye vedomosti. Tjumen', SibNAC, 2014, no. 3, pp. 56–71.

3. Gladkochub D. P., Stanevich A. M., Travin A. V., Mazukabzov A. M., Konstantinov K. M., Yudin D. S., Kornilova T. A. Udzhinskij mezoproterozojkij paleorift (sever Sibirskogo kratona): novye dannye o vozraste bazitov, stratigrafii i mikrofitologii. Doklady AN, 2009, vol. 425, no. 5, pp. 642–648.

4. Glebovickij V. A., Khil'tova V. Ya., Kozakov I. K. Tektonicheskoe stroenie Sibirskogo kratona: interpretaciya geologo-geofizicheskikh, geokhronologicheskikh i izotopno-geokhichimicheskikh dannyx. Geotektonika, Moscow, 2008, no. 1, pp. 12–26.

5. Gur'yanov V. A., Didenko A. N., Peskov A. Yu., Roganov G. V., Dymovich V. A. Rannedokembrijskie granitoidy Batomskogo vystupa fundamenta yugo-vostoka Sibirskoy platformy: vozrast i geodinamicheskaya obstanovka formirovaniya. Tikhookeanskaya geologiya, Habarovsk, 2016, vol. 35, no. 3, pp. 23–44.

6. Isakov V. M., Starosel'cev K. V., Khutoryanskij V. K. Geologicheskoe stroenie pogrebenного fundamenta Sibirskoy platformy v bassejnakh rek Peleduj i Chajka. Regional'naya geologiya. Stratigrafiya i paleontologiya dokembriya i nizhnego paleozoya Sibiri. Sb. nauch. trudov. Eds.: I. V. Budnikov, B. G. Kraevskij. Novosibirsk, SNIIGGIMS, 2010, pp. 171–179.

7. Kovach V. P., Kotov A. B., Smelov A. P. et al. Ehtapy formirovaniya kontinental'noj kory pogrebenного fundamenta vostochnoj chasti Sibirskoy platformy: Sm-Nd izotopnye dannye. Petrologiya. Moscow, Nauka, 2000, vol. 8, no. 4, pp. 394–408.

8. Kupcova A. V., Khudoley A. K., Molchanov A. V. Litogeochemiya verkhneproterozojkikh terrigennykh otlozhenij Yuzhnoj chasti Vostochno-Anabarskogo bassejna: ehvolyuciya sostava istochnikov snosa i vtorichnye izmeneniya. Vestnik SPBGU. Ser. 7.2011, vol. 1, pp. 17–31.

9. Bogatikov O. A., Petrov O. V. (eds.). Petrograficheskij kodeks Rossii. Magmatische, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktne obrazovaniya. Izdanie vtoree, pererabotannoe i dopolnennoe. St. Petersburg, Izd-vo VSEGEI, 2008, 200 p.

10. Priyatkina N. S., Khudoley A. K., Ehrnst E. H. Novye dannye o stroenii i vozraste fundamenta Sibirskogo kratona po rezul'tatam U-Pb datirovaniya oblomochnykh cirkonov.

Geodinamicheskaya ehvolyuciya litosfery Central'no-Aziatskogo podvizhnogo poyasa (ot okeana k kontinentu). Materialy nauchnogo soveshchaniya. Irkutsk, 2018, vol. 16. pp. 209–210.

11. Smelov A. P., Belousova E. A., Zajcev A. I., Olejnikov O. B., Pavlushin A. D., Oparin N. A. Pervye dannye o sostave i vozraste pogrebnogo fundamenta Aldanskoj anteklizy (Sibirskaya platforma): rezul'taty datirovaniya ksenogenogo cirkona iz kimberlitov trubki Manchary. Otechestvennaya geologiya. Moscow, 2013, no. 5, pp. 68–72.

12. Surkov V. S., Grishin M. P., Lotyshev V. I., Smirnov L. V. Struktura Zemnoj kory Sibiri i tektonicheskoe stroenie fundamenta Zapadno-Sibirskoj plity i Sibirskoj platformy. Geo-

fizicheskie metody izucheniya Zemnoj kory. Novosibirsk, 1998, pp. 8–20.

13. Schuth S., Gornyy V. I., Berndt J., Shevchenko S. S., Sergeev S. A., Karpuzov A. F., Mansfeldt T. Early Proterozoic U-Pb Zircon Ages from Basement Gneiss at Solovetsky Archipelago, White Sea, Russia. Int. J. Geosci. 2012, vol. 3, no. 2. pp. 289–296. doi: 10.4236/ijg.2012.32030.

14. Skuzovatov S., Shatsky V. S., Ragozin A. L., Smelov A. P. The evolution of refertilized lithospheric mantle beneath the northeastern Siberian craton: Links between mantle metasomatism, thermal state and diamond potential. Article in Geoscience Frontiers. August 2022. doi: 10.1016/j.gsf.2022.101455.

---

*Ларичев Андрей Иванович* – канд. геол.-минерал. наук, зам. ген. директора, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <Andrey\_Larichev@vsegei.ru>  
*Видик Светлана Владимировна* – канд. геол.-минерал. наук, зав. лабораторией, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <Svetlana\_Vidik@vsegei.ru>  
*Сергеев Сергей Андреевич* – канд. геол.-минерал. наук, директор, ЦИИ ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <Sergey\_Sergeev@vsegei.ru>  
*Осадчий Илья Владимирович* – зав. лабораторией, ВСЕГЕИ<sup>1</sup>. <Iliya\_Osadchii@vsegei.ru>

*Larichev Andrey Ivanovich* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy General Director, VSEGEI<sup>1</sup>. <Andrey\_Larichev@vsegei.ru>  
*Vidik Svetlana Vladimirovna* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of the laboratory, VSEGEI<sup>1</sup>. <Svetlana\_Vidik@vsegei.ru>  
*Sergeev Sergey Andreevich* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Director, CIR VSEGEI<sup>1</sup>. <Sergey\_Sergeev@vsegei.ru>  
*Osadchiy Ilya Vladimirovich* – Head of Department, VSEGEI<sup>1</sup>. <Iliya\_Osadchii@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.