

Исследование разреза Кольской сверхглубокой скважины СГ-3 радиоактивными методами

Яковлев Ю.Н.

Геологический институт КНЦ РАН

Аннотация. В статье представлены результаты исследования Кольской сверхглубокой скважины СГ-3 радиоактивными методами. Приведена реальная интенсивность радиоактивности и содержания калия, урана и тория в свитах, толщах и более мелких подразделений разреза. Подтверждено, что интенсивность радиоактивности пород меняется в широких пределах: от 200-300 до 2700-2800 импульсов в минуту. Показано, что для подавляющей части пород радиоактивность определяется содержанием в них тория и урана, а заметный вклад калия характерен лишь для некоторых разновидностей пород протерозойского комплекса.

Ключевые слова: Кольская сверхглубокая скважина, радиоактивные методы исследования, калий, уран, торий.

Study of the section of the Kola superdeep well SG-3 by radioactive methods

Yakovlev Yu.N.

Geological Institute KSC RAS

Abstract. The article presents results of studying the Kola Superdeep Borehole SD-3 by radioactive methods. Provided below is the real intensity of radioactivity and contents of potassium, uranium and thorium in suits, sequences and minor units of the section. It is confirmed that the radioactivity intensity of rocks varies in a wide range of 200-300 to 2700-2800 impulses per minute. The paper shows that radioactivity in the vast majority of rocks is determined by the content of thorium and uranium in them, while a marked contribution of potassium is typical of only several rock varieties in the Proterozoic complex.

Keywords: Kola Superdeep Borehole, radioactive methods of study, potassium, uranium, thorium.

Предисловие редакции

Рукопись данной статьи была подготовлена Юрием Николаевичем Яковлевым для публикации в Трудах ФНС. В октябре 2019 г. Ю.Н. Яковлев ушел из жизни. Все последние годы он занимался обработкой материалов, полученных при бурении Кольской сверхглубокой скважины СГ-3. Мы публикуем эту статью с небольшими редакционными изменениями.

Editor's foreword

The manuscript of this paper was prepared by Yury Nikolaevich Yakovlev to be published in Proceedings of the Fersman Scientific Session. Yu.N. Yakovlev passed away in October, 2019. He dedicated all of his last years to processing materials obtained in drilling of the Kola Superdeep Borehole SD-3. We publish this paper with minor editorial changes.

Введение

Использование радиоактивных методов проводилось постоянно в процессе проходки скважины СГ-3 и преследовало различные цели:

- а) контроль состояния радиоактивных меток в обсадной колонне труб;
- б) оценка состава разбуриваемых пород;
- в) детальное расчленение разреза – выделение отдельных слоев, пачек и т.п.

В последний раз такие исследования были проведены в 2002 г. по проекту СГК-2002 по стволу № 4 на всю доступную глубину до 7890 м, за исключением интервала 6760-6885 м, включающего нижнюю часть маярвинской свиты, всю телевинскую свиту и небольшой участок первой ар-

хойской толщи. Исследования проводились полевым отрядом специалистов из пос. Октябрьский (ОАО МПП ВНИИГИС, Башкортостан) под руководством Г.А. Федорова, при участии сотрудников геологической службы СГ-3 Ю.Н. Яковлева и О.Г. Бадалова, осуществлявших детальное расчленение разреза и характеристику минерального состава пород.

В данной статье кратко рассматриваются следующие вопросы:

- 1) общее распределение радиоактивности в отдельных подразделениях разреза;
- 2) вариации содержаний калия (%), урана и тория (в г/т) в свитах и толщах;
- 3) влияние глубины на радиоактивность.

Результаты исследования

Общая радиоактивность пород обусловлена наличием в их составе таких минералов как ортит, титанит и циркон (для содержаний урана и тория), а также слюд и полевых шпатов (для калия). Содержание этих минералов определяет естественную радиоактивность конкретных пород разреза. Сведения о ее уровне в подразделениях СГ-3 приведены в таблице 1 и включают как ранее известные данные (Кольская сверхглубокая..., 1998, гл. 4), так и результаты измерений 2002 г. Конкретные сведения для различных пород показаны в таблице 2 (к сожалению, она характеризует не весь разрез).

Анализ этих материалов показывает, что в пределах каждого подразделения разреза радиоактивность изменяется довольно широко, причем нередко вскрывается более сложное строение отдельных интервалов разреза, чем при его литологической документации. Так, в матертской свите среди монотонных диабазов выделяется интервал (770-895 м, табл. 2) тонкого переслаивания туфов и диабазов, который в предыдущих работах не отмечался (Кольская сверхглубокая..., 1984). Аналогичные уточнения обнаруживаются и ниже, что в целом способствует более детальному расчленению разреза.

Породы матертской и заполярнинской свит, по данным А.А. Кременецкого (Кольская сверхглубокая..., 1998, гл. 4), обладают примерно одинаковой средней радиоактивностью (табл. 1, столбцы 3-5), а по данным СГК-2002 (табл. 1, столбцы 7-9) она заметно ниже, причем только в матертской свите содержание урана и тория почти одинаковые, а ниже по разрезу торий всюду преобладает над ураном. Кроме того, по данным СГК-2002, в матертской свите обнаруживается интервал с более высокой радиоактивностью (табл. 2, интервал 770-895 м).

Породы ждановской свиты обладают более высокой радиоактивностью по данным и 1998, и 2002 гг., однако данные 1998 года примерно в 1.5 раза выше данных 2002 г.

Расположенные ниже по разрезу риодациты в самостоятельный горизонт выделены впервые Ф.П. Митрофановым и др. в 2001 г. (Митрофанов и др., 2001), ранее они включались в состав лучломпольской свиты. Риодациты, имеющие интрузивную природу, обладают повышенной радиоактивностью, несопоставимой с предыдущими свитами (табл. 1). Породы лучломпольской свиты по данным А.А. Кременецкого имеют повышенные значения радиоактивности вследствие включения в их состав радацитов, а по данным СГК-2002 – умеренные значения для доломитов и песчаников (табл. 1). Из расположенных ниже свит по данным 1998 г. породы пирттиярвинской и маярвинской свит имеют примерно одинаковые показатели радиоактивности, а породы кувернериньокской свиты примерно в 1.5 раза превышают их. По данным 2002 г., породы пирттиярвинской и кувернериньокской свит имеют примерно одинаковые показатели, а породы маярвинской свиты в 1.5-2.0 раза превышают их. При этом наиболее радиоактивными среди последних являются различные сланцы с хлоритом. Для телевинской свиты данных 2002 г. нет, но по данным 1998 г. конгломераты и песчаники этой свиты обладают наиболее высокими показателями радиоактивности, примерно вдвое превосходящими таковые риодацитов.

Таким образом, в разрезе протерозойского комплекса СГ-3 наблюдается два пика пород с наивысшей радиоактивностью: первый фиксирует начало его формирования, а второй примерно середину, причем первый представлен осадочными породами, а второй – интрузивными.

В архейской части разреза СГ-3 можно сравнивать параметры радиоактивности только первых двух толщ. Согласно предыдущим данным первая толща сложена гнейсами с ВГМ (высокогли-

ноземистыми минералами), а вторая толща – гнейсами с ВКМ (высококальциевыми минералами). По данным А.А. Кременецкого (Кольская сверхглубокая, 1998, гл. 4), обе толщи (особенно первая) отличаются повышенным содержанием тория, урана и калия. А по данным СГК-2002 содержания всех этих элементов примерно в 1.5-2.0 раза ниже, хотя соотношение элементов примерно те же самые. Что же касается дальнейшей глубины, то для нее имеются только предыдущие сведения (Кольская сверхглубокая, 1998, гл. 1,4) согласно которым нечетные толщи, сложенные гнейсами с высокоглиноземистыми минералами (ВГМ), чередуются с четными толщами гнейсов с высококальциевыми минералами (ВКМ). При этом первые из них имеют более высокие показатели радиоактивности (особенно третья), чем четные, причем принадлежность десятой толщи к этой категории весьма дискуссионна.

Таблица 1. Распределение радиоактивных элементов в разрезе СГ-3.

Table 1. Distribution of radioactive elements in the SD-3 section.

Свиты, толщи	Глубина, м	Данные 1998 г.			Данные СГК 2002 г.			
		K _{ср.} , %	U ppm	Th ppm	ГК имп/мин	K, %	U, ppm	Th, ppm
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Протерозойский комплекс								
Матертская	0-1059	0.37	0.29	1.24	$\frac{222-466}{290.40}$	$\frac{0.14-0.22}{0.17}$	$\frac{0.64-1.03}{0.73}$	$\frac{0.25-0.95}{0.72}$
Ждановская	1059-2805	1.24	0.90	2.63	$\frac{284-1768}{892.6}$	$\frac{0.17-1.37}{0.51}$	$\frac{0.80-2.83}{1.44}$	$\frac{0.58-3.48}{1.68}$
Заполяринская	2805-4673	0.19	0.16	1.22	$\frac{275-1673}{369.8}$	$\frac{0.15-0.88}{0.26}$	$\frac{0.78-3.70}{0.95}$	$\frac{0.92-2.74}{1.08}$
Риодациты	4673-4770	–	–	–	2.793	1.18	4.87	6.55
Лучломпольская	4770-4844	3.64	1.35	4.87	1.712	1.61	1.53	1.70
Пирттиярвинская	4844-5642	1.12	0.39	3.10	$\frac{753-1827}{951.0}$	$\frac{0.39-1.43}{0.69}$	$\frac{1.08-1.99}{1.25}$	$\frac{1.43-3.26}{1.68}$
Кувернерийокская	5642-5717	1.73	0.35	4.49	$\frac{301-2618}{1466.2}$	$\frac{0.16-2.17}{1.15}$	$\frac{0.63-2.74}{1.46}$	$\frac{0.49-2.91}{1.60}$
Маярвинская	5717-6835	1.18	1.26	3.69	$\frac{719-1.634}{1134.5}$	$\frac{0.25-0.89}{0.57}$	$\frac{1.03-3.11}{1.79}$	$\frac{1.31-5.75}{3.18}$
Телевинская	6835-6842	1.30	3.70	12.90				
Архейский комплекс								
I	6842-7622	2.19	2.52	7.19	$\frac{584-2794}{1373.8}$	$\frac{0.37-0.92}{0.64}$	$\frac{1.20-7.70}{2.20}$	$\frac{1.73-10.67}{5.09}$
II	7622-9456	1.64	2.17	5.74	$\frac{631-1162}{965.7}$	$\frac{0.37-0.59}{0.50}$	$\frac{1.21-2.06}{1.75}$	$\frac{2.46-4.07}{3.52}$
III	9456-9573	2.18	5.15	10.67				
IV	9573-10144	2.35	3.45	7.33				
V	10144-10601	2.11	5.26	8.66				
VI	10601-11416	1.79	4.09	4.70				
VII	11416-11602	1.71	4.70	6.91				
Гранитогнейс	12000-20000	1.80	2.18	5.17				

Примечание.

1. Столбцы 1, 2 для протерозойского комплекса – по (Митрофанов и др., 2001).
2. Столбцы 1, 2 для архейского комплекса, а также столбцы 3-5 – по (Кольская сверхглубокая..., 1998, гл. 4, табл. 4, 5).
3. В столбцах 6-9 над чертой – пределы измерений, под чертой – средние значения.

На рисунке 1 показано распределение общей радиоактивности (ГК ср.) в СГ-3 по данным СГК-2002, а на рисунке 2 – всех ее составляющих (K, U и Th).

Таблица 2. Распределение радиоактивных элементов в разрезе СГ-3 по данным SGK (2002).
 Table 2. Distribution of radioactive elements in the SD-3 section, according to SDK data (2002).

Интервал, м	ГК _{ср.} , имп/мин	К _{ср.} , %	U _{ср.} , ppm	Th _{ср.} , ppm	Породы	Свиты Толщи
1	2	3	4	5	6	7
14.5-340	222	0.15	0.67	0.65	Диабазы, редкие прослои туфов	mt
340-770	315	0.18	0.72	0.76	Диабазы, прослои порфиритов и туфов	
770-895	466	0.22	1.03	0.95	Переслаивание туфов и диабазов	
895-1065	230	0.14	0.64	0.55	Диабазы, редкие прослои туфов	
1065-1160	898	0.38	1.78	1.53	Туфы пелитовые и алевроитовые, филлиты	gd
1160-1185	308	0.12	0.85	1.04	Порфириты пироксеновые	
1185-1330	1158	0.59	1.87	1.76	Филлиты, алевролиты углеродистые	
1330-1428	829	0.41	1.32	1.94	Габбро-диабазы эссекитовые	
1428-1555	1160	0.53	1.97	1.65	Алевролиты, филлиты	
1555-1685	234	0.13	0.58	0.67	Гипербазиты серпентинизированные	
1685-1765	960	0.49	1.46	1.65	Алевролиты углеродистые, песчаники	
1765-1800	400	0.16	0.97	1.13	Гипербазиты серпентинизированные	
1800-1887	527	0.23	1.05	1.28	Туфы, алевролиты, диабазы	
1887-2137	400	0.24	0.78	0.80	До 1985 – туфы, диабазы; ниже-габбро-диабазы	
2137-2267	1768	1.00	2.21	2.88	Алевролиты, песчаники, филлиты	
2267-2325	206	0.15	0.50	0.48	Габбро-диабазы	
2325-2490	1618	0.98	1.99	3.16	Песчаники, алевроиты, филлиты	
2490-2560	202	0.17	0.50	0.52	Габбро-диабазы	
2560-2645	1771	1.20	2.83	3.86	Песчаники, алевролиты, филлиты	
2645-2757	347	0.32	0.80	0.73	Габбро-диабазы	
2757-2807	1834	1.37	3.14	3.48	Песчаники, филлиты	
2808-3595	331	0.24	0.96	0.97	Диабазы измененные, шаровые лавы	zp
3595-3650	567	0.29	1.32	2.25	Диабазы актинолитизированные	
3650-3688	340	0.15	1.10	1.32	Диабазы порфиробластические	
3688-3713	1108	0.78	2.19	2.74	Туфы, туффиты	
3713-3756	261	0.15	0.87	0.92	Диабазы актинолитизированные	
3756-3765	1673	0.88	3.70	3.52	Туфы, туффиты, диабазы	
3765-4460	275	0.22	0.78	0.80	До 3790 – диабазы, туфы; ниже – габбро-диабазы, лавы	
4460-4673	651	0.38	1.09	1.75	Диабазы, туфы.4585-4670-талк-хлоритовые сланцы	
4673-4770	2793	1.18	4.87	6.55	Дацитовые порфиры	rd
4770-4844	1712	1.61	1.53	1.70	Доломиты, песчаники арказовые, сланцы	lch
4844-5642	825	0.51	1.25	1.88	Сланцы по диабазам, андезитовые порфириты	prt
5642-5717	549	0.40	0.84	1.18	Сланцы по диабазам	kv
5717-5760	1079	0.30	2.79	2.76	Андезиты (альбитофиры)	
5760-5823	757	0.39	1.23	1.96	Сланцы по диабазам, туфам; андезиты	
5823-5835	1827	1.43	1.86	3.26	Метаандезиты	
5835-5840	1351	0.90	1.99	2.88	Сланцы по ортофирам	
5840-5915	952	0.76	1.08	1.43	Андезиты и сланцы по ним	
5915-5940	753	0.51	1.08	1.04	Сланцы по диабазам	
5940-5955	1662	0.90	2.74	2.91	Сланцы по алевролитам	
5955-5985	301	0.16	0.63	0.49	Сланцы тремолит-карбонатные	

5985-5917	2618	2.17	2.13	2.51	Кварцито-песчаники, сланцы по ним	та
5917-5978	1019	0.59	1.58	1.44	Амфибол-плагиоклазовые сланцы по вулканитам	
5978-5987	1634	0.62	3.11	3.04	Биотит-плагиоклазовые, сланцы с куммингтонитом	
5987-6000	802	0.38	1.40	1.31	Сланцы с биотитом и хлоритом	
6000-6220	1110	0.89	1.48	1.86	Амфибол-плагиоклазовые сланцы с хлоритом	
6220-6263	1033	0.48	1.21	5.02	Меланократовые сланцы с биотитом	
6263-6290	719	0.31	1.03	3.03	Амфибол-плагиоклазовые сланцы	
6290-6410	978	0.28	1.39	5.75	Амфибол-плагиоклазовые сланцы с биотитом	
6410-6465	1114	0.25	3.20	4.55	Меланократовые сланцы с хлоритом, биотитом	
6465-6565	1551	0.47	2.62	4.97	Амфибол-плагиоклазовые сланцы	
6565-6765	1278	0.47	2.12	3.70	Амфибол-плагиоклазовые сланцы с хлоритом	
6765-6766	1417	0.58	2.18	3.92	Биотит-плагиоклазовые сланцы с хлоритом	
6766-6815					Измерения не проводились	
6815-7622	2734	0.49	7.70	1.73	Плагиопегматиты с мусковитом и гранатом	I
7622-7147	1370	0.66	2.20	4.08	Гнейсы с ВГМ, плагиопегматиты	II
7147-7210	2489	0.92	3.90	10.67	Гнейсо-граниты, гнейсы с ВГМ	
7210-7480	1282	0.58	2.03	5.37	Гнейсы с ВГМ, куммингтонитовые сланцы	
7480-7500	584	0.37	1.20	2.28	Амфиболиты сфенсодержащие	
7500-7635	1121	0.61	1.83	4.19	Гнейсы с ВКМ	
7635-7745	631	0.37	1.21	2.46	Амфиболиты (с куммингтонитом, диопсидом)	
7745-7930	1162	0.59	2.06	4.07	Гнейсы с ВКМ	

По сути дела рисунок 1 иллюстрирует сказанное выше, а рисунок 2 характеризует роль каждой из составляющих. Отчетливо видно, что изменение общей радиоактивности обусловлено главным образом вариациями содержаний тория, примерно вдвое меньшим – урана и незначительным калия. Но для некоторых интервалов разреза (например лучломпольской и кувернеринюкской свит протерозойского комплекса) содержание калия имеет заметное значение. Также отчетливо видна роль тория в повышении радиоактивности гнейсов первой толщи архейского комплекса.

Заключение

В итоге хотелось бы перечислить ряд вопросов, оставшихся неразрешенными или освещенными недостаточно.

1. Разрез архейского комплекса по данным Кольской ГРЭ включает 10 толщ, он используется и в более поздней монографии по СГ-3 (Архейский комплекс..., 1991). Автор давно сомневается в правильности расчленения разреза, основываясь на взаимном расположении гнейсов и амфиболитов – главных пород архейского комплекса. Исходя из их взаимного расположения в разрезе, я предложил иное строение комплекса, учитывающее и траекторию стволов скважины, как состоящее из 6 различно ориентированных блоков, в основании которых располагаются амфиболиты, а основная часть сложена гнейсами (с ВГМ и ВКМ). Наличие других пород (пегматитов, гипербазитов и др.) при этом не учитывалось – их очень мало. Строение и состав нижнего, 6-го блока, остались неопределенными из-за «отсутствия» нижней границы.

2. Геохронология архейского комплекса СГ-3 весьма неоднозначна и в большинстве датировок ограничивается наиболее древним возрастом 2.90-2.95 млрд. лет. Но Т.Б. Баяновой получен возраст 3.00-3.15 млрд. лет для ксенолитов амфиболитов в верхней средней части разреза архейского комплекса.

3. До недавнего времени в разрезе СГ-3 было установлено общее количество рудных минералов, сопоставимое с таковым во всем Печенгском рудном поле. Но только в последние годы в Печенгском рудном поле было открыто значительное количество минералов ЭПГ. Таких исследова-

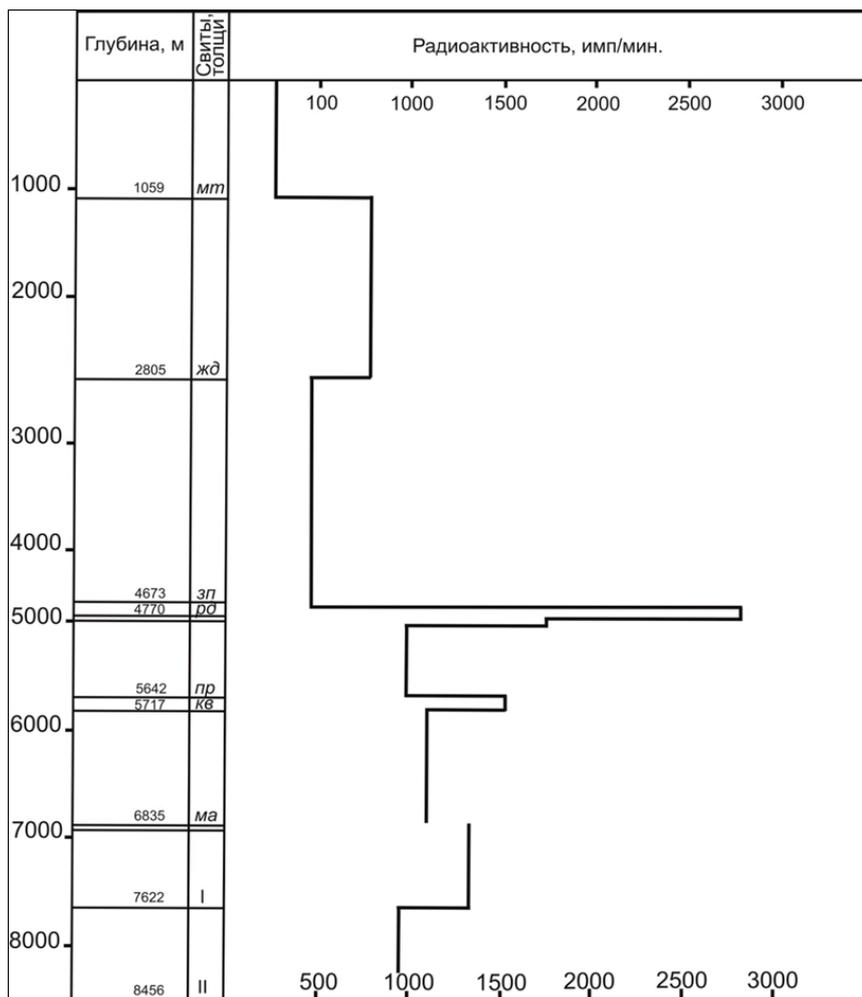


Рис. 1. Средняя естественная радиоактивность свит и толщ разреза СГ-3 (данные СГК, 2002 г.). Свиты протерозойского комплекса: *mt* – матертская, *жд* – ждановская, *зп* – заполярнинская, *рд* – риодациты, *лч* – лучломпольская, *пр* – пирттиярвинская, *кв* – кувернерийокская, *ма* – маярвинская, *тл* – телевинская, I и II – толщ архейского комплекса.

Fig. 1. Average natural radioactivity in suits and sequences of the SD-3 section (SDK data, 2002). Suites of the Proterozoic complex: *mt* – Matertsкая, *жд* – Zhdanovskaya, *зп* – Zapolyarninskaya, *рд* – rhyodacites, *лч* – Luchlompolskaya, *пр* – Pirttiyarvinskaya, *кв* – Kuverneriyokskaya, *ма* – Mayarvinskaya, *тл* – Televinskaya, I and II – sequences of the Archean complex.

ний в керне СГ-3 в последнее время не проводилось, они могли бы в будущем принести интересные результаты.

4. Архейский комплекс в других скважинах России (Туймазинской, Миннибаевской, Ульяновской) так детально как в СГ-3 не исследован, так что сопоставлять данные по СГ-3 с другими подобными объектами пока невозможно.

5. Будущим исследователям архейской части разреза СГ-3 предстоит еще много работы, автор перечислил не всё.

Выводы

1. Доказана возможность проведения радиоактивных исследований в стволе СГ-3, обсаженном колонной стальных труб диаметром 245 мм. Полученные диаграммы обладают высокой контрастностью и хорошей разрешающей способностью, что позволяет выделять интервалы пород мощностью 2-3 м. Не обнаружено влияния каверн в обсадных трубах на четкость записи каротажа.

2. Рассчитаны реальная радиоактивность и содержания калия, урана и тория в свитах, толщах и

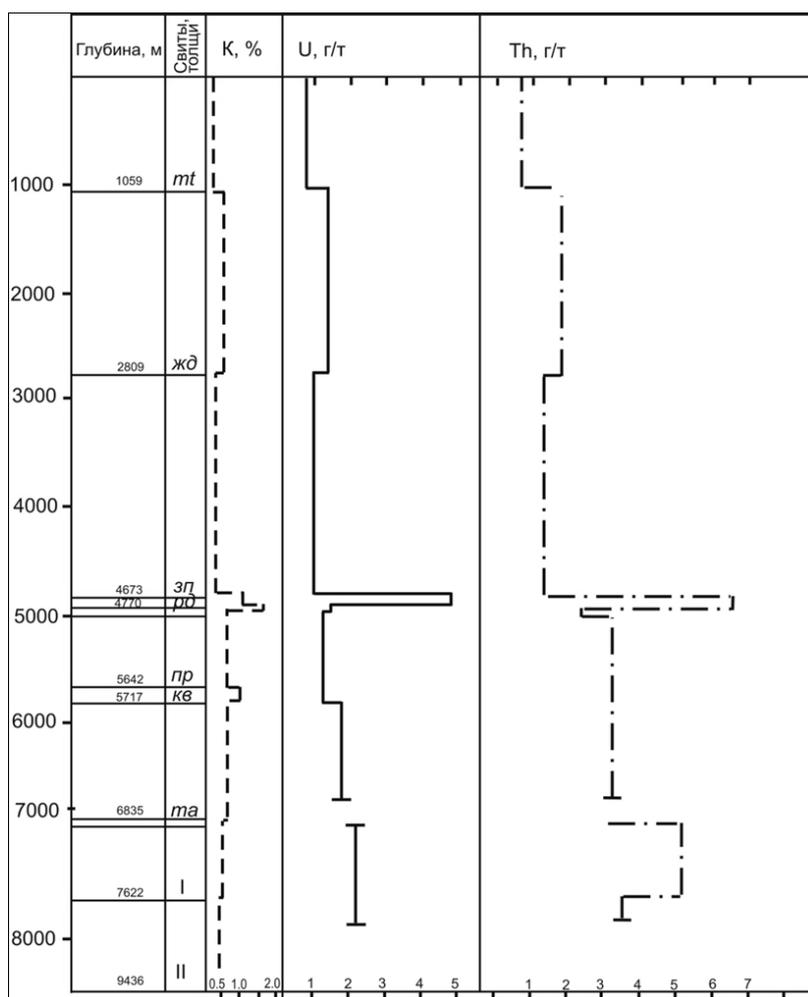


Рис. 2. Распределение K, U и Th по свитам разреза СГ-3 (данные СГК-2002 г.).

Fig. 2. Distribution of K, U and Th in suites of the SD-3 section (SDK-2002 data).

более мелких подразделений разреза. Подтверждено, что интенсивность радиоактивности пород меняется в широких пределах: от 200-300 до 2700-2800 импульсов в минуту.

3. Показано, что для подавляющей части пород радиоактивность определяется содержанием в них тория и урана, а заметный вклад калия характерен лишь для некоторых разновидностей пород протерозойского комплекса.

4. Примечательно, что согласно предыдущим данным наименее мощные толщи архейского комплекса (III, V и VII), отличаются повышенными содержаниями тория и урана, а также некоторых других элементов (золота, платиноидов и др.).

Литература

1. Архейский комплекс в разрезе СГ-3 (ред. Ф.П. Митрофанов). Апатиты. Изд-во: КНЦ АН СССР. 1991. 186 с.
2. Кольская сверхглубокая. Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины (ред. Е.А. Козловский). М. Изд-во: Недра. 1984. 490 с.
3. Кольская сверхглубокая. Научные результаты и опыт исследований (под ред. Н.П. Лаверова, В.П. Орлова). М. Изд-во: МФ ТЕХНОНЕФТЕГАЗ. 1998. 260 с.
4. Митрофанов Ф.П., Скуфьин П.К., Баянова Т.Б. и др. Интрузивное тело риодацитовых порфиров в разрезе пород раннепротерозойского Печенгского комплекса Кольской сверхглубокой скважины // Докл. РАН. 2001. Т. 380. № 4. С. 540–544.