

УДК 552.08:550.42

## НОВЫЕ ДАННЫЕ

### О СТРОЕНИИ И СОСТАВЕ АРХЕЙСКОГО КОМПЛЕКСА РАЗРЕЗА СГ-3\*

Ю. Н. Яковлев, А. К. Яковлева, П. А. Серов

ФГБУН Геологический институт КНЦ РАН

#### Аннотация

Предложена новая модель строения архейской части разреза СГ-3 (6,84–12,26 км), включающая шесть различно ориентированных блоков, из которых верхние пять имеют мощность 500–1200 м, а шестой вскрыт только в его верхней части на протяжении 11,70–12,26 км. Дана характеристика двух разновидностей гнейсов, слагающих около 60 % разреза архейского комплекса, и существенно амфиболовых пород, представленных амфиболитами и гипербазитами. Первые сложены биотит-плагиоклаз-роговообманковыми породами с примесью граната, кварца, куммингтонита и других минералов, а вторые — тальк-флогопит-актинолитовыми породами, иногда с антофиллитом и куммингтонитом. Оценена степень рудоносности этих групп пород. Показано, что для гнейсов и амфиболитов существуют два тренда эволюции неодима, причем данные по амфиболитам свидетельствуют о большей гетерогенности их вещества, что коррелирует с их минералогическими особенностями.

#### Ключевые слова:

*Кольская сверхглубокая скважина, архейские гнейсы, амфиболиты, гипербазиты, Sm-Nd-модельный возраст.*

#### NEW DATA ON THE STRUCTURE AND COMPOSITION OF THE SD-3 SECTION ARCHAEOAN COMPLEX

Yury N. Yakovlev, Antonina K. Yakovleva, Paul A. Serov

Geological Institute of the KSC of the RAS

#### Abstract

A new model of the composition of the Archaean part of the SD-3 section (6,84–12,26 km) has been suggested. It includes six differently oriented blocks, with the top five being as thick as 500–1200 m, and the sixth one being stripped only in its top for 11,70–12,26 km. Two varieties of gneisses have been characterized. They comprise about 60 % of the Archaean section and mostly amphibole rocks, represented by amphibolites and ultrabasic rocks. The former are composed of biotite-plagioclase-hornblende rocks with admixed garnet, quartz, cummingtonite and other minerals; the latter comprise talc-flogopite-actinolite rocks, sometimes with anthophyllite and cummingtonite. The ore-bearing capacity of the rock groups has been estimated. Two trends of the neodymium evolution for gneisses and amphibolites are shown. Data on the amphibolites testify to high heterogeneity of their matter, which corresponds with their mineralogical features.

#### Keywords:

*Kola Superdeep Borehole, Archaean gneisses, amphibolites, ultrabasic rocks, Sm-Nd model age.*

#### Введение

Кольская сверхглубокая скважина (СГ-3) вскрыла большую часть разреза Печенгской протерозойской структуры (0–6842 м) и значительный интервал подстилающего архейского комплекса (6842–12262 м). Расчленение разреза протерозойского комплекса большинством

---

\* Работа выполнена в рамках темы госзадания № 0231-2015-0005.

исследователей рассматривается практически однозначно: в нем выделяются те же свиты вулканогенных и осадочных пород, что и на поверхности структуры, за исключением самых верхних свит, которые не вошли в разрез СГ-3 из-за ее расположения [1–3].

Иначе обстоит дело с расчленением архейской части разреза. Первоначально в ней выделялись семь чередующихся свит гнейсов с высокоглиноземистыми (кианит, силлиманит и др.) и гнейсов с высококальциевыми (амфибол, эпидот и др.) минералами [1]. Но уже в 1991 г. архейская часть разреза была разделена на десять тех же чередующихся толщ гнейсов, образующих пять ритмов [2], что отражено в монографии [3].

По породам архейского комплекса были пройдены четыре ствола СГ-3 из-за аварийных ситуаций, возникавших в процессе бурения. Их проекции на вертикальную плоскость показаны на рис. 1. В целом все стволы СГ-3 ограничивают участок архейского комплекса в виде четырехгранной пирамиды с вершинами на отметках 7,2–7,4 и 9,6–9,8 км и основаниями на отметках 11,9–12,2 км.

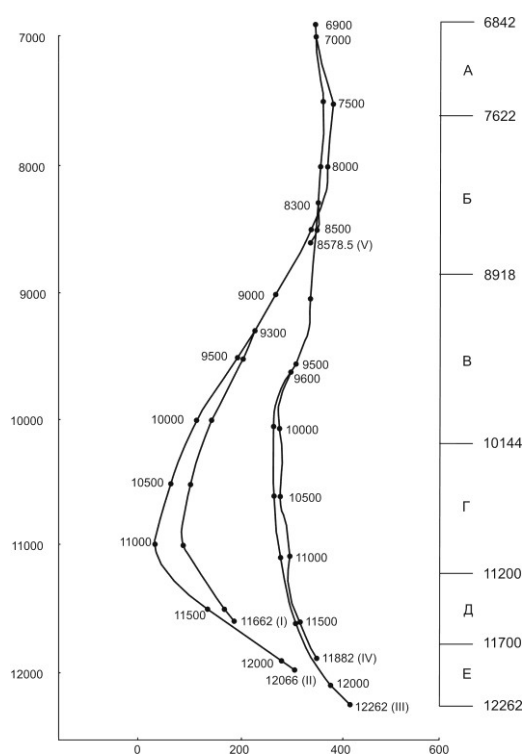


Рис. 1. Проекция основных стволов СГ-3 на вертикальную плоскость (по материалам научно-производственного центра «Кольская сверхглубокая»), азимут 90–270°, А–Е — блоки пород

### Новые данные о расчленении архейской части разреза СГ-3

Существующее расчленение архейского комплекса [1, 2], по мнению авторов настоящей статьи, имеет ряд серьезных недостатков, главными из которых являются следующие:

а) принятые подразделения, или толщи, обладают несопоставимой мощностью, варьирующей от 1800 до 117 м: первая, вторая, четвертая, восьмая и десятая имеют соответственно 780, 1834, 671, 810 и 550 м, а третья, пятая, шестая, седьмая и девятая — всего 117, 134, 170, 153 и 297 м. Кроме того, во второй и восьмой толщах, сложенных гнейсами с высококальциевыми минералами, присутствуют интервалы гнейсов с высокоглиноземистыми минералами, мощность которых составляет 80–230 м, а более мелкие (20–30 м) прослои разнородных гнейсов наблюдаются во всех толщах;

б) не учитывается содержание амфиболитов, количество которых на отдельных участках разреза варьирует от 12–15 до 60–80 % их мощности, составляя в среднем по разрезу около 30 %;

в) не принимаются во внимание элементы залегания пород, о чем можно судить по проекциям траектории стволов [4] (рис. 1), на что указывает Ф. Ф. Горбацевич [3, гл. 10].

К сожалению, истинное положение четвертого ствола СГ-3 (т. е. зенитный угол и азимут) измерено только до глубины 11 500 м [5], поэтому его окончание на рис. 1 показано условно. Примечательно, что проекции третьего и четвертого стволов СГ-3, проходившихся с постоянными приемами их стабилизации, принципиально сходны с таковыми первого и второго стволов, но имеют значительно меньшее отклонение от вертикали [4]. Очевидно, что все это свидетельствует о неоднородном, вернее, блоковом строении архейского комплекса разреза.

Как известно, при проходке 1-го и 2-го стволов СГ-3 технические приемы их стабилизации почти не применялись [1], поэтому при разбурировании протерозойского комплекса разреза (0,0–6,8 км) ствол скважины отклонялся в северо-восточном направлении, т. е. по нормали к господствующему залеганию пород (согласно принципу Ж. Кюри [6]). В архейском комплексе ствол скважины неоднократно отклонялся от вертикали, о чем свидетельствуют его проекции на горизонтальную плоскость [4]. Так, проекции 1-го и 2-го стволов имеют почти прямоугольный контур, вытянутый в северо-западном направлении с размерами примерно 460×200 м, характерно, что проекции 4-го и 5-го стволов, проходившихся с постоянными приемами стабилизации, очень сходны с таковыми двух первых стволов, но имеют значительно меньшие размеры.

Во всех предыдущих работах по СГ-3 практически всеми исследователями архейской части ее разреза отмечалось своеобразное строение самой нижней толщи ниже глубины 11 708 м («диоритовый» слой В. С. Ланева, амфиболит-тоналит-плагиогранитный комплекс (АТПК) В. Р. Ветрина, рудная минерализация Ю. Н. Яковлева и Ю. Н. Нерадовского, изменение упругих характеристик пород Ф. Ф. Горбацевича и др. [3]). Поэтому сейчас авторы статьи пришли к выводу о том, что эту часть разреза (11 708–12 262 м) по 3-му стволу следует выделить в качестве самостоятельного интервала, нижняя граница которого осталась неустановленной. Точная ее проекция на горизонтальную плоскость также не определена, так как полный комплекс измерений траектории проведен только по 1-му стволу до глубины 11 500 м, а далее кавернозность и зенитный угол измерялись по 2- и 3-му стволам. Оба эти параметра в нижней части оказались очень высокими: размеры каверн составили 220–260 × 410–470 мм, а зенитный угол — 8°30'–11°30' [7].

Таким образом, архейский комплекс разреза СГ-3, по нашим, данным состоит из шести блоков (А-Е) (табл. 1). Характеристика первых четырех из них остается прежней [7], пятый блок имеет мощность 500 м, шестой — 562 м (табл. 1). Пятый блок характеризуется отклонением 2-го и 3-го стволов к юго-востоку, преобладающие породы — гнейсы с высококальциевыми минералами, маломощные пласты железистых кварцитов и различных существенно амфиболовых пород (в том числе и апогипербазитовых). Шестой блок сложен комплексом пород АТПК, включающим гранитоиды, биотит-плагиоклазовые гнейсы, амфиболиты различного состава, формационная принадлежность которых не определена.

В совокупности блоки архейского комплекса образуют две пары: с одной стороны, блоки А и Г, с другой — блоки В и Д. Простираение пород в каждой паре блоков примерно одинаковое, а падение — противоположное. Так, в первой паре блоков простираение пород СЗ-ЮВ, а падение в первом блоке (А) на ЮЗ, в четвертом (Г) — на СВ. Но в первом блоке простираение и падение пород невыдержанные, что связано, вероятно, с неоднородным его строением и нахождением на контакте двух комплексов. В третьем и пятом блоках (В и Д) простираение пород близко

к СВ — субмеридиональному, а падение в третьем блоке ЮВ, в пятом — СЗ (табл. 2). Что же касается второго блока, то он имеет элементы залегания пород, промежуточные между I и III блоками, т. е. простирание пород СВ-ЮЗ, а падение — ЮВ [7]. Своеобразное положение имеет четвертый блок (Г), включающий 5–7-ю и часть 8-й толщи прежнего разделения архейского комплекса [2]: он повернут более чем на 90° по отношению к выше- и нижележащему блокам (В и Д). Элементы залегания пород в нем таковы: простирание ЮВ 110–120°, падение СВ 30–40° (табл. 2).

Таблица 1

Расчленение архейского комплекса в разрезе СГ-3

Ритм	Элемент	Толща	Интервал/ мощность	Блок	Интервал/ мощность	Содержание амфиболитов в блоках, %
I	1	1	6842–7622/780	А (I)	6842–7622/780	12–15
	2	2	7622–9456/1834			
II	1	3	9456–9573/117	Б (II)	7622–8918/1296	25–30
	2	4	9573–10144/671			
III	1	5	10144–10278/134	В (III)	8918–10144/1226	40–42
	2	6	10278–10448/170			
VI	1	7	10448–10601/151	Г (IV)	10144–11200/1056	20–25
	2	8	10601–11411/810			
V	1	9	11411–11708/297	Д (V)	11200–11700/500	35–37
	2	10	11708–12262/554	Е (VI)	11700–12262/562	?

Примечание. Столбцы 1–4 — по [2], 5–7 — настоящая работа.

Таблица 2

Параметры блоков архейской части разреза СГ-3

Блок	Глубина, м	Простирание пород, град.	Падение пород, град
А (I)	6842–7622	ЮВ 120–135	ЮЗ 185–195
Б(II)	7622–8918	СВ 60–70	ЮВ 100–110
В(III)	8918–10144	СВ 35–45	ЮВ 110–130
Г (IV)	10144–11200	ЮВ 110–120	СВ 30–40
Д (V)	11200–11700	СВ 30–40	СЗ 310–315
Е (VI)	11700–12262	?	?

Косвенным свидетельством в пользу нового расчленения архейской части разреза служат ранее известные факты, а именно:

- 1) наличие двух максимумов отношения  $^3\text{He}/^4\text{He}$ , соответствующих второму и четвертому блокам;
- 2) наличие зон накопления Au и Ag, а также U в четвертом блоке;
- 3) повышенные концентрации Ni и Co в пирите и пирротине из Cu-Ni-руднения в апогипербазитах второго блока;
- 4) особенности параметров упругой анизотропии пород четвертого блока, свидетельствующие о тектонической природе его границ.

Примечательно, что все эти факты изложены в последней монографии о СГ-3 [3, гл. 2, 4, 10], но там они не нашли своего объяснения.

### Основные особенности состава пород архейского комплекса СГ-3

В архейской части разреза СГ-3 (6,84–12,26 км) преобладают гнейсы и мигматиты по ним (60–63 %), значительно меньшую долю составляют амфиболиты различного состава (30–32 %), гипербазиты (1–2 %), а также пегматиты и гранитоиды (не более 1–3 %) [1–3]. В большинстве работ гнейсы и амфиболиты разделяются на несколько разновидностей по минеральному и химическому составу. В начале исследований разреза архейского комплекса мы выделяли около десятка разновидностей амфиболовых пород по их минеральному составу, но вскоре пришли к выводу об излишне детальном их расчленении, так как многие разновидности, являясь фациальными или жильными, слабо распространены в разрезе [2, 4]. В настоящее время существенно амфиболовые породы (апобазитовые) мы разделяем на три группы: биотит-плагиоклаз-, гранат-клинопироксен- и клинопироксен-куммингтонит-роговообманковые. Первые преобладают, составляя до 15–20 % мощности архейского комплекса, и распространены по всему разрезу, но в основном в верхних частях блоков Б-Г. Обладают неотчетливой слоистостью, невыдержанным минеральным составом: часто встречаются эпидот, гранат (табл. 3). Структура гранобластовая и гранонематобластовая, текстура линейно-сланцеватая и гнейсовидная; на контактах слоев часто наблюдаются явления катаклаза и рассланцевания, здесь обычно увеличивается содержание биотита. Содержание рудных минералов обычно невелико (1–2 %); они представлены пирротином и халькопиритом, которые часто замещаются пиритом и магнетитом [2].

Таблица 3

Минеральный состав амфиболовых пород архейского комплекса СГ-3

Минеральный состав	Амфиболиты	Гипербазиты	Минеральный состав	Амфиболиты	Гипербазиты
Роговая обманка	20–60	–	Биотит	1–20	–
Актинолит	ед. зн. — 5	10–70	Флогопит	–	5–30
Куммингтонит	0–20	1–20	Тальк	–	3–15
Антофиллит	ед. зн.	5–30	Эпидот	ед. зн. — 1	–
Плагиоклаз	10–40	–	Сфен	ед. зн. — 5	–
Кварц	0–10	–	Магнетит	ед. зн. — 5	ед. зн. — 2
Клинопироксен	0–10	–	Ильменит	ед. зн. — 10	ед. зн. — 1
Гранат	ед. зн. — 10	–	Сульфиды	ед. зн. — 2	ед. зн. — 7

Амфиболиты второй группы составляют 7–10 % мощности разреза архейского комплекса и по содержанию рудных минералов разделяются на две разновидности. Первая, наиболее распространенная, образует тела мощностью до 50–60 м с резкими секущими контактами с вмещающими гнейсами. Текстура обычно массивная, структуры — от реликтовых габбро-до бластоофитовых. Рудная минерализация оксидно-сульфидная (1–3 %): пирротин, пирит, халькопирит, иногда встречается борнит и в виде единичных зерен — пентландит; среди оксидов чаще встречается ильменит и иногда магнетит. Вторая разновидность представлена одним телом в третьем блоке (интервал 8 712–8 737 м), содержащим повышенное количество оксидов (5–7 % магнетита и 7–10 % ильменита) и небольшое (3–5 %) — сульфидов (пирротина и халькопирита).

Клинопироксен-куммингтонитовые разновидности распространены в верхних частях архейского комплекса разреза, составляя 2–3 % его мощности. В пятом блоке (Д) они часто мигматизированы, содержат жилы гранитных пегматитов. Содержание рудных минералов обычно невелико — 1–3 %, представлены пирротинном, халькопиритом, иногда замещающими их магнетитом и ильменитом.

Тальк-флогопит-антофиллит-актинолитовыми образованиями, часто зональными, представлены апогипербазиты. Подавляющая их часть сосредоточена в верхней половине разреза, где мощность составляет от 1–2 до 15–18 м; ниже встречаются значительно реже, их мощность там составляет 3–5 м, они часто пересечены жилами гранитных пегматитов. Текстуры пород — сноповидные, радиально-лучистые, структуры — лепидонематобластовые, птигматитовые. Рудная минерализация разнообразная, син- и эпигенетическая, оксидно-сульфидная (1–3, иногда до 7 %). Сульфиды включают: пирротин, пентландит, халькопирит; встречаются и многие редкие минералы (зигенит, миллерит, борнит, галенит, сфалерит, аргентопентландит и др.), магнетит и ильменит (табл. 3). По строению тел и рудоносности эти породы из СГ-3 близки гипербазитовым массивам северного обрамления Печенгской структуры и некоторым телам Аллареченского района (уч. Акким, Хихна и др.). Из всех амфиболовых пород архейского комплекса СГ-3 тальк-флогопит-антофиллит-актинолитовые отличаются наиболее высокой магнезиальностью (более 70 %), низкой титанистостью и низкой глиноземистостью, благодаря чему на всех диаграммах образуют компактные поля, изолированные от других групп пород [2].

Результаты химического анализа (табл. 4) показывают, что амфиболиты по сравнению с гнейсами обладают несколько пониженными содержаниями некоторых элементов, но повышенными Ni, Co, Cr, V. Гипербазиты отличаются низкими содержаниями Sr, Zn, Nb, Th, U и резко повышенными Ni, Cr, отчасти Co.

В целом четкой зависимости содержания элементов от типа амфиболовых пород (за исключением гипербазитов), как это имеет место для гнейсов, в разрезе СГ-3 не наблюдается. Поэтому можно сказать о том, что по содержанию всех элементов в разрезе СГ-3 выделяется только две группы преимущественно амфиболовых пород — собственно амфиболиты и гипербазиты.

### **Изотопно-геохронологические (возрастные U-Pb, модельные Sm-Nd) характеристики пород архейской части разреза СГ-3**

#### ***Геохронологическая изученность***

Определение возраста архейских пород разреза СГ-3 проводилось неоднократно различными исследователями [3, 8, 9]. Наиболее древний U-Pb-возраст установлен Е. Бибиковой в 1993 г. для гнейсов третьего блока (или 4-й толщи прежнего разделения разреза) — он составил  $2933 \pm 54$  млн лет [8]. Многочисленные определения возраста гнейсов нижней части разреза (глубже 11 км) выполнены В. Р. Ветриным с соавторами [3]. Согласно этим данным, максимальный возраст гнейсов составил 2,80–2,83 млрд лет.

В последние годы детальное изучение возраста архейских пород разреза СГ-3, а также Печенгской структуры и ее обрамления, проводилось в лаборатории геохронологии и геохимии изотопов ГИ КНЦ РАН под руководством Т. Б. Баяновой, основные результаты которого опубликованы в 2007 г. [9]. Согласно полученным данным, U-Pb- и Pb-Pb-возрасты гнейсов архейской части разреза СГ-3 находятся в диапазоне 2,56–2,81 млрд лет, а для амфиболитов получены U-Pb-возраста, близкие 2,7 млрд лет.

Таблица 4

Химический состав пород архейского комплекса СГ-3

Компонент	Номер пробы																					
	Гнейсы										Амфиболиты										Гипербазиты	
	СГ/41	СГ/31	СГ/33	СГ/16	СГ/13	СГ/14	СГ/14	СГ/34	СГ/33	СГ/21	СГ/15	СГ/18	СГ/17	СГ/12	СГ/39	СГ/38	СГ/36	СГ/40	СГ/36а	СГ/27		
SiO <sub>2</sub>	62,40	54,63	51,83	51,0	51,36	55,87	48,19	55,36	52,29	49,09	47,31	47,90	50,82	48,34	48,54	46,88	49,32	52,68	53,69			
TiO <sub>2</sub>	0,62	1,56	2,24	0,32	0,51	1,29	0,87	0,86	1,85	1,83	3,64	2,85	1,62	1,41	2,58	1,98	0,30	0,21	0,25			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,62	13,25	12,75	17,71	17,16	13,40	7,98	14,58	13,71	13,54	8,74	8,72	13,69	14,65	12,50	6,75	6,60	3,50	5,59			
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,97	2,73	1,96	1,64	2,09	2,74	1,97	1,69	2,07	4,38	3,34	2,92	3,45	2,77	5,51	3,30	2,03	1,87	1,50			
FeO	5,42	11,88	12,38	6,68	7,71	9,47	9,91	8,24	9,45	10,28	11,87	11,36	9,56	10,46	10,12	10,92	7,28	9,96	6,43			
MgO	0,12	0,32	0,22	0,16	0,17	0,19	0,19	0,16	0,23	0,23	0,20	0,27	0,23	0,22	0,24	0,21	0,18	0,23	0,17			
MnO	3,46	4,22	5,27	7,78	7,42	4,52	17,31	6,25	5,81	5,78	9,51	10,29	5,83	5,43	4,03	17,75	20,44	23,78	21,00			
CaO	5,88	5,82	9,49	9,05	8,60	7,35	6,98	5,91	9,10	9,84	9,53	9,57	8,69	9,90	8,79	6,02	6,82	2,78	4,37			
Na <sub>2</sub> O	3,85	0,78	0,72	1,97	1,93	1,83	0,41	1,26	2,46	1,88	1,67	0,68	2,19	1,94	1,74	0,49	0,21	0,23	0,26			
K <sub>2</sub> O	1,18	1,86	0,45	0,49	1,03	0,81	2,55	2,24	1,17	0,45	0,75	1,61	1,01	1,13	1,48	2,74	3,67	1,37	2,03			
H <sub>2</sub> O	0,08	0,06	0,04	0,02	0,08	0,04	0,14	0,10	0,08	0,06	0,04	0,10	0,02	0,14	0,10	0,10	0,21	0,12	0,13			
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1,20	1,54	1,47	1,29	0,86	1,16	2,41	1,88	1,46	1,46	1,78	2,26	0,51	1,88	2,30	1,17	2,02	2,58	3,37			
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,06	0,21	0,16	0,07	0,10	0,18	0,08	0,41	0,15	0,12	0,26	0,23	0,16	0,10	0,27	0,17	0,06	0,00	0,03			
S <sub>общ</sub>	<0,01	0,10	0,06	0,05	0,02	0,09	0,01	0,04	0,01	0,12	0,16	0,11	0,06	<0,01	0,17	0,24	0,06	0,25	0,06			
F	0,08	0,070	0,062	0,016	0,025	0,055	0,110	0,310	0,068	0,037	0,082	0,130	0,053	0,015	0,089	0,057	0,130	0,034	0,110			
Cl	0,02	0,005	0,030	0,009	0,020	0,037	0,021	0,022	0,004	0,018	0,009	0,008	0,012	0,019	0,050	0,004	0,012	0,004	0,007			
Ni	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	0,01	0,11	0,01	0,01	<0,01	0,03	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	0,10	0,12	0,12			
Co	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,01			
Cu	<0,01	0,02	0,02	<0,01	0,01	0,01	0,012	0,01	0,02	0,016	0,02	0,019	0,019	0,022	0,032	0,027	0,012	0,01	0,00			
Zn	0,01	<0,01	0,01	0,01	0,011	0,013	0,021	0,014	0,01	0,015	0,015	0,02	0,015	0,015	0,016	0,016	0,015	0,015	0,01			
Li <sub>2</sub> O	0,006	0,010	0,001	0,0025	0,0037	0,0025	0,0110	0,032	0,0041	0,0014	0,0036	0,0033	0,0040	0,0033	0,013	0,0082	0,0049	0,0059	0,0036			
Rb <sub>2</sub> O	0,007	0,011	0,0007	0,0020	0,0057	0,0031	0,019	0,025	0,0044	0,0010	0,0036	0,0087	0,0042	0,0047	0,0070	0,015	0,015	0,0080	0,0079			
CO <sub>2</sub>	—	0,19	0,10	0,15	0,20	0,35	0,39	0,27	0,11	0,09	0,30	0,00	1,28	0,00	0,77	0,24	0,09	0,09	0,14			
StrO	0,18	0,28	0,27	0,32	0,30	0,33	0,18	0,18	0,30	0,28	0,31	0,29	0,30	0,17	0,19	0,16	0,22	0,17	0,26			
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,11	<0,05	0,007	0,018	0,018	<0,005	0,28	0,006	0,018	0,017	0,11	0,16	0,019	0,015	0,010	0,23	0,28	0,34	0,21			
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	<0,008	0,071	0,049	<0,025	0,028	0,000	<0,025	0,037	0,053	0,080	0,063	0,072	0,052	0,057	0,055	0,035	0,025	<0,025	0,042			
Сумма	99,67	100,02	99,59	99,56	99,67	99,81	99,69	99,90	100,24	99,61	99,75	99,62	99,60	99,69	99,60	99,62	100,08	100,19	99,70			

**Аналитические методы**

Измерения изотопного состава неодима и концентраций Sm и Nd проводились на 7-канальном твердофазном масс-спектрометре Finnigan-MAT 262 (RPQ) в статическом двухленточном режиме с использованием рениевых и танталовых лент [10]. Погрешность изотопного состава неодима в стандарте La Jolla, равная  $0,511851 \pm 17$  ( $N = 20$ ), за период измерений не превышала 0,004 % ( $2\sigma$ ), а в индивидуальном анализе — до 0,006 %. Ошибка в  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ -отношениях составляет 0,3 % ( $2\sigma$ ). Холостое внутрилабораторное загрязнение по Nd равно 0,3 нг, по Sm — 0,06 нг. Изотопные отношения были нормализованы по отношению  $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,7219$ , а затем пересчитаны на принятое отношение  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  в стандарте La Jolla = 0,511860. При расчете величин  $\epsilon_{\text{Nd}}(T)$  и модельных возрастов  $T_{(\text{DM})}$  использованы современные значения CHUR по [11] ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,512638$ ,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,1967$ ) и DM по [12] ( $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0,513151$ ,  $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd} = 0,2136$ ).

**Результаты Sm-Nd-исследований**

По разрезу архейского комплекса СГ-3 было исследовано 15 проб гнейсов, 17 проб амфиболитов различного состава и 1 проба гипербазитов из наиболее крупного блока (табл. 5). Этими пробами охарактеризован весь разрез архейского комплекса до глубины 12 198 м. Максимальный модельный Sm-Nd-возраст для гнейсов первого типа составляет 2 880–2 937 млн лет, второго типа — 2893–3002 млн лет, для амфиболитов — 2894–2938 млн лет, для гипербазитов — 3148 млн лет.

Таблица 5

Изотопные Sm-Nd данные для гнейсов, амфиболитов и гипербазитов разреза СГ-3

Образец	Глубина, м	Содержание, мкг/г		Изотопные отношения		U-Pb-возраст, млн лет [9]	$\epsilon_{\text{Nd}}(T)$	$T_{(\text{DM})}$ , млн лет	Блок
		Sm	Nd	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Гнейсы									
СГ-3/1	8969-8989	2,480	18,430	0,0813	0,510965±12	1900	-4,5	2382	А
СГ-3/3	9480-9509	3,520	20,700	0,1028	0,510942±8	2600	-1,7	2890	В
СГ-3/5	10148-10150	3,880	22,800	0,1026	0,510942±26	2500	-2,8	2885	В
СГ-3/7	10477-10494	3,300	18,810	0,1060	0,511019±11	2570	-1,6	2866	Г
СГ-3/9 <sup>а</sup>	11413-11416	1,090	5,860	0,1126	0,511099±9	2400	-4,1	2937	Д
СГ-3/9 <sup>б</sup>	11562-11568	3,840	22,90	0,1014	0,510932±28	2400	-3,9	2866	Д
СГ-3/2 <sup>а</sup>	8008-8009	2,660	18,340	0,0859	0,510618±22	2705	-0,2	2893	Б
СГ-3/2 <sup>б</sup>	8230,4	1,360	7,870	0,1043	0,510938±15	2705	-1,1	2938	Б
СГ-3/2 <sup>в</sup>	9013	0,510	2,950	0,1039	0,511020±9	2705	+0,7	2809	В
СГ-3/4	10002-10007	1,420	9,110	0,0943	0,510778±13	2750	0,0	2893	В
СГ-3/6	10287-10290	1,960	13,500	0,0873	0,510560±18	2724	-2,2	3002	Г
СГ-3/8 <sup>а</sup>	10615-10620	1,930	11,060	0,1064	0,510952±10	2550	-3,3	2982	Г
СГ-3/8 <sup>б</sup>	10939-10945	0,880	5,170	0,1026	0,510894±8	2550	-3,2	2952	Г
СГ-3/10 <sup>а</sup>	11916-11917	1,670	13,130	0,0768	0,510445±18	2766	+0,1	2891	Д
СГ-3/10 <sup>б</sup>	12180-12193	13,300	92,600	0,0868	0,510369±24	2766	-5,2	2887	Е



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Амфиболиты									
СГ-19	6950-6956	4,260	19,440	0,1327	0,511807±9	1900	-0,6	2315	А
СГ-20	7499-7529	3,090	15,450	0,1210	0,511399±11	1900	-5,7	2703	А
СГ-15	7638-7656	4,850	19,420	0,1529	0,512015±5	2814	+3,7	2499	Б
СГ-16	7957-7967	1,230	6,530	0,1139	0,511152±14	2814	+0,9	2894	Б
СГ-13	8440-8452	1,260	5,910	0,1294	0,511554±8	2814	+3,1	2702	Б
СГ-11	8755-8767	3,760	18,640	0,1220	0,511453±5	2814	+1,9	2648	В
СГ-26	8864-8881	3,270	12,280	0,1609	0,512133±3	2814	+2,2	2631	В
СГ-21	9133-9145	4,160	18,950	0,1327	0,511743±16	2814	+4,0	2440	В
СГ-22	9167-9174	2,710	11,170	0,1465	0,511968±6	2814	+3,8	2431	В
СГ-17	9265-9271	6,550	30,600	0,1295	0,511793±5	2370	-1,3	2250	В
СГ-18	9524-9535	7,720	36,100	0,1293	0,511759±6	2700	-1,9	2307	В
СГ-12	10098-10120	4,400	21,300	0,1253	0,511630±3	2700	-2,8	2434	Г
СГ-24	11323-11337	2,920	12,430	0,1418	0,511893±6	2500	+3,1	2432	Г
СГ-23	11337-11351	2,660	12,740	0,1263	0,511444±7	2490	-0,7	2793	Д
СГ-28	11424-11433	5,510	23,400	0,1425	0,511883±11	2490	-1,9	2477	Д
СГ-14	11474-11499	4,460	21,200	0,1272	0,511385±7	2737	-0,3	2938	Д
СГ-25	11708-11752	5,830	27,400	0,1284	0,511688±12	2771	-2,4	2414	Е
Гипербазиты									
СГ-27	8021-8035	1,530	7,060	0,1312	0,511352±11	2814	-1,5	3148	Б

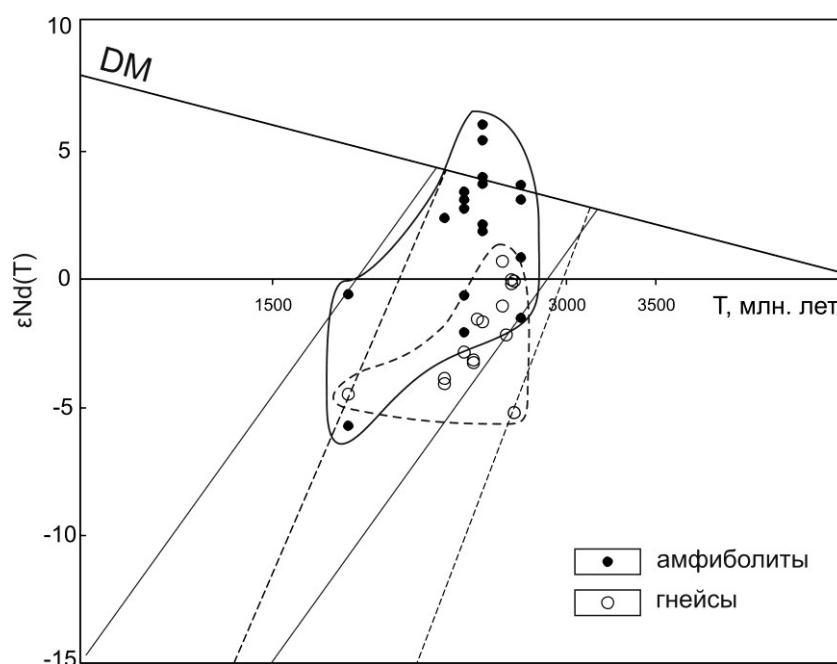


Рис. 2. Диаграмма  $\epsilon Nd-T$  для амфиболитов и гнейсов архейской части разреза СГ-3

Анализ диаграммы  $\epsilon Nd-T$  показывает (рис. 2), что амфиболиты и гнейсы СГ-3 образуют две перекрывающиеся области изотопного состава неодама. При этом величины  $\epsilon Nd(T)$  для гнейсов образуют более компактное облако и варьируют от +0,7 до -5,2. Это может свидетельствовать о большей гетерогенности вещества амфиболитов СГ-3 в результате метаморфической переработки. Однако диапазон модельных возрастных характеристик

для амфиболитов и гипербазитов значительно шире (2,0–3,1 млрд лет), и не исключено, что амфиболиты с модельным возрастом менее 2,7 млрд лет относятся к дайковым образованиям, о чем свидетельствует и более «свежий» облик многих из них.

### Заключение

1. Предложена новая модель строения архейской части разреза СГ-3 (6842–12262 м), включающая шесть различно ориентированных блоков мощностью 500–1200 м. Блоки первый и четвертый, а также третий и пятый попарно имеют близкое простирание пород, но отличаются их противоположным падением. Параметры шестого блока не определены.

2. Выделены минералогические разновидности амфиболовых пород, слагающих более 30 % мощности архейского комплекса; показано, что по химическому составу они различаются очень слабо.

3. Гипербазиты разреза существенно различаются от амфиболитов как по минеральному, так и по химическому составам.

4. Показаны различные тренды эволюции изотопного состава неодима для гнейсов и амфиболитов, свидетельствующие о большей изотопной неоднородности вещества последних.

Авторы благодарят рецензента за замечания к рукописи, позволившие улучшить структуру статьи, устранить существенные недоработки и тем самым повысить качество представляемого к опубликованию материала.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Козловский Е. А. Кольская сверхглубокая. Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины. М.: Недра, 1984. 373 с. 2. Архейский комплекс в разрезе СГ-3 / ред. Ф. П. Митрофанов. Апатиты, 1991. 186 с. 3. Кольская сверхглубокая. Научные результаты и опыт исследований / Н. П. Лаверов, В. П. Орлов. М., 1998. 257 с. 4. Яковлев Ю. Н., Скуфьин П. К., Чыков О. С. Влияние природных факторов на траекторию и форму стволов Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3) // Вестник Кольского научного центра РАН. 2014. № 3. С. 8–15. 5. Интрузивное тело риодацитовых порфиров в разрезе пород раннепротерозойского Печенгского комплекса Кольской сверхглубокой скважины / Ф. П. Митрофанов [и др.] // ДАН. 2001. Т. 380, № 4. С. 540–544. 6. Шафрановский И. И. Симметрия в природе. Л.: Недра, 1968. 184 с. 7. Геолого-геохронологическое расчленение архейского комплекса в разрезе Кольской сверхглубокой скважины / Ю. Н. Яковлев [и др.] // Общие вопросы расчленения докембрия: материалы III Всерос. совещания. Апатиты, 2000. С. 284–287. 8. Геохронология и корреляция нижней части разреза Кольской сверхглубокой скважины / Е. В. Бибикина [и др.] // ДАН. 1993. Т. 332, № 3. С. 360–363. 9. Изотопные исследования возраста пород архейской части разреза Кольской сверхглубокой скважины, протерозойской Печенгской структуры и ее обрамления / Т. Б. Баянова [и др.] // Отечественная геология. 2007. № 4. С. 23–33. 10. Серов П. А. Возрастные рубежи формирования платинометаллического оруденения Федорово-Панского расслоенного интрузива по Sm-Nd и Rb-Sr изотопным характеристикам: дис. ... канд. геол.-мин. наук. Воронеж, 2008. 130 с.

### Сведения об авторах

Яковлев Юрий Николаевич — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН

Яковлева Антонина Константиновна — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН

Серов Павел Александрович — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Геологического института КНЦ РАН

E-mail: serov@geoksc.apatity.ru

**Author Affiliation**

*Yuri N. Yakovlev*—PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS

*Antonina K. Yakovleva* — PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS

*Paul A. Serov* — PhD (Geology & Mineralogy), Senior Researcher of the Geological Institute of the KSC of the RAS  
E-mail: serov@geoksc.apatity.ru

**Библиографическое описание статьи**

*Яковлев, Ю. Н.* Новые данные о строении и составе архейского комплекса разреза СГ-3 / *Ю. Н. Яковлев, А. К. Яковлева, П. А. Серов* // Вестник Кольского научного центра РАН. — 2017. — № 3 (9) — С. 88–98.

**Reference**

*Yakovlev Yuri. N., Yakovleva Antonina K., Serov Paul A.* New Data on the Structure and Composition of the SD-3 Section Archaean Complex. *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*, 2017, vol. 3 (9), pp. 88–98. (In Russ.).