

## Рудная минерализация пород нижних вулканогенных свит протерозойского комплекса в разрезе СГ-3 и их гомологов в приповерхностной зоне

Ю.Н. Яковлев<sup>1</sup>, П.К. Скуфьин<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Научно-производственный центр "Кольская сверхглубокая", Заполярный

<sup>2</sup> Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты

<sup>3</sup> Апатитский филиал МГТУ

**Аннотация.** Представлены результаты исследования рудной минерализации в породах трех нижних вулканогенных свит протерозойского комплекса в разрезе СГ-3 и в их приповерхностных гомологах, вскрытых структурными скважинами IX и X. Выявлена сульфидная специализация вулканитов маярвинской свиты и подтверждена оксидная пород пирттиярвинской и оршоайвинской свит. Изучено распределение, условия развития и химический состав содержащихся в вулканитах сульфидов и оксидов. Показано, что основные особенности развития, состава и поздние изменения рудных минералов могли быть связаны с проявлением двух факторов. Состав сульфидов в вулканитах маярвинской свиты и оксидов пирттиярвинской и оршоайвинской свит в разрезе СГ-3 определяется "фактором глубины", обусловившим широкое распространение твердых растворов минералов. Интенсивное развитие гематита и преобразование магнетита и ильменита в вулканитах пирттиярвинской и оршоайвинской свит разреза СГ-3 объясняются влиянием регионального Лучломпольского разлома. Во всех главных минералах глубоких горизонтов свит установлены высокие содержания изоморфных примесей: ЭПГ, Se, Ni и Co в сульфидах, V, Ti и Mn – в оксидах, которые раньше не наблюдались в разрезе СГ-3 и в геоблоке в целом.

**Abstract.** The results of the study of ore mineralization in the rocks from the three lower volcanic formations in the SG-3 Proterozoic complex and in their near-surface homologues cut by the structural boreholes IX and X have been presented. Sulfide specialization of volcanites from the Majarvi Fm has been found. Oxide specialization of rocks from the Pirttijarvi and Orshoaiivi Fms has been confirmed. The distribution, evolution conditions and chemical composition of sulfides and oxides from volcanites have been studied. The main features of development, composition and late alterations of ore minerals could be related to two factors. The composition of sulfide from the Majarvi Fm volcanite and oxide from the Pirttijarvi and Orshoaiivi Fms in the SG-3 section is determined by a "depth factor" that caused a widespread occurrence of mineral solid solutions. Intense development of hematite and transformation of magnetite and ilmenite in volcanites of the Pirttijarvi and Orshoaiivi Fms in the SG-3 section are explained by the influence of the regional Luchlompolo fault. High contents of isomorphous admixtures – PGE, Se and Co in sulfides, V, Ti and Mn in oxides that were not observed earlier in the SG-3 section and geoblock as a whole have been established in all major minerals from the formations deep levels.

### 1. Введение

Кольская сверхглубокая скважина (СГ-3), расположенная в Северном крыле Печенгской палеорифтогенной структуры, вскрыла два структурно-вещественных комплекса: зеленокаменный нижнепротерозойский (0-6842 м) и амфиболито-гнейсовый верхнеархейский, являющийся фундаментом Печенгской структуры (6842-12262 м). Нижнепротерозойские породы залегают с угловым и стратиграфическим несогласием на архейском основании. Протерозойский комплекс Северного крыла образует четыре двучленных мегаритма, в основании которых располагаются осадочные свиты (снизу вверх: телевинская, кувернеринийокская, лучломпольская и ждановская), а верхние члены сложены вулканогенными свитами (снизу вверх: маярвинской, пирттиярвинской, оршоайвинской, заполярнинской и матертской).

Рудная минерализация в породах разреза СГ-3 установлена на всем его протяжении и насчитывает около 40 минералов – самородных элементов и интерметаллидов, сульфидов и их аналогов, оксидов и силикатов. Для некоторых главных сульфидов, прослеживающихся по всему разрезу, выявлена зависимость их состава от глубины, а именно: с глубиной в них увеличивается диапазон отношений  $\Sigma \text{Me/S}$  и металлов между собой (Ni/Fe, Cu/Fe), а также существенно повышается их изоморфная емкость в отношении примесей.

Программой проекта МГК-408 предусматривалось изучение пород и минералов из разреза СГ-3 и их гомологов на поверхности (*Homologues...*, 1998). До последнего времени оставалась слабо изученной рудная минерализация пород протерозойского комплекса Печенгской структуры, за исключением сульфидных медно-никелевых руд и вмещающих пород так называемой продуктивной

толщи (ждановской свиты). Поэтому для детального сравнительного исследования рудной минерализации в породах-гомологах были выбраны три нижние вулканогенные свиты – маярвинская, пирттиярвинская и оршоайвинская. Они вскрыты скважиной СГ-3 на глубине 4.8–6.8 км, а в приповерхностной зоне – структурными скважинами IX и X, глубиной 1300 м и 1100 м соответственно, расположенными по восстанию в 8.5–10.5 км к С – С-3 от СГ-3 (*Породы и минералы...*, 1999). Краткие сведения о рудной минерализации в вулканитах этих свит опубликованы ранее (*Яковлев и др.*, 2000; 2002).

Согласно детальному петрографо-минералогическому и петрохимическому исследованию, строение и состав маярвинской, пирттиярвинской и оршоайвинской свит в разрезах скважин СГ-3, X и IX, вполне удовлетворяя понятию гомологичности (*Homologies...*, 1998), отличаются некоторыми деталями.

Так, маярвинская свита в разрезе СГ-3 (интервал 5717.0–6835.0 м) сложена в основном переслаивающимися покровами вулканитов основного состава (метабазальтов и метаандезитов) с более кислыми покровами метаандезитов и метаандезидацитов в средней её части (6360.0–6408.0 м) и двумя силлоподобными телами габбро – в нижней (интервалы 6458.0–6515.0 и 6760.0–6823.0 м). В разрезе скв. X отсутствует горизонт более кислых пород и не вскрыто нижнее тело габбро. Породы свиты в разрезе СГ-3 сильно рассланцованы (до сланцеватых амфиболитов), эпидотизированы, биотитизированы и хлоритизированы, а в разрезе скв. X изменения пород проявлены менее интенсивно.

Пирттиярвинская свита в разрезе СГ-3 (интервал 5160.0–5642.0 м) сложена преобладающими покровами метатрахиандезитов в верхней части разреза и покровами метабазальтов и метамуджиеритов (железистых щелочных базальтов) – в нижней. В оршоайвинской свите (интервал 4884.0–5160.0 м в СГ-3) преобладают покровы несколько более кислых пород – метатрахиандезитов и метатрахидацитов, переслаивающихся с редкими покровами метабазальтов в средней и нижней её частях. Породы оршоайвинской и пирттиярвинской свит сильно рассланцованы, местами окварцованы. В скв. IX среди пород оршоайвинской свиты отсутствует горизонт, сложенный покровами метатрахидацитов (в СГ-3 – интервал 5065.0–5088.0 м), а среди пород пирттиярвинской свиты в СГ-3 нет горизонта базальных пикритовых туфов (мощностью 5 м) и разделяющего свиты горизонта серицит-углеродистых сланцев (мощностью 6 м), присутствующих в разрезе скважины IX. Отсутствие этих горизонтов в разрезе СГ-3 может быть обусловлено недостаточным выходом керна, что подтверждается различными видами каротажа. Так, горизонт серицит-углеродистых сланцев, несмотря на малую мощность, четко фиксируется в СГ-3 на графиках гамма-спектрального каротажа.

## 2. Результаты исследования

Рудная минерализация в породах изученных свит существенно различается: для вулканитов маярвинской свиты характерна сульфидная специализация при ограниченном развитии оксидов, а для пород пирттиярвинской и оршоайвинской свит – оксидная, при подчиненном развитии сульфидов, преимущественно в оршоайвинской свите. Оксидное оруденение в двух нижних свитах отмечалось и ранее – как в приповерхностной зоне (*Предовский и др.*, 1974), так и в разрезе СГ-3 (*Кольская сверхглубокая*, 1984; *Кременецкий, Овчинников*, 1986).

Общий состав рудной минерализации в вулканитах всех изученных свит, приведен в табл. 1.

Как видно из этих данных, наибольшим разнообразием рудных минералов отличаются вулканиты маярвинской свиты, особенно её глубинной части в разрезе СГ-3. Вулканиты пирттиярвинской свиты содержат наименьшее число рудных минералов, особенно в приповерхностной зоне (разрез скв. IX), а вулканиты оршоайвинской свиты по набору рудных минералов близки вулканитам маярвинской свиты. Общими, "сквозными" минералами для пород всех свит являются халькопирит, пирит, борнит и сфалерит среди сульфидов, магнетит, ильменит и гематит – среди оксидов (последний не обнаружен только в разрезе скв. X). Но содержание их существенно различается в связи с разной минералого-геохимической специализацией свит. Только в вулканитах маярвинской свиты встречаются моносulfиды железа и своеобразная Cu-Ni-Co минерализация (пирротин – халькопирит – пирит – зигенит ± миллерит).

Концентрация сульфидов в породах маярвинской свиты варьирует в пределах от е.з. до 10–15 % (объемн.), составляя в среднем 1–3 %; в вулканитах разреза СГ-3 она, как правило, выше, чем в разрезе скв. X (возможно, вследствие того, что скважиной X свита вскрыта не полностью). Повышенное содержание сульфидов наблюдается в метаандезитах, метаандезибазальтах и метабазальтах, в том числе миндалекаменных. Наиболее распространенным среди сульфидов является халькопирит, часто встречается пирит, реже – борнит и моносulfиды железа, остальные редки. Сульфиды образуют мелко- и среднезернистую вкрапленность, реже – мелкие линзовидные и гнездообразные обособления (в кварцевых, кварц-эпидотовых прожилках и метасоматитах). Как правило, вкрапленность моно- и биминеральная, иногда встречаются сростания нескольких минералов. В сульфидно-силикатных прожилках мощность сульфидных обособлений достигает 5–6 мм, в составе их обычно преобладает халькопирит, реже пирит. Оксидная минерализация в породах маярвинской свиты бедна (е.з. – 1 %), иногда несколько более высокое

содержание оксидов (до 2-3 %) наблюдается в разрезе СГ-3 среди метагаббро и метабазальтов, а в разрезе скв. X – в метабазальтах и метаандезибазальтах. Среди оксидов в породах разреза СГ-3 преобладает ильменит, а в породах скв. X – лейкоксен. Оксиды всюду образуют мелкую рассеянную вкрапленность.

Сульфидная минерализация в породах пирттиярвинской и оршоайвинской свит бедна как по числу видов, так и по их общему содержанию: преобладают концентрации *е.з.* – 1 %, повышенное содержание сульфидов (до 2 %) наблюдается в метаандезитах и метатрахиандезитах, реже в метабазальтах оршоайвинской свиты. Среди сульфидов преобладают халькопирит и борнит, остальные встречаются редко. Повсеместно сульфиды представлены мелкой рассеянной вкрапленностью, обычно мономинеральной, иногда наблюдаются сростания из 2-3 минералов.

Распределение оксидов в породах пирттиярвинской и оршоайвинской свит в разрезах СГ-3 и скв. IX весьма сходно: общая их концентрация до 5 % наблюдается повсеместно, а повышенная (до 10-15 %, иногда до 20 %) характерна для метаандезитов, метаандезибазальтов, реже для метабазальтов и метатрахидацитов. Среди оксидов обычно преобладает магнетит, реже ильменит и в некоторых породах – гематит, который шире распространен в вулканитах пирттиярвинской свиты, особенно на глубине (разрез СГ-3). Довольно редко гематит встречается в породах разреза скв. IX; так, в вулканитах оршоайвинской свиты он обнаружен всего один раз. Как правило, оксиды образуют рассеянную и густую вкрапленность, реже – полосовидные и "жгутовидные" обособления, согласные с текстурой пород. Иногда встречаются более крупные (до 3-5 мм) идиоморфные вкрапленники магнетита, таблитчатые индивиды ильменита и чешуйчатые агрегаты гематита (главным образом, в кварцевых прожилках и гнездах).

Ниже в статье приведена краткая характеристика условий развития и особенностей состава распространенных рудных минералов, содержащихся в вулканитах изученных свит. Все анализы минералов выполнены в Геологическом институте КНЦ РАН Е.Э. Савченко на микрозонде MS-46 по стандартным методикам.

Таблица 1. Состав рудной минерализации в вулканитах маярвинской, пирттиярвинской и оршоайвинской свит

№ п/п	Минерал	Маярвинская свита		Пирттиярвинская свита		Оршоайвинская свита	
		СГ-3	скв. X	СГ-3	скв. IX	СГ-3	скв. IX
<i>Сульфиды и их аналоги</i>							
1	Халькопирит	О	О	о	о	о	о
2	Пирит	О	О	о	о	о	о
3	Пирротин	О					о
4	Троилит		о				
5	Канзит (?)		о				
6	Сфалерит	о	о	о	о	о	о
7	Борнит	о	о	о	о	о	о
8	Халькозин	о		о		о	
9	Ковеллин	о				о	
10	Зигенит	о	о			о	
11	Миллерит	о					
12	Кобальтин		о			о	
13	Галенит	о				о	о
14	Молибденит					о	
15	Марказит (?)	о	о				
16	Неопределенный (белый)	о		о			о
17	Неопределенный (голубой)	о					о
<i>Оксиды и силикаты</i>							
18	Магнетит	о	о	О	О	О	О
19	Гематит	о		О	О	о	о
20	Ильменит	О	о	О	о	О	о
21	Рутил	о		о		о	
22	Лейкоксен		о			о	
23	Лимонит	о					
24	Титанит (сфен)	о	о	о	о	о	о
25	Циркон	о					

Примечание: О – главные минералы; о – второстепенные минералы.

Таблица 2. Химический состав (мас. %) сульфидов из вулканитов маярвинской свиты в разрезе СГ-3

№ п/п	Номер образца	Глубина, м	S	Fe	Cu	Ni	Co	ЭПГ	Se, Cd, Bi и др.	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Пирротин моноклинный</i>										
1	20588 <sup>a</sup>	6374.1	39.90	59.93	0.04	0.16	0.34	0.00	0.00	100.37
2	20631	6378.4	39.32	59.32	0.00	0.52	0.12	Pt-0.20	0.00	99.48
3	20709	6403.6	40.39	59.68	0.13	0.38	0.28	0.00	0.00	100.86
4	20727	6408.0	40.36	58.98	0.29	0.34	0.25	Rh-0.09	Se-0.06	100.37
5	20727	>>	40.9	58.5	0.02	0.30	0.24	-	-	99.96
6	20727	>>	41.0	57.6	0.02	0.38	0.25			99.25
<i>Халькопирит</i>										
7	19431	5967.6	35.30	30.34	34.31	0.00	0.00	0.00		99.95
8	19456	5968.7	34.76	30.05	34.58	0.00	0.00	Pd-0.12 Rh-0.11	0.00	99.62
9	19532	6070.8	35.00	30.26	34.68	0.00	0.00	0.00	0.00	99.94
10	19855	6169.6	34.98	30.44	34.60	0.00	0.00	0.00	0.00	100.02
11	19997	6237.2	34.93	30.47	34.65	0.00	0.00	0.00	0.00	100.05
12	20252	6309.1	34.29	30.54	35.10	0.00	0.00	0.00		99.93
13	20486	6352.4	35.0	30.1	34.5	0.00	0.00		Zn-0.20	99.80
14	20588 <sup>a</sup>	6374.1	34.86	30.42	35.04	0.00	0.00	0.00		100.32
15	20631 <sup>a</sup>	6378.4	34.13	30.99	34.77	0.00	0.00	0.00	0.00	99.89
16	20631 <sup>o</sup>	>>	34.49	30.35	34.68	0.00	0.00	0.00	0.00	99.52
17	20638 <sup>a</sup>	6379.6	34.91	30.22	34.51	0.00	0.00	0.00	0.00	99.64
18	20638 <sup>o</sup>	>>	34.66	30.38	34.80	0.00	0.00	0.00	0.00	99.84
19	20683	6395.7	34.84	29.98	34.80	0.00	0.00	0.00		99.62
20	20684	6395.6	34.96	30.43	34.62	0.00	0.00	0.00	0.00	100.01
21	20709	6403.6	35.02	30.03	34.48	0.00	0.00	0.00		99.53
22	20727	6408.0	34.81	30.45	34.60	0.00	0.00	0.00	Se-0.06	99.92
23	20777	6462.0	34.94	30.43	34.55			0.00	0.00	99.92
24	20777	>>	35.0	30.1	34.5					99.6
25	20777	>>	35.00	30.38	34.71	0.00	0.00	0.00	0.00	100.09
26	20838	6490.8	35.00	30.50	34.66	0.00	0.00	0.00	Se-0.08	100.24
27	21081	6536.2	34.75	30.61	34.71	0.00	0.00	0.00	0.00	100.07
28	21081	>>	35.24	30.35	34.60	0.00	0.00	0.00	0.00	100.19
29	22235	6761.6	34.83	30.50	34.49	0.00	0.00	0.00	0.00	99.82
<i>Борнит</i>										
30	20777 <sup>a</sup>	6462.0	26.89	11.98	60.29	Сл.	Сл.			99.16
31	20777 <sup>o</sup>	>>	26.17	12.09	61.92	0.00	0.04	0.00	0.00	100.22
32	22235	6761.6	25.18	10.94	63.24			Pd-0.15	0.00	99.51
<i>Пирит</i>										
33	19431	5967.6	54.18	45.04	0.16	0.41	0.40	0.00		100.19
34	19456	5968.7	53.06	42.25	0.30	4.16	0.25	0.00	0.00	100.02
35	19855	6169.6	53.19	47.05	0.06	0.00	0.12	0.00	0.00	100.42
36	19997	6237.2	52.97	45.65	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	99.58
37	20252 <sup>a</sup>	6309.1	53.25	46.02	0.13	0.00	0.00	0.00		99.40
38	20252 <sup>o</sup>	>>	53.14	46.22	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	99.52
39	20489	6352.6	53.34	47.48	0.00	0.00	0.04	0.00		100.86
40	20501	6354.2	53.22	46.53	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	99.78
41	20588 <sup>a</sup>	6374.1	53.81	40.91	0.00	0.00	6.20	0.00		100.92
42	20588 <sup>o</sup>	>>	53.71	46.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.37
43	20631	6378.4	52.82	45.87	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	98.84
44	20638 <sup>a</sup>	6379.6	54.38	31.14	0.22	0.30	14.69	0.00	0.00	100.73
45	20638 <sup>o</sup>	>>	53.11	46.70	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	99.88
46	20709 <sup>a</sup>	6403.6	54.35	45.50	0.11	0.00	0.98	0.00		100.94
47	20709 <sup>o</sup>	>>	54.82	44.53	0.05	0.00	0.12	0.00		99.52
48	21081 <sup>a</sup>	6536.2	53.38	35.94	0.12	0.30	10.46		0.00	100.20
49	21081 <sup>o</sup>	>>	53.48	46.53	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	100.05
<i>Зигенит</i>										
50	20486	6352.4	41.06	0.90	0.80	27.25	29.75			99.76
51	20631 <sup>a</sup>	6378.4	42.06	2.00	0.30	22.17	33.52	0.00	0.00	100.05

Продолжение таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Зигенит</i>										
52	20631 <sup>o</sup>	>>	42.33	7.52	0.50	21.96	27.52	0.00	0.00	99.83
53	20638 <sup>a</sup>	6379.6	42.46	1.53	1.02	19.93	35.28	0.00	0.00	100.22
54	20638 <sup>o</sup>	>>	42.17	1.51	0.89	19.71	36.90	0.00	0.00	100.18
55	20684	6395.6	41.97	3.00	0.00	26.19	29.07			100.23
56	20727 <sup>a</sup>	6408.0	41.58	4.23	0.19	19.57	34.30			99.87
57	20727 <sup>o</sup>	>>	42.12	5.07	0.07	18.07	34.15			99.48
58	20777	6462.0	41.79	0.35	1.67	31.55	24.58	0.00	Se-0.25	100.19
59	20838	6490.8	43.24	0.32	3.22	18.44	34.23	0.00	Se-0.09	99.54
<i>Сфалерит</i>										
60	20486	6352.35	34.16	5.16	0.00	Zn-62.40			Cd-0.03 Pb-0.22	10 1.98
61	20631	6378.4	32.53	5.49	0.91	Zn-60.62	0.10	0.00	Cd-0.11	99.76
62	20638	6379.6	33.20	3.11	0.10	0.08	0.20	Zn-3.61	0.00	99.30
63	21081 <sup>o</sup>	6536.2	33.37	4.56	1.57	Zn-60.70	0.15	0.00	0.00	100.35
64	21081 <sup>o</sup>	>>	32.38	1.72	1.68	Zn-63.97	0.22	0.00	0.00	99.97
<i>Миллерит</i>										
65	20683	6395.7	35.58	0.94	0.28	63.01	0.22	0.00		100.03
<i>Галенит</i>										
66	20486	6352.35	13.41	Pb- 84.97	0.00	Zn-0.25			Bi-0.63 Ag-0.44	99.70

Примечания: 1. Здесь и далее пропуск в колонке означает, что компонент не определялся.

2. Cd определялся во всех образцах, но был обнаружен только в двух образцах сфалерита.

### 3. Сульфиды и их аналоги

**Халькопирит** развит во всех разрезах свит. Как правило, образует самостоятельную вкрапленность, в том числе в виде сростков с другими минералами; реже встречается в качестве включений в пирротине, пирите, иногда в борните; в последнем иногда наблюдаются овальные, линзовидные и пластинчатые выделения халькопирита, являющиеся продуктами распада халькопирит-борнитового твердого раствора. Размеры зёрен и агрегатов халькопирита обычно составляют 0.1-0.5 мм, но в редких сульфидных прожилках они достигают 2-5 мм.

В вулканитах маярвинской свиты для халькопирита характерно более интенсивное развитие на участках дробления, окварцевания и эпидотизации пород, чаще всего он ассоциирует с пиритом, который в основном является более поздним и замещает халькопирит. Реже образует сростания с другими сульфидными (моносulfидными железа, сфалеритом, зигенитом, миллеритом), а также с оксидами, которые, как правило, являются более ранними, но поздний магнетит нередко замещает и халькопирит, и пирит.

В вулканитах пиритярвинской свиты халькопирит встречается редко, главным образом, в нижней её части в метамуджиритах и в верхней – в метатрахиандезитах и метатрахидацитах. В оршоайвинской свите он развит значительно шире, преимущественно в верхней и средней её частях, на участках тонкого чередования метатрахиандезитов, метатрахидацитов и metabазальтов. В вулканитах обеих свит он ассоциирует обычно с борнитом, иногда с халькозином и ковеллином, а также с широко распространёнными здесь оксидами.

Халькопирит обладает довольно стабильным составом, соответствующим его тетрагональной модификации (табл. 2-6). Но вариации состава халькопирита в вулканитах отдельных свит и на разных глубинах заметно различаются. Так, в породах маярвинской свиты разреза СГ-3 основные кристаллохимические параметры халькопирита изменяются в более широком диапазоне, чем в приповерхностной её части (скв. X), а в оршоайвинской свите наблюдается обратное явление (табл. 6). Картина будет еще контрастнее, если учесть, что повышенное соотношение компонентов в халькопирите из вулканитов оршоайвинской свиты разреза СГ-3 ( $\Sigma\text{Me/S} = 1.026$  и  $\text{Cu/Fe} = 1.029$ ) характерно только для обр. 18714 (табл. 4), в котором халькопирит представлен продуктами распада халькопирит-борнитового твердого раствора. В остальных образцах глубинной части разреза оршоайвинской свиты халькопирит имеет весьма ограниченный диапазон изменения состава ( $\Sigma\text{Me/S} = 0.009$  и  $\text{Cu/Fe} = 0.019$ ), тогда как в приповерхностной зоне (скв. IX) – этот диапазон значительно более широкий: 0.047 и 0.055 соответственно (табл. 6).

На глубине (разрез СГ-3) халькопирит более "сернистый" (большой частью  $\Sigma\text{Me/S} < 1$ ), а в маярвинской свите он еще и более "медистый" (чаще  $\text{Cu/Fe} > 1$ ), чем в приповерхностной зоне, но в оршоайвинской свите и на глубине, и в приповерхностной зоне он одинаково более железистый (в 70 %

образцов Cu/Fe < 1). Это понятно, учитывая общую повышенную железистость оршоайвинской и пирттиярвинской свит – насыщенность их оксидами железа и низкое содержание последних в вулканитах маярвинской свиты.

В целом диапазоны составов халькопирита в породах свит разных разрезов не выходят за пределы стехиометричности его тетрагональной модификации, поэтому указания на возможность присутствия в вулканитах маярвинской свиты его кубической модификации (Ерохин, 2003) представляются маловероятными.

Халькопирит отличается высокой чистотой химического состава: примеси в нем наблюдаются редко (Zn, Ni, Co, Se) при общем их содержании до 0.2-0.3 % (табл. 2-5). Они более характерны для глубинных частей маярвинской свиты и приповерхностной – оршоайвинской. Но на глубоких горизонтах в вулканитах маярвинской свиты (разрез СГ-3) в халькопирите обнаружены примеси ЭПГ – палладия (0.12 %) и родия (0.11 %), что ранее не отмечалось ни в разрезе СГ-3, ни в геоблоке в целом (Анализы минералов..., 1983). Недавно появились сведения (Ерохин, 2003) о постоянной примеси в халькопирите из вулканитов маярвинской свиты ряда элементов: Cd (до 0.16 %), As (до 0.63 %), Ag (до 0.11 %) и нередко Pb (до 0.75 %), что требует тщательной проверки.

Таблица 3. Химический состав (мас. %) сульфидов из вулканитов маярвинской свиты в разрезе скв. X

№ п/п	Глубина, м	S	Fe	Cu	Ni	Co	Сумма
<i>Троилит</i>							
1	734.7	37.55	63.04	0.00	0.00	0.00	100.59
2	734.7	36.64	63.44	0.00	0.00	0.00	100.08
3	754.5	38.31	62.05	0.00	0.00	0.00	100.36
<i>Троилитоподобный (канзит)</i>							
4	734.7	36.04	63.70	0.00	0.00	0.00	99.74
5	>>	36.23	59.70	0.31	4.29	0.65	101.18
6	>>	36.11	64.44	0.00	0.00	0.05	100.60
<i>Халькопирит</i>							
7	699.5	34.69	30.22	34.62	0.00	0.00	99.53
8	>>	34.89	30.32	34.36	0.00	0.00	99.57
9	734.7	34.79	30.26	35.25	0.03	0.00	100.33
10	>>	34.53	30.32	34.63	0.00	0.00	99.48
11	754.5	34.93	30.53	34.05	0.00	0.00	99.51
12	785.8	35.10	30.42	34.47			99.99
13	845.0	34.64	30.27	34.99	0.00	0.00	99.90
14	912.5	34.97	30.32	34.66	0.00	0.00	99.95
15	959.8	34.34	30.94	34.58	0.00	0.00	99.86
16	>>	34.77	30.98	34.49	0.00	0.00	100.24
17	1038.3	34.62	30.53	34.64	0.00	0.00	99.79
18	1052.0	34.78	30.54	34.64	0.02	0.00	99.98
19	>>	35.34	30.17	34.54	0.00	0.00	100.05
<i>Пирит</i>							
20	699.5	53.30	45.75	0.00	0.00	0.00	99.05
21	734.7	53.25	46.30	0.11	0.08	0.04	99.78
22	>>	53.34	46.53	0.10	0.08	0.06	100.01
23	754.5	53.18	46.52	0.13	0.05	0.00	99.88
24	785.5	53.62	46.76	0.00	0.00	0.00	100.38
25	845.0	53.44	46.88	0.26	0.00	0.00	100.58
26	912.5	53.33	46.31	0.00	0.04	0.04	99.72
27	959.8	53.57	46.53	0.00	0.00	0.00	100.10
28	>>	53.39	46.83	0.10	0.00	0.00	100.32
29	1038.3	53.57	45.66	0.05	0.61	0.00	99.89
30	1052.0	53.88	46.49	0.00	0.12	0.08	100.57
31	>>	54.73	40.42	0.00	0.00	4.66	99.81
<i>Кобальтин</i>							
32	845.0	18.96 As-46.00	1.66	0.34	0.68	32.77	100.41
<i>Сфалерит</i>							
33	734.7	31.90	4.05	0.11	0.00 Zn-64.15	0.00	100.21

Примечание: определялись, но не были обнаружены ЭПГ, Se, Cd.

Таблица 4. Химический состав (мас. %) сульфидов из вулканитов оршоайвинской и пирттиярвинской свит в разрезе СГ-3

Минерал	Номер образца	Глубина, м	S	Fe	Cu	Ni	Co	Сумма
<i>Оршоайвинская свита</i>								
Халькопирит	18488	4900.4	35.14	30.38	34.88	0.00	0.00	100.40
>>	18512	4921.1	34.94	30.38	34.88	0.00	0.00	100.20
>>	18521	4923.0	36.59	30.22	34.11	0.00	0.00	100.32
>>	18537	4924.5	34.90	30.45	34.56	0.00	0.00	99.91
>>	18609	4958.4	35.24	30.56	34.59	0.00	0.00	100.39
>>	18670	5044.5	34.98	30.43	34.29	0.00	0.00	99.70
>>	18714	5078.9	33.98	29.94	35.04	0.00	0.00	98.96
Борнит	18512	4921.1	26.87	11.73	62.09	0.00	0.00	100.69
>>	18714	5078.9	25.05	11.45	62.03	0.00	0.00	98.53
>>	18749	5111.3	25.95	11.50	61.85	0.00	0.00	99.30
Пирит	18488	4900.4	53.44	44.42	0.05	0.00	1.16	99.07
Сфалерит	18488	4900.4	32.58	2.22	0.83	Zn-64.20 Cd-0.38	0.02	100.23
<i>Пирттиярвинская свита</i>								
Халькопирит	18812	5162.4	34.59	29.92	35.25	0.00	0.00	99.76
Борнит	18812	5162.4	25.64	11.24	62.54	0.00	0.00	99.42
Пирит	18860	5201.5	53.29	46.36	0.00	0.00	0.10	99.75

Примечание: определялись, но не были обнаружены ЭПГ, Se.

Таблица 5. Химический состав (мас. %) сульфидов из вулканитов оршоайвинской и пирттиярвинской свит в разрезе скв. IX

Минерал	Глубина, м	S	Fe	Cu	Ni	Co	Сумма
<i>Оршоайвинская свита</i>							
Халькопирит	437.0	34.10	30.33	34.67	0.00	0.00	99.10
>>	510.8	33.92	31.16	34.77	0.00	0.00	99.85
>>	512.2	34.83	30.26	34.82	0.00	0.00	99.91
>>	573.6	34.08	30.81	34.74	0.00	0.02	99.65
>>	>>	34.82	30.44	34.48	0.02	0.02	99.78
>>	597.2	34.50	30.44	34.66	0.00	0.00	99.60
>>	646.0	34.42	30.78	34.47			99.67
>>	698.8	34.92	30.19	34.89			100.00
>>	711.6	34.66	30.15	34.29	0.00	0.00	99.10
Пирит	437.0	52.86	46.04	0.00	0.00	0.06	98.96
>>	512.2	52.73	44.14	0.34	0.11	2.60	99.92
>>	698.8	53.47	45.91	0.00	0.00	0.00	99.38
>>	>>	54.23	44.16	0.00	0.00	1.26	99.65
>>	711.6	53.25	45.41	0.00	0.00	1.12	99.78
Борнит	573.6	24.51	11.44	64.26	0.00	0.00	100.21
>>	>>	25.05	11.28	63.24	0.00	0.00	99.57
<i>Пирттиярвинская свита</i>							
Халькопирит	882.5	34.56	30.62	34.96	0.00	0.00	100.14
Борнит	825.5	25.93	11.28	61.89	0.00	0.00	99.10
>>	849.7	25.09	10.46	64.24	0.00	0.00	99.79
>>	882.5	25.53	11.52	62.36	0.00	0.00	99.41
Халькозин	849.7	20.19	0.19	78.30	0.00	0.00	98.68

Примечание: определялись, но не были обнаружены ЭПГ, Se, Cd.

**Пирит**, хотя и относится к числу распространенных минералов, но ранее в вулканитах протерозойского комплекса его детально не изучали. Согласно нашим данным, он широко распространен в вулканитах маярвинской свиты и весьма ограниченно – в породах пирттиярвинской и оршоайвинской свит, за исключением приповерхностной зоны последней, где он встречается довольно часто. Размеры выделений пирита обычно невелики – 0.01-0.2 мм, и только в сульфидно-силикатных прожилках иногда достигают 2-3 мм в поперечнике.

Таблица 6. Диапазоны кристаллохимических параметров сульфидов из вулканитов маярвинской, пирттиярвинской и оршоайвинской свит в разрезах скв. СГ-3, X и IX

п	Минерал	ΣMe / S	Cu / Fe	Сумма примесей, масс. %
<i>Маярвинская свита</i>				
6/	Пирротин моноклинный	0.815–0.876 /		0.54–1.03 /
24/13	Халькопирит	<u>(0.984–1.035)</u> (0.983–1.025)	(0.986–1.020)/ (0.978–1.023)	<u>(0.00–0.23)</u> (0.00–0.03)
17/12	Пирит	<u>(0.468–0.511)</u> (0.470–0.506)		<u>(0.00–15.22)</u> (0.00–4.66)
10/	Зигенит	0.705–0.766	0.776–1.883*	1.70–8.01
3/	Борнит	1.387–1.519	4.423–5.081	0.00–0.15
5/	Сфалерит	0.984–1.029		3.50–6.61
/3	Троилит	/ 0.930–0.994		/ 0.00
/3	Троилитоподобный (канзит)	/ 1.014–1.025		/ 0.00–5.25
<i>Пирттиярвинская свита</i>				
1/1	Халькопирит	<u>1.011</u> 1.019	<u>1.035</u> 1.003	<u>0.00</u> 0.00
1/	Пирит	0.500		0.10
1/3	Борнит	<u>1.482</u> (1.454–1.532)	<u>4.891</u> (4.757–5.394)	<u>0.00</u> 0.00
<i>Оршоайвинская свита</i>				
6/9	Халькопирит	<u>(0.993–1.026)</u> (0.998–1.045)	<u>(0.990–1.029)</u> (0.961–1.016)	<u>0.00</u> (0.00–0.04)
1/5	Пирит	<u>0.489</u> (0.480–0.511)		<u>1.21</u> (0.00–3.05)
3/2	Борнит	<u>(1.416–1.512)</u> (1.532–1.591)	<u>(4.651–4.761)</u> (4.930–4.935)	<u>0.00</u> 0.00

Примечание: данные по сульфидам из пород разреза СГ-3 – над чертой, разрезов скв. X, XI – под чертой. Соотношения элементов даны в атомных количествах; п – число анализов.

\* Для зигенита приведен интервал значений соотношения Co/Ni.

Пирит представлен как самостоятельными вкрапленниками в силикатной матрице, так и совместными сростаниями с другими сульфидами (главным образом, с халькопиритом), в которых он является поздним образованием, замещающим более ранние халькопирит или пирротин. Вероятно, эти морфологические разновидности соответствуют двум генерациям пирита. Самостоятельные индивиды и агрегаты пирита, как правило, имеют чёткие прямолинейные контуры, нередко идиоморфные, и являются типичными метакристаллами. Они чаще встречаются на участках брекчирования, окварцевания и эпидотизации вулканитов, а также в сульфидно-силикатных прожилках и миндалинах. Пирит, развивающийся по более ранним сульфидам, морфологически очень разнообразен: он образует точечные, "амебовидные", кружевоподобные выделения, которые при интенсивном развитии сливаются в сплошные агрегаты, имеющие неровные, зазубренные контуры и многочисленные очень мелкие включения силикатов и замещаемых сульфидов.

Состав пирита исследован в вулканитах разноглубинных разрезов (СГ-3 и скв. X) маярвинской свиты и в породах приповерхностной зоны оршоайвинской, для остальных разрезов выполнены единичные анализы. Характерной особенностью состава пирита является частое и довольно высокое содержание Ni и Co, относящихся к его типичным изоморфным примесям. И Ni, и Co, распределены в минерале очень неравномерно, часто блочно или зонально, и в большинстве случаев их повышенные концентрации сосредоточены в краевых частях зёрен и метакристаллов. Повышенное содержание Ni и Co особенно часто наблюдается в вулканитах глубинных частей маярвинской свиты (разрез СГ-3), где установленные к настоящему времени их максимальные концентрации составляют: 4.16 % Ni и 14.69 % Co. В последнем случае это соответствует присутствию в твердом растворе не менее 35 % CoS<sub>2</sub> – катъерита. Как правило, высоким содержанием Ni и Co отличаются самостоятельные, идиоморфные выделения пирита. В вулканитах приповерхностной зоны и маярвинской, и оршоайвинской свит концентрация Ni и Co в пирите значительно меньше (табл. 3, 5). Из числа других примесей иногда встречается Cu (до 0.30 %).

Присутствие заметных примесей As, Cd, Zn (Ерохин, 2003), как и в случае с халькопиритом, требует тщательной проверки.



В целом пирит из вулканитов глубоких горизонтов маярвинской свиты обладает более широким диапазоном состава, чем из приповерхностной зоны всех свит, хотя в изученных разрезах отклонения от стехиометричности в обе стороны (избытка или недостатка металлов) примерно одинаковы (табл. 6).

**Борнит** значительно чаще встречается в вулканитах оршоайвинской и пирттиярвинской свит, а в пределах маярвинской свиты сравнительно редок. В разрезе СГ-3 преимущественно развит в различных породах нижних и верхних частей оршоайвинской и пирттиярвинской свит – метабазальтах, метаандезитах, метатрахидацитах, муджиеритах, а в приповерхностной зоне (скв. IX) – главным образом, в метабазальтах, а также метаандезибазальтах. В разрезе СГ-3 маярвинской свиты он приурочен к габбро в средней и нижней её частях, иногда к метаандезитам, а в приповерхностной зоне – к метаандезитам и метабазальтам.

Всюду борнит образует мелкую (0.01-0.2 мм) вкрапленность, часто совместно с халькопиритом, реже – с халькозином и ковеллином, которые его замещают. В оршоайвинской и пирттиярвинской свитах иногда наблюдаются структуры распада халькопирит-борнитового раствора, а также сростания борнита с оксидами (магнетитом, гематитом). Для состава борнита характерны широкие вариации содержания металлов и серы, особенно в глубинных частях маярвинской свиты, где установлена также незначительная примесь Со и следы Ni (табл. 2) и в одном образце габбро – Pd (0.15 %), что ранее не отмечалось в геоблоке (*Анализы минералов...*, 1983). В борните из вулканитов пирттиярвинской и оршоайвинской свит эти примеси не обнаружены.

**Моносulfиды железа** (пирротин, троилит и троилитоподобный минерал) установлены только в вулканитах маярвинской свиты – и на глубине (СГ-3), и в приповерхностной зоне (скв. X). В разрезе СГ-3 моносulfиды железа развиты в породах средней пачки свиты – в метаандезитах, метаандезибазальтах и метабазальтах, а также в кварц-карбонатных породах; иногда встречаются в метабазальтах нижней пачки. Всюду образуют мелкозернистую вкрапленность (до 0.2 мм), а в средней пачке свиты – и мелкие гнезда (до 5-6 мм в поперечнике). Содержание моносulfидов железа варьирует от е.з. до 1 %, но в сильно метаморфизованных вулканитах средней пачки иногда достигает 3-5 % (табл. 2, обр. 20588<sup>a</sup>, 20709). В приповерхностной зоне моносulfиды железа установлены в миндалекаменных метабазальтах средней пачки свиты в виде мелкой вкрапленности при содержании до 1 %. И на глубине, и в приповерхностной зоне ассоциируют с халькопиритом, пиритом, иногда с зигенитом, борнитом, сфалеритом.

В вулканитах разреза скв. X моносulfиды железа представлены троилитом устойчивого состава, совершенно лишенным примесей (табл. 3, 6). Здесь же в сростании с троилитом обнаружен троилитоподобный минерал необычного состава: величина соотношения  $\Sigma\text{Me}/\text{S}$  составляет в нем 1.014-1.025, количество примесей Cu, Ni и Со достигает 5.2 % (табл. 3, 6). По рельефу и отражательной способности он близок троилиту, но изотропен. По совокупности оптических свойств и состава этот минерал отвечает канзиту, но для достоверной диагностики необходимы структурные исследования.

**Зигенит** приурочен к средней части разреза (6350-6490 м) маярвинской свиты в СГ-3, представленной пачкой переслаивающихся покровов метаандезитов и метабазальтов, а в нижней ее части – метагаббро. Образует мелкие, часто идиоморфные включения в преобладающем халькопирите, нередко в ассоциации с пирротинном, пиритом, сфалеритом. Зигенит обладает широким диапазоном содержания металлов при стабильной концентрации серы (табл. 2, 6), что характерно для него и в медно-никелевых рудах района (*Анализы минералов...*, 1983). В изоморфном ряду линнеит-полидимит минерал из вулканитов маярвинской свиты занимает промежуточное положение, в большинстве случаев находясь ближе к линнеиту. Зигенит содержит значительное количество примесей (1.7-8.0 %), в основном Fe, а также Cu (до 3.2 %), иногда Se (до 0.25 %).

**Сфалерит** спорадически встречается в вулканитах всех свит, но несколько чаще в средней пачке маярвинской свиты в разрезе СГ-3. Образует мелкие (до 0.1 мм) включения в преобладающих халькопирите или пирротине, в краевой части их зерен, иногда – на контактах пирита, зигенита и борнита с силикатами. Обладает довольно стабильным составом с постоянным присутствием примесей (табл. 2, 4, 6): Fe (1.72-5.49 %), Cu (до 1.68 %), Ni (до 0.08 %), Со (до 0.22 %); иногда фиксируются примеси Cd (до 0.11 %) и Pb (до 0.22 %). По содержанию железа он соответствует клейофану.

**Миллерит** иногда встречается в средней пачке маярвинской свиты разреза СГ-3 на участках общего повышенного содержания sulfидов, главным образом, халькопирита, в краевых частях зёрен которого он образует мелкие овальные или "зубчатые" включения (до 0.02 мм). Установлен близкий к стехиометрическому состав миллерита из sulfидно-силикатного прожилка в метаандезитах ( $\Sigma\text{Me}/\text{S} = 0.990$ ) при небольшом количестве примесей Fe, Со и Cu (табл. 2).

**Галенит** относится к числу редких минералов. Он установлен в метабазальтах верхней пачки, а также в метагаббро и метапикробазальтах средней пачки маярвинской свиты в разрезе СГ-3. Образует мелкие (до 0.02 мм) включения в преобладающих халькопирите и пирите. Анализ галенита из средней пачки свиты показал, что состав его близок стехиометрическому ( $\Sigma\text{Me}/\text{S} = 1.007$ ), содержит заметную примесь Zn (0.25 %), Ag (0.44 %) и Bi (0.63 %) (табл. 2).

**Кобальтин** обнаружен в приповерхностной зоне маярвинской свиты в ассоциации с пиритом и халькопиритом, образующими мелкую вкрапленность в метаандезитах. Результаты анализа свидетельствуют о стехиометричности его состава ( $\Sigma\text{Me/S, As} = 0.500$ ) с небольшим преобладанием As над S и заметным количеством примесей Fe, Ni и Cu (табл. 3).

**Халькозин и ковеллин** замещают борнит и чаще встречаются в вулканитах приповерхностной зоны пирттиярвинской свиты. Обладают характерными оптическими свойствами. Выполненный анализ халькозина из метаандезидацита показал, что состав минерала ( $\Sigma\text{Me/S} = 1.962$ ) ближе соответствует джурлеиту  $\text{Cu}_{1.97}\text{S}$ , при незначительном количестве примеси Fe (0.19 %) (табл. 5).

Халькозин и все остальные редкие минералы требуют проведения дополнительных исследований, главным образом, аналитических.

#### 4. Оксиды

В вулканитах каждой из рассматриваемых свит оксиды имеют свои особенности развития, но в целом глубинные части всех свит богаче оксидами, чем их приповерхностные зоны. Исключение составляет пирттиярвинская свита, в вулканитах которой и на глубине, и в приповерхностной зоне содержание магнетита примерно одинаковое.

**Магнетит** является главным среди оксидов, хотя в вулканитах маярвинской свиты по содержанию он уступает ильмениту. Представлен двумя генерациями: ранней и поздней (вторичной).

Ранний магнетит образует вкрапленность изолированных зёрен, часто идиоморфных, или их агрегатов. В вулканитах маярвинской свиты встречается редко, размеры его зёрен не превышают 0.1 мм. В вулканитах пирттиярвинской и оршоайвинской свит является самым распространенным среди оксидов: образует густую, обычно неравномерную вкрапленность и агрегаты различной формы, которые часто располагаются согласно текстуре породы (полосовидные, жгутовидные, изометрические скопления). Размеры зёрен раннего магнетита в вулканитах этих свит изменяются очень широко: от 0.01 мм и менее до 1-2 мм, но последние наблюдаются редко. Самые мелкие, "точечные" зёрна магнетита иногда образуют "облачные" скопления в силикатах. Наиболее высокие концентрации раннего магнетита (до 10-15 %) присутствуют в различных породах: метаандезитах, метадацитах, метаандезибазальтах, метатрахидацитах, реже в метабазальтах и зонах окварцевания пирттиярвинской и оршоайвинской свит.

Магнетит поздней генерации образуется путем замещения сульфидов: халькопирита, пирротина, реже пирита. Он обычно развивается в краевых частях сульфидных агрегатов и представлен мелкими ксеноморфными зёрнами, каемками и прожилками в сульфидах. Общее содержание позднего магнетита в вулканитах редко достигает 0.5 %.

Выполнена серия анализов магнетита из вулканитов всех свит, за исключением приповерхностной части маярвинской свиты. Анализировался преимущественно магнетит первой генерации, иногда второй. По сравнению с магнетитом первой генерации поздний магнетит содержит значительно меньше примесей.

В составе магнетита из вулканитов различных свит и их разноглубинных частей (табл. 7-10) прослеживаются следующие особенности. Магнетит из вулканитов маярвинской свиты в разрезе СГ-3 имеет стабильный состав, высокое содержание  $\text{Fe}^{3+}$  и малое количество примесей (табл. 7, 10), среди которых главными являются  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Состав магнетита в породах пирттиярвинской свиты изменяется более широко: количество примесей в нём увеличивается за счет не только  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , но также  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{V}_2\text{O}_3$ , иногда  $\text{MnO}$  и  $\text{CaO}$  (табл. 8, 9). Содержание  $\text{Fe}^{3+}$  в нем заметно меньше, а диапазон его изменения – шире (табл. 10). Но наибольшие вариации состава характерны для магнетита из вулканитов оршоайвинской свиты, особенно из её приповерхностной части (табл. 8, 9, 10). На глубоких горизонтах свиты содержание  $\text{V}_2\text{O}_3$  достигает 0.40 %, что является максимальным для разреза СГ-3 (*Кольская сверхглубокая*, 1998). В приповерхностной зоне в магнетите возрастают также концентрации  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . В целом для магнетита из вулканитов оршоайвинской свиты характерно наименьшее количество  $\text{Fe}^{3+}$ , особенно в приповерхностной зоне, и наибольший диапазон изменения этого параметра (табл. 10). Примечательно, что в породах всех свит наибольшие изменения в составе магнетита свойственны группе трёхвалентных катионов, в которой дефицит  $\text{Fe}^{3+}$  возрастает от магнетита из вулканитов маярвинской свиты к магнетиту из пород приповерхностной зоны оршоайвинской свиты – от 0.024 до 0.100 ф.е. (табл. 10). Изменения в группе двухвалентных катионов значительно меньше, но и они увеличиваются в том же направлении – от 0.002 до 0.038 ф.е. (табл. 10).

**Ильменит** – второй по распространенности среди оксидов: он развит в вулканитах всех свит, но очень неравномерно. В вулканитах маярвинской свиты он преобладает над магнетитом, особенно в глубоких горизонтах, хотя содержание его невелико: от е.з. до 1-3 %. Повышенные концентрации ильменита наблюдаются в метагаббро, метапикробазальтах, а в метаандезитах, метаандезибазальтах и других породах он или отсутствует, или представлен мелкими зёрнами в агрегатах сфена. В породах приповерхностной зоны он встречается редко.

Таблица 7. Химический состав (мас. %) оксидов из вулканитов маярвинской свиты в разрезе СГ-3

№	Образец	Глубина, м	FeO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CaO	Сумма
<i>Магнетит</i>										
1	19431	5967.6	92.04	0.05	0.30	0.13	0.00	0.00	0.02	92.54
2	20588	6374.1	92.39	0.03	0.00	0.00	0.00	0.04	0.05	92.51
<i>Ильменит</i>										
3	20489	6352.6	40.61	53.27	0.22	0.00	0.00	4.86	0.11	99.07
4	20777 <sup>a</sup>	6462.0	45.31	52.65	0.16	0.07	0.00	1.63	0.05	99.87
5	20777 <sup>b</sup>	>>	44.83	53.58	0.23	0.07	0.00	1.31	0.03	100.15
<i>Рутил</i>										
6	20489	6352.6	1.05	99.33	0.21	0.05	0.00	0.08	0.29	101.01

Примечание: определялись, но не были обнаружены ЭПГ, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и NiO; в обр. 20777<sup>b</sup> ильменита установлена примесь MgO (0.10 мас. %).

Таблица 8. Химический состав (мас. %) оксидов из вулканитов оршоайвинской и пирттиярвинской свит в разрезе СГ-3

№	Образец	Глубина, м	FeO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Сумма
<i>Магнетит, оршоайвинская свита</i>												
1	18488-а	4900.4	92.96	0.10	0.59	0.04	0.00	0.09	0.03	0.26	0.00	94.07
2	18488-б	>>	93.36	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	93.71
3	18512	4921.1	92.44	0.00	0.14	0.00	0.09	0.11	0.00	0.00	0.06	92.84
4	18521	4923.0	92.29	0.06	0.27	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.20	92.93
5	18609	4958.4	91.96	0.00	0.55	0.08	0.18	0.16	0.04	0.13	0.00	93.10
6	18624	5000.5	91.63	0.06	0.40	0.04	0.13	0.17	0.00	0.00	0.04	92.47
7	18625	5000.6	91.83	0.06	0.80	0.00	0.36	0.40	0.02	0.20	0.05	93.72
8	18670-а	5044.5	91.37	0.56	0.32	0.24	0.20	0.20	0.00	0.11	0.16	93.16
9	18670-б	>>	91.55	0.37	0.29	0.26	0.14	0.23	0.00	0.18	0.33	93.40
10	18714	5078.9	93.00	0.05	0.00	0.05	0.00	0.17	0.09	0.00	0.10	93.46
11	18749-а	5111.3	91.79	0.05	0.52	0.00	0.14	0.12	0.00	0.00	0.06	92.68
12	18749-б	>>	91.88	0.29	0.45	0.05	0.16	0.28	0.02	0.00	0.06	93.19
<i>Магнетит, пирттиярвинская свита</i>												
13	18812-а	5162.4	91.94	0.08	0.67	0.07	0.06	0.20	0.00	0.00	0.05	93.07
14	18812-б	>>	91.68	0.08	0.22	0.11	0.20	0.27	0.00	0.00	0.04	92.60
15	18860	5201.5	92.19	0.04	0.27	0.00	0.15	0.10	0.00	0.00	0.07	92.82
16	18904	5333.3	91.40	0.13	0.53	0.20	0.20	0.08	0.01	0.00	0.04	92.59
17	19004	5491.4	91.76	0.03	0.47	0.02	0.18	0.08	0.05	0.00	0.00	92.59
18	19030	5501.8	91.81	0.07	0.57	0.00	0.23	0.16	0.04	0.00	0.04	92.92
19	19036	5502.6	91.60	0.14	0.48	0.00	0.27	0.08	0.08	0.10	0.00	92.75
20	19141	5564.0	92.75	0.00	0.76	0.02	0.29	0.06	0.00	0.00	0.00	93.88
<i>Ильменит, оршоайвинская свита</i>												
21	18512	4921.1	43.44	52.01	0.30	0.00	0.14	0.00	3.29	0.12	0.04	99.34
22	18521	4923.0	43.58	52.17	0.21	0.00	0.16	0.00	2.78	0.12	0.08	99.10
23	18537	4925.0	42.75	52.62	0.68		0.13	0.00	3.51	0.08	0.10	99.87
24	18609	4958.4	45.04	51.75	0.86	0.00	0.07	0.00	2.43	0.12	0.00	100.27
25	18624	5000.5	40.48	51.83	0.31	0.00	0.09	0.00	6.54	0.00	0.04	99.29
26	18625	5000.6	36.72	52.19	0.54		0.21		10.05	0.10	0.11	99.92
27	18749	5111.3	40.58	53.03	0.56	0.00	0.23	0.00	6.09	0.00	0.00	100.49
<i>Гематит, оршоайвинская свита</i>												
28	18670	5044.5	99.62	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	100.16
29	18714	5078.9	99.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	99.40
<i>Гематит, пирттиярвинская свита</i>												
30	18904	5333.3	98.06	1.06	0.46	0.29	0.11	0.15	0.02	0.14	0.04	100.33
31	19004	5491.4	86.17	12.73	0.41	0.00	0.11	0.19	0.21	0.00	0.01	99.83
32	19030	5501.8	88.27	10.47	0.43	0.00	0.24	0.28	0.39	0.00	0.02	100.17
33	19036	5502.6	92.15	7.01	0.26	0.00	0.16	0.26	0.33	0.00	0.00	100.17
34	19141	5564.0	90.85	8.37	0.73	0.03	0.24	0.15	0.17	0.00	0.00	100.54
<i>Рутил, пирттиярвинская свита</i>												
35	19036	5502.6	0.78	97.61	0.31	0.00	0.18	0.21	0.00	0.08	0.00	99.17
36	19141	5564.0	1.91	97.12	0.27	0.00	0.20	0.11	0.00	0.07	0.01	99.69

Примечания: 1. Определялись, но не были обнаружены ЭПГ. 2. Для гематита содержание железа дано в форме Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. 3. В обр. 18670<sup>b</sup> магнетита и обр. 19030 гематита установлена примесь NiO в количестве 0.05 и 0.07 мас. % соответственно.

Таблица 9. Химический состав (мас. %) оксидов из вулканитов оршоайвинской и пирттиярвинской свит в разрезе скв. IX

№ п/п	Глубина, м.	FeO	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Сумма
<i>Магнетит, оршоайвинская свита</i>											
1	437.0	88.40	0.10	2.74	0.00	0.48	0.00	0.09	0.52	0.15	92.48
2	512.2	92.03	0.05	1.24	0.00	0.10	0.07	0.00	0.00		93.49
3	597.2	92.26	0.00	0.56	0.00	0.11	0.07	0.04	0.00	0.10	93.14
<i>Магнетит, пирттиярвинская свита</i>											
4	825.5	91.36	0.29	0.57	0.05	0.18	0.13	0.05	0.08	0.17	92.88
<i>Гематит, пирттиярвинская свита</i>											
5	825.5	98.82	0.23	0.57	0.00	0.22	0.16	0.00	0.08	0.10	100.18
6	849.7	98.08	0.00	0.77	0.00	0.42	0.07	0.00	0.13	NiO 0.09	99.56

Примечание: определялись, но не были обнаружены ЭПГ.

Таблица 10. Диапазоны кристаллохимических параметров оксидов из вулканитов маярвинской, пирттиярвинской оршоайвинской свит в разрезах скв. СГ-3, X и IX

n	Минерал	Fe <sup>3+</sup>	Ti <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Сумма примесей, мас. %
<i>Маярвинская свита</i>					
2/	Магнетит	1.975 – 1.999		0.997 – 0.999	0.12 – 0.50
3/	Ильменит		0.999 – 1.021	0.866 – 0.957	1.74 – 5.19
1/	Рутил		0.979	0.012	1.68
<i>Пирттиярвинская свита</i>					
8/1	Магнетит	<u>(1.941–1.968)</u> 1.957		<u>(0.991–1.000)</u> 0.986	<u>(0.63–1.19)</u> 1.52
5/2	Гематит	<u>(1.716–1.935)</u> <u>(1.958–1.964)</u>			<u>(2.27–13.66)</u> <u>(1.36–1.39)</u>
2/	Рутил		0.949–0.967		1.56–2.57
<i>Оршоайвинская свита</i>					
12/3	Магнетит	<u>(1.926–1.992)</u> <u>(1.870–1.971)</u>		<u>(0.975–0.999)</u> <u>(0.962–1.000)</u>	<u>(0.36–1.89)</u> <u>(0.88–4.08)</u>
2/	Гематит	1.985 – 1.999			0.04 – 0.54
7/	Ильменит		0.975 – 0.999	0.772 – 0.943	3.35 – 11.01

Примечания: 1. Данные по оксидам из пород разреза СГ-3 – над чертой, разрезов скв. X и IX – под чертой. 2. Содержание катионов дано в формульных единицах (ф.е.); содержание примесей – в мас.%. 3. n – число анализов.

В вулканитах глубинной части пирттиярвинской свиты ильменита значительно больше – в основном 1-3 %, иногда до 5-7 %, но, как правило, всё же меньше, чем магнетита; обратные соотношения встречаются редко. Повышенное содержание ильменита характерно для вулканитов верхней и нижней частей свиты – в метаандезитах, метатрахидацитах, реже в метабазальтах и метаандезибазальтах. В приповерхностной части свиты ильменит встречается очень редко, в виде единичных зёрен. В породах оршоайвинской свиты ильменита ещё больше, чем в пирттиярвинской: в глубинной её части преобладают содержания 1-5 %, в отдельных породах – до 10 %. Но в вулканитах приповерхностной зоны свиты содержание ильменита уменьшается до 1-3 %, причем верхняя и нижняя её части мощностью примерно по 100 м практически лишены ильменита. На глубине повышенные концентрации ильменита наблюдаются в метатрахидандезитах, метабазальтах, метамуджиеритах.

Во всех породах ильменит большей частью представлен мелкими (до 0.2 мм) таблитчатыми или неправильными зёрнами, реже их небольшими агрегатами. Те и другие часто располагаются согласно текстуре породы. Ильменит нередко замещается гематитом, рутилом и сфеном, причем замещающие минералы иногда настолько малы, что различаются с трудом. Не исключено, что часть этих сложных агрегатов является продуктами распада твердых растворов на основе ильменита.

Для состава ильменита из вулканитов маярвинской и оршоайвинской свит в разрезе СГ-3 характерны следующие особенности: узкий диапазон изменения содержания Ti и замещающих его катионов (Si, Al) и весьма широкий – Fe<sup>2+</sup> и изоморфно замещающего его Mn (табл. 7, 8, 10). В породах маярвинской свиты содержание MnO в ильмените достигает 4.86 %, а в оршоайвинской – 10.05 %, что ранее не отмечалось для разреза СГ-3. Такие концентрации MnO в изоморфном ряду FeTiO<sub>3</sub> – MnTiO<sub>3</sub> (ильменит-пирофанит) соответствуют содержанию пирофанитового компонента до 10 % в породах

маярвинской свиты и до 15-20 % – в оршоайвинской. Повышенное количество MnO в ильмените установлено в метапикробазальтах маярвинской свиты, метаандезитах и метатрахидацитах – оршоайвинской, в которых концентрация самого ильменита является рядовой для данных свит.

**Гематит** значительно уступает магнетиту и ильмениту по распространенности и содержанию в породах всех свит. В вулканитах маярвинской свиты он редок, несколько чаще встречается в оршоайвинской свите и почти постоянно – в пирттиярвинской. В глубинных частях маярвинской свиты он присутствует в виде единичных зёрен, в пирттиярвинской свите преобладает содержание гематита 1-2 %, очень редко до 5-10 % (в метаандезитах и метадацитах), в оршоайвинской – от е.з. до 0.5 %, но в самой верхней части разреза иногда достигает 1 % (в метатрахидандезитах). В приповерхностной зоне всех свит содержание гематита значительно меньше: в маярвинской он не обнаружен, в оршоайвинской встречается очень редко и только в пирттиярвинской наблюдается постоянно в виде единичных зёрен и крайне редко – до 1 %.

Гематит представлен двумя морфологическими разновидностями, которые являются различными генерациями. Первая из них – это пластинчатые и чешуйчатые самостоятельные индивиды или, реже, их агрегаты, встречающиеся главным образом в кварцевых прожилках и гнёздах, в зонах окварцевания пород. Иногда здесь встречаются срастания относительно крупночешуйчатого гематита (до 0.5-1.0 мм) с сульфидами – халькопиритом и пиритом, а в некоторых чешуйках гематита наблюдаются мельчайшие вроски халькопирита (обр. 18670, метаандезит). Гематит первой разновидности часто образует струйчатые скопления, располагающиеся согласно текстуре (рассланцеванию) пород. Вторая разновидность гематита развивается путем замещения магнетита (мартит) и ильменита, в последнем случае часто ассоциирует с рутилом. При замещении магнетита гематит обычно развивается "сплошным фронтом", а при замещении ильменита в нем очень часто остаются мельчайшие (менее 0.001 мм) остатки последнего. Размеры индивидов гематита первой разновидности обычно составляют 0.01-0.1 мм, в редких случаях до 1 мм, а второй – 0.01-0.02 мм и менее. Мельчайшие включения гематита в ильмените и ильменита в гематите, возможно, являются тельцами распада твердого раствора гемоильменита. В вулканитах маярвинской свиты гематит представлен второй разновидностью, оршоайвинской – преимущественно второй, а пирттиярвинской – и первой, и второй.

Выполнено несколько анализов гематита из вулканитов пирттиярвинской и оршоайвинской свит (табл. 8, 9, 10). Гематит из оршоайвинской свиты, представленный второй разновидностью, имеет близкий к стехиометрическому состав и незначительное количество примесей (0.04-0.54 %), в основном SiO<sub>2</sub> и CaO (табл. 8). Близок к нему по составу и гематит из приповерхностной зоны пирттиярвинской свиты, но общее количество примесей в нем больше (табл. 9, 10). Состав гематита из глубинных частей пирттиярвинской свиты более разнообразен (табл. 8). Он включает многочисленные примеси, из которых одни присутствуют постоянно, но содержание их невелико (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO), другие встречаются редко (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, CaO). Особенно значительна примесь TiO<sub>2</sub> (до 12.73 % – табл. 8), которая может быть обусловлена мельчайшими включениями (остатками?) ильменита. Если отмеченные выше мелкозернистые срастания гематита и ильменита являются не результатом замещения последнего первым, а продуктами распада твердого раствора, то такие гематиты могут считаться титаногематитами, так как содержание в них FeTiO<sub>2</sub> (ильменитового компонента) достигает 20-25 мол.%. Это вопрос требует дальнейшего детального изучения, а пока отметим, что высокотитанистые гематиты (с содержанием TiO<sub>2</sub> 7.01-12.73 %, табл. 8) характерны для нижней части пирттиярвинской свиты в разрезе СГ-3 и установлены в метаандезитах, метадацитах и метаандезидабазальтах.

**Рутил** всюду является поздним (вторичным) минералом, развивающимся по ильмениту, часто вместе со сфеном и гематитом. Образует мелкие изометрические и неправильные зёрна, каемки на замещаемом ильмените, а также тонкозернистые срастания со сфеном.

Выполненные единичные анализы рутила из глубинных частей маярвинской и пирттиярвинской свит показали, что для его состава характерна постоянная примесь FeO в количестве 0.78-1.91 % (табл. 7, 8), что, возможно, унаследовано от замещаемого ильменита. Содержание остальных примесей невелико (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO и CaO в сумме составляет 0.63-0.78 %), так что рутил является сравнительно чистым минералом, состав которого близок стехиометрическому (табл. 10).

## 5. Обсуждение результатов

Сравнительный анализ общего состава рудной минерализации в вулканитах изученных свит, распределение сульфидов и оксидов в различных породах на глубине и в приповерхностной зоне, вариации химического состава и поздних изменений отдельных минералов показывают, что, несмотря на высокую степень гомологичности каждой из этих свит на глубине и в приповерхностной зоне, содержащаяся в них рудная минерализация имеет как общие, так и характерные отличительные черты.

Вулканиты всех свит сохраняют свойственную им рудно-геохимическую специализацию во всем изученном объеме, но общее содержание рудных минералов, их соотношение, химический состав и

поздние изменения на глубине и вблизи поверхности часто оказываются разными. Например, только вулканы пириттирвинской свиты обладают одинаковым общим содержанием рудных минералов на глубине (разрез СГ-3) и в приповерхностной зоне (разрез скв. IX), тогда как в маярвинской и оршоайвинской свитах вулканы приповерхностной зоны беднее рудными минералами, чем их гомологи на глубине. Породы маярвинской свиты, отличающиеся наибольшим разнообразием рудных минералов, среди которых преобладают сульфиды, в приповерхностной зоне содержат их примерно вдвое меньше по объему и в 1.5 раза по числу минеральных видов. Примерно аналогичная картина наблюдается и в оршоайвинской свите применительно и к сульфидам, и к оксидам. Эти различия, вероятно, частично объясняются фаціальными изменениями в пределах свит, поскольку разрезы СГ-3 и скв. IX и X находятся на расстоянии 8.5-10.5 км по восставанию.

Но изменяются и парагенезисы минералов на глубине и в приповерхностной зоне. Так, в вулканитах маярвинской свиты частыми спутниками борнита в разрезе СГ-3 являются халькозин и ковеллин, а халькопирита – миллерит, отсутствующие в приповерхностной зоне. Еще показательнее распределение ильменита, гематита и рутила в вулканитах пириттирвинской и оршоайвинской свит. Ильменит и гематит широко распространены в вулканитах глубоких горизонтов обеих свит, где иногда концентрация их сопоставима с концентрацией магнетита или даже превосходят ее (гематит в породах пириттирвинской свиты). В породах приповерхностной зоны обеих свит и ильменит, и гематит распространены значительно меньше: ильменит в вулканитах пириттирвинской, а гематит – оршоайвинской встречаются только по одному разу в количестве е.з. – 0.5 %. Рутил развит только в глубинных частях всех свит, включая и маярвинскую. Изменения парагенетических ассоциаций в вулканитах маярвинской и оршоайвинской свит на глубине и в приповерхностной зоне наглядно демонстрирует табл. 1.

Поздние преобразования минералов также наблюдаются довольно часто и свойственны как сульфидам, так и оксидам. Например, ранние халькопирит и пирротин нередко замещаются поздним пиритом, а борнит – халькозином и ковеллином. Кроме того, сульфиды иногда замещаются поздним магнетитом. Эти преобразования минералов чаще наблюдаются в глубинных условиях (разрез СГ-3), значительно реже – в приповерхностной зоне. Характерной особенностью вулканитов глубинных частей пириттирвинской и оршоайвинской свит является широко распространенное замещение магнетита гематитом, а ильменита – гематитом и рутилом, которое очень слабо проявлено в породах приповерхностной зоны первой из них и практически отсутствует во второй. Частое развитие позднего гематита наблюдается и в самой нижней, приподошвенной части маярвинской свиты разреза СГ-3. Преобразования, замещение одних минералов другими свидетельствуют, очевидно, об изменении термодинамических режимов рудообразования (и породообразования, конечно), которые проявляются по-разному на глубине и в приповерхностной зоне геоблока.

Химический состав ряда распространенных рудных минералов на глубине и в приповерхностной зоне тоже заметно отличается. В сульфиде (халькопирите, пирите, пирротине и др.) на глубине расширяется диапазон соотношений основных компонентов и возрастает количество изоморфных примесей, т.е. увеличивается изоморфная емкость минералов (табл. 6), среди которых впервые были обнаружены ЭПГ – Pt, Pd, Rh в количестве 0.10-0.15 мас.% каждого (табл. 2). В оксидах изменяется степень окисленности Fe (соотношение  $Fe^{3+}$  и  $Fe^{2+}$ ) и также увеличивается количество изоморфных примесей (табл. 10). Если ограничиться рассмотрением состава сульфидов и оксидов в вулканитах всех свит только в разрезе СГ-3, то даже при ограниченном количестве анализов можно проследить следующую особенность. В направлении снизу вверх, т.е. от маярвинской свиты к оршоайвинской, величина соотношения  $\sum Me/S$  уменьшается для халькопирита от 0.051 до 0.033 ф.е., для борнита – от 0.132 до 0.096 ф.е. В том же направлении снижается степень окисленности Fe в магнетите – дефицит катионов  $Fe^{3+}$  увеличивается от 0.024 до 0.062 ф.е. Иначе говоря, на больших глубинах состав некоторых минералов и, вероятно, их структура как бы дестабилизируются, становятся менее упорядоченными, что способствует широкому проявлению изоморфизма и образованию твердых растворов.

Отмеченные вариации химического состава некоторых рудных минералов и их более поздние преобразования, по нашему мнению, объясняются следующими причинами (факторами).

Расширение диапазона соотношений основных компонентов и увеличение изоморфной емкости ряда сульфидов и оксидов в вулканитах на больших глубинах определяется, вероятно, "фактором глубины" (*Архейский комплекс...*, 1991; *Кольская сверхглубокая...*, 1998): существующие в этих условиях термодинамические параметры рудообразования (температура, давление, флюидный режим) способствуют широкому развитию твердых растворов некоторых минералов. При извлечении этих пород на поверхность в процессе бурения твердые растворы минералов сохраняются (известный эффект закалки), тогда как естественные процессы вывода этих толщ на дневную поверхность геологически длительны и сопровождаются постепенным распадом твердых растворов и обособлением их отдельных фаз в виде самостоятельных минералов, образующих закономерные или не закономерные сростания.

Это явление корреспондируется с результатами детального изучения реальных структур породообразующих слюд (флогопитов и биотитов) из глубинных пород архейского комплекса в разрезе СГ-3 и их приповерхностных аналогов Печенгского геоблока. На глубине в слюдах установлена общая "рыхлость" структуры, разупорядоченное распределение катионов и повышенное количество вакансий в ней по сравнению со структурой их аналогов из приповерхностной части геоблока (*Никитина и др.*, 2002). Эти факты одного порядка, указывающие на особое состояние вещества глубоких горизонтов земной коры, а именно – на повышение степени его изотропности.

Что же касается разнообразных более поздних преобразований рудных минералов и замещения одних минералов другими, в том числе сульфидов оксидами, то оно свидетельствует об изменении окислительно-восстановительного потенциала рудообразующих флюидов, которое может иметь локальное проявление, в пределах отдельного покрова вулканитов или даже какой-либо его части, но интенсивнее развивается в мощных зонах дробления и расланцевания пород, крупных тектонических нарушениях. Очевидно, с таким существенным изменением флюидного режима связано интенсивное замещение магнетита и ильменита гематитом (в последнем случае вместе с рутилом) в вулканитах пириттиярвинской и оршоайвинской свит в разрезе СГ-3. Именно этот участок свит входит в зону влияния регионального Лучломпольского разлома, которая не захватывает приповерхностные участки свит. Вероятно, близостью к контакту протерозойского и архейского комплексов – одного из крупнейших тектонических швов Печенгской структуры – объясняется и более интенсивное развитие позднего гематита в вулканитах приподошвенной части маярвинской свиты в разрезе СГ-3.

Полученные данные указывают на необходимость продолжения детального изучения рудной минерализации в пределах всего протерозойского комплекса, включая и осадочные свиты. Результаты этих исследований будут содействовать дальнейшей разработке теории рудообразования на разных глубинах земной коры и уточнению достоверной оценки рудного потенциала Печенгского геоблока.

## **6. Выводы**

1) Исследование рудной минерализации в породах маярвинской, пириттиярвинской и оршоайвинской вулканогенных свит на глубоких горизонтах (разрез СГ-3) и в приповерхностной зоне (разрезы скв. IX и X) Печенгской структуры позволило установить сульфидную специализацию вулканитов маярвинской свиты и подтвердить оксидную – вулканитов пириттиярвинской и оршоайвинской.

2) Показано, что наибольшим разнообразием рудных минералов отличаются вулканиты маярвинской свиты, немного меньшим – вулканиты оршоайвинской свиты, а породы пириттиярвинской свиты обладают малым числом рудных минералов. Только в вулканитах маярвинской свиты установлена своеобразная Cu-Ni-Co минерализация, представленная пирротинном, халькопиритом, зигенитом, пиритом и иногда миллеритом.

3) Установлено, что вулканиты глубинных частей маярвинской и оршоайвинской свит имеют примерно в 1.52 раза более высокое общее содержание рудных минералов по сравнению с их приповерхностными гомологами, а в породах пириттиярвинской свиты всюду наблюдается примерно одинаковое количество рудных минералов.

4) Показано, что некоторые сульфиды и оксиды представлены несколькими генерациями, а на отдельных участках ранние минералы замещаются поздними, что особенно характерно для пород глубоких частей оршоайвинской и пириттиярвинской свит. Все это свидетельствует о неоднократной смене термодинамических режимов рудообразования, наиболее четко проявившихся в зоне Лучломпольского разлома, которая охватывает глубинные части оршоайвинской и пириттиярвинской свит.

5) Установлены широкие вариации состава ряда сульфидов и оксидов в породах глубоких горизонтов, выражающиеся в увеличении диапазонов содержаний основных компонентов и высоком содержании изоморфных примесей, что свойственно твердым растворам рудных минералов. Это свидетельствует о своеобразном состоянии кристаллического вещества на больших глубинах земной коры, которое характеризуется повышением степени его изотропности и разупорядоченности структур ряда минералов.

6) В вулканогенных породах глубинных частей нижних свит протерозойского комплекса впервые обнаружены примеси ЭПГ (Pt, Pd и Rh) в пирротине, халькопирите и борните, а также повышенные концентрации Co и Ni в пирите, V в магнетите, Mn в ильмените и Ti в гематите, которые ранее в таком количестве в Печенгской структуре не отмечались и в целом характеризуют ее общий рудный потенциал.

**Благодарности.** Авторы благодарят *Д.М. Губермана* (НПЦ "Кольская сверхглубокая"), *Ф.П. Митрофанова* и *Ф.Ф. Горбачевича* (ГИ КНЦ РАН) за содействие в работе. *Ж.П. Солярчук*, *Н.И. Дергунову*, *Д.Ф. Сабурова* и *В.И. Хмелинского* (НПЦ "Кольская сверхглубокая") за помощь в

подготовке каменного материала из керна СГ-3, а также руководство Печенгской ГРЭ за предоставление образцов пород по скважинам IX и X.

Работа выполнена по программе проектов IGCP-408 и INTAS-01-0314.

### Литература

- Homologues of rocks in the Kola Superdeep Borehole (KSDB) and on the surface. Ed. F.Mitrofanov and F.Gorbatsevich. *Apatity, Kola Science Centre RAS*, 50 p., 1998.
- Анализы минералов медно-никелевых месторождений Кольского полуострова. Под ред. Ю.Н. Яковлева, А.К. Яковлевой. *Апатиты, КФАН СССР*, 320 с., 1983.
- Архейский комплекс в разрезе СГ-3. Под ред. Ф.П. Митрофанова. *Апатиты, КНЦ АН СССР*, 186 с., 1991.
- Ерохин Ю.В.** Сульфидная минерализация маярвинской вулканогенной толщи (по данным изучения Кольской сверхглубокой скважины). *Вестник Уральского отделения Российского Минералогического общества*, № 2, с.38-44, 2003.
- Кольская сверхглубокая. Исследование глубинного строения континентальной коры с помощью бурения Кольской сверхглубокой скважины. Под ред. Е.А. Козловского. *М., Недра*, 490 с., 1984.
- Кольская сверхглубокая. Научные результаты и опыт исследований. Под ред. В.П. Орлова и Н.П. Лаверова. *М., МФ "Технонефтегаз"*, 260 с., 1998.
- Кременецкий А.А., Овчинников Л.Н.** Геохимия глубинных пород. *М., Наука*, 262 с., 1986.
- Никитина Л.П., Овчинников Н.О., Бабушкина М.С., Яковлева А.К., Яковлев Ю.Н., Чернова О.Г., Гойло Э.А.** Дефектные структуры слюд из ультрамафитов и мафитов Кольской сверхглубокой скважины. *Записки Всерос. минер. общества*, ч. СXXXI, № 3, с.23-44, 2002.
- Породы и минералы на больших глубинах и на земной поверхности: субпроекты. Под ред. Ф.П. Митрофанова, Ф.Ф. Горбачевича. *Апатиты, КНЦ РАН*, 162 с., 1999.
- Предовский А.А., Федотов Ж.А., Ахмедов А.М.** Геохимия Печенгского комплекса. Метаморфизованные осадки и вулканиты. *Л., Наука*, 139 с., 1974.
- Яковлев Ю.Н., Нерадовский Ю.Н., Скуфьин П.К.** Рудная минерализация вулканитов протерозойского комплекса Печенгской структуры (предварительные результаты). Результаты изучения глубинного вещества и физических процессов в разрезе Кольской сверхглубокой скважины до глубины 12261 м. *Апатиты, КНЦ РАН*, с.52-55, 2000.
- Яковлев Ю.Н., Скуфьин П.К., Нерадовский Ю.Н.** Рудная минерализация вулканитов луостаринской серии разреза раннепротерозойских пород Кольской сверхглубокой скважины (СГ-3) и их поверхностных гомологов. Геология и полезные ископаемые Кольского полуострова. Том 2. Полезные ископаемые, минералогия, петрология, геофизика. Под ред. Ф.П. Митрофанова. *Апатиты, КНЦ РАН*, с.64-77, 2002.