

Н. Н. Трофимов, А. И. Голубев

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ НИКЕЛЕНОСНОСТИ ОНЕЖСКОЙ ИНТРАКРАТОННОЙ ВПАДИНЫ*

Онежская впадина входит в систему нижнепротерозойских прогибов протяженностью более 1000 км с ЮВ на СЗ в пределах Карельского геоблока вдоль его границы с Беломорским. Их образование связано с развитием в сумийское время Беломорско-Лапландской рифтовой структуры и ее процессами активизации (Трофимов, Голубев, 2009). Время заложения и вулканогенно-осадочное наполнение впадин не равнозначны. Ключевыми моментами являются избирательное насыщение кислыми вулканитами одних и восстановленными формами углерода других.*

Лехтинская и Шомбозерская структуры закладываются в сумийское время, как межсводовые прогибы, при формировании на Карельском плече рифта Водлозерско-Сегозерского и Пяозерско-Тикшеозерского сводовых поднятий (рис. 1), в апикальных частях которых по зонам растяжения внедряются комплексы расслоенных интрузий – Бураковско-Монастырский и Койлисмаа-Олангский. Возраст расслоенных интрузивов и вулканитов дацит-риолитовой формации Лехтинской и Шомбозерской впадин одинаков – 2431–2440 млн лет (рис. 1). Заложение Онежского прогиба произошло позднее, за счет сокращения площади сводов в связи с процессами активизации рифта. Этому процессу предшествовала длительная эпоха пенепленизации (сумий, сарилий), конечным продуктом которой явилось формирование кор выветривания существенно кварцевого состава. Основной объем этого материала был сгружен в Янгозерскую структуру, мощность кварцито-песчаников в ней достигает 500 м. Вдоль всего западного борта Онежской впадины прослеживаются маломощные горизонты кварцевых конгломератов и гравелитов, переслаивающиеся с лавами основных вулканитов и перекрытые карбонатными породами туломозерской свиты. Этот разрез относится к ятулию и считается эталонным. Отсутствие кварцевых конгломератов в восточной и центральной частях впадины предполагает опережающее развитие, до формирования Онежской брахиформы, линейного прогиба и наличие фациальных переходов от терригенных до терригенно-карбонатных образований с запада на восток.

* Работа выполнена при финансовой поддержке Программы Президиума РАН № 23.

На восточном борту Онежской впадины в основании разреза находятся розовые доломиты туломозерской свиты – д. Римское, мыс Сухой. В 1984 г. при проведении ГГК-200 Карельской геологической экспедицией (Ганин и др., 1989Ф) в пос. Пудожгорский скважиной № 55 был вскрыт гипсовый горизонт вертикальной мощностью 11,3 м, залегающий в 50–100 м от основания разреза свиты в верхнем экзоконтакте дифференцированного Габневского силла ферродолеритов Пудожгорского комплекса. Наличие именно гипса, а не ангидрита удостоверено химическим и рентгеноструктурным анализами (Трофимов, Логинов, 2005) (табл. 1). Содержание сульфидной серы в минерале – 47,06–49,75% (табл. 2), в гипсовой породе по данным химанализа двух проб – 39,56 и 43,37%. Текстура гипса полосчатая, структура мелкозернистая (рис. 2). Завершается разрез гипсо-

Таблица 1
Рентгенофазовый анализ гипса

Международная картотека ICDD 00-006-0046		Исследуемый образец С-55/114	
d (Å°)	J от.	d (Å°)	J от.
7,56	100	7,562	100
4,27	50	4,270	9
3,79	20	3,791	27
3,059	55	3,059	18
2,867	25	2,868	2
2,786	6	2,783	0
2,679	28	2,679	2
2,591	4	2,593	1
2,53		2,530	2
2,495	6	2,492	0
2,45	4	2,450	0
2,216	6	2,216	2
2,08	10	2,083	1
2,073	8	2,072	1
		2,046	0
		2,029	0
1,99	4	1,990	1
1,898	16	1,898	5
		1,888	0
1,812	10	1,810	3
		1,783	1
1,778	10	1,776	1
1,645	2	1,644	0
1,621	6	1,619	2
1,584	2	1,583	0
1,532	2	1,532	1
1,522	2	1,519	0

Примечание. Аналитик – И. С. Инина.

Таблица 2

Результаты микронзондового анализа долеритовой брекчии, сцементированной гипсом, мас. %

Компоненты	Гипс, шл. С-55/144				Хлорит (по долериту)		
					магнезиальный	железистый	
SO ₃	49,75	48,17	47,06	48,50	–	–	0,59
CaO	33,49	33,14	33,37	34,15	0,52	1,54	0,05
MgO	–	–	–	–	26,69	23,16	17,98
Al ₂ O ₃	–	–	–	–	12,53	9,29	12,45
SiO ₂	–	–	–	–	35,81	38,50	29,60
FeO	–	–	–	–	9,58	7,89	26,80
K ₂ O	–	–	–	–	–	–	1,06
TiO ₂	–	–	–	–	–	–	1,62
Сумма	82,24	81,31	80,43	82,65	85,43	80,38	90,10
Сумма катионов на 24 О	11,88	11,95	12,04	12,02	16,72	16,25	17,17

Примечание. Анализы выполнены на анализаторе TESCAN А. Н. Сафроновым.

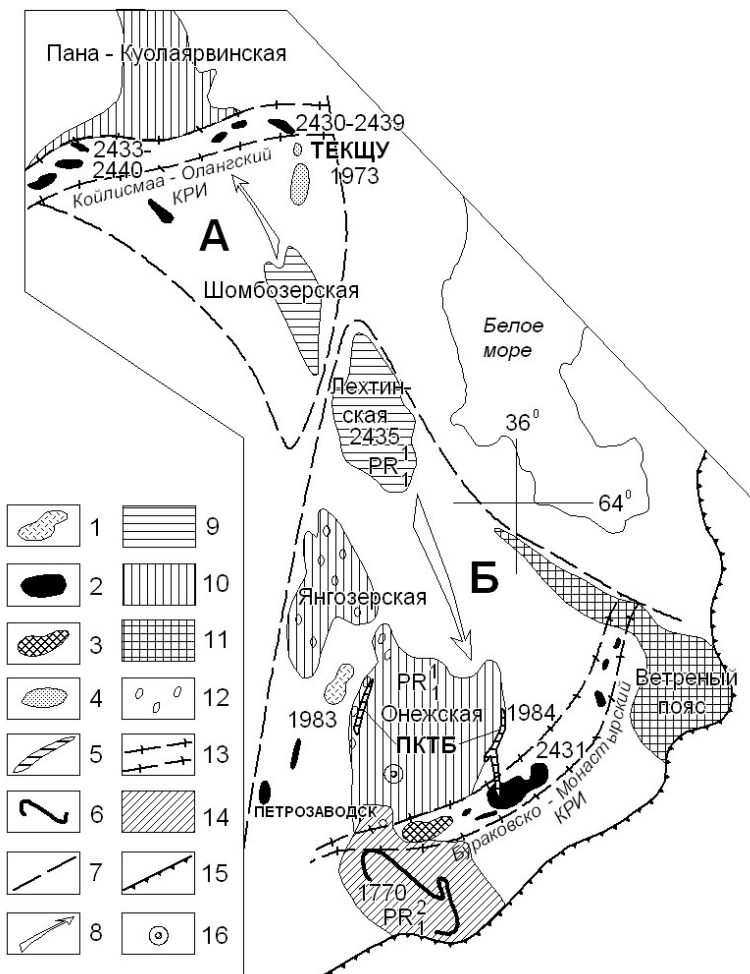


Рис. 1. Схема образования сводов и впадин на стадиях заложения и активизации рифта:

1 – Семченский дифференцированный плутон габбродиоритовой формации (лопий); 2 – комплекс расслоенных интрузивов рифтогенного этапа (сумий): Бурлаковско-Монастырский (БМКРИ) и Койлисмаа-Олангский (КОКРИ); 3 – положительная гравиметрическая Петрозаводская аномалия, сопоставляемая с БМКРИ; 4 – Тикше-Ельтеозерский плутонический комплекс щелочно-ультраосновной формации (ТЕКЩУ) – людиковый; 5 – Пудожгорский комплекс дифференцированных пластовых интрузивов толеит-базальтовой формации – (ПКТБ) – людиковый; 6 – Ропручейский силл толеит-базальтовой формации – вессий; 7 – рифтовые сводовые поднятия (сумий): А – Пяозерско-Тикшеозерское; Б – Водлозерско-Сегозерское; 8 – направление воздымания сводов; 9 – межсводовые рифтовые впадины – Лехтинская и Шомбозерская – сумий; 10 – пострифтовые впадины (авлакогены): Онежско-Янгозерский; Пана-Куолярвинский – ятулий-людиковый; 11 – перикратонный прогиб Ветренный пояс с пострифтовой активизацией; 12 – основные области накопления продуктов сариолийских кор выветривания кварцевых конгломератов и гравелитов; 13 – зоны растяжения в апикальных частях сводов; 14 – свекофенские континентальные красноцветы (аркозовые кварцито-песчаники) – вессий; 15 – граница Русской платформы (фанерозой); 16 – параметрическая скважина

вого горизонта слойком кварцито-песчаника с гипсовым, карбонатным и железистым цементом (рис. 3). Горизонт входит в состав доломитовой пачки мощностью 40 м, зажатой между Габневским и вышележащим недифференцированным силлом долеритов мощностью 50–70 м. В экзоконтакте Габневского силла доломиты брекчированы и сцементированы кальцитом с четко выраженной раздоломитизированной исходной породой (рис. 4). Породы сульфатно-карбонатной пачки испытали динамическое и термальное воздействие, что обусловило развитие процессов перекристаллиза-

ции, формирование регенерационных кайм (рис. 2, 3). С поступлением флюидов связано развитие флюорита, турмалина, кальцита, кварца в связи со щелочно-карбонатным метасоматозом.

В нижнем экзоконтакте Габневского силла был выявлен ангидрит (Еселев и др., 1952Ф; Трофимов, Логинов, 2005) и аналогичное брекчирование вмещающих доломитов. Таким образом, внедрение Габневского силла происходило в наиболее пластичную часть разреза туломозерской свиты – сульфат-карбонатную с развитием (или использованием) зон брекчирования мощностью до 20 м в экзоконтактах.

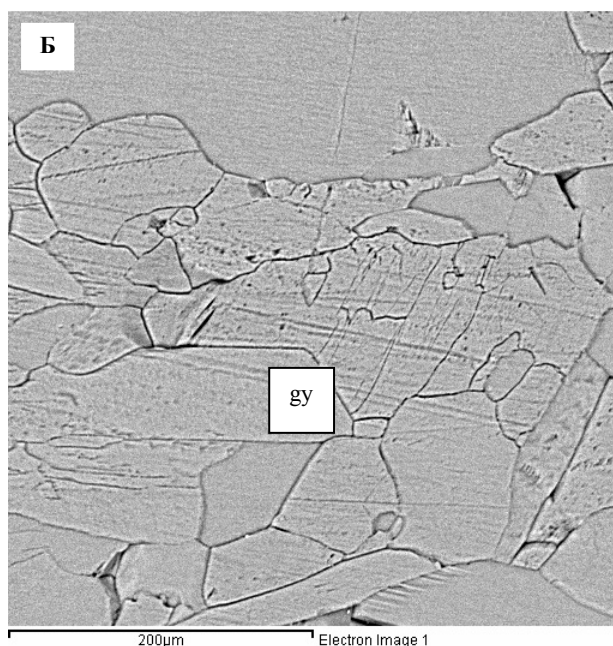


Рис. 2. Перекристаллизация гипса (gy) с образованием идиоморфных кристаллов и развитием по ним регенерационной каймы. Николы скрещены – А, шл. С55/119.5. Гипс, электронное изображение – Б, шл. С-55/114

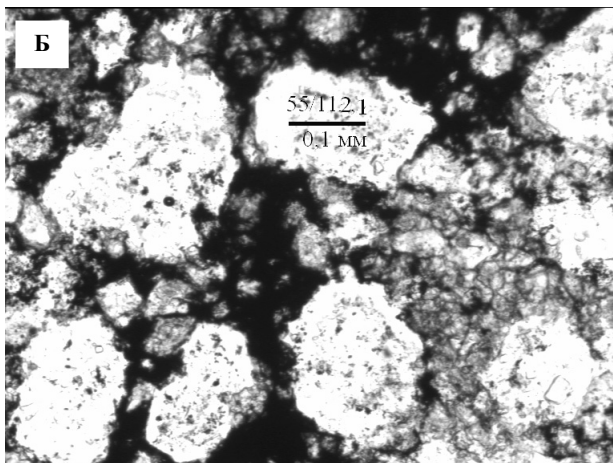
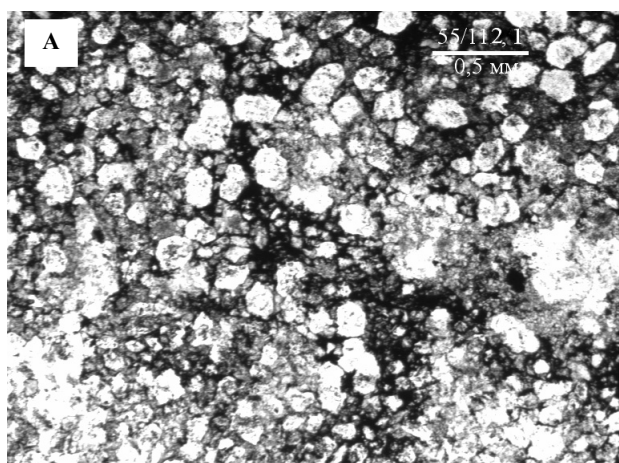


Рис. 3. Кварцито-песчаник. Цемент базальный и регенерационный, по составу – гипсовый, железистый, карбонатный. Вокруг окатанных песчинок видна регенерационная кайма (Б). Шл. С-55/112.1

Параметрической скважиной в центральной наиболее прогнутой части впадины, так же как и на восточном борту, установлено отсутствие ятулийских конгломератов и лав. При этом разрез туломозерской свиты начинается с галитов, которые сменяются гипсами и ангидритами (рис. 5). Все вышесказанное позволяет предположить, что Онежская впадина начала формироваться как замкнутый континентальный бассейн на границе ятулия и людиковия с эвапоритовой формацией в основании разреза (рис. 5). Ранее предыдущими исследователями (Ахмедов и др., 1996) предполагалось наличие по обрамлению Онежской впадины позднеятулийской фазы эвапоритизации в ассоциации с биогенно-карбонатными отложениями.

Выше по разрезу эвапоритовая формация туломозерской свиты ятулия сменяется сульфид-, углеродсодержащей терригенно-карбонатной заонежской свитой людиковия. Онежская впадина по масштабу концентрирования восстановленных форм углерода в раннем протерозое является уникальным

мировым объектом. Мощности углеродистых пластов (шунгита) достигают 35 м, а в диапироподобных структурах Загогинского месторождения – 120 м, при среднем содержании углерода 33% (Купряков, Леднева, 1976Ф). При этом основные объемы углерода и серы сконцентрированы в средней заонежской подсвите.

Разрез заонежской свиты начинается с нижней подсвиты, имеющей терригенно-карбонатный состав и незначительную мощность – 170–200 м. Она маркирует появление первых порций восстановленного углерода – 1,3–2,4% (Полеховский, Голубев, 1989).

Средняя подсвита состоит из переслаивающихся туфогенно-осадочных пород с силлами долеритов, покровами и потоками базальтов. Суммарная мощность подсвиты 700–1600 м. Соотношение доли эффузивных и субвулканических тел с осадками составляет соответственно: в сокращенных разрезах – 41% и 59%, в полных – 51% и 49% (Полеховский, Голубев, 1989). Туфогенно-осадочная составляющая

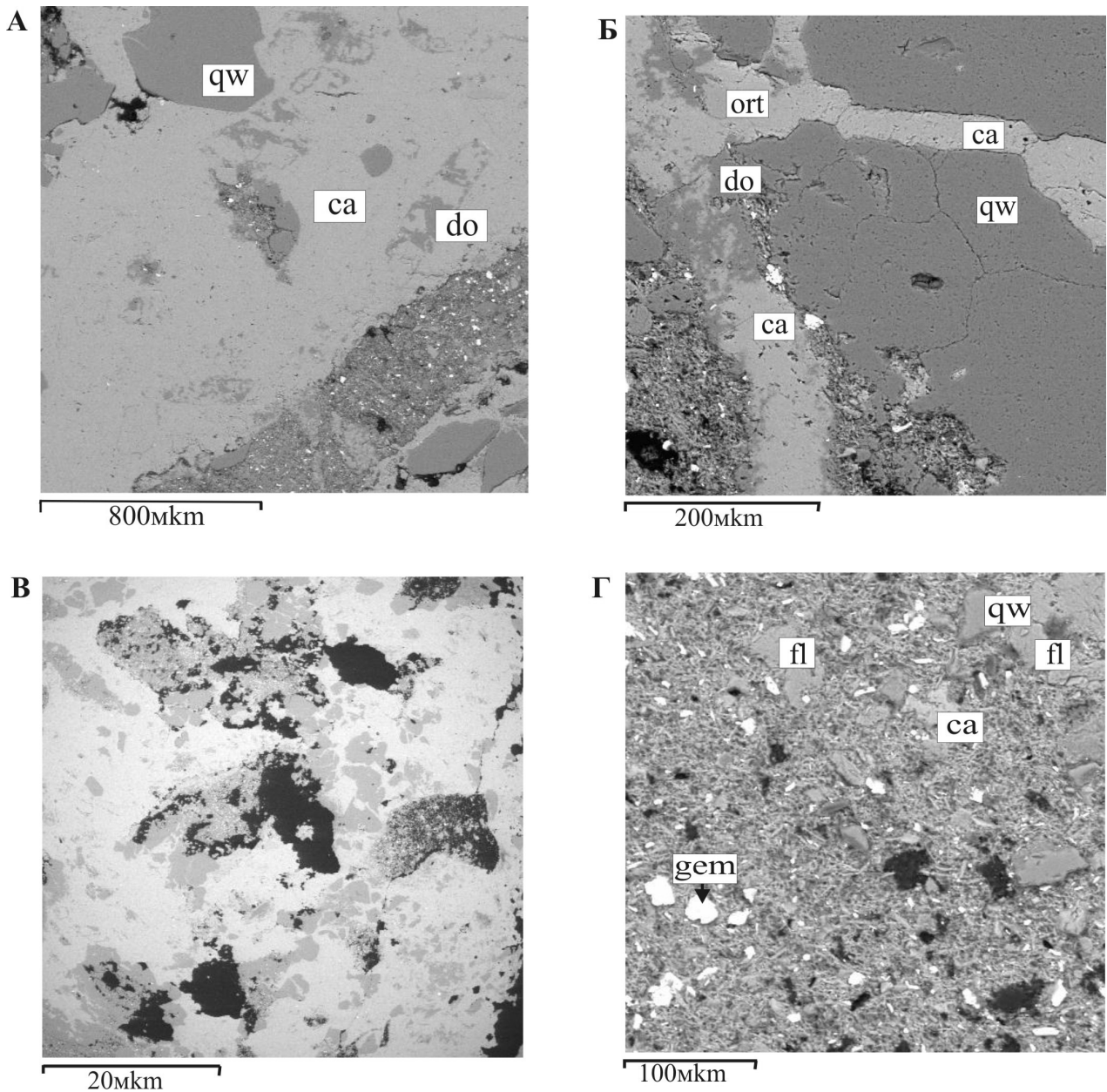


Рис. 4. Брежированный песчаный доломит в экзоконтакте Габневского силла (А, Б); процесс его раздоломитизации – замещение кальцитом (са) (В) и развитие ортоклаза (орт) (Б), флогопита (fl), гематита (gem) (Г)

представлена: туфами, туффитами, туфопесчаниками, шунгитсодержащими и шунгитовыми пелитами, алевролитами, известняками и доломитами, обогащенными сульфидами (преимущественно пирит). Распределение серы в разрезе подсвиты неравномерное. При общей зараженности разреза вкрапленностью сульфидов 1–2% присутствуют слойки, линзы, обогащенные пиритом, марказитом, пирротинном, реже халькопиротинном, а также сульфидоносные слои. Верхняя часть разреза свиты – пачка № 8 мощностью 90 м (Полеховский, Голубев, 1989) – характеризуется особенно высокой насыщенностью серой вплоть до обогащения сульфидами слоя мощностью около 10 м. Вследствие плохой обнаженности, наличия зон рассланцевания на контактах осадков и магматических тел, соответственно при низком выходе керна,

разделение вулканитов на эффузивную и субвулканическую фации достаточно условно.

Верхняя подсвита сложена преимущественно вулканитами эффузивной фации (60–65%) и шунгитсодержащими терригенно-туфогенными образованиями. Высокая насыщенность заонежской свиты вулканитами и многократное переслаивание их с осадками создало мощный бронированный экран, ограничивающий проникновение наиболее поздних инъекций магматического расплава и флюидов вверх по разрезу. В то же время межвулканитовые осадочные пачки являются благоприятными плоскостями для разгрузки тектонических напряжений, сопровождаемых зонами рассланцевания, и как следствие могут служить межплоскостными флюидотранспортерами.

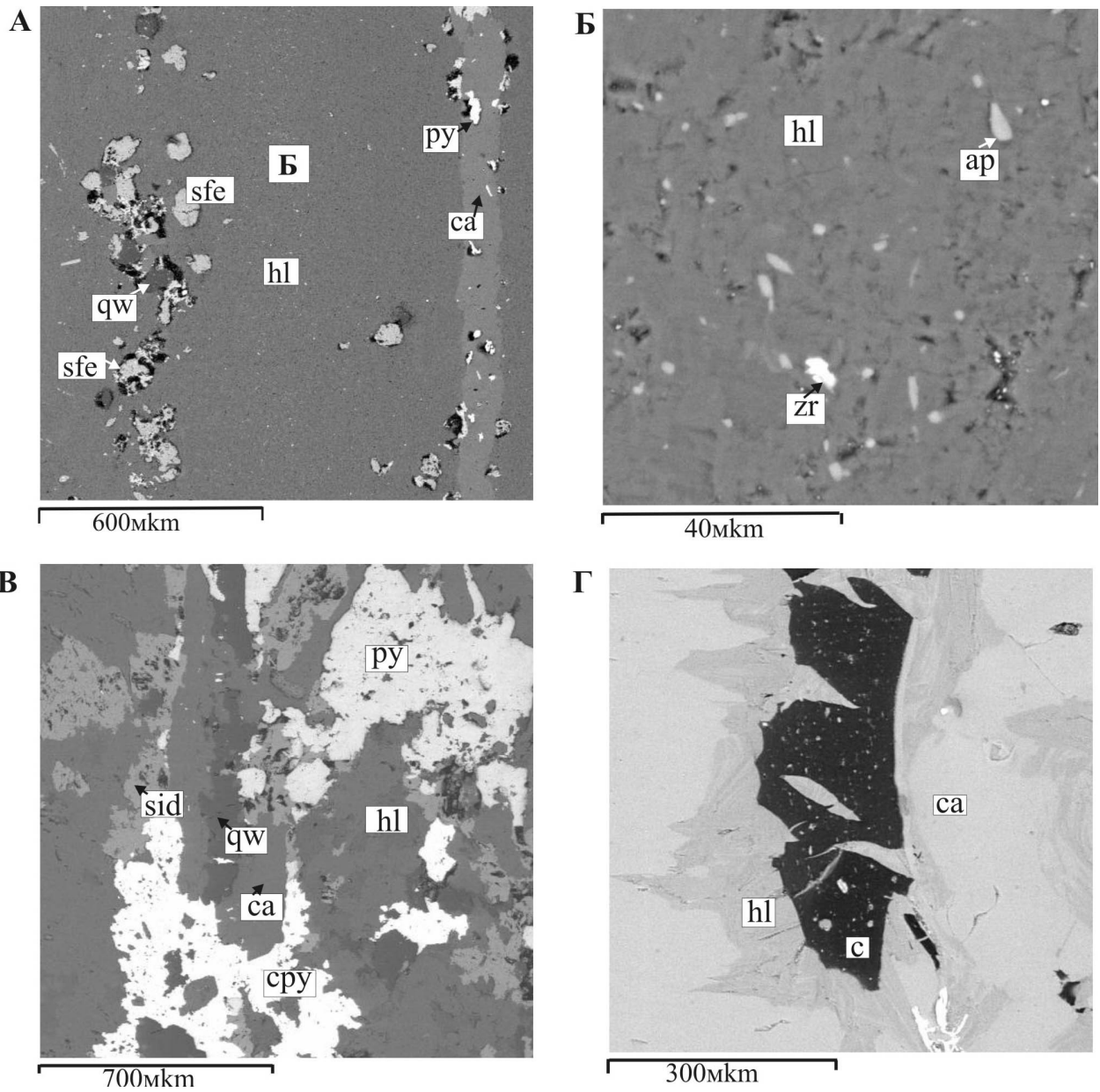


Рис. 6. Слоистая углерод- и сульфидсодержащая туфогенно-осадочная порода (шл. С-210/97.2-1):

А, Б – в пелитовой основной массе хлорит (магнезиальный), видна гравитационно-гранулометрическая сортировка с обособлением слоев: со сфеном и кварцем; сфеном и ру и жилкой кальцита по нему (А); апатита и циркона (Б). В – сру-ру сульфидная минерализация с кальцитом, сидеритом и кварцем; текстура руд полосчатая, структура ксеноморфная. Г – углерод (С – 95%) с хлоритовой каймой в кальците

Таблица 4

Содержание рудных микроэлементов в недифференцированных трапах

Элемент, г/т. Оксид, %	Норильский руд- ный район (сред- нее). Недифферен- цированный трап	Онежский рудный район					Кларк по Турекьяну и Ведеполу	
		Толейты, заонежская свита				Пикриты, суйсар- ская свита		
		Базальты		Долериты, скв. 164		Лавы	Основные породы	Ультраоснов- ные породы
		Виленский, 1967	Голубев, Светов, 1983	Верхний силл	Нижний силл	Голубев, Светов, 1983		
Co	100	152*	86**	53	57	31	48	150
Ni	80	55	149	115	97	102	130	2000
Cu	70	152	168	85	223	54	87	10
Zn		Не опр.	Не опр.	103	138	Не опр.	105	50
Cr	170	171	226	185	122	246	170	1600
V	260	403	375	254	396	140	250	40
TiO ₂	2,05	1,93	1,71	1,3	1,65		2,3	0,05
Кол-во анализов		23	24	7	15	643		

Примечание. Вулканические зоны: * – Кондопожская; ** – Уницкая.

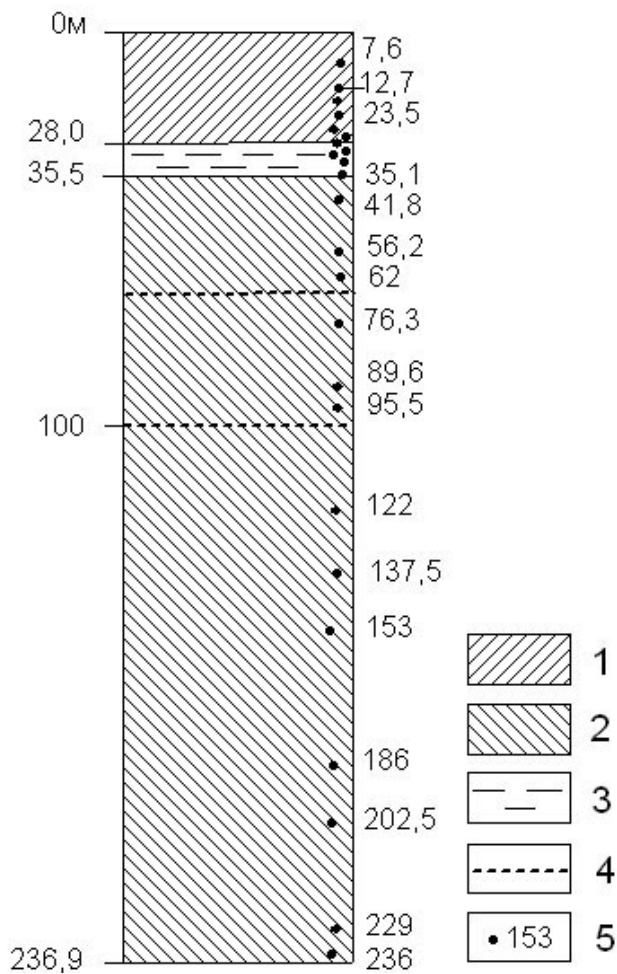


Рис. 7. Разрез нижней части средней заонежской подсвиты людиковия по скв. 164:

1 – верхний силл долеритов; 2 – нижний слабодифференцированный силл долеритов; 3 – слой углеродсодержащих (1–5%) карбонатно-терригенных пород; 4 – границы горизонтов в нижнем силле; 5 – точки отбора штупфных проб на химический и пробирный анализ

Слабодифференцированный нижний силл в скв. 164 мощностью около 200 м (рис. 7) назван Среднезаонежским. Название дано по его положению в разрезе среднезаонежской подсвиты согласно трехчленному ее делению по С. В. Купрякову (1976Ф). Первичный минеральный парагенезис сохранился плохо и фрагментарно в шлифах: 41,8; 50,6 и 62,0 и представлен андезином (An 46,5–47,4) и побуревшим авгитом: Wo-23,6 En-49,1 Fs-27,3. Породы имеют мелко-, среднезернистое сложение, по модальному составу соответствуют андезин-авгитовому долериту. Вторичные минералы представлены амфиболом, биотитом, хлоритом, альбитом, цоизитом, эпидотом и сфеном. Для силла характерно наличие по всему разрезу вкрапленности лейкоксенизированного титаномагнетита (5–10%) с образованиями ilm-2 и сфена. Сульфидная минерализация убогая. В нижней половине разреза она представлена халькопиритом (0,1%), в верхней – пиритом (до 1%), а в районе верхнего эндоконтакта в ассоциации с ним появляется мусковит (шл. 41,8). На участке с убогой вкрапленностью Сру отмечено повышенное содержание Pt+Pd – 136 и 195 мг/т (инт. 153 и 186 м), при отсутствии БЭ в остальной части разреза (табл. 3).

В связи с плохой и фрагментарной сохранностью первичного парагенезиса характеристика степени дифференцированности дается по нормативному и химическому составу пород. На диаграмме AFM (рис. 8) видно, что по содержанию Fe и Mg породы разбиваются на три группы, на основании которых разрез Среднезаонежского силла подразделяется на верхний, средний и нижний горизонты (рис. 7, 8, табл. 5, 6). Верхний горизонт содержит наиболее низкие средние содержания SiO_2 – 45,79%, TiO_2 – 1,13% и максимальные – MgO – 8,29%, Al_2O_3 – 16,28%, Cr_2O_3 – 253 г/т (табл. 5). Средний горизонт наиболее лейкократовый, содержание кремнезема максимальное по силлу – 49,62%, а MgO минимальное – 3,9%, при повышенных содержаниях Cu и Zn (табл. 5). В нормативном составе

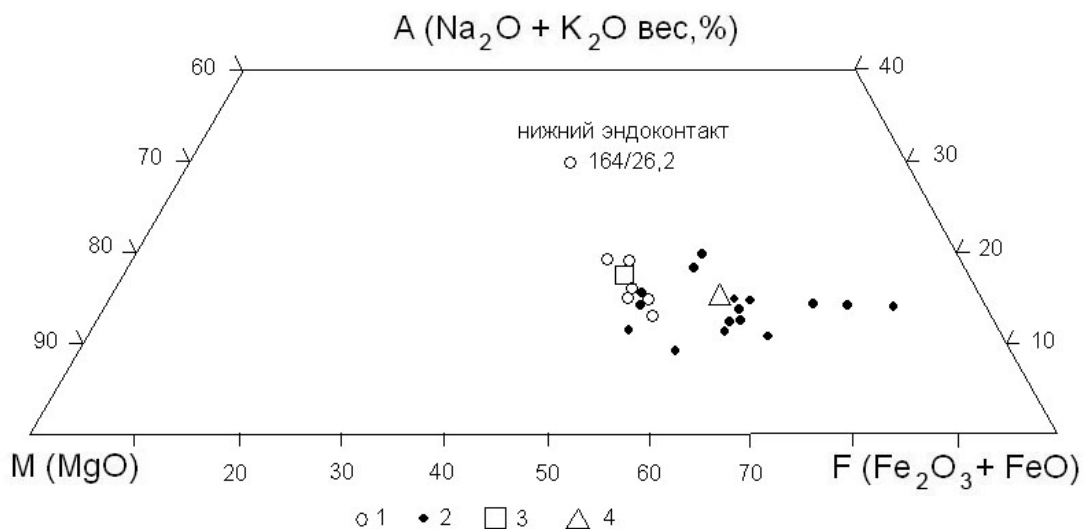


Рис. 8. Диаграмма AFM пород по разрезу скв. 164

Состав рядовых проб: 1 – верхний силл; 2 – нижний силл. Средний состав силлов: 3 – верхнего; 4 – нижнего

Таблица 5

Химический и нормативный состав пород верхнего и среднего горизонтов Среднезаонежского силла по скв. 164

Компоненты, мас. %, г/г	Верхний горизонт, инт. 35,5–75,5 м Номера проб				Средний горизонт, инт. 75,5–105 м Номера проб				Среднеариф. содержание
	164/41.8	164/50.5	164/62.0	Среднеариф. содержание	164/76.3	164/80.2	164/86.5	164/95.5	
SiO ₂	45,72	45,74	45,9	45,79	48,16	47,08	47,62	55,6	49,62
TiO ₂	1,11	1,2	1,08	1,13	2,04	2,2	2,72	1,72	2,17
Al ₂ O ₃	16,56	16,24	16,05	16,28	12,58	12,21	11,32	10,79	11,73
Fe ₂ O ₃	2,26	1,98	2,41	2,22	2,7	2,86	4,52	4,34	3,61
FeO	9,99	10,98	9,48	10,15	12,92	15,37	14,8	11,64	13,68
MnO	0,194	0,222	0,196	0,20	0,297	0,26	0,282	0,27	0,28
MgO	8,14	8,23	8,5	8,29	5,28	4,7	3,58	2,02	3,90
CaO	7,58	7	9,24	7,94	8,88	7,29	7,22	6,21	7,40
Na ₂ O	2,87	2,99	2,3	2,72	3,12	2,95	2,84	2,22	2,78
K ₂ O	0,94	0,72	0,38	0,68	0,26	0,93	0,85	0,6	0,66
H ₂ O	0,19	0,19	0,16	0,18	0,13	0,45	0,76	1,08	0,61
ппп	3,96	4,08	3,72	3,92	2,89	2,94	3,07	2,91	2,95
P ₂ O ₅	0,13	0,18	0,14	0,15	0,25	0,29	0,32	0,51	0,34
Cr ₂ O ₃	250	280	230	253	90	120	30	20	65
V ₂ O ₅	450	510	430	463	770	1040	880	30	680
CoO	70	70	70	70	70	70	70	50	65
NiO	170	140	180	163	80	70	50	30	57
CuO	130	140	140	137	390	440	470	280	395
ZnO	140	150	140	143	170	210	230	410	255
Li ₂ O	100	93	80	91	49	45	31	10	33
Rb ₂ O	35	30	11	25	9	40	37	29	28
Cs ₂ O	4	3	4	3	5	8	8	7	7
S _{общ.}	0,1	0,02	0,03	0,05	0,4	0,12	0,19	0,18	0,22
Сумма	99,77	99,89	99,68	99,78	99,72	99,74	99,97	99,97	99,85
Qu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,98	20,58	
Or	5,56	4,26	2,25		1,54	5,50	5,02	3,55	
Ab	24,28	25,30	19,46		26,40	24,96	24,03	18,78	
An	29,53	28,77	32,35		19,56	17,33	15,63	17,71	
Di	5,92	3,93	10,27		19,14	14,33	15,37	8,38	
Hyp	3,15	6,07	12,91		19,33	18,69	20,58	16,18	
OI	21,37	21,59	12,57		2,15	6,33	0,00	0,00	
Mt	3,28	2,87	3,49		3,91	4,15	6,55	6,29	
Ilm	2,11	2,28	2,05		3,87	4,18	5,17	3,27	
Apt	0,31	0,43	0,33		0,59	0,69	0,76	1,21	

появляется кварц. В шл. 95.5 модальное содержание свободного кварца и кварца в гранофиде составляет около 20%. Нижний горизонт имеет максимальную мощность (инт. 105–239 м, нижний контакт силла не вскрыт) и промежуточный состав: SiO₂ – 47,6%, MgO – 6,19%. Для него характерны повышенные содержания V₂O₅ – 780 г/т, Cr₂O₃ – 191 г/т (табл. 6). Средневзвешенный состав силла: SiO₂ – 47,64%, MgO – 6,16%, Na₂O+K₂O – 3,7%, FeO – 14,68% (табл. 7). По международной классификации TAS (1997) это базальты, тяготеющие к слабощелочным. По нормативному составу породы Среднезаонежского силла относятся к оливиновому толеиту (рис. 9). Это низкоглиноземистые долериты калиево-натриевой серии с высоким коэффициентом фракционирования – 60–82 (табл. 8) (Магматические..., 1983).

Скважиной 164 также вскрыта нижняя часть еще одного силла, названного Верхним, залегающего выше по разрезу (рис. 7) и отделенного от Среднезаонежского пачкой шунгитсодержащих карбонатно-терригенных пород (табл. 9) вертикальной мощностью около 7,5 м. Породы рассланцованы, выход зерна 40–50%, поэтому контакты обоих силлов приняты условно, а образцы зон закалок отсутствуют. Верхний силл сложен средне-, крупнозернистыми авгитовыми метадолеритами, близкими

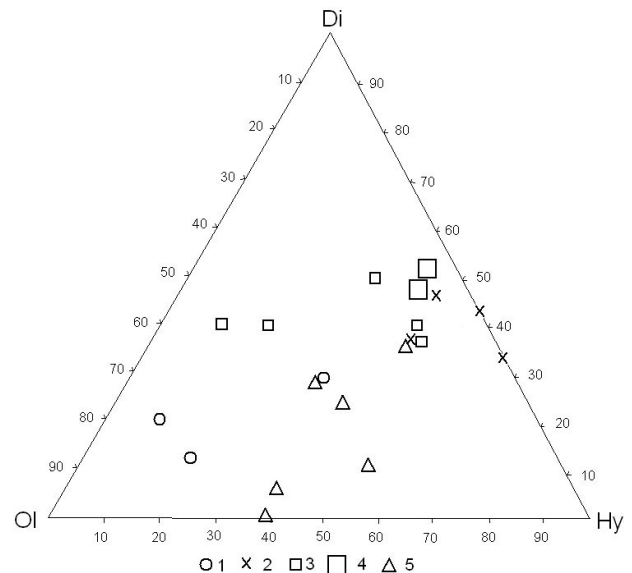


Рис. 9. Классификационная диаграмма CIPW оливинового толеита по нормативному составу пород Среднезаонежского и Верхнего силлов скв. 164:

1–3 – горизонты нижнего силла (1 – верхний; 2 – средний; 3 – нижний); 4 – пробы с повышенными содержаниями ЭПГ (153, 186); 5 – Верхний силл

по составу к нижнему (табл. 10, рис. 8). В их нормативном составе рассчитываются оливин, гиперстен, диопсид, что согласно классификации CIPW соответствует оливиновым толеитам (рис. 9). На границе с осадками

(шл. 19, 26) проявлен щелочной метасоматоз с развитием ортоклаза и мусковита, привнесом Ba, Ni, Co, Cu, S и образованием их минеральных форм (рис. 10). Наличие МПГ не установлено (табл. 3).

Таблица 6

Химический и нормативный состав пород нижнего горизонта Среднезаонежского силла по скв. 164

Компоненты, мас. %, г/т	Номера проб								Среднеариф. содержание
	164/122	164/137.5	164/153	164/166.0	164/186	164/202.5	164/229	164/236	
SiO ₂	46,1	47,9	46,5	46,92	47,67	48,28	48,42	49,04	47,60
TiO ₂	2,16	1,75	1,7	1,48	1,6	1,37	1,52	1,86	1,68
Al ₂ O ₃	12,87	13,81	13,39	13,46	13,85	14,32	12,65	12,43	13,35
Fe ₂ O ₃	3,22	3,24	3,35	3,68	3	2,24	2,95	2,99	3,08
FeO	13,94	12,07	11,78	11,49	11,49	11,49	11,77	11,78	11,98
MnO	0,242	0,203	0,206	0,223	0,225	0,225	0,199	0,191	0,21
MgO	5,61	5,96	6,12	6,36	5,6	6,31	7,1	6,46	6,19
CaO	8,66	7,73	9,82	10,04	10,11	7,51	6,86	6,81	8,44
Na ₂ O	2,6	3,36	2,37	2,07	2,52	3,19	3,3	3,39	2,85
K ₂ O	0,42	0,15	0,78	0,88	0,55	1,66	1,53	1,93	0,99
H ₂ O	0,32	0,25	0,12	0,07	0,14	0,06	0,09	0,02	0,13
ппп	3,2	3,25	3,21	2,93	2,81	2,62	2,89	2,53	2,93
P ₂ O ₅	0,24	0,01	0,2	0,17	0,2	0,22	0,2	0,07	0,16
Cr ₂ O ₃	30	100	100	210	210	150	150	580	191
V ₂ O ₅	1240	1150	970	870	630	620	590	170	780
CoO	70	70	70	70	70	70	70	120	76
NiO	80	140	120	130	140	110	140	190	131
CuO	620	330	230	250	270	270	190	120	285
ZnO	170	170	180	180	130	150	180	105	158
Li ₂ O	59	56	54	51	49	72	91	83	64
Rb ₂ O	18	5	23	32	27	74	65	12	32
Cs ₂ O	6	5	5	6	4	7	8		5,86
S _{общ.}	0,25	0,05	0,14	0,05	0,043	0,06	0,1	Не обн.	0,10
Сумма	99,78	99,89	99,7	99,95		99,67	99,63	99,81	
Qu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Or	2,48	0,89	4,61	5,20	3,25	9,81	9,04	11,41	
Ab	22,00	28,43	20,05	17,51	21,32	26,99	27,92	28,68	
An	22,21	22,16	23,60	24,84	24,86	19,86	15,19	13,00	
Di	16,06	13,40	19,76	19,75	19,96	13,26	14,49	15,91	
Hyp	18,91	17,92	13,41	17,70	17,22	3,65	7,40	5,83	
OI	5,07	5,34	6,24	3,23	2,35	16,89	14,82	13,87	
Mt	4,67	4,70	4,86	5,34	4,35	3,25	4,28	4,33	
Ilm	4,10	3,32	3,23	2,81	3,04	2,60	2,89	3,53	
Apt	0,57	0,02	0,47	0,40	0,47	0,52	0,47	0,57	

Таблица 7

Средневзвешенный состав силлов и средний состав их дифференцированных горизонтов

Компоненты, мас. %, г/т	Суйсарская свита					Заонежская свита				Скв. 164, верхний силл
	Тернаволокский силл			Среднезаонежский (нижний) силл, скв. 164		Среднезаонежский (нижний) силл, скв. 164			Средний состав из 7 ан.	
	Горизонты, их мощности			Средневз. сред.+верх. горизонты	Средневзвеш. по силлу 60 м	Горизонты, их мощности				Средневзвеш. 202 м
	Нижний 30 м	Средний 10 м	Верхний 20 м			Нижний 132 м	Средний 35 м	Верхний 35 м		
SiO ₂	49,23	43,40	48,30	46,66	47,95	47,60	49,62	45,79	47,64	49,22
TiO ₂	1,05	1,33	1,97	1,76	1,41	1,68	2,17	1,13	1,67	1,3
Al ₂ O ₃	13,58	7,52	11,88	10,42	12	13,35	11,73	16,28	13,58	14,95
Fe ₂ O ₃	2,17	1,83	2,52	2,29	2,23	3,08	3,61	2,22	3,02	2,37
FeO	10,06	9,95	8,50	8,98	9,52	11,98	13,68	10,15	11,96	9,28
MnO	0,20	0,21	0,18	0,19	0,19	0,21	0,28	0,20	0,22	0,18
MgO	7,78	20,32	10,25	13,61	10,69	6,19	3,90	8,29	6,16	7,88
CaO	9,08	8,40	8,34	8,36	8,72	8,44	7,40	7,94	8,17	5,90
Na ₂ O	2,85	0,19	3,02	2,08	2,46	2,85	2,78	2,72	2,82	3,93
K ₂ O	0,53	0,02	0,58	0,39	0,46	0,99	0,66	0,68	0,88	0,36
H ₂ O	0,31	0,86	0,35	0,52	0,42	0,13	0,61	0,18	0,22	0,37
ппп	3,18	6,02	3,82	4,55	3,87	2,93	2,95	3,92	3,11	3,81
P ₂ O ₅	0,15	0,20	0,26	0,24	0,19	0,16	0,34	0,15	0,19	0,14
Cr ₂ O ₃	301	1159	588	779	540	190	65	253	179	270
V ₂ O ₅	513	496	603	568	540	780	680	463	708	454
CoO	60	72	57	62	61	76	65	70	73	67
NiO	143	1351	417	728	435	131	58	163	124	146
CuO	94	74	160	131	113	285	395	136	278	119
ZnO						158	255	143	172	128
S _{общ.}	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	Не обн.	0,10	0,22	0,05	0,11	0,19

Таблица 8

Классификационная характеристика пород субвулканических силлов

Классификационные признаки (по: Магматические..., 1983)	Горизонты Тернаволоцкого силла				Горизонты Среднезаонежского силла				Классификационные параметры оливиновых базальтов и долеритов
	Ниж- ний	Сред- ний	Верх- ний	Сред.+верх. 30 м	Нижний	Средний	Верхний	В целом по силлу	
Na ₂ O/K ₂ O Серия al' = Al ₂ O ₃ /Fe ₂ O ₃ + FeO + MgO	5,38	9,5	5,21	5,33	3,5	4,21	1,47	3,68	>4; 1-4
	0,73	0,23	0,56	0,42	0,62	0,55	0,79	0,61	<0,75
f' = FeO + Fe ₂ O ₃ + MgO + TiO ₂ S = SiO ₂ - (FeO + Fe ₂ O ₃ + MnO + MgO + TiO ₂) A = Al ₂ O ₃ + CaO + Na ₂ O + K ₂ O Fe ₂ O ₃	19,6	33,4	23,2	26,6	23,4	23,4	21,8	22,6	21-23
	29,4	9,8	24,9	19,8	24,0	26,0	23,8	29,2	2-31
	26,0	16,1	23,8	21,2	24,9	22,6	27,6	24,1	25-30
Kf = $\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MgO}} * 100$	58	37	52	45	71	82	60	70	35-65

Таблица 9

Химический состав пород углеродсодержащего карбонатно-терригенного горизонта, разделяющего Верхний и Среднезаонежский силлы, по скв. 164

Компо- ненты, мас. %, г/т	Номера проб				
	164/28,0 кон- такт с силлом	164/29.8	164/30.0	164/33.8	164/35.5
SiO ₂	54,3	67,1	36,8	70,26	68,06
TiO ₂	0,96	0,7	0,54	0,57	0,65
Al ₂ O ₃	15,1	15,6	11,18	14,56	17,38
Fe ₂ O ₃	1,41	0,72	8,6	0,63	0,7
FeO	7,42	2,87	8,17	2,59	1,22
MnO	0,087	0,028	0,244	0,038	0,021
MgO	7,78	2,91	17,61	1,9	0,77
CaO	1,87	0,72	6,21	0,94	0,94
Na ₂ O	5,02	7,36	0,14	6,85	9,36
K ₂ O	0,1	0,09	0,03	0,1	0,11
H ₂ O	0,21	0,13	1,18	0,1	0,14
ппп	5,1	1,59	8,93	1,12	0,44
P ₂ O ₅	0,08	0,09	0,12	0,09	0,08
Cr ₂ O ₃	220	120	100	170	210
V ₂ O ₅	380	180	80	120	190
CoO	40	20	60	17	14
NiO	170	90	90	50	40
CuO	8	10	260	30	30
ZnO	80	70	230	90	30
Li ₂ O	85	31	167	21	11
Rb ₂ O	7	2	8	2	3
Cs ₂ O	2	1	5	1	2
S _{общ.}	0,03	0,14	3,85	0,07	0,2
Сумма	99,54	99,94	99,9	99,82	100

Вышележащие отложения суйсарской свиты имеют ограниченное распространение в пределах Онежской структуры и приурочены преимущественно к ее западному борту. Основной особенностью этого этапа вулканической деятельности является антидромная направленность магматизма – появление пикритов, представленных эффузивной, субвулканической и пирокластической фашиями. Базальты залегают в нижней половине разреза свиты. Подробная характеристика пикро-базальтового комплекса дана в описании опорного разреза суйсария (Куликов и др., 1999). Наибольший интерес представляют дифференцированные, так называемые «перидотитовые силлы» – Кончезерский и Тернаволоцкий, приуроченные к западному борту Онежской впадины. Кончезерский дифференцированный силл площадью около 300 км² отнесен к гипабиссальной фашии (описание по: Куликов и др., 1976). В его основании залегают горизонт серпентинизированных верлитовых перидоти-

тов мощностью 40–60 м с интерстициальным СРх и крупным кумулятивным ОI. Вверх по разрезу размер и количество оливина убывают, появляется плагиоклаз. Перидотиты нижнего горизонта плавно сменяются габбродолеритами через плагиопироксениты. Результаты пробирного анализа не выявили повышенных концентраций дифференцированных разновидностей БЭ (табл. 11). Общей особенностью суйсарских силлов и лав является их стерильность по сере. Углубленное петролого-геохимическое исследование, выполненное по Тернаволоцкому силлу (см. статью в настоящем сборнике), позволило сделать вывод о возможной внутрикоровой сульфуризации пород и отделении сульфидного ликвата от расплава и отсадке его на промежуточное (временное) дно, в поднимавшейся магматической колонке, или, при медленном продавливании последнего, в верхние этажи. При этом высказано мнение, что предполагаемый в составе силла нижний горизонт является самостоятельным геологическим телом лабрадор-авгитовых базальтов (долеритов) с более низким содержанием MgO и элементов примесей – Cr и Ni (табл. 7), характерных для гипербазитов. К собственно Тернаволоцкому силлу предварительно следует отнести средний и верхний горизонты, средневзвешенное содержание MgO в них составляет 13,61%, SiO₂ – 46,66%, Na₂O+K₂O – 2,47%, TiO₂ – 1,76% (табл. 7). По классификации TAS (Классификация..., 1997) их не следует относить к пикритам (MgO < 18%, Na₂O+K₂O > 2%), а также к пикро-базальтам, так как SiO₂ – более 45%. Средневзвешенный состав пород Тернаволоцкого силла попадает в поле базальтов. Согласно Петрографическому кодексу России (2009) они также соответствуют базальтам. Высокое содержание Mg, недосыщенность кремнеземом, повышенное содержание Cr и Ni (табл. 7) геохимически сближают их с гипербазитами. Эта особенность состава характерна и для Норильских рудоносных интрузивов. Дифференцианты среднего горизонта соответствуют вебстеритам, верхнего – авгитовым долеритам.

Вулканиды всех магматических циклов Онежской впадины по фашиальным разновидностям от ятулия до суйсария включительно вынесены на диаграмму AFM (рис. 11), из которой видно, что между ятулийской и заонежской фазами нет принципиальной разницы. Для той и другой характерно изменение составов

Таблица 10

Химический и нормативный состав пород Верхнего силла по скв. 164

Компоненты, мас. %, г/т	Номера проб (интервал, м)							Среднеариф. содержание
	164/7.6	164/12.7	164/16.1	164/17.8	164/19.1	164/23.5	164/26.2	
SiO ₂	46,9	47,3	47,77	47,86	49,18	48,73	56,8	49,22
TiO ₂	1,37	1,35	1,42	1,32	1,19	1,43	1,02	1,30
Al ₂ O ₃	13,85	14,88	15,05	14,61	15,47	15,49	15,31	14,95
Fe ₂ O ₃	4,01	2,45	2,24	2,44	1,86	2,2	1,38	2,37
FeO	9,34	10,12	9,7	10,2	9,98	9,58	6,05	9,28
MnO	0,215	0,204	0,191	0,199	0,184	0,16	0,097	0,18
MgO	7,99	7,84	8	8,55	7,78	8,5	6,52	7,88
CaO	8,38	7,7	7,33	5,7	4,91	4,25	3,04	5,90
Na ₂ O	2,75	3,25	3,32	3,6	4,45	4,31	5,82	3,93
K ₂ O	0,45	0,32	0,28	0,26	0,3	0,63	0,25	0,36
H ₂ O	0,5	0,32	0,36	0,39	0,2	0,34	0,46	0,37
ппп	3,69	3,91	3,98	4,19	3,91	4,06	2,93	3,81
P ₂ O ₅	0,14	0,17	0,16	0,13	0,14	0,14	0,1	0,14
Cr ₂ O ₃	140	490	260	270	180	310	240	270
V ₂ O ₅	590	130	520	580	450	550	360	454
CoO	70	80	1070	70	60	80	40	67
NiO	140	180	140	140	140	160	120	145
CuO	140	250	80	90	120	120	30	118
ZnO	130	75	100	150	180	170	90	127
Li ₂ O	65	16	77	87	82	99	57	69
Rb ₂ O	22	3	14	10	11	28	8	13
Cs ₂ O	5		3	4	3	5	3	3
S _{общ.}	0,09	0,115	0,104	0,16	0,25	0,546	0,088	0,19
Сумма	99,69			99,59	99,79	99,97	99,87	99,78
Qu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,19	
Or	2,66	1,89	1,65	1,54	1,77	3,72	1,48	
Ab	23,27	27,50	28,09	30,46	37,65	36,47	49,24	
An	24,12	25,07	25,34	22,94	21,36	20,17	14,43	
Di	13,46	9,85	8,16	3,67	1,71	0,00	0,00	
Hyr	17,34	12,12	15,07	17,77	11,18	11,36	24,70	
Ol	5,81	12,64	10,83	12,14	16,49	17,14	0,00	
Mt	5,81	3,55	3,25	3,54	2,70	3,19	2,00	
Ilm	2,60	2,56	2,70	2,51	2,26	2,72	1,94	
Apt	0,33	0,40	0,38	0,31	0,33	0,33	0,24	

Примечание. Пиковое содержание Со в пробе 164/16.1 не учитывалось при расчете среднего значения.

по содержанию железа. Суйсарские базальты занимают в этом ряду крайнюю позицию – они наименее железисты. На диаграмме видна тенденция антидромности магматических циклов – нарастания магнезиальности вулканитов от заонежья к суйсарии, завершившаяся появлением высокомагнезиальных разновидностей – пикритовых базальтов (рис. 11). Субвулканическая фация заключительного цикла людиковия, как показало исследование Тернавлоцкого силла, обладает повышенной магнезиальностью, но относится к базальтам. На дискриминационных диаграммах немобильных элементов среднезаонежский и суйсарский силлы попадают в поле внутриплитных базальтов (рис. 12, 13).

Проведенный анализ геодинамической обстановки, стратиграфической последовательности, состава пород и магматизма Онежской впадины, с выделением в основании эвапоритовой формации – галит-сульфат-карбонатной, позволяет произвести ее сопоставление с Норильским рудным районом (Норильской и Хараелаской впадинами).

Основание фундамента платформы в Норильском районе недоступно изучению вследствие многокилометровой мощности осадков. Основные литологические разновидности пород в основании разреза впадины представлены доломитами и мергелями (Ст-О).

Таблица 11

Результаты пробирного атомно-абсорбционного анализа пород по разрезу Кончезерского силла

№ пробы	Содержание, мг/т			Примечание (Аналитический центр ЦНИГРИ, навеска 50 г)
	Pt	Pd	Au	
75/8	<5	<5	<10	Метаперидотит. Нижн. э/конт.
75/10	8	<5	<10	Метаперидотит
77/3	<5	<5	<10	Метапироксенит
77/5	8	<5	<10	Метапироксенит
79	6	<5	<10	Метаперидотит
80/3	<5	<5	<10	Метаперидотит
81/1	<5	<5	<10	Метаперидотит. Верх. э/конт.

Нижняя часть разреза силлурийских пород образована аргиллитами и алевролитами; позднесиллурийские, подстилающие рудовмещающую толщу девона, сложены преимущественно известняками, гипсами и ангидритами (Сульфидные..., 1981). Отложения девона представлены сульфатно-глинисто-карбонатной формацией, в составе которой преобладают мергели, гипсы, ангидриты, известняки, доломиты и отмечены горизонты галитов. Они перекрываются терригенно-углистыми отложениями (Т₁-Р₃) с недифференцированными интрузивами и лавами трапповой формации, относящейся к перми – нижнему триасу (рис. 14) (Люлько и др., 2002). Перерыв в осадконакоплении объясняется формированием Рыбинского

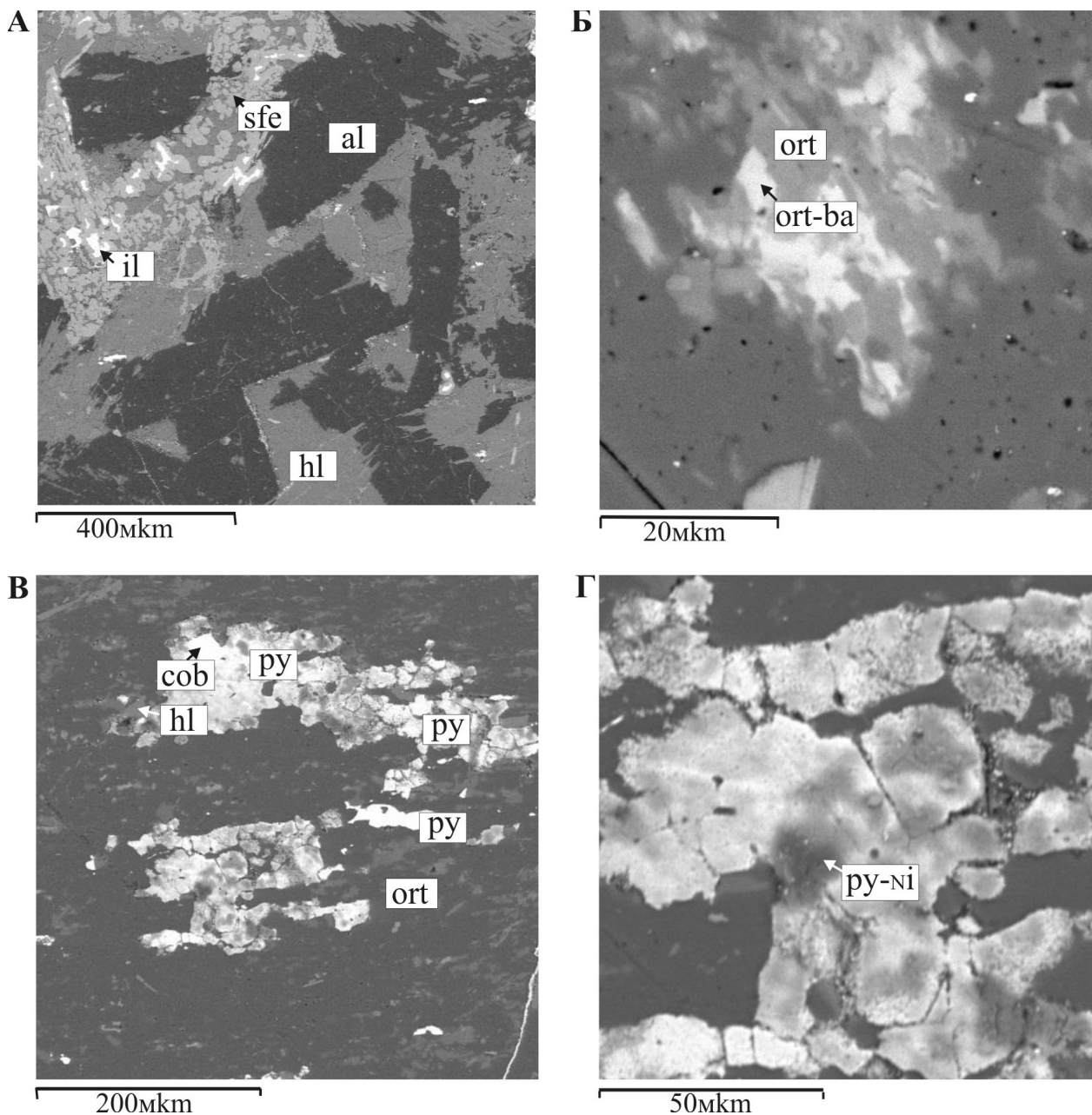


Рис. 10. Подошва Верхнего силла метадолеритов (шл. С-164/19):

А – ранняя кристаллизация таблитчатого Pl (полностью альбитизирован), в промежутках хлорит. Титаномагнетит лейкоксенизирован, сохранились реликты il; Б–Г – метасоматическое замещение Pl ортоклазом с барием (ba – до 10%) (Б) с привнесом Ni, Co, Cu, S и образованием коллоидных форм пирита (мельниковита), обогащенного Ni – 2,5% (В, Г), кобальтина и халькопирита (В)

антиклинального поднятия и заложением флексур, послуживших в дальнейшем областями локализации дифференцированных рудоносных интрузивов.

М. Н. Годлевским (1959) выделено четыре цикла вулканизма, которые рассматриваются как главные фазы и всеми последующими исследователями: 1 – позднепермская трахибазальтовая; 2 – раннетриасовая андезит-базальтовая, пикрит-базальтовая; 3 – раннетриасовая базальтовая; 4 – ранне-среднетриасовая базальтовая (Сульфидные..., 1981). Для Норильской провинции наиболее характерной эффузивной фацией являются пикриты, развитие которых практически ограничено данной территорией в северной части Сибирской платформы. Все дифференцирован-

ные интрузивы – безрудные (с Орх) и Cu-Ni рудные – связаны с третьей фазой, которая сопровождается силлами и лавами долеритов, лабрадоровых порфиритов и порфировых базальтов (Годлевский, 1959). Рудовмещающей и подстилающей толщей служат галоидно-сульфатные терригенно-карбонатные породы девона и силура, экранирующей и восстановительной (для S) – переслаивающиеся углесто-терригенные и вулканогенные образования T₁-P₃. Размещение рудоносных интрузий носит разноуровневый эшелонированный характер с кулисообразными переходами между ними (рис. 14). Особенностью дифференцированных интрузий Норильской провинции относительно нормальных траппов является:

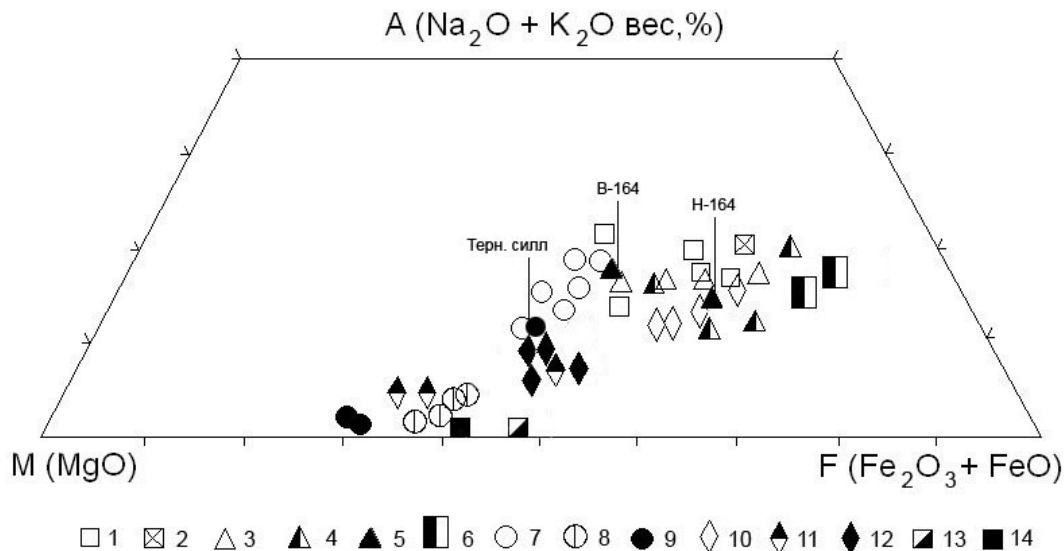


Рис. 11. Диаграмма AFM пород трапповой формации Онежской, Норильской и Печенгской впадин

Онежское плато (Голубев, Светов, 1983; Трофимов, Голубев, 2008). Ятулийский вулканический комплекс: 1 – базальты; 2 – долериты. Заонежский комплекс людиковия: 3 – базальты; 4 – долериты; 5 – слабодифференцированные долериты; 6 – рудоносные интрузивы ферродолеритов пудожгорского комплекса (дифференциация в гипабиссальной и внутрикоровой камерах). Суйсарский вулканический комплекс: 7 – толеитовые базальты; 8 – пикробазальты; 9 – дифференцированные силлы пикритовых долеритов. Норильское плато (Олейников, 1979); 10 – недифференцированные и слабодифференцированные толеитовые базальты; 11–12 – дифференцированные пикритовые долериты (нерудоносные – 11 и рудоносные Норильско-Талнахской группы). Печенгская структура: 13 – эндоконтакты интрузивов пилгуярвинского типа (Магматизм..., 1995), 14 – средний состав габбро-перидотитов Аллареченского рудного района (Геохимия..., 1971)

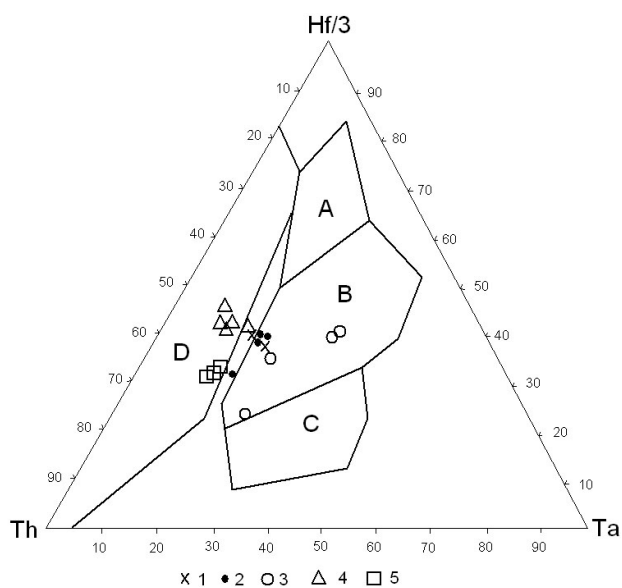


Рис. 12. Дискриминационная диаграмма немобильных высокозарядных элементов (по: Интерпретация..., 2001). Th – Hf – Ta для базальтов (A – N типа MORB; B – E типа MORB и внутриплитные толеиты, D – базальты вулканических дуг, C – внутриплитные щелочные):

1 – нижний силл, скв. 164; 2–3 – Тернаволоцкий силл (2 – нижний горизонт; 3 – верхний); 4–5 – Рыборецкий силл; 4 – Пудожгорский силл

недонасыщенность кремнеземом; щелочами; избыток магнезия; высокое содержание Ст и низкое Тi, что геохимически роднит их с гипербазитами. При этом траппы Норильского района содержат кларковые величины Ni, Cu, S, МППГ (табл. 4), а в дифференцированных интрузиях количество Ni и Cu возрастает в 6 и

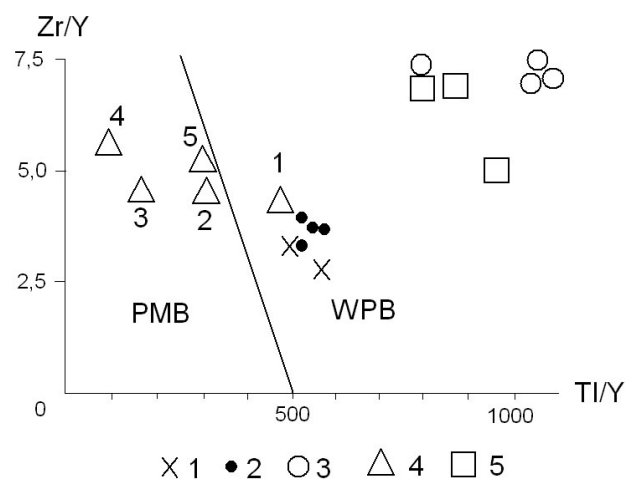


Рис. 13. Дискриминационная диаграмма Zr/Y – Ti/Y (WPB – внутриплитные базальты):

1 – силл, скв. 164, заонежская свита; 2–3 – Тернаволоцкий силл, суйсарская свита (2 – нижний горизонт; 3 – верхний); 4 – Пудожгорский интрузив (т. 1 – верхний эндоконтакт; т. 2 – подрудный горизонт; т. 3–5 – диоритовая зона); 5 – Рыборецкий силл, веспий

более раз, а МППГ – в 150–300 раз (Годлевский, 1959). Высокие концентрации металлов и серы М. Н. Годлевский (1959) связывает с абиссальной аккумуляцией, контаминацией и гипабиссальной ликвацией.

Геологическое строение Онежской впадины имеет много общих черт с Норильской и Хараелахской

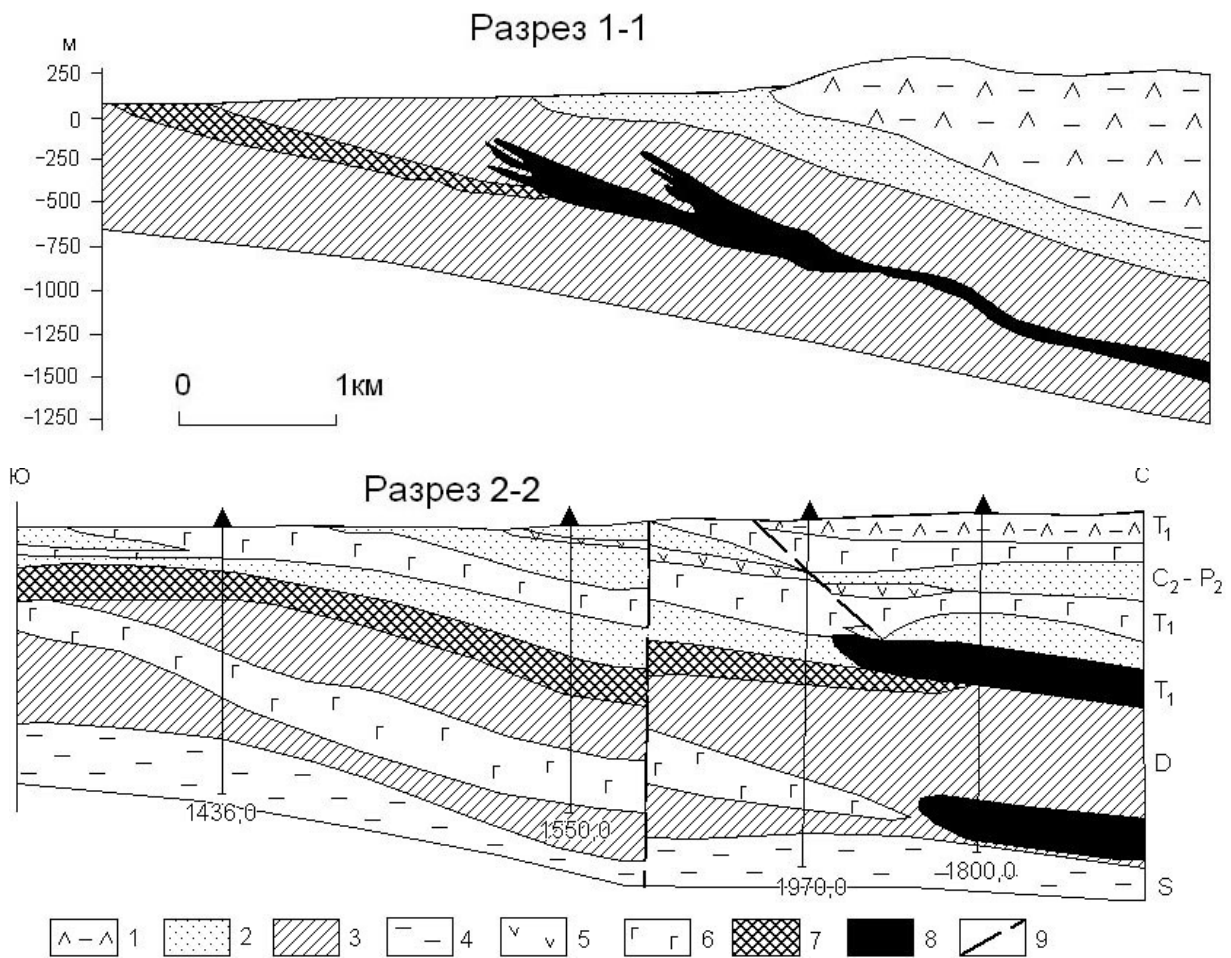


Рис. 14. Геологические разрезы Норильского рудного района (по: Люлько и др., 2002, с упрощениями):

разрез 1-1 – Талнахский рудный узел; разрез 2-2 – Южно-Норильский рудный узел. 1 – толеитовые базальты – P₂-T₁; 2 – углисто-терригенные отложения – C₂-P₂; 3 – гипсы, ангидриты, доломиты, мергели, известняки, аргиллиты (эвапоритовая формация) – D; 4 – известняки, доломиты, мергели – S; 5 – титан-авгитовые долериты и трахидолериты; 6 – недифференцированные и слабодифференцированные интрузивы (толеитовые и пикритовые долериты); 7–8 – рудоносные дифференцированные интрузивы норильского комплекса (7 – нижнеталнахский; 8 – норильский тип); 9 – разрывные нарушения

(рис. 14). Магматизм близок по составу (рис. 11) и носит антидромный характер. В структурно-тектоническом плане есть область, благоприятная для локализации потенциально рудоносных интрузивов. Это в первую очередь восточный борт Онежской впадины, где эродированы людиковийские образования и по данным геофизики мощности составляют 500–1000 м, что указывает на наличие флексурного перегиба. Вследствие недостаточного эрозионного среза и отсутствия структурных скважин сведений о наличии и составе интрузивного магматизма на этом участке нет. Единственные объекты, которые предоставила природа для логических построений, это гипабиссальные интрузивы Пудожгорского комплекса, относимые к плутонической фации. Они образованы лабрадор-титан-авгитовыми ферродолеритами, контрастно дифференцированными от долеритов до граптофиров, с образованием стратиформного малосульфидного (0,1–0,5%) титаномагнетитового горизонта, обогащенного благородными металлами – Pt, Pd, Au (Трофимов, Голубев, 2008). В Пудожгорский комплекс включены два силла – Габневский и Койкар-

ско-Святнаволоцкий, внедряющиеся по бортам впадины в основании туломозерской свиты, и пологопадающий Пудожгорский интрузив трещинного типа, которые являются производными абиссальной дифференциации и аккумуляции в отщепленном расплаве – Ti, Fe, V, БМ, Cu (табл. 12). U-Pb по циркону возраст интрузивов: Пудожгорского – 1984 ± 8 млн лет; Койкарско-Святнаволоцкого – 1983,4 ± 6,5 млн лет (Филиппов и др., 2007). Эти возрасты соответствуют печенгскому никеленосному комплексу. Интрузивы имеют значительную протяженность – 25–30 км, сопоставимую с Норильскими рудоносными – 20 км.

В пределах Онежской впадины имеются еще два крупных силла, локализованных выше по разрезу в отложениях суйсарской свиты, – Тернаволоцкий и Кончезерский, относимые к субвулканической фации. Они по химсоставу близки к Норильским рудоносным интрузивам (табл. 12). Отличаются более высоким содержанием щелочей и титана, низким содержанием глинозема. По нормативному составу соответствуют оливиновым толеитам, с повышенными

Таблица 12

Средневзвешенный состав пород и содержание микроэлементов в дифференцированных интрузивах

Оксиды, мас. % Элементы, г/т	Норильский рудный район				Печенгский район Загородный, 1964	Онежский рудный район		
	Норильск I	Норильск II	Интрузив Талнах			Пудожгорский Трофимов, 1998	Тернавлоковский	
	Годлевский, 1959; Виленикий, 1967	Олейников, 1979	Виленикий, 1967	Олейников, 1979			60 м	30 м (без нижнего гор.)
SiO ₂	44,06	46,01	40,71	43,40	40,85	48,35	47,95	46,66
TiO ₂	0,71	1,23	0,81	0,96	2,54	3,13	1,41	1,76
Al ₂ O ₃	14,81	15,01	14,06	13,47	6,07	11,89	12,0	10,42
Fe ₂ O ₃	4,51	3,26	4,53	3,74	6,83	5,98	2,23	2,29
FeO	8,77	8,56	9,07	9,24	9,51	13,76	8,81	8,98
MnO	0,14	0,20	0,17	0,18	0,19	0,21	0,19	0,19
MgO	10,84	9,69	13,23	11,39	19,87	3,00	10,69	13,61
CaO	9,85	10,13	9,31	9,16	5,93	5,87	8,72	8,36
Na ₂ O	1,26	1,85	1,70	1,74	1,04	3,32	2,46	2,08
K ₂ O	0,66	0,53	0,68	0,88	0,55	1,16	0,46	0,39
P ₂ O ₅	0,24	0,21		0,14		0,35	0,19	0,24
ппп	3,09	2,50		3,58		1,90	3,87	4,55
S _{общ.}	0,95	He опр.		He опр.		0,105	He обн.	He обн.
H ₂ O	0,32	0,64				0,30	0,42	0,52
V	170		200			1040	302	318
Cr	2900		1100			75	369	533
Co	70		130			51	48	48
Ni	1240		2900			34	342	572
Cu	1870		2700			543	90	105
Zn	25					152	He опр.	He опр.
Sr	500		220			108	151	90
Zr	Следы		60			148	78	94
Ba	110		170			211	182	150
Cr/V	17,1		5,5			0,07	1,22	1,68
Ni/Co	17,7		22,3			0,67	7,1	11,9
Ti/Cr	2,45		7,36			417	38,2	20,2
1000* Ni/Mg	11,4		21,9			1,1	3,2	4,2
1000* Sr/Ca	5,1		2,4			1,8	1,7	1,1
1000* Ba/K	16,7		25			18,2	39,6	38,5
Fe ₂ O ₃ '	14,16	12,8	14,5	14,0	17,4	21,3	12,0	12,3
$\frac{Na_2O}{Na_2O + K_2O} * 100$	74,1	77,7	79,4	66,4	65,4	74,1	84,2	84,2
Na ₂ O/K ₂ O	1,9	3,49	2,5	2,0	1,89	2,86	5,3	5,3

содержаниями Ni и Cr. Интрузивы дифференцированы с образованием вебстеритовых и верлитовых горизонтов. Характеризуются полным отсутствием серы. Sm-Nd возраст Кончезерского силла – 1975 ± 24 млн лет (Куликов и др., 1999) – сопоставим с возрастом Пудожгорского комплекса.

Наличие дифференцированных интрузивов Пудожгорского комплекса, обогащенного Cu и BM, и субвулканических силлов Кончезерского комплекса с повышенным фоном Cu и Ni позволяет предполагать наличие рудоносных Cu-Ni с МПГ интрузивов, не вскрытых эрозией и локализованных в сульфат-карбонатных отложениях туломозерской свиты. Из приведенного выше фактического материала видно, что осадки и вулканы туломозерской и заонежской свит испытали метасоматические преобразования под воздействием углекислых и щелочных растворов, с которыми связано появление повышенных концентраций Pd и Pt, перераспределение рудных элементов – Cu, Ni, Co. Масштабность, металлогеническую значимость и время этих преобразований еще предстоит оценить.

Высокожелезистые расплавы Пудожгорского комплекса (ферродолериты), обогащенные Ti, V, BM, образованы в процессе фракционной кристаллизации в абиссальной внутрикоровой камере. Суммарный объем трех интрузивных тел Пудожгорского ком-

плекса, с учетом его эродированной части, составляет около 50 км³. Доля ферродолеритов в камере Бураковского плутона не превышает 10–15%. Это позволяет оценить объем камеры на уровне 500 км³ и по масштабу сопоставить с Петрозаводской положительной гравиметрической аномалией, которая лишь незначительно уступает Бураковской (2500–3000 км³). Аномалия расположена в акватории Онежского озера и не исследована, время ее формирования неизвестно. На первом этапе следует оценить возраст мощных габброноритовых даек в устье р. Водлы и на островах Деда и Кладовец, которые могут быть связаны как с Петрозаводской магматической камерой, так и с Бураковской.

Онежская впадина – это континентальный бассейн с предрифтовой и пострифтовой историей (рис. 1, 5). По геодинамической обстановке формирования в составе осадочных бассейнов континентов выделяется несколько классов, в том числе континентальных рифтов и платформенных пострифтовых внутриконтинентальных (Минерагения..., 1998). Пострифтовые бассейны в тектоническом плане отвечают крупным впадинам – синеклизам. Н. С. Шатский, который ввел понятие авлакоген, установил, что в основании таких структур под осадочным чехлом располагаются рифтовые палеобассейны. Поэтому история их формирования подразделяется на авлако-

геновую (рифтовую) и собственно платформенную (плитную). Онежская впадина по занимаемой площади 14 тыс. км² в иерархии бассейнов относится к крупным прогибам, а синеклизам соответствуют прогибы площадью 60–100 тыс. км² и более (Минерагения..., 1998). На рис. 5, где отражено строение ее центральной и северной частей, Онежская впадина рассматривается как континентальный конседиментационный прогиб, основание которого (туломозерская свита ятулия) формировалось в условиях аридного климата. Однако имеется ряд моментов, унаследованных прямо или косвенно от предшествующего рифтового этапа. Онежская впадина входит в протяженную (>1000 км) структуру, состоящую из серии впадин с контрастным вулканизмом – кислым высококалийным и основным (рис. 1). Строение западного борта не изучено, здесь с крутым падением залегают грубообломочные осадки (кварцевые конгломераты), переслаивающиеся с толеитовыми базальтами, которые перекрываются карбонатами туломозерской свиты. Контактующая с ней на северо-западе километровая толща андези-базальтов не имеет четкой возрастной привязки и рассматривается обычно как сумийские лавы (рифтовый этап). В восточном борту в людиковии формируется сводовое поднятие с центром Бураковский плутон (Трофимов, Голубев, 2008). По одной из радиальных трещин, связанных с ним, проявлена плутоническая фаза магматизма – внедрение и кристаллизация в гипабиссальных условиях Пудожгорского интрузива, что указывает на процессы пострифтовой активизации и мантийных выделок. По южному обрамлению имеется мощный прогиб, перекрытый километровой толщиной континентальных красноцветов вепсия.

Можно предположить, что в предрифтовой истории развития континентальных впадин наличие раннего прогиба под ними не является ведущим факто-

ром, главное – это пространственная унаследованность области рифтогенеза, следствием которой является неоднократная активизация этих областей, сопровождающаяся мантийным магматизмом и тектогенезом. Аналогичным примером служит Норильский район, впадины которого принято считать рифтогенными. Район расположен на краю огромной Тунгусской синеклизы (фактически в ее пределах). Структурные перестройки, вызвавшие образование на ее окраине Норильской и Хараелахской мульд, Хантайско-Рыбинского вала, как раз и обусловлены процессами пострифтовой активизации, с которыми связаны Cu-Ni месторождения. Поэтому такого типа впадины следует выделять из чисто континентальных. Из-за отсутствия соответствующего термина можно использовать название авлакоген, так как именно оно отражает предьсторию их развития, или впадина – пострифтовая внутриконтинентальная.

Обработка пока еще неполного массива данных, по содержанию редкоземельных элементов в долеритах Онежской впадины трапповой магматической формации, позволила выявить некоторые особенности их распределения и провести сопоставление с траппами Сибирской платформы. Необычайно высока средняя концентрация суммы РЗЭ Пудожгорского гипабиссального интрузива – 217,56 г/т (табл. 13). Она превышает таковую для дифференцированных интрузивов и траппов Сибирской платформы в 2,5–3,5 раза (табл. 14). Этот факт подтверждает наличие контрастной внутрикоровой дифференциации, обеспечившей обособление расплава, обогащенного оливином от высокожелезистого ферродолеритового. При этом в подрудном горизонте и эндоконтактах содержание РЗЭ не столь значительно. Максимум концентраций приходится на диоритовую часть разреза интрузива (50–60% объема) с альбитом, ортоклазом, сфеном, что отражает процесс перераспределения РЗЭ в гипабис-

Т а б л и ц а 13

Содержание редкоземельных элементов (РЗЭ) в интрузивах Онежской впадины

РЗЭ, г/т	Дифференцированные интрузивы								Средние содержания по интрузивам			
	Пудожгорский, С-29					Тернаволокский			Пудожгорский, 5 ан.	Тернаволокский, 7 ан.	Средне-заонежский, 5 ан.	Рыбо-рецкий, 3 ан.
	129.5	142.9	181.4	194.5	228.4	Ниж. гор., 4 ан.	Сред. гор., 5 ан.	Верх. гор., 4 ан.				
La	16,87	31,96	43,46	44,72	14,85	6,83	8,25	12,76	30,37	10,50	9,20	25,10
Ce	39,02	69,75	100,30	102,70	33,83	16,40	20,19	30,24	69,12	25,21	21,69	54,29
Pr	5,34	9,21	13,45	13,72	4,57	2,26	2,87	4,15	9,26	3,51	3,00	6,82
Nd	25,23	42,05	60,81	61,87	21,17	10,88	13,65	19,65	42,23	16,65	14,08	29,55
Sm	6,78	10,82	15,87	16,17	5,45	2,87	3,30	4,74	11,02	4,02	3,76	6,03
Eu	2,10	3,42	4,18	4,26	1,74	0,94	1,17	1,56	3,14	1,37	1,23	1,82
Gd	8,22	13,16	19,16	19,67	6,84	3,54	3,70	5,03	13,41	4,36	4,65	6,15
Tb	1,47	2,27	3,44	3,47	1,20	0,62	0,57	0,78	2,37	0,67	0,79	0,92
Dy	8,99	13,71	20,67	20,95	7,25	3,82	3,10	4,27	14,31	3,69	4,96	5,19
Ho	1,85	2,78	4,28	4,30	1,47	0,77	0,59	0,78	2,94	0,69	1,03	0,98
Er	5,38	8,19	12,68	12,91	4,30	2,31	1,57	2,18	8,69	1,87	3,03	2,84
Tm	0,75	1,18	1,83	1,85	0,61	0,32	0,21	0,28	1,24	0,25	0,41	0,38
Yb	4,96	7,75	12,19	12,52	3,95	2,14	1,29	1,76	8,27	1,52	2,70	2,50
Lu	0,71	1,10	1,78	1,78	0,56	0,29	0,18	0,24	1,19	0,21	0,37	0,35
Сумма РЗЭ	127,67	217,35	314,10	320,89	107,78	53,96	60,64	88,41	217,56	74,52	70,89	142,91
La _N /Yb _N	2,30	2,79	2,41	2,41	2,54	2,16	4,33	4,91	2,48	4,66	2,31	6,78
La _N /Sm _N	1,57	1,86	1,72	1,74	1,72	1,50	1,57	1,70	1,74	1,64	1,54	2,62
Gd _N /Yb _N	1,34	1,38	1,27	1,27	1,40	1,34	2,33	2,32	1,31	2,32	1,40	1,99
Eu/Eu*	0,86	0,88	0,73	0,73	0,87	0,90	1,03	0,98	0,79	1,00	0,90	0,91

П р и м е ч а н и е . JSP анализ выполнен в Институте геологии, аналитики – В. Л. Утицына, Н. В. Питкя, А. С. Парамонов.

сальной камере. Содержание РЗЭ в субвулканической фации людоковия Онежской впадины сопоставимо с базальтами и долеритами Сибирской платформы (табл. 13, 14). На их фоне выделяется слабодифференцированный Рыборецкий силл долеритов, который содержит в 2 раза более высокие концентрации РЗЭ (табл. 13). Для долеритов Онежской впадины характерно наличие отрицательной европиевой аномалии, особенно контрастной для Пудожгорского интрузива, что может указывать на процесс накопления во внут-

риковой камере основного плагиоклаза. Для всех трендов четко выражена тенденция преобладания легких РЗЭ над тяжелыми (рис. 15). Максимальной величиной лантан-иттербиевого соотношения обладают породы Тернаволоцкого (4,66) и Рыборецкого (6,78) силлов, что сопоставимо с базальтами Норильского района (табл. 13, 14). В рудоносном интрузиве Норильск I содержание РЗЭ низкое. Общей особенностью дифференцированных интрузивов этого района является наличие положительной европиевой анома-

Таблица 14

Параметры соотношений РЗЭ в трапах Сибирской платформы

Соотношения РЗЭ	Среднее для трапов	Базальты Норильского района	Недифференцированные долериты Норильского р-на	Дифференцированные интрузивы		
				Чернорская	Аламджахская	Норильск I
Сумма РЗЭ	60,3	85,8	73,7	77,8	80,5	35,9
La _N /Yb _N	1,86	4,39	2,08	2,83	2,23	2,04
La _N /Sm _N	1,09	1,93	0,93	1,32	1,30	2,26
Gd _N /Yb _N	1,52	1,91	1,82	1,69	1,57	1,18
Eu/Eu*	1,03	0,89	0,91	1,02	0,87	1,07

Примечание. Таблица составлена по: Балашов, Нестеренко, 1966; Криволуцкая, Рудакова, 2009.

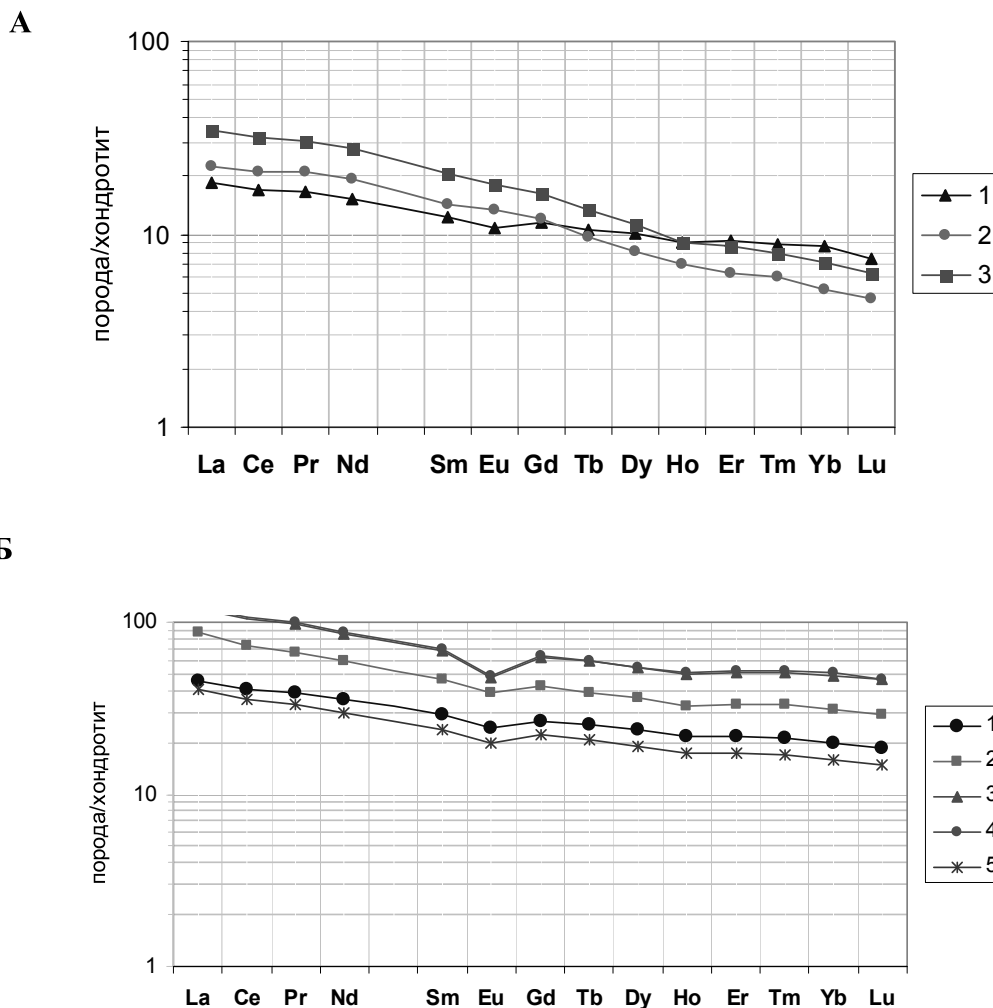


Рис. 15. Распределение РЗЭ в дифференцированных интрузивах и по горизонтам:

А – Тернаволоцкий: 1 – нижний; 2 – верхний; 3 – средний. Б – Пудожгорский: 1 – верхний эндоконтакт (129,5); 2 – такситовый (142,9); 3–4 – надрудный (3 – 181,4; 4 – 194,5); 5 – подрудный (228,4). Содержание РЗЭ нормализованы по хондриту С1 (Тейлор, Мак-Леннан, 1981)

лии (табл. 13, рис. 16). В Онежской впадине только породы Тернаволоцкого силла не имеют отрицательной европиевой аномалии. По содержанию MgO – 13,69%, низкой щелочности, повышенным содержаниям Ni и Cr они наиболее близки к рудоносным интрузивам Норильского рудного района. В Тернаволоцком силле отмечается наиболее контрастное деплетирование тяжелых РЗЭ относительно легких (рис. 16), Gd/Yb соотношение в них максимальное – 2,32 (табл. 13). Этот фактор может указывать на присутствие граната в мантийном источнике (Интерпретация..., 2001). Таким образом, к наиболее глубинным мантийным выплавкам относятся расплавы Тернаволоцкого и Пудожгорского интрузивов, прошедшие сложную эволюцию в коре, приостановку и, возможно, контаминацию. В силу недостаточной эродированности Онежской впадины сведений о других фракционированных расплавах, связанных с этими мантийными

выплавками и обогащенных сульфидами, не имеется. Наиболее вероятные условия их локализации – борта Онежской впадины в потенциально рудовмещающей туломозерской свите.

В заключение следует сказать, что Онежский рудный район, включающий впадину и ее обрамление, является весьма перспективным на поиски Cu-Ni оруденения магматического генезиса. При отсутствии прямых поисковых признаков рудопоявлений норильского типа имеется много косвенных, подтверждающих правомочность выдвинутой идеи. Первоочередной площадью рекомендуемых поисковых работ на Cu и Ni является ее восточный борт в районе Пудожгорского интрузива.

Перспективны также площади развития вулканогенно-осадочных образований среднезаонежской подситы, в пределах которых можно ожидать рудопоявления гидротермально-метаморфогенного генезиса

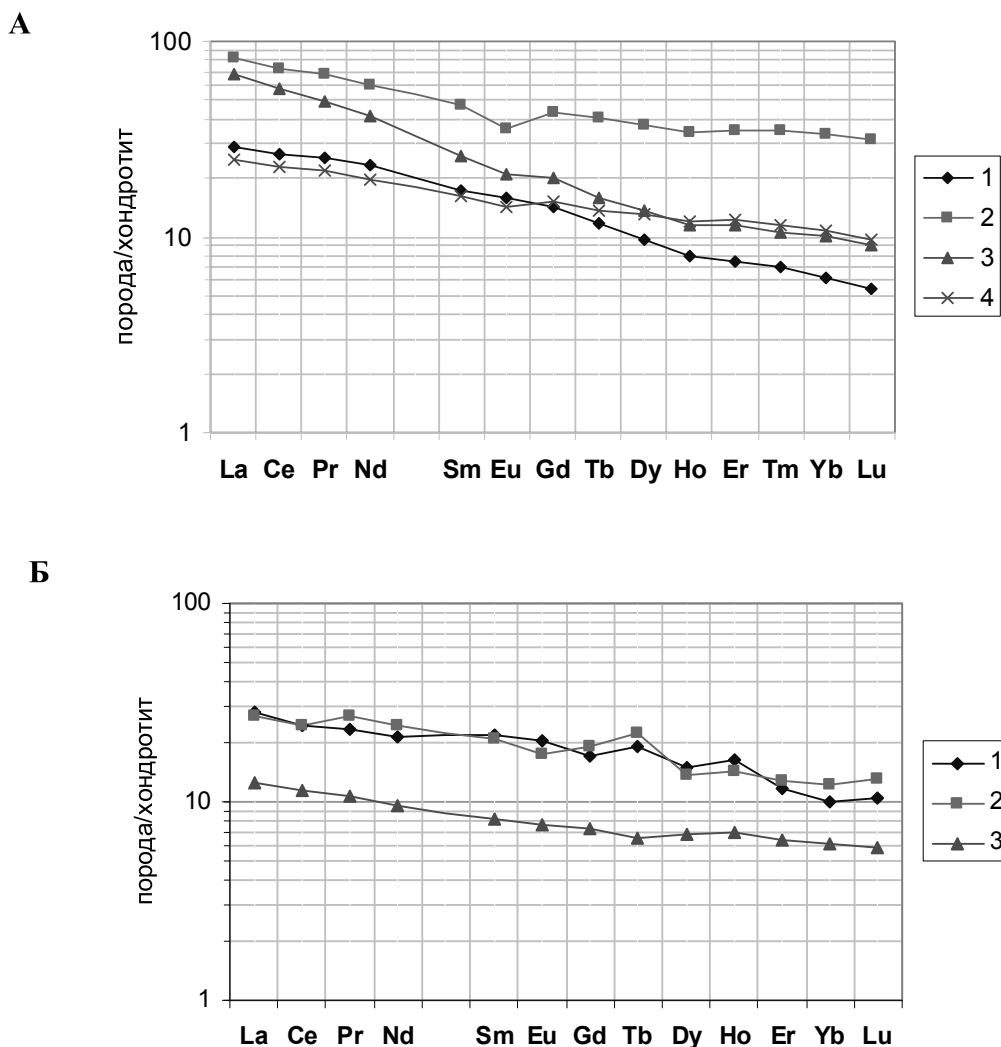


Рис. 16. Распределение РЗЭ в разновозрастных пластовых интрузивах:

А. Онежская впадина: 1 – Тернаволоцкий (средний+верхний горизонты) (суйсарская свита); 2 – Пудожгорский (людиковый); 3 – Рыборецкий (вепсий); 4 – Среднезаонежский (заонежская свита). Б. Сибирская платформа: 1 – дифференцированная Черногорская интрузия, Норильский район; 2 – Аламджахская дифференцированная интрузия, бассейн реки Виллой; 3 – рудоносная интрузия Норильск-1 (Балашов, Нестеренко, 1966; Криволицкая, Рудакова, 2009)

в связи с флюидной проработкой этих пород, обусловленной мантийным магматизмом и появлением флюидонасыщенной плутонической фазы. С ними связаны выплавки Пудожгорского и, возможно, Кончезерского комплексов. В связи со щелочно-карбонатным метасоматозом происходит мобилизация и концентрация це-

лого спектра рудных элементов – Ni, Co, Cu, Pd, Pt. Представляется, что это самостоятельный этап, предшествующий формированию оруденения в линейных структурах – зон СРД. Ожидаемый масштаб оруденения этого типа и его значимость для рудного района неясны.

ЛИТЕРАТУРА

Ахмедов А. М., Травин Л. В., Тихомирова М. Эпохи оледенения и эвапоритизации в раннем протерозое и межрегиональная корреляция // Региональная геология и металлогения. 1996. № 5. С. 84–98.

Балашов Ю. А., Нестеренко Г. В. Распространенность редкоземельных элементов в траппах Сибирской платформы // Геохимия. 1966. № 7. С. 854–860.

Виленский А. М. Петрология интрузивных траппов севера Сибирской платформы. М., 1967. 265 с.

Ганин В. А. и др. Геологическое строение и полезные ископаемые Бураковско-Аганозерского массива и его обрамления. Отчет о результатах групповой геологической съемки масштаба 1 : 50 000 первого яруса, среднемасштабного ГГК второго яруса и общих поисках никеля в пределах Бураковско-Аганозерского массива и его обрамления на площади 2000 кв. км в Пудожгорском районе КАССР за 1984–89 гг. 1989Ф.

Геохимия гипербазитов Карело-Кольского региона. Л., 1971. 140 с.

Годлевский М. Н. Траппы и рудоносные интрузии Норильского района. М., 1959. 67 с.

Голубев А. И., Светов А. П. Геохимия базальтов платформенного вулканизма Карелии. Петрозаводск, 1983. 191 с.

Еселев Я. Х., Солодка Р. И., Егорова Н. А. Отчет о геологоразведочных работах на Пудожгорском месторождении титаномагнетитов и геолого-поисковых работах на восточном побережье Онежского озера в Медвежьегорском и Пудожском районах Карело-Финской ССР за 1950–1951 гг. 1952Ф.

Загородный В. Г., Мирская Д. Д., Сулова С. Н. Геологическое строение Печенгской осадочно-вулканогенной серии. М.; Л., 1964. 207 с.

Интерпретация геохимических данных: Учебное пособие / Е. В. Складаров и др. 2001. 288 с.

Классификация магматических (изверженных) пород и словарь терминов: Рекомендации Подкомиссии по систематике изверженных пород Международного союза геологических наук. М., 1997. 347 с.

Криволуцкая Н. А., Рудакова А. В. Строение и геохимические особенности пород трапповой формации норильской мульды (СЗ Сибирской платформы) // Геохимия. 2009. № 7. С. 675–698.

Куликов В. С., Слюсарев В. Д., Кочнев-Первухов В. И., Кравченко А. Н. Суйсарский базит-ультрабазитовый комплекс Онежского синклиория // Интрузивные базит-ультрабазитовые комплексы докембрия Карелии. Л., 1976. С. 98–109.

Куликов В. С., Куликова В. В., Лавров Б. С. и др. Суйсарский пикрит-базальтовый комплекс палеопротерозоя

Карелии (опорный разрез и петрология). Петрозаводск, 1999. 96 с.

Куряков С. В., Леднева Н. Д. Отчет о результатах предварительной разведки Зажогинского месторождения шунгитовых пород, проведенной в 1974–1976 гг. 1976Ф.

Люлько В. А., Амосов Ю. Н., Козырев С. М. и др. Состояние рудной базы цветных и благородных металлов в Норильском районе и направление первоочередных геологоразведочных работ // Руды и металлы. 2002. № 5. С. 66–82.

Магматизм, седиментогенез и геодинамика Печенгской палеорифтогенной структуры. Апатиты, 1995. 254 с.

Магматические горные породы. Классификация. Номенклатура. Петрография. Ч. I, т. 1. М., 1983. 367 с.

Маракушев А. А., Панеях Н. А., Зотов И. А. Проблемы формирования медно-никелевых сульфидных месторождений // Руды и металлы. 2002. № 5. С. 23–33.

Минерация осадочных бассейнов континентов и периконтинентальных областей. М., 1998. 589 с.

Олейников Б. В. Геохимия и рудогенез платформенных базитов. Новосибирск, 1979. 263 с.

Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Изд. 3-е. СПб., 2009. 200 с.

Полеховский Ю. С., Голубев А. И. Людиковийский надгоризонт Онежского прогиба // Проблемы стратиграфии нижнего протерозоя Карелии. Петрозаводск, 1989. С. 106–118.

Структурная геология и тектоника плит. В 3-х т. / Под редакцией К. Сейферта. Т. 2. М., 1991. 376 с.

Сульфидные медно-никелевые руды норильских месторождений. М., 1981. 233 с.

Тейлор С. Р., Мак-Леннан С. М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М., 1988. 384 с.

Трофимов Н. Н., Голубев А. И. Пудожгорское благороднометалльное титаномагнетитовое месторождение. Петрозаводск, 2008. 123 с.

Трофимов Н. Н., Логинов В. Н. Эвапориты или флюидизатно-эксплозивные образования восточного Прионезья? // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 8. Петрозаводск, 2005. С. 75–81.

Трофимов Н. Н., Голубев А. И., Смирнова Н. К. Специфичность исходного расплава и состав железо-титановых окисных минералов Пудожгорской интрузии // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 1. Петрозаводск, 1998. С. 35–42.

Филиппов Н. Б., Трофимов Н. Н., Голубев А. И. и др. Новые геохронологические данные по Койкарско-Святнаволоскому и Пудожгорскому габродолеритовому интрузивам // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 10. Петрозаводск, 2007. С. 49–69.