

Б. В. Афанасьев

**МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ
ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНЫХ
МАССИВОВ
КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

Б.В. Афанасьев

МИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ
ЩЁЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНЫХ
МАССИВОВ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

*Посвящается геологоразведчикам,
первооткрывателям месторождений
на этих массивах*

Апатиты, Мончегорск, Петрозаводск
2009 – 2011

УДК 552.3

Афанасьев Б.В. Минеральные ресурсы щёлочно-ультраосновных массивов Кольского полуострова. – СПб: Изд-во «Роза ветров», 2011. – 224 с. 72 ил.

В книге обобщены материалы по геологии, полезным ископаемым, вещественному составу и технологическим исследованиям руд щёлочно-ультраосновных массивов Кольского полуострова за период с 1963 по 1995 годы. Сводкой охвачены массивы Африканда, Вуориярви, Ковдор, Лесная варака, Озёрная варака, Песочный, Салланлатва, Салмагора, Себляяр, Турьинский, содержащие в промышленных количествах фосфор, железо, титан, тантал, ниобий, цирконий, барит, флогопит, вермикулит, карбонатное сырьё, магнезиальные огнеупоры. Коротко упомянут почти неизученный Кандагубский массив. Приведены результаты и дан критический анализ технико-экономических оценок месторождений щелочно-ультраосновных массивов. Определены приоритеты ведения дальнейших работ.

Книга предназначена для специалистов в области геологии полезных ископаемых, технологии и экономики минерального сырья, студентов геологических специальностей.

Табл. 33, ил. 72, список лит. – 241 наим.

Рецензент: Субботин В.В.

Книга печатается по решению НТС Управления по недропользованию по Мурманской области (Мурманскнедра).

Издание осуществлено при поддержке ОАО «Центрально-Кольская экспедиция»

© Афанасьев Б.В., 2011

Уважаемый читатель,

В Ваших руках находится книга одного из самых уважаемых геологов Северо-Запада России Бориса Васильевича Афанасьева, который всю свою жизнь посвятил изучению щелочно-ультраосновных массивов Кольского полуострова. Щелочно-ультраосновные массивы с их специфической петрографией, минералогией и оруденением представляют собой отдельный геологический мир, очень сложный, трудно поддающийся расшифровке и интерпретации. Специалистов в этой области можно пересчитать по пальцам, а поскольку приоритеты геологических изысканий последних двух десятилетий не включали в себя эти объекты, сложилась ситуация когда с уходом носителей знания целый пласт геологической культуры рискует быть потерянным. Острое понимание этой ситуации и явилось причиной создания этой книги.

Книга обобщает уникальный опыт, полученный несколькими поколениями геологов. По своей структуре она является путеводителем, где на универсальную схему формирования ультраосновных – щелочных массивов и их минерализации нанизан огромный объем фактических результатов работ. Наличие схемы позволяет автору представить данные в крайне удобном для читателя формате. Каждый отдельный факт анализируется с точки зрения совпадения – несовпадения с общей схемой, при этом автор избегает соблазна неоправданных упрощений и показывает геологическую систему во всей ее сложности, с многофазными, повторяющимися процессами магматических внедрений, сопровождающих их метасоматозом, телескопированными минеральными ассоциациями, что, в конечном счете, приводит к уникальной рудоносности щелочно-ультраосновных комплексов, особенно в тех случаях, когда развитие системы приводит к формированию карбонатитовой составляющей.

Особенностью этой книги, да и любой работы Б.В. Афанасьева является анализ геологических ситуаций сразу на нескольких уровнях. Книга сделана так, что внимательный читатель легко выстроит связь: геология – петрография - генезис – минералогия – технологические свойства руд – технико – экономическая оценка объектов. В повседневной практике геологоразведочных работ это цепочка, как правило, создается разными специалистами, часто не вполне друг друга понимающими. Возможность увидеть весь процесс «одними глазами» делает эту книгу уникальной. Автор дает данные таким образом, что взаимосвязь между геологическим строением и горной моделью рудных объектов, условиями формирования и руд и их обогатимостью становится очевидной и легко понимаемой. Опыт автора позволяет обосновать чувствительность технико-экономических расчетов к возможному изменению геологических характеристик, сказать, что (и где!) еще не найдено и как это может повлиять на экономику объектов.

Очевидно, что месторождения высоколиквидного минерального сырья, в первую очередь редкометального, в пределах щелочно-ультраосновных (с карбонатитами) месторождений Кольской провинции недолго останутся невостребованными. По этой причине мы посчитали эту работу крайне своевременной и сочли необходимым оказать изданию финансовую и техническую помощь.

При редактировании была сохранена лексика и стиль автора, которые несколько отличаются от принятых в научной литературе, но позволяют коротко и емко называть вещи своими именами.

О.В. Казанов
главный геолог ОАО «Центрально-Кольская экспедиция»



Афанасьев Василий Афанасьевич
1905 – 1941гг.



Терновой Владимир Иванович
1928 – 1980 гг.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	9
Часть I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	13
1. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ, РАЗМЕРЫ, МОРФОЛОГИЯ И АБСОЛЮТНЫЙ ВОЗРАСТ ЩЕЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНЫХ МАССИВОВ	13
2. ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	16
Часть II. ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК	20
3. ГИПЕРБАЗИТОВЫЙ ЭТАП	22
3.1. Оливиниты, рудные оливиниты	22
3.2. Рудные пироксениты и перовскит-титаномагнетитовые руды	24
4. ИНТРУЗИВНЫЕ ПОРОДЫ ЩЕЛОЧНОГО ЭТАПА	28
4.1. Ийолиты, мельтейгиты, уртиты	28
4.2. Турьяиты.	30
5. МЕТАСОМАТИТЫ МАГМАТИЧЕСКОЙ СТАДИИ ЩЕЛОЧНОГО ЭТАПА	32
5.1. Нефелин-пироксеновые и слюдяно-пироксеновые породы	32
5.2. Мелилититы, мелилит-пироксеновые и монтичеллитовые породы	33
5.3. Фениты и фенитизированные вмещающие породы	34
6.1. Апатитизированные существенно пироксеновые и пегматоидные слюдяно-пироксеновые породы	36
6.2. Эгириниты и апатит-эгириновые породы	36
6.3. Скарноподобные «предкарбонатитовые» метасоматиты	37
7. КАРБОНАТИТОВЫЙ ЭТАП	38
7.1. Эгирин-биотит-кальцитовые карбонатиты	40
7.2. Форстерит-кальцитовые и диопсид-кальцитовые карбонатиты с зелёным флогопитом	40
7.3. Редкометалльные кальцитовые карбонатиты	43
7.4. Доломитовые, анкерит-доломитовые и анкерит-сидеритовые карбонатиты	44
7.5. Апатит-флогопит-диопсидовые породы	49
7.6. Оливин-флогопит-диопсидовые породы «флогопитового комплекса»	52
7.7. Кальцит-apatит-форстерит-магнетитовые руды	53
7.8. Редкометалльные разновидности апатит-магнетитовых руд	55
7.9. Силикатные метасоматиты экзоконтактных ореолов рудных залежей	59
7.10. Экзотические разновидности меланократовых пород карбонатитового этапа и мелкие жилы различного состава	59
<i>Себлявр</i>	59
<i>Ковдор</i>	60
<i>Вуориярви</i>	60
<i>Салланлатва</i>	61
8. ДАЙКОВЫЙ КОМПЛЕКС И МАЛЫЕ ИНТРУЗИИ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД	61
<i>Мелкозернистые рудные пироксениты</i>	62
<i>Щелочные рудные и безрудные пегматиты</i>	63
<i>Мелкозернистые ийолиты</i>	63
<i>Турьяиты</i>	64
<i>Ийолит-пегматиты и уртиты</i>	64
<i>Гранатовые ийолиты и слюдяно-гранатовые породы</i>	65
<i>Нефелиновые сиениты, ювиты, полевошпатовые ийолиты</i>	65
<i>Порфиоровидные перидотиты («мончикиты»)</i>	66
<i>Кимберлитоподобные пикритовые порфириты</i>	66
<i>Нефелиниты, оливиновые меланефелиниты</i>	67
9. КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ	67
10. ЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ.	71

11. УНИФИЦИРОВАННАЯ СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ МАССИВОВ (УСФ) И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ	72
11.1. Пояснения к схеме формирования.	72
11.2. Закономерности локализации месторождений полезных ископаемых и типы руд	74
Часть III. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПРОЯВЛЕНИЙ	78
12. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИПЕРБАЗИТОВОГО ЭТАПА	78
12.1. Ковдор (Центральная магнитная аномалия)	78
12.2. Лесная варака	78
12.3. Ковдор (северная часть оливинитового ядра)	80
12.4. Хабозёрское месторождение (Лесная варака)	82
12.5. Африканда	83
12.6. Западный участок массива Вуориярви	87
12.7. Себлявр (обрамление Центральной зоны)	88
<i>Пегматоидные флогопит-пироксеновые породы</i>	88
12.8. Себляврское флогопитовое месторождение	88
13. МЕСТОРОЖДЕНИЯ И РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЩЕЛОЧНОГО ЭТАПА	89
<i>Апатитизированные пироксениты</i>	89
13.1. Вуориярви (обрамление рудных пироксенитов Западного участка)	89
13.2. Северная часть Себляврского массива	89
13.3. Массив Песочный	89
<i>Апатит-эгириновые породы</i>	90
13.4. Южный массив Турьего полуострова	90
13.5. Салмагора	90
<i>Флогопитоносные метасоматиты</i>	90
13.6. Вермикулит-флогопитовое месторождение Петяйян-вара (Вуориярви)	90
14. МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРБОНАТИТОВОГО ЭТАПА	91
14.1. Комплексные апатитовые руды Центральной зоны Себлявра	91
14.2. Ковдорское флогопитовое месторождение	95
14.3. Ковдорское месторождение комплексных апатит-магнетитовых руд	96
14.4. Месторождение апатит-магнетитовых руд и карбонатитов участка Тухта-вара	97
14.5. Рудно-карбонатные породы Турьего полуострова	104
14.6. Ковдорское месторождение карбонатитов	104
14.7. Карбонатиты зоны сочленения участков Тухта-вара и Неске-вара (Вуориярви)	105
14.8. Редкометалльные карбонатиты и апатит-магнетитовые руды участка Неске-вара	106
14.9. Богатые ниобиевые руды участка Неске-вара	111
14.10. Ниобиевые карбонатиты Салланлатвы	113
14.11. Барит-сидеритовые руды Салланлатвы	117
14.12. Редкоземельные доломитовые жилы участка Петяйян-вара (массив Вуориярви)	118
15. ПОДЕЛОЧНЫЕ КАМНИ, КВАРЦ	122
16. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЭКЗОГЕННОГО ЭТАПА	122
16.1. Ковдорское вермикулитовое месторождение	122
16.2. Ковдорское апатит-штаффелитовое месторождение	123
16.3. Апатит-вермикулитовые коры выветривания Центральной зоны Себляврского массива	124
16.4. «Железная шляпа» Салланлатвы (барит-лимонитовые руды)	125
16.5. Дресвянистые коры выветривания Салланлатвы с вермикулитом, луешитом	128
<i>Вермикулит</i>	128
<i>Ниобий</i>	129
Часть IV. ВЫВОДЫ ИЗ ТЭО И ТЭС, НАПРАВЛЕНИЕ ДАЛЬНЕЙШИХ РАБОТ	131
17. ЛЕСНАЯ ВАРАКА	131

18. АФРИКАНДА . . . . .	.131
19. СЕБЛЬЯВР . . . . .	.132
20. ВУОРИЯРВИ . . . . .	.135
<i>Тухта-вара.</i> . . . . .	.135
<i>Неске-вара (рядовые редкометальные руды)</i> . . . . .	.136
<i>Неске-вара (богатые редкометальные руды)</i> . . . . .	.136
<i>Петяйян-вара</i> . . . . .	.137
21. САЛЛАНЛАТВА . . . . .	.137
ЗАКЛЮЧЕНИЕ . . . . .	.140
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ . . . . .	.141
Опубликованная литература . . . . .	.141
Переводная литература . . . . .	.141
Фондовые материалы . . . . .	.144
ТЭС, ТЭО . . . . .	.151

ВВЕДЕНИЕ

В книге обобщены материалы по геологии, полезным ископаемым, вещественному составу и лабораторным технологическим исследованиям обогатимости руд щёлочно-ультраосновных массивов Кольского полуострова за период с 1963 по 1995 гг.¹ Сводкой охвачены массивы Африканда, Вуориярви, Ковдор, Лесная варака, Озёрная варака, Песочный, Салланлатва, Салмагора, Себлявр, Турьинский, содержащие в промышленных количествах фосфор, железо, титан, тантал, ниобий, цирконий, барит, флогопит, вермикулит, карбонатное сырьё, магнезиальные огнеупоры. Коротко упомянут почти неизученный Кандагубский массив.

Необходимость создания подобной работы обусловлена тремя причинами:

1. Единственной обобщающей работой по щёлочно-ультраосновным массивам Кольского п-ова является монография А.А. Кухаренко и др. (1965), но, во-первых, она вышла из печати более 40 лет назад, во-вторых, это классическая работа по минералогии и геохимии, в которой конкретные месторождения (а тем более вопросы технологии обогащения руд) не рассматривались. К тому же в те годы изученность щёлочно-ультраосновных массивов была ещё крайне низкой.

2. За вторую половину прошедшего века на щёлочно-ультраосновных массивах оценено и разведано свыше 20 комплексных месторождений и выявлено множество проявлений различного минерального сырья, написаны сотни отчётов, около половины которых посвящены технологическим исследованиям. Практически на всех месторождениях получены товарные концентраты и продукты, отвечающие требованиям ГОСТ при удовлетворительном или хорошем извлечении полезных компонентов. Но до промышленного освоения новых месторождений дело так и не дошло в связи с развалом СССР и ликвидацией отраслевых министерств (вместе с Госпланом). Геологоразведочные работы на щёлочно-ультраосновных массивах были прекращены в 1995 году. Рано или поздно интерес к этим месторождениям возникнет, но продолжать работы будут уже новые специалисты, не имеющие опыта изучения объектов подобного типа. Без обобщающей сводки им будет очень сложно сориентироваться в столь обширном фондовом материале.

3. Расшифровка геологической истории формирования массивов происходила в течение длительного времени. Исследователями в разные годы составлено множество геологических карт, где одни и те же породы обозначались и назывались по-разному. Назрела необходимость создания единой системы условных обозначений, что можно сделать лишь на основе унифицированной схемы формирования щёлочно-ультраосновных массивов (УСФ). Такая схема (точнее, её первый вариант, который в дальнейшем несомненно будет совершенствоваться) разработана. Все геологические карты и разрезы, прилагаемые к сводке, выполнены в соответствии с УСФ, описанию которой посвящена глава 11. *УСФ, кроме того, должна являться основой при документации скважин и горных выработок.*

При составлении разделов по геологии массивов пришлось отказаться от традиционной формы описания каждого массива в отдельности. Это заняло бы слишком много места, т.к. одни и те же породы (к примеру, существенно пироксеновые или ийолиты) рассматривались бы многократно, поскольку они есть почти в каждом массиве. Поэтому геолого-петрографическая характеристика дана в общей форме для всех массивов в целом (см. табл. 1).

Часть II, сугубо геолого-петрографическая, предназначена для специалистов-геологов с высшим или средним техническим образованием. Техники-геологи – основа при разведке недр, что часто упускается из виду. Брошенные на самотёк, они легко скатываются в ремесленничество. Геологам с высшим образованием почему-то «всегда некогда». Доходит до абсурда. Спрашиваю ответственного

¹ По некоторым массивам использованы и более ранние работы.

Таблица 1. Перечень месторождений и проявлений, рассмотренных в книге

№ № п.п.	Название массивов	№№ п.п.	Месторождения проявления (типы руд, сырья)	Название участка
1	КОВДОР	1	Апатит-магнетитовое	Сев. часть ядра
		2	Флогопитовое	
		3	Вермикулитовое	
		4	Апатит-штаффелитовое	
		5	Карбонатитов	
		6	Магнезиальных огнеупоров	
		7	Рудных оливинитов	
2	ВУОРИЯРВИ	8	Апатит-магнетитовых руд и карбонатитов	Тухта-вара
		9	Карбонатитов	Зона сочленения
		10	Богатых ниобиевых магнетитовых руд	Неске-вара
		11	Редкометальных карбонатитов	
		12	Вермикулит-флогопитовое	Петяйян-вара
		13	Перовскит-титаномагнетитовое	Западный участок
		14	Бедных апатит-силикатных руд	
		15	Редкоземельных доломитовых карбонатитов	Петяйян-вара
16	Кварц для плавки в поздних карбонатитах	Намо-вара		
3	САЛЛАНЛАТВА	17	Ниобиевых карбонатитов	
		18	Барит-сидеритовое	
		19	Бурых железняков с баритом	
		20	Дресвянистые коры с вермикулитом, луешитом	
4	СЕБЛЬЯВР	21	Комплексных апатит-силикатных и апатит-редкометальных руд	Центр. зона
		22	Апатит-вермикулитовое	Сев. часть массива
		23	Бедных апатит-силикатных руд	
		24	Перовскит-титаномагнетитовое	Обрамление Центр. зоны.
		25	Флогопитовое	
5	АФРИКАНДА	26	Перовскит-титаномагнетитовое	
6	ЛЕСНАЯ ВАРАКА	27	Рудных оливинитов с никеленосным магнетитом	Хабозёрское
		28	Магнезиальных огнеупоров	
7	САЛМАГОРА	29	Апатит-эгириновых пород с халькопиритом	
8	ПЕСОЧНЫЙ	30	Бедных апатит-силикатных руд	
9	ТУРИЙ П-ОВ	31	Апатит-эгириновых пород	Южный массив
		32	Рудно-карбонатных пород	Ядро Центр. массива

исполнителя: «Ты эту руду видел? В руках держал?» Ответ отрицательный со ссылкой на нехватку времени. Тот же вопрос задаю главному геологу экспедиции и, разумеется, получаю тот же ответ. Это уже разуха в головах: ходить по руде годами и не видеть её! Хочу сразу предупредить, что с таким подходом на щёлочно-ультраосновных массивах, где природа сама себя перемудрила, делать нечего. Провал обеспечен.

В самых дальних стационарах (т.е. круглогодичных партиях) порядок у нас был один: в помещении для документации керн (а внешне это неказистая сараюшка) всегда тепло, белоснежные стены и море света. Весь керн сплошь отмывается от грязи и бурового шлама в горячей воде. На рабочих столах обязательны бинокляр и микроскоп, плюс пара исправных радиометров. Зарисовка керн – строго по унифицированной легенде, слов – минимум, поскольку название породы уже заложено в основной значок. Дополнительный крап – не более двух-трёх видов значков, иначе зарисовка не воспринимается глазом. Очень коротко описываются лишь детали, не охваченные крапом. Каждый задокументированный интервал (метров по 100-150) мы просматривали вместе. Обоюдные вопросы здесь же оперативно решались.

В летние сезоны нас часто посещали делегации геологов, минералогов, геохимиков, геофизиков, технологов по обогащению руд, проектировщиков из различных НИИ, широко известных в стране¹. В совместных деловых переговорах считалось обязательным участие техников. Любой из них мог вполне на равных спорить с кандидатами и докторами на геологические темы. Обе стороны учились друг у друга, и нередко техники побеждали в дискуссиях, зная свой объект лучше приезжих...

Основное внимание в сводке уделено месторождениям, причём наиболее подробно освещены месторождения нового рудного узла на юго-западе Кандалакшского района (массивы Вуориярви и Салланлатва), а также комплексные месторождения массива Себлявр (Кольский р-н). Ковдорский массив и его месторождения рассмотрены очень кратко. Положение Ковдорского рудного узла особое: здесь действуют несколько горнорудных предприятий и непрерывно (с 1958 г.) работала стационарная ГРП. Новые исследования были направлены на расширение производства и углубление степени переработки комплексных руд. В рамки данной работы Ковдор (как уже освоенный район) не вписывается. Однако этот массив долгое время являлся единственным эталоном при изучении щелочно-ультраосновной формации Кольского п-ова. Открытие именно здесь новых месторождений в 50-60-х годах дало мощный импульс развитию геологоразведочных работ на других массивах. На Ковдоре родились первые схемы формирования этих сложнейших геологических объектов, получившие затем дальнейшее развитие, но сохранившие свою (ковдорскую) основу. Опубликована монография по Ковдору (В.И. Терновой и др., 1969), правда, посвящена она, главным образом, вермикулит-флогопитовому месторождению. Из сказанного следует, что без Ковдора в сводке не обойтись, но роль его лишь вспомогательная.

При составлении сводки использованы фондовые материалы:

а) Мурманской ГРЭ, в частности геологоразведочных партий: Ёно-Ковдорской (бывш. Ковдорской), Умбинской, Западно-Кольской, Южно-Кольской, Ловозёрской; ГРП Стройматериалов; Центрально-Кольской экспедиции.

б) Горного и Геологического институтов КНЦ Академии Наук России (бывш. КФАН СССР), институтов Механобр, Гиредмет, Гипроруда, ВИМС, ИМП Украины (г. Симферополь), ГИГХС, Института металлургии Уральского НЦ, Ковдорского ГОК'а и др. организаций.

Естественно, не обойдены вниманием и опубликованные работы. Список литературы, приведённый в конце сводки, включает лишь основные отчёты, с которых следует начинать ознакомление с массивами и месторождениями. В каждом из отчётов, соответственно, есть и свой перечень фондовых и опубликованных работ, которые при необходимости можно изучить. Всеобъемлющий перечень отчётов и статей вряд ли нужен. Он будет столь громоздким, что целенаправленно работать с ним станет невозможно. Так, список литературы только одного отчёта В.Н. Плиева (1965) по флогопитовому месторождению Петяйян-вара (Вуориярви) включает 76 названий, а в отчёте В.В. Анзеля (1975) перечислено 106 работ.

Кроме подробной характеристики месторождений, сводка содержит сведения о проявлениях различных типов сырья с небольшими запасами или низкими содержаниями полезных компонентов: апатит-эгириновых пород и диопсид-apatит-магнетитовых руд Турьего п-ова, редкоземельных карбонатитовых жил Вуориярви, франколитовых руд Салланлатвы и др.

В книге приведены данные о химсоставе главных полезных минералов: апатита, магнетита, титаномагнетита и перовскита из рудных пироксенитов нескольких массивов; гатчеттолита, пироклора, циркелита (усреднённые содержания основных компонентов по каждому месторождению), кальцитрита, луешита, барита, оливина и др. Кроме того, собраны все имеющиеся сведения о химических составах концентратов.

Из вышесказанного следует, что желающие ознакомиться с полезной нагрузкой массивов, могут из чистого любопытства просмотреть часть I (небольшую и несложную), смело пропустить часть II (для неспециалиста это чистой воды абракадабра), а части III и IV изучить внимательно. Очевидно, их заинтересуют небольшие объекты, но с относительно богатыми рудами. Если же речь пойдёт о создании новых рудных узлов, да ещё в слабо освоенных районах, то здесь ведущая роль за государством, которое должно являться самым крупным капиталистом в стране, но до этого надо

¹ В период перехода к «светлому капитализму» (на советской основе) они либо разгромлены, либо деградировали вчистую. Список деяний эпохи перехода Карма тщательно хранит...

ещё дожить. К тому времени сырьевая база действующих ГОК'ов Мурманской области оскудеет, а города-рудники начнут умирать. Сей процесс уже начался...

Графические приложения к многочисленным отчётам автора выполнены женой, Пак Э.К. – бесменным и незаменимым помощником на протяжении почти всего периода изучения массивов. Ею же подготовлена графика к тематическому отчёту 1995 г. (уже в унифицированной схеме), она же впоследствии перевела весь набор графики в электронный вид для книги.

Приношу слова благодарности генеральному директору Центрально-Кольской экспедиции В.П. Дубягину, убедившему меня в том, что такая книга «должна быть» и оказавшему помощь техническую помощь при её подготовке.

Часть I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ, РАЗМЕРЫ, МОРФОЛОГИЯ И АБСОЛЮТНЫЙ ВОЗРАСТ ЩЁЛОЧНО-УЛЬТРАОСНОВНЫХ МАССИВОВ

Расположение щёлочно-ультраосновных массивов показано на рис. 1. Все они (кроме Салланлатвы) выделяются контрастными положительными аномалиями на аэромагнитных картах¹, а также однозначно дешифрируются на космоснимках. Мало того, всегда обнаруживаются кольцевые структуры и разрывы, окаймляющие интрузии. Похоже, фиксируются и зоны фенитизации, поскольку кольца вокруг массивов отличаются от неизменённых вмещающих пород по фототону. Характерна приуроченность щёлочно-ультраосновных интрузий к крутопадающим сквозьструктурным тектоническим зонам (поясам), чаще всего к точкам пересечения таких зон. Особенно чётко это видно на примере крупных массивов: Ковдор, Вуориярви, Себляяр, Турий, Салмагора. Размеры массивов приведены в табл. 2.

Форма массивов в плане округлая (Ковдор, Салмагора, Себляяр, Салланлатва, Африканда, Озёрная варака) или эллипсовидная (Вуориярви, Лесная варака, Песочный), причём длинная ось совпадает с направлением главной тектонической зоны, к которой приурочен массив. По-иному выглядит интрузия Турьего п-ова, представляющая систему («созвездие») нескольких сближенных округлых массивов, получивших даже свои названия (Центральный – 20 кв. км; Южный – 11,6; Летнегорский – 8,7; Кузнаволок, частично скрытый на дне Кандалакшского залива; плюс несколько мелких спутников). Кстати, мелкие массивы-спутники распространены довольно широко и есть у каждого массива. Не все они ещё выявлены, а изучены в целом очень слабо. Так, свыше десятка мелких интрузий ийолитов обнаружено вокруг Ковдора (до 1979 г. представлялось, что существует всего один спутник под названием «Малый Ковдорский массив»). Множество столь же мелких спутников выделяется по данным магнитной съёмки вокруг Салмагорского массива. Вблизи западных границ Вуориярви оконтурен Колвикский щелочной массив, состоящий из двух разобщённых частей. А в 6 км к востоку в той же зоне субширотного разлома ещё в 1958 г. выявлена серия мелких карбонатитовых тел (так называемое «Намаварское карбонатитовое поле»). Небольшая интрузия мельтейгитов есть в южном обрамлении Лесной вараки, хотя в самом массиве классические щелочные породы отсутствуют. Даже около Салланлатвы (одного из самых маленьких массивов) по данным магнитной съёмки выделяются два спутника в северном обрамлении, сложенные предположительно щелочными породами. Примеры Турьинского массива и Вуориярви показывают, что мелкие массивы-спутники могут быть сложены не только щелочными породами, не представляющими практического интереса, но и карбонатитами.

Обращают внимание три общие для всех массивов геоморфологические особенности:

- в рельефе щёлочно-ультраосновные интрузии всегда представляют собой пологие возвышенности (сопки, вараки);
- внутри массивов или в непосредственной близости от них обязательно наблюдаются болота, озёра, речки;
- скальные формы рельефа здесь не встречаются, обнажённость всюду плохая, широко развиты коры выветривания.

¹ Из-за большой загрузки книги графическими материалами эти карты не приложены.

Таблица 2. Размеры, географические координаты массивов, удалённость от населённых пунктов, дорог, ЛЭП

№№ п.п.	Название массива	Площадь кв. км	Ближайший населённый пункт		Примечание
			Координаты центров		
			с.ш.	в.д.	
1	Ковдор	40,5	г. Ковдор		Ковдорский ГОК работает с 1962 г.
			67°34'	30°29'	
2	Вуориярви (с Колвикским массивом)	18,0 21,2	пос. Алакуртти		До пос. Алакуртти–асфальтовая дорога, до массива–грунтовая.
			66°48'	30°07'	
3	Салланлатва	5,3	пос. Кайлары		Есть грунтовая дорога.
			66°45'	29°27'	
4	Себляярв (с правобереж. частью)	17,8 23,0	пос. Верхнетуломский		Через массив проходит асфальтовое шоссе и ЛЭП.
			68°42'	32°05'	
5	Африканда	6,9	пос. Африканда		Мимо проходит железная дорога.
			67°26'	32°46'	
6	Лесная варака (с СВ частью под озером и мельтейгитами на ЮЗ)	9,3 12,0	ж.д. ст. Хабозеро		Есть грунтовая дорога.
			67°24'	33°03'	
7	Озёрная варака	0,7	ж.д. ст. Хабозеро		Есть грунтовая дорога.
8	Салмагора	25,6	г. Апатиты		Вездеходная дорога от г. Апатиты.
			67°18'	33°30'	
9	Турьинский	43,0	пос. (порт) Умба		До Умбы – асфальтовая дорога, далее вдоль берега – грунтовая.
			66°35'	34°31'	
10	Песочный	6,4	пос. Краснощелье		Никаких дорог нет.
			67°04'	37°06'	
11	Кандагубский	3,0	г. Кандалакша		Через массив проходит асфальтовое шоссе.

Крупные массивы со сложным геологическим строением характеризуются и усложнённым рельефом (табл. 3). Так, на Ковдоре внешняя кольцевая возвышенность с наибольшими абсолютными отметками, состоящая из ийолитов и фенитов, сменяется ближе к центру массива узким, местами заболоченным понижением кольцевой формы, а оливинитовое ядро вновь слегка приподнято. Возвышенностью выделялось и апатит-магнетитовое месторождение, на месте которой сейчас глубокий карьер. Почти та же картина повторяется и на Вуориярви: центральная часть массива – это заболоченная депрессия, а краевые зоны (щелочные породы и фениты) – самые высокие сопки. На фоне болот наблюдаются небольшие возвышения, сложенные магнетитовыми рудами и карбонатитами (участки Тухта-вара, Неске-вара, Западный). Таким образом, значительная часть массива находится в котловине, наиболее пониженные участки которой скрыты под оз. Вуориярви¹.

О морфологии контактов массивов с вмещающими породами данных очень мало. Геофизики едины во мнении, что щёлочно-ультрасосновные интрузии представляют собой крутопадающие трубообразные тела, уходящие корнями в мантию. Контактные зоны исследованы слабо и вскрыты

¹ «Вуориярви» в переводе с финского – «Горное озеро».

Таблица 3. Характеристика рельефа и гидросети щёлочно-ультраосновных массивов

№№ п.п.	Название массивов	Превышение над окружающей местностью, м	Максимальная абсолютная отметка, м	Название рек и озёр.
1	Ковдор	до 220	453	Оз. Ковдор (ныне наполовину засыпанное; р. Ковдора).
2	Вуориярви	70 – 190	370	Оз. Вуориярви (абс. отм. 174 м).
3	Салланлатва	70 – 90	360	Речки Калккихара и Салланлатва, обрамляющие массив.
4	Себлявр	до 90	107	Р. Тулома (абс. отм. уреза воды 16,8 м).
5	Африканда	130 – 150	290	Хабозёрская губа оз. Имандра
6	Лесная варака	до 118	245	Оз. Б. Сайгозеро
7	Озёрная варака	до 80	240	Несколько безымянных озёр, соединяющихся речкой, впадающей в озеро Б. Сайгозеро.
8	Салмагора	160 – 210	309	Озёра Грязные, Щучье.
9	Турьинский	80 – 173 над уровнем моря	173	Оз. Макомское, Гольшево, Летнегорское и др.; Кандалакшский залив Белого моря.
10	Песочный	38 – 45 над уровнем окруж. болот	228	Небольшое озеро внутри массива и вытекающий из него ручей Песочный.
11	Кандагубский	Почти не выделяется		Губа Канда (Кандалакшский залив).

лишь на самых изученных массивах (Ковдор, Вуориярви, Салланлатва, Себлявр) с помощью канав и мелких картировочных скважин. Глубокие (до 1,5 – 2 км) скважины, пробуренные на Ковдорском апатит-магнетитовом месторождении, единичные из которых вскрыли контакт ийолитов с фенитами (в частности, скв. 2–стр), подтверждают выводы геофизиков. С уверенностью можно сказать, что до глубины 1 км никаких существенных изменений в геологическом строении массивов не происходит.

По Н.А. Солодову (1985), глубина формирования щёлочно-ультраосновных массивов составляет не менее 2–6 км, а оруденелые карбонатиты присущи, по его мнению, глубинам 4–7 км. По А.А. Кухаренко (1971), большинство этих интрузий на Кольском п-ове формировались на глубинах 2,5–3 км. Приведённые цифры, как следует из текстов различных сводок, основаны на изучении современных эрозионных срезоз, но почти не рассматривался вопрос, а что было выше и не являлись ли щёлочно-ультраосновные массивы вулканами открытого типа. А.А. Ельянов (1972) прямо пишет, что – понятия «глубина эрозионного среза» и «глубина формирования» давно укоренились как тождественные, что, естественно, неверно. На вопрос о том, «что же были выше», косвенно отвечают результаты изучения самых молодых карбонатитовых комплексов. Так, в Африке известны изверженные карбонатиты в кратерах некоторых вулканов Замбии, потоки карбонатитовых лав в Уганде и, наконец, карбонатитовый вулкан, извергавшийся в последний раз в 1960 г. (сб. «Карбонатиты», 1969, с. 142). Лавовые карбонатитовые поля нижнечетвертичного возраста обнаружены в Непале (В.А. Талапов, 1976). В 1975–76 гг. советскими специалистами в Афганистане выявлено урановое месторождение Ханнешин в пределах карбонатитового вулcano-плутонического комплекса того же возраста (700 тыс. лет)¹.

Столь же проблематичными (как и тема «глубина формирования») являются рассуждения о вертикальной зональности щёлочно-ультраосновных интрузий. Предполагается, что карбонатиты присущи верхним частям массивов. С глубиной они будут постепенно сменяться ийолитами, а ещё ниже щёлочные породы начнут уступать место гипербазитам. Обсуждать эту гипотезу можно долго и не в рамках данной книги. В некоторых опубликованных работах, перечисленных в списке литературы, плюсы и минусы такой гипотезы разбираются достаточно подробно (в частности, А.А. Ельянов её отвергает).

¹ В.Г. Черемичын и Г.К. Ерёмченко (1976).

Все щёлочно-ультраосновные массивы Кольского п-ова (как и большинство массивов подобного типа вообще) обладают концентрической зональностью. По особенностям внутреннего строения некоторые исследователи пытались выделять массивы с прямой зональностью (молодые породы располагаются по периферии массива, древние – в центре) и с обратной (молодые породы залегают во внутренних частях и окаймляются более древними), хотя тут же оговариваются, что наиболее распространённым является смешанный тип зональности. Яркие примеры обратной зональности – Салланлатва и Салмагора, а к массивам с прямой зональностью с некоторыми оговорками можно отнести Ковдор. Смешанный тип действительно преобладает, причём стройную картину, как правило, нарушают карбонатиты и их производные, поведение которых непредсказуемо. На Себлявре, Вуориярви, Центральном массиве Турьего п-ова и на том же Ковдоре карбонатиты осваивают любые пространства. Встречаются они во внутренних и краевых частях массивов во всех более древних породах без исключения, а также выходят за пределы интрузий во вмещающие фениты, подчас образуя секущие контакты с ийолитами. При этом, однако, апатит-магнетитовые руды, являясь меланократовыми производными карбонатитов, всегда остаются в пределах интрузий, обособляясь обычно в зоне контакта ийолитов с гипербазитами и предпочитая почему-то южные фланги массивов (Ковдор, Вуориярви, Центральный массив Турьего п-ова). Только на Себлявре апатит-магнетитовые руды образуют разрозненные мелкие штокообразные тела, рассредоточенные по всей залежи изменённых гипербазитов.

По подсчётам А.А. Фролова (1975) из 200 известных на планете щёлочно-ультраосновных массивов (100 из которых в Африке) 7% возникли в докембрийский период, 26% – в палеозое, 31% – в мезозое, 36% – в кайнозое. Все массивы Кольского п-ова возникли в палеозое (каледонская эпоха). Абсолютный возраст Ковдора и Вуориярви составляет 600–400 млн. лет, массивов Турьего п-ова – 355–360 млн. лет (Кухаренко и др., 1971). Формирование наиболее сложных массивов охватывает промежутки в десятки млн. лет. Так, по данным В.А. Кононовой («Магматические горные породы», 1984), возраст различных пород Ковдора следующий:

- ийолиты внешнего кольца – 500 млн. лет;
- слюдисто-диосидовые метасоматиты – 400–430 млн. лет;
- карбонатиты – 380–400 млн. лет.

При определении абсолютного возраста использовался в основном К-Аг метод (по нефелину и слюдам), реже – гелиевый (по шорломиту).

2. ЭТАПЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Даты открытия щёлочно-ультраосновных массивов и фамилии первооткрывателей приведены в табл. 4 в конце главы. В истории изучения этих интрузий отчётливо просматриваются три этапа:

До 1950 года. Бессистемное изучение, случайные находки, единичные специализированные работы по оценке и разведке, локальное проведение наземных геофизических работ в пределах интрузий. В конце периода – аэромагнитная съёмка и региональные гравиметрические работы. Несмотря на спонтанный характер работ, в этот период выявлено большинство массивов Кольского п-ова (кроме Салланлатвы и Кандагубского). Обнаружено и несколько месторождений, а именно:

- магнезиальных огнеупоров и титаномагнетитовых оливинитов на Лесной вараке (В.А. Афанасьев);
- перовскит-титаномагнетитовых руд на Африканде (Б.М. Куплетский, В.А. Афанасьев);
- апатит-магнетитовых руд на Ковдоре (К.М. Кошиц).

Выявленные месторождения начали разрабатываться, и первые отчёты были представлены в ВКЗ (т. е. «Всесоюзную комиссию по запасам»). Первый протокол ВКЗ по утверждению запасов магнезиальных огнеупоров Хабозерского месторождения (т. е. Лесной варакы) датирован началом 1941 г. (В.А. Афанасьев). В 1946 году утверждены запасы магнетитовых руд Ковдора (Г.М. Красновский, по результатам полевых работ 1940–1941 гг.), а в 1950 г. перовскит-титаномагнетитовых руд Африканды (М.С. Афанасьев).

Таблица 4. Первооткрыватели щёлочно-ультраосновных массивов и даты открытия

№№ п.п.	Название массива	Год открытия	Ф.И.О. первооткрывателя	Примечание
1.	Ковдор	1933	К.М. Кошиц	Открыто Ковдорское железорудное м-ние (в трактовке К.М. Кошица это «скарны на контакте с известняками»).
2.	Вуориярви	1905	И. Седерхольм	До 1944 г. – территория Финляндии. Изучение началось с 1946 г. (С.С. Ильгин, С.И. Эвенчик) разведкой «известняков».
3.	Салланлатва	1957	Б.И. Сербя	При проверке аэромагнитной аномалии.
4.	Себьявр	1948	Т.Е. Сыщенко	При аэромагнитной съёмке. Первые геолоботы – В.Е. Романов, Б.В. Губачёв (1956–1958 гг.).
5.	Африканда	1917	Н.Г. Кассин	Перовскит он принял за ильменит. Впервые детально обследован в 1936 г. В.А. Афанасьевым и В.М. Куллетским.
6.	Лесная варака	1936	В.А. Афанасьев	Открыты и оба месторождения: магнетизальных огнеупоров и рудных оливинитов.
7.	Озёрная варака	1935	В.А. Афанасьев	
8.	Салмагора	1949	Западный геофизический трест	При аэромагнитной съёмке. Первая геолокарта составлена Б.В. Губачёвым.
9.	Турьинский	1904	Е.С. Фёдоров	Е.С. Фёдоровым выявлены только щелочные дайки на побережье. В результате аэромагнитной съёмки 1958–60 гг. предполагалось наличие большого массива, но ещё в монографии А.А. Кухаренко (1965) отмечается, что «...на полуострове имеются лишь изолированные и небольшие массивы щелочных пород». При проведении наземной гравитационной съёмки м-ба 1:25000 в 1965–69 гг. (Д.Н. Дмитриев) окончательно доказано существование на Турьем п-ове самого крупного массива в Кольском регионе.
10.	Песочный	1949	Западный геофизический трест	Выявлен аэромагнитной съёмкой. Первые геолоботы – А.И. Богачёв (1950 – 52 гг.).
11.	Ковдозёрский	1938	Н.Г. Судовиков	Выходы щелочных пород на островах оз. Ковдозера сейчас затоплены. Массив не оконтуриен, но похоже, небольшой.
12.	Кандагубский	1987	ЦК ПСЭ, С.С. Караваев	На основе магнитной съёмки с последующей заверкой бурением.

В 1948–50 гг. проведена доразведка Ковдорского железорудного месторождения с повторным выходом в ВКЗ (В.И. Намоюшко, А.С. Михеичев). На базе этих запасов и началось строительство Ковдорского ГОК'а.

2. 1951–1971 гг. Детальное и всестороннее изучение Ковдорского массива, открытие вермикулитового и флогопитового месторождений, промышленных скоплений тантало-ниобатов в карбонатитовых комплексах Ковдора и Vuориярви, переоценка Ковдорского железорудного месторождения. Проведение поисковых работ на вермикулит-флогопитовые слюды на других массивах (Vuориярви, Себлявр). Большой интерес к массивам проявили в этот период и научно-исследовательские организации: Ленинградский государственный университет (ЛГУ), Ленинградский горный институт (ЛГИ), Кольский филиал АН СССР, ВИМС, ИМГРЭ, ИГЕМ, ВСЕГЕИ и др. В 1965 г. опубликована первая обширная монография по щёлочно-ультраосновным массивам (А.А. Кухаренко и др.), а в 1969 г. – ещё одна, посвящённая только Ковдору (В.И. Терновой и др.).

В этот период открыты:

- вермикулитовое месторождение Ковдора, первое в стране (1955 г. – К.Н. Свистальская, Е.В. Свирская, а с 1960 г. – В.И. Терновой);
- флогопитовое месторождение Ковдора, крупнейшее в мире (1960 г. – Б.И. Сулимов, В.И. Терновой);
- редкометальные карбонатиты Vuориярви (1956–1958 гг. – поисково-разведочные работы на ниобий, В.Л. Богатырёв);
- флогопитовое месторождение Петяйян-вара (1961–1964 гг. – В.Н. Плиев) на массиве Vuориярви и аналогичное же месторождение на Себлявре (1961 г. – В.Н. Плиев; 1962 г. – Б.И. Сулимов; 1964 г. – Б.В. Губачёв);
- перовскит-титаномagnetитовые месторождения Западного участка Vuориярви (А.И. Богачёв, 1954 г.) и Себлявра (В.Е. Романов, 1956 г.).

Кроме того, был обнаружен массив Салланлатва, начаты площадные поисковые работы на Турьем п-ове, изучены с помощью бурения рудные оливиниты Ковдора с никеленосным магнетитом, на которых к этому моменту уже был построен город, установлено промышленное значение апатит-штаффелитовых кор выветривания Ковдора (Б.И. Сулимов), а также карбонатитов, как бедных апатитовых руд. К этому времени выяснилось, что суммарные ресурсы карбонатитов на массивах Ковдор, Vuориярви и Себлявр составляют несколько млрд. тонн.

В 1971 г. завершена коренная переоценка комплексных апатит-магнетитовых руд Ковдорского месторождения (Б.И. Сулимов, Б.В. Афанасьев и др.). На баланс были поставлены запасы железа, фосфора, циркония, тантала, ниобия и урана¹. После почти непрерывного 38-летнего изучения Ковдора потенциальные возможности этого массива к 1971 г. были исчерпаны. В дальнейшем проводится лишь доизучение выявленных месторождений, которое будет продолжаться, очевидно, ещё много лет.

3. 1972–1989 гг. В 1972 г. была составлена «Программа комплексного геолого-геофизического изучения массивов щёлочно-ультраосновных пород Карело-Кольского региона» (В.И. Терновой, Б.В. Афанасьев, Д.Н. Дмитриев и др.), в которой наиболее перспективными объектами признаны (помимо Ковдора) массивы Vuориярви, Себлявр и Салланлатва. В 1972–1975 гг. на семи массивах (исключая изученные Ковдор и Турьинский, а также находящуюся в погранзоне Салланлатву) была проведена гравимагнитная съёмка м-ба 1:50 000 (В.В. Анзель, М.М. Калинин). В 1974 г. Мурманской ГРЭ организована стационарная Западно-Кольская ГРП, а в 1973 г. Имандровская ГРП начала геологоразведочные работы на Себлявре. В течение 1972–1988 гг. детально изучены выявленные на этих массивах месторождения, обнаружены и оценены новые, в том числе:

- апатит-силикатные, редкометально-apatит-магнетитовые руды и апатит-вермикулитовые коры выветривания Себлявра (Ю.А. Подкопаев – поисковые и поисково-оценочные работы 1973–1979 гг.; Б.В. Афанасьев – предварительная разведка апатит-силикатных руд и поисково-оценочные работы на редкометальных рудах Центральной зоны, 1980–1984 гг.);
- ниобиевые (пироклор-луешитовые) карбонатиты, барит-сидеритовые руды, барит-лимонитовые коры выветривания Салланлатвы. (Б.В. Афанасьев, С.А. Михаэлис – поисковые и поисково-оценочные работы 1978–1988 гг.);

¹ В 1982 г. редкометальные руды так называемой «Аномальной зоны» с баланса сняты.

- апатит-магнетитовые, редкометалльно-apatит-магнетитовые руды и апатитоносные карбонаты Тухта-вары (Б.В. Афанасьев, Н.И. Бичук и др. – предварительная разведка 1974–1979 гг.);
- редкометалльные (тантало-ниобиевые) карбонатиты Неске-вары (Б.В. Афанасьев – поисково-оценочные работы 1986–1989 гг.);
- перовскит-титаномагнетитовые и апатит-силикатные руды Западного участка массива Вуориярви (Б.В. Афанасьев – поисково-оценочные работы 1979–1981 гг.);
- богатые ниобиевые руды участка Неске-вара (Б.В. Афанасьев, С.А. Михаэлис – предварительная разведка четырёх рудных тел с утверждением запасов в ЦКЗ Минцветмета и Мингео СССР, 1985–1986 гг.).

В процессе геологоразведочных работ 3-го этапа выявлены большие запасы апатитовых руд на Себлявре (1,9 млрд. т до глубины 450 м), оценено одно из самых сложных по геологическому строению месторождение редкометалльных карбонатитов Неске-вара. При этом выяснилось, что запасы редкометалльных руд, подсчитанные в 1959 г. В.Л. Богатырёвым составляли всего 4% от того, что есть в недрах. Обнаружены новые рудные тела с нерадиоактивным (точнее, слабо активным) пироксеном. Таким образом, Неске-вара вошла в разряд крупных месторождений ниобия и тантала. Барит и луешит отмечались в карбонатитах Салланлатвы и ранее, но промышленная ценность их установлена лишь в процессе работ 3-го этапа. Месторождения барит-сидеритовых руд и ниобиевых карбонатитов Салланлатвы также оказались весьма значительными по запасам. Промышленные скопления луешита до сих пор вообще нигде не встречались. Минерал содержит 74% Nb_2O_5 и практически неактивен.

В 3-й этап значительная (если не ведущая) роль была отведена лабораторным технологическим исследованиям, т. е. разработке эффективных схем обогащения сложных комплексных руд, особенно редкометалльных. В итоге получены кондиционные концентраты ниобия (пироксеновые и пироксен-луешитовые), тантала и ниобия (гатчеттолитовый), циркония (бадделейтовый), барита, апатита, магнетита, вермикулита (из кор Себлявра), халькопирита (из апатитовых руд Себлявра), а также кальцитовые концентраты из карбонатитов. Баритовые концентраты Салланлатвы при высоком извлечении удалось получить как из коренных руд, так и из кор выветривания. Затем баритовые утяжелители изучены в тресте «Арктикморнефтегазразведка» и качество их признано на уровне импортных. Для редкометалльных руд разработаны методы предварительного обогащения (покусковой сепарации) в различных вариантах: по природной радиоактивности (для гатчеттолит-apatит-магнетитовых руд Тухта-вары), по торью и урану (для разделения редкометалльных карбонатитов Неске-вары на гатчеттолитовый и пироксеновый продукты), в рентгенрадиометрическом варианте (для обогащения нерадиоактивных руд Неске-вары и Салланлатвы). Наиболее удачные схемы обогащения разработаны институтами:

- Гиредмет (Л.Б. Чистов, Ю.Л. Зубынин, Н.С. Барсукова и др. – редкометалльные руды Тухта-вары, Неске-вары, Салланлатвы);
- Механобр (Т.И. Тасина – баритовые руды Салланлатвы; Л.В. Смирнова – апатит-силикатные руды Себлявра; Т.П. Сорокина – апатит-магнетитовые руды Тухта-вары);
- ИМР, г. Симферополь (С.А. Тихонов, А.Г. Шпынёва, Г.К. Ерёмченко – апатит-силикатные руды Себлявра и карбонатиты Тухта-вары);
- ВИМС (О.А. Архипов, С.С. Гусев – покусковая сепарация редкометалльных руд Тухта-вары, Неске-вары, Себлявра, Салланлатва).

По всем месторождениям (исключая Западный участок Вуориярви) составлены ТЭС и ТЭО. Расчёты показали, что разработка всех месторождений прибыльна, хотя рентабельность, как правило, ниже требуемой. Этот недостаток устраним при усовершенствовании схем обогащения и, прежде всего, при повышении извлечения, тем более что резервы есть¹.

Следующий (4-й этап) изучения будет связан уже с разработкой перечисленных месторождений (при одновременной доразведке), т. е. будет зависеть от заявок на эксплуатацию конкретных месторождений.

¹ Разумеется, сегодня все технико-экономические расчёты советского периода представляют лишь исторический интерес.

Часть II. ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Перечень главнейших разновидностей пород по каждому массиву приведён в табл. 5. Из геологических карт (рис. 2–11) и табл. 5 видно, что одинаковых или хотя бы близких по геологическому строению массивов нет и как-то сгруппировать их по степени схожести невозможно¹.

Общие черты есть у массивов Ковдор и Вуориярви: на обоих много разных карбонатитов, есть апатит-магнетитовые руды, включая редкометалльные. В обоих случаях рудные залежи располагаются в южных частях массивов на контакте ийолитов с гипербазитами. В то же время на Вуориярви отсутствуют мелилитовые и скарноподобные породы, нет оливинитов, но зато во всей полноте представлены рудные пироксениты, а редкометалльные карбонатиты образуют самостоятельное крупное месторождение. На обоих массивах есть месторождения флогопита, но сформировались они, как будет показано ниже, в разные этапы.

Скарноподобные, мелилитовые и монтичеллитовые породы есть только там, где присутствуют турьяиты: на Ковдоре, Турьинском и Салмагоре. Но на этом и кончается сходство перечисленных массивов. В отличие от Ковдора, на Турьинском массиве карбонатиты развиты очень слабо, а на Салмагоре их практически нет.

Себляярв вообще сравнить не с чем. От всех остальных его отличает широкомасштабное развитие апатитизированных гипербазитов. Мелилитовые породы здесь неизвестны, карбонатитовый комплекс представлен весьма полно, есть и апатит-магнетитовые руды, однако это не компактная залежь, как на Ковдоре или Вуориярви, а мелкие штоки, встречающихся в разных местах массива.

По форме и размерам сходны самые мелкие существенно ийолитовые массивы: Салланлатва и Озёрная варака. Но в ядре первого залегают поздние карбонатиты, с которыми связано несколько месторождений, а в ядре второго – практически «пустые» пироксениты, изменённые в различной степени.

Африканда и Лесная варака сложены преимущественно гипербазитами, в чем и заключается их сходство. Однако первый в основном пироксенитовый, а на втором резко преобладают оливиниты. Соответственно, и полезные ископаемые на каждом свои. По размерам и роли гипербазитов именно к этим массивам ближе всего стоит Песочный, но изучен он столь плохо, что сравнивать его с чем-то некорректно. Ещё меньше данных о Кандагубском массиве. Контакты массива с вмещающими архейскими гнейсами на значительном протяжении находятся под водой прилегающих озёр и Канда-губы и по суше прослеживаются лишь на западе и юге (и то частично), тем не менее примерно 90% площади доступно для изучения. Массив полностью перекрыт четвертичными отложениями мощностью 8 – 13 м. Форма его круглая с диаметром около 2 км, с извилистыми (по данным магнитной съёмки) контактами.

В 1988 г. в северной половине массива пробурено 5 мелких скважин (всего 322 пог. м. бурения). Ими достоверно установлено наличие ийолитов, слагающих ядро массива, и щелочных сиенитов в краевых частях. На отдельных интервалах в скважинах встретились карбонатизированные щелочные породы, но так и осталось неясным, есть ли на массиве тела карбонатитов. Из-за отсутствия надёжных геологических данных графические материалы по данному массиву не приводятся. По существу, их и нет, кроме магнитной карты масштаба 1:10 000. Нигде далее упоминаний об этом массиве больше не будет.

¹ Условные обозначения см. в унифицированной схеме (глава 11, табл. 18), а на рисунках даны лишь недостающие в схеме.

Таблица 5. Петрографические ассоциации щёлочно-ультраосновных массивов (основные разновидности)

№	Название массивов пород (от древних к молодым)	Название	Ковдор	Турьинский	Вуориярви	Себельярв	Салланлатва	Салмагора	Африкалда	Леснаяварака	Озёрнаяварака	Песочный
1	Оливиниты		•	• ¹	•	•		•	• ²	•		• ³
2	Рудные оливиниты		•		•	•		•	•	•		
3	Рудные пироксениты и перовскит-титаномангнетитовые руды		•		•	•	• ⁴	•	•		•	•
4	Щелочные рудные пегматиты											
5	Йолиты		•	•	•	•	•	•	•	• ⁵	•	•
6	Тураяиты		•	•				•	•			
7	Слюдяно-пироксеновые породы («пироксениты»)		•	•	•	•		•	•	•	•	•
8	Нефелин-пироксеновые породы		•	•	•	•		•	•	•	•	•
9	Монтицеллитовые породы		•									
10	Мелилитовые породы		•	•		•		•				•
11	Апатит-пироксеновые породы с амфиболом			•	•	•		•				
12	Апатит-эгириновые породы			•				•			•	
13	Пегматоидные слюдяно-пироксеновые породы			•	•							
14	Кальцит-мелилитовые породы			•								
15	Скарноподобные породы		•	•				•				
16	Фениты по вмещающим породам (экзоконтактовый ореол)		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
17	Нефелиновые сиениты		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
18	Эгирин-кальцитовые карбонаты со сфеном		•	•	•	•						
19	Апатит-флогопит-диопсидовые породы с кальцитритом, перовскитом					•						
20	Оливин-флогопит-диопсидовые породы, в том числе гигантозернистые		•	•								
21	Апатит-форстерит-мангнетитовые руды с бадделейтом		•	•	•	•						
22	Диопсид-кальцитовые карбонаты с форстеритом, дизаналитом		•	•	•	•	• ⁷					
23	Форстерит-кальцитовые карбонаты с бадделейтом		•	•	•	•						
24	Редкометалльные кальцитовые карбонаты с гачеттолитом, пирохлором		•	•	•	•						
25	Редкометалльные магнетитовые руды с гачеттолитом, пирохлором		•	•	•	•						
26	Нюбиевые кальцитовые карбонаты с неактивным пирохлором		•	•	•	•						
27	Доломитовые карбонаты		•	•	•	•	•			•		
28	Редкоземельные анкерит-доломитовые карбонаты						•					
29	Анкерит-сидеритовые карбонаты с баритом						•					

Примечания: 1. Цифровые сноски у значков «•»: ¹ реликты оливинитов в поздних образованиях; ² оливиниты с мелилитом; ³ по описаниям – «перидотиты»; ⁴ ксенолиты в йолитах; ⁵ выявлены только за пределами массива; ⁶ с монтицеллитом; ⁷ место дизаналита – луешит. 2. Значком «•» обозначены карбонаты и их производные, среди которых отмечаются взрывные брекчи. 3. Жирным шрифтом выделены наиболее распространённые породы.

На всех массивах встречаются гипербазиты, ийолиты, фениты и нефелиновые сиениты.

В то же время на каждом массиве обязательно есть свои оригинальные образования, не встречающиеся на остальных. К примеру:

- оливиниты с мелилитом и щелочные рудные пегматиты Африканды;
- монтichelлитовые породы Ковдора;
- кальцит-мелилитовые породы и монтichelлит-кальцитовые карбонатиты Турьего п-ова;
- апатит-флогопит-диопсидовые породы с кальцитом Себлявры;
- кальцитовые карбонатиты с луешитом и флогопит-франколитовые породы Салланлатвы;
- форстерит-доломит-магнетитовые руды Ковдора;
- поздние карбонатиты с крупными кристаллами горного хрусталя (Вуориярви, участок Нама-вара).

Если учесть экзотические по составу жильные образования карбонатитового этапа, то данный список значительно расширится (см. раздел 7.10).

Ниже приводится геолого-петрографическое описание главнейших разновидностей пород щелочно-ультраосновных массивов. Дайковый комплекс рассмотрен в главе 8, но некоторые разновидности даек, неразрывно связанные с главными фазами магматической деятельности, всё же пришлось упомянуть при характеристике материнских интрузивных образований.

Описание дано в возрастной последовательности (от древних к молодым) с привязкой литологических разновидностей к трём основным этапам формирования: гипербазитовому, щелочному и карбонатитовому. Выделение этих этапов принято всеми исследователями и никаких разногласий не вызывает. Четвёртому (экзогенному) этапу, т. е. корам выветривания, посвящена глава 9.

В процессе описания затронуты вопросы генезиса и возрастных взаимоотношений различных пород, но очень кратко, скорее, в виде выводов из фактического материала, накопленного за многолетний период изучения массивов. Более подробные сведения по этим вопросам можно найти в опубликованной литературе и фондовых отчётах по конкретным массивам.

Химанализы горных пород даны в очень ограниченном количестве и только для магматических разновидностей и образований карбонатитового этапа, слагающих тела выполнения. При этом приведены наиболее типичные анализы и, как правило, по представительным пробам (а не случайным штуфам). Химическая характеристика метасоматитов, обладающих большим разбросом в количественном минеральном составе, не приводится.

3. ГИПЕРБАЗИТОВЫЙ ЭТАП

3.1. Оливиниты, рудные оливиниты

Являются древнейшими породами щелочно-ультраосновных массивов. В начальный этап формирования массивов они занимали значительно большие площади, но впоследствии в процессе метасоматоза, сопровождавшего внедрение щелочных магм и карбонатитовых жидкостей, были переработаны в существенно пироксеновые, слюдяно-пироксеновые, монтichelлитовые, мелилитовые, кальцит-флогопит-диопсидовые породы и др. Наибольшие площади оливиниты занимают на Лесной вараке (где они преобладают), на Ковдоре (ядерная часть площадью 9 кв. км) и Салмагорском массиве (краевая зона площадью почти 13 кв. км). Отдельные участки их уцелели на Вуориярви и Себлявре. На Турьем п-ове и Африканде оливиниты встречаются в виде реликтов и небольших блоков, а на Озёрной вараке и Салланлатве их, скорее всего, и не было¹. Похоже, что присутствовали они и на Песочном, поскольку в описаниях часто упоминаются «перидотиты», слагающие в краевых частях массива неправильные участки среди пироксенитов. Структура их пойкилитовая: мелкие округлые зёрна оливина располагаются внутри крупных кристаллов диопсид-авгита. Не исключено, что это обычные пироксенизированные оливиниты, тем более что перидотитов на щелочно-ультраосновных массивах Кольского п-ова ещё не встречалось.

Наиболее распространены среднезернистые массивные оливиниты с мелкой вкрапленностью магнетита, реже встречаются полосчатые рудные оливиниты, ещё реже – пегматоидные, почти лишённые рудных минералов. Вероятнее всего, массивные и рудные (полосчатые) оливиниты являют-

¹ Имеется в виду современный эрозионный срез.

ся фаціальными разновидностями, а пегматоидные возникли чуть позже при перекристаллизации массивных оливинитов. Переходы между обычными и рудными оливинитами постепенные. Рудная полосчатость по простиранию может постепенно затухать, а количество титаномагнетита, соответственно, уменьшаться. Ю.А. Солопов (1976) считает их разновозрастными и для Лесной варака даёт такую последовательность формирования оливинитов (от древних к молодым):

1. Оливиниты среднезернистые с мелковкрапленным титаномагнетитом, массивные.
2. Рудные оливиниты с титаномагнетитом, полосчатые (титаномагнетитовые руды).
3. Рудные оливиниты с титаномагнетитом и перовскитом, полосчатые (перовскит-титаномагнетитовые руды). Полосчатость ориентирована в направлении СЗ 290–315°, углы падения 60–65° на СВ (т. е. к центру массива), а у южных границ рудной зоны – до 85°.
4. Оливиниты гигантозернистые.
5. Оливин-магнетитовые жилы мощностью от первых сантиметров до 2 м, секущие все предыдущие разновидности.

Таблица 6. Химический состав оливинитов (вес.%)

Компоненты	Оливиниты среднезернистые («нормальные»)		Рудные оливиниты		Пегматоидные («безрудные») оливиниты
	Ковдор	Лесная варака	Ковдор	Лесная варака	Лесная варака
	1	2	3	4	5
SiO ₂	37,25	36,43	22,70	19,20	38,13
TiO ₂	0,33	0,86	2,16	6,45	0,40
Al ₂ O ₃	1,30	0,63	3,27	1,31	0,86
Fe ₂ O ₃	6,18	6,66	26,73	25,16	3,39
FeO	8,15	11,79	12,95	18,77	11,32
MgO	43,16	42,02	29,72	27,92	43,58
MnO	0,31	0,23	0,29	0,25	0,51
CaO	1,26	0,80	0,85	0,42	0,75
NiO	0,178	0,15	0,21	0,16	0,16
CoO	0,015	0,017	0,016	0,028	
ZnO		0,007		0,016	
Na ₂ O	<0,20		0,16		не обн.
K ₂ O	0,32		0,50		не обн.
V ₂ O ₅	0,01	0,03	0,01	0,05	
P ₂ O ₅	<0,1		0,26		
Ta ₂ O ₅	<0,002		<0,002		
Nb ₂ O ₅	0,002		0,003		
Cr ₂ O ₃	0,20	0,35	0,34	0,24	0,31
п.п.п.	1,45	0,76	1,24	0,38	1,09
Сумма	100,11	100,73	101,41	100,35	100,50
F	0,012		0,026		(H ₂ O+CO ₂)–0,80
S _{общ.}	0,06		0,10		

1. Среднее из 6 ан. Э.В. Быкова, Г.А. Ильинский, 1975 г. 2. Среднее из 8 ан. Ю.А. Солопов, В.И. Терновой, 1976 г. 3. Среднее из 5 ан. Э.В. Быкова, Г.А. Ильинский, 1975 г. 4. Технологическая проба № 1–ЛВ весом 10 т, 1976 г., Лаборатория КФАН СССР. 5. Среднее из 75 бороздовых и керновых проб. А.С. Огородников, 1957 г.

Наличие постепенных переходов между 1 и 2 разновидностями Ю.А. Солопов тоже не отрицает.

Оливиниты щёлочно-ультраосновных массивов изучены весьма слабо. На Ковдоре они закрыты мощными корами выветривания, да вдобавок и застроены жилыми кварталами, на Лесной вараке в зоне рудных оливинитов детальных работ пока не было, на Салмогоре их изучение ограничилось мелкими картировочными скважинами. На остальных же массивах они, как правило, сильно переработаны. Так что история их образования ещё полностью не расшифрована.

Среди рудных оливинитов могут встречаться почти мономинеральные титаномагнетитовые шпиры. А в гигантозернистых разновидностях содержание минералов падает до 1–5%.

Первичные силикаты в ранних гипербазитах представлены только оливином. Почти всегда присутствующие в переменных количествах пироксены и слюды повсеместно имеют более позднее происхождение. Исключение составляют уникальные мелилитовые оливиниты Африканды, образующие маломощные «прослой» среди мелкозернистых оливинитов (А.А. Кухаренко и др., 1965). Таблички мелилита в них ориентированы субпараллельно границам слоёв. Оливинит имеет порфировидную структуру: вкрапленники мелилита погружены в мелкозернистую магнетит-оливиновую массу с перовскитом.

Первичным акцессорным минералом является титаномагнетит (Ковдор, Турий, Вуориярви), местами к нему добавляется перовскит (Лесная варака, Африканда, Себлявр). В рудных оливинитах титаномагнетит следует относить уже к породообразующим. Перовскит кристаллизовался всегда позже титаномагнетита и нарастает на него.

Все оливиниты в различной степени серпентинизированы. Серпентин развивается по тончайшим трещинам в зёрнах оливина и обычно содержит пылевидный магнетит, что придаёт изменённым оливинитам чёрную окраску. Химический состав приведён в табл. 6.

Характернейшей чертой титаномагнетита в оливинитах является постоянное присутствие в нём примеси никеля в количестве до 0,2%. В несколько меньших количествах никель есть и в самом оливине.

3.2. Рудные пироксениты и перовскит-титаномагнетитовые руды

Существенно пироксеновые породы занимают одно из ведущих мест по распространённости, уступая лишь щелочным породам ийолитовой серии. Они известны на всех массивах без исключения. В геологических описаниях им присваивались разные названия в зависимости от точки зрения авторов на их происхождение: «пироксениты» (чаще всего), «пироксеновые», «слюдяно-пироксеновые», «оливино-пироксеновые породы» и даже «перидотиты». В ранних схемах формирования они рассматривались обычно без разделения, как бы оптом, поскольку заведомо считалось, что возникли они одновременно или почти одновременно. В монографии А.А. Кухаренко они отнесены к типичным магматическим породам («пироксенитам»), хотя признавалось, что есть «оливино-пироксеновые породы», возникшие «*в процессе неполного магматического замещения оливинитов при инъекции в них пироксенитовой магмы*» (с. 667). Таким образом, метасоматическое происхождение признавалось лишь за пироксенизированными оливинитами. Несколько позже при изучении Ковдора (В.И. Терновой, Б.В. Афанасьев и др., 1969) появилась иная точка зрения, предполагавшая только метасоматическое происхождение данной группы пород, связанное с внедрением щелочной (а не пироксенитовой) магмы. Эта гипотеза изложена в главе 5. Отмечу, что истина, как обычно, оказалась посередине. При изучении Вуориярви надёжно установлено (Б.В. Афанасьев и др., 1981), что существенно пироксеновые породы вовсе не одновозрастны и есть, по крайней мере, две группы пироксеновых пород, очень похожих внешне и сходных по минеральному составу. К первой, более древней, относятся типичные магматические пироксениты со своим дайковым комплексом и шлировидными обособлениями перовскит-титаномагнетитового состава, ко второй – апооливинитовые метасоматиты пироксенового и слюдяно-пироксенового состава, возникшие в процессе внедрения щелочных магм¹.

В дальнейшем эта точка зрения полностью подтвердилась и при изучении Себляврского массива (Б.В. Афанасьев, 1984). Метасоматические разновидности существенно пироксеновых пород распространены значительно шире магматических. В пространстве обе группы очень похожих пород

¹ Есть и третья группа, генетически связанная уже с карбонатитовым этапом: это флогопит-диопсидовые породы. Строго говоря, они тоже «существенно пироксеновые», но всё же от первых двух отличаются без особого труда (см. раздел 7.6).

обычно тесно переплетаются и, вследствие этого, провести границы между ними очень непросто. К тому же картину осложняют процессы перекристаллизации, присущие всем без исключения этапам формирования массивов, а также поздняя карбонатизация, с которой также связаны свои генерации слюд и пироксенов. В итоге и без того слабо осязаемые различия между двумя группами существенно пироксеновых пород ещё более смазываются. При рисовке границ интрузивных пироксенитов часто помогает магнитная съёмка, поскольку количество рудных минералов в них заметно выше, чем в более поздних метасоматических «пироксенитах». Но пользоваться этим приёмом надо осмотрительно, т. к. мощной пироксенизации могут подвергнуться и рудные оливиниты.

Ниже приводится краткое описание *только магматических* пироксенитов первой группы. Более поздним метасоматитам близкого состава посвящён раздел 5.1.

Рудные пироксениты и перовскит-титаномагнетитовые руды (фациальные их разновидности с большим количеством рудных минералов) выделены на большинстве массивов. На Вуориярви они слагают две разобщённые интрузии в западной и восточной частях, т. е. в «раздувах» массива, и приурочены к субширотной зоне разлома. В западной части компактная изометрическая интрузия размером в плане 1,2×0,9 км практически не изменена поздними процессами и именно здесь была доказана магматическая природа пироксенитов. В восточной части рудные пироксениты чрезвычайно сильно переработаны и карбонатизированы (участок Неске-вара) и границы интрузии весьма условны. На Себлявре рудные пироксениты образуют прерывистую кольцевую зону во внутренней части массива, окаймляющую сильно апатитизированные и карбонатизированные существенно пироксеновые метасоматиты («апатит-силикатные руды» Центральной зоны). Частично они и сами апатитизированы. На Ковдоре к магматическим отнесены пироксениты южного фланга массива, слагающие интрузию размером 2,5×2,0 км.

Массив Песочный почти на 90% сложен пироксенитами, скорее всего магматическими, но сведений о них мало. На Африканде рудные пироксениты образуют изометрическую интрузию в ядерной части массива диаметром 2 км. Следует оговориться, что представленная карта Африканды составлена по материалам 50–60-х годов, когда дробного расчленения пироксеновых пород ещё не было. Поэтому внешние границы пироксенитовой интрузии проведены по результатам магнитной съёмки. На Озёрной вараке рудные пироксениты, как и на Африканде, расположены в ядре массива и окружены сплошным кольцом ийолитов. В пределах Салланлатвинского массива пироксениты известны лишь в виде блоков среди ийолитов длиной не более 2 м (по стволу скважины). Мелкие обломки встречены и в карбонатитах, где они почти нацело флогопитизированы.

Неизменённые рудные пироксениты – это средне-крупнозернистые массивные однородные породы грязно-зелёного цвета с сидеронитовой структурой. Первичные минералы представлены пироксеном, титаномагнетитом и перовскитом. Суммарное содержание рудных минералов обычно составляет 15–20%, возрастая в перовскит-титаномагнетитовых рудах до 40–50%. Скопления рудных минералов представляют собой магнетитовый субстрат, в который погружены изометрические, часто идиоморфные кристаллы перовскита. Зёрна титаномагнетита насыщены продуктами распада твёрдых растворов: ульвошпинелью, шпинелью, ильменитом. Размер пластинок ильменита – 0,004–0,02 мм. Встречается и более поздняя генерация ильменита: зёрна неправильной формы или тончайшие каёмки вокруг магнетита. Содержание такого ильменита не превышает обычно 0,5–1%. Изредка появляется нефелин. В заключительные стадии формирования интрузии возникают бурый флогопит, тёмно-зелёная роговая обманка, иногда сфен, апатит, кальцит.

Шлиры перовскит-титаномагнетитового состава обнаруживаются в рудных пироксенитах всегда. Силикаты (слюды, пироксены) находятся в рудных шлирах в резко подчинённом количестве. Наблюдались и включения обычных пироксенитов. Статистический подсчёт на Западном участке Вуориярви показал, что на 100 пог. метров керна независимо от глубины встречается 7–10 шлировидных обособлений. Мощность их (по стволу скважин) невелика: 85% шлировидных обособлений имеют мощность 0,2–1 м и лишь 15% – свыше 1 м. Суммарная мощность составляет 4,5% от всего объёма бурения по рудным пироксенитам. За пределы интрузии они не выходят за редкими единичными исключениями. В этом заключается одно из узловых отличий рудных пироксенитов от сходных по облику и составу существенно пироксеновых метасоматитов щелочного этапа: если есть шлиры, значит, вмещающие их породы являются магматическими и наоборот. Контакты шлировидных обособлений с материнскими породами резкие извилистые, реже прямо-

линейные. Протяжённость и морфология их неизвестны. По керну при редкой сети бурения этот вопрос не выяснить. В канавах же возникают свои сложности. Так, на Западном участке Вуориярви в зоне выветривания пироксениты превращены в дресву. Шлиры же сохраняют монолитный облик и присутствуют в дресве в виде обломков, максимальный вес которых достигает 50 кг. Лишь на Африканде удалось наблюдать их в стенках карьера и горных выработок. По А.А. Кухаренко (1965) это множество мелких ветвящихся рудных жил, представляющих собой «... образования фузивного типа: продукты кристаллизации остаточного рудного расплава, выжатого в трещины вмещающих пород» (с. 126). Как и в рудных пироксенитах, магнетит в шлирах играет роль субстрата, цементирующего кристаллы перовскита, обычно неплохо огранённые. Величина их не превышает 1–3 мм. На Себлявре в перовските из шлиров наблюдались тончайшие (сотые доли миллиметра) включения кальцита. Там же встречаются неоднородные шлиры, в которых магнетитовые слои чередовались со слоями флогопит-перовскит-магнетитового состава. При этом чешуйки слюды имеют субпараллельную согласную ориентировку. Часто в пироксенитах и шлирах обнаруживается перовскит поздней генерации: мелкие светло-коричневые зёрна, нарастающие на магнетит или развивающиеся в виде цепочек по спайности в слюде.

На завершающей стадии формирования в рудных пироксенитах широко проявились процессы перекристаллизации, нередко сопровождающиеся появлением ощутимых количеств бурого (железистого) флогопита и тёмно-зелёной роговой обманки. В итоге образовались амфиболовые рудные пироксениты (Африканда) и гигантозернистые слюдяно-пироксеновые породы с промышленным флогопитом (Себлявр). На той же Африканде слюдяно-пироксеновые породы слагают вытянутые тела по периферии массива, падающие к его центру под углом 40–60°. Они пересекаются щелочными пегматитами, т. е. являются более древними, нежели очень близкие по составу слюдяно-пироксеновые породы, сингенетичные с ийолитовой интрузией. Гигантозернистые слюдяно-пироксеновые породы Себлявра секутся дайками мелкозернистых рудных пироксенитов. Таким образом, и здесь их относительный возраст установлен точно.

Появление на завершающей стадии формирования значительного количества бурой слюды – характерная черта рудных пироксенитов. В заметных количествах слюда отмечается ещё в шлировидных обособлениях, но максимальные содержания (вплоть до образования мономинеральных бурых слюдитов) отмечены в контакте интрузии пироксенитов с оливинитами в южной половине Ковдорского массива. Такие породы являются идеальным исходным материалом для последующего формирования богатых вермикулитовых руд, однако именно в этой части массива коры выветривания смыты почти нацело.

Любопытен набор минералов-примесей в перекристаллизованных и изменённых рудных пироксенитах, представленный кальцитом, апатитом, канкринитом, сфеном. Такой набор характерен для более поздних этапов развития массивов: щелочного и карбонатитового. Зёрна перовскита при перекристаллизации также увеличиваются в размерах, но поздние генерации перовскита обычно содержат массу мельчайших включений сфена, флогопита и кальцита размером 0,008–0,1 мм. Установлено, что в поздних генерациях перовскита повышается содержание тория, ниобия и редких земель. Отсюда следует, что *наименее радиоактивные перовскитовые руды будут связаны с первичными неизменёнными пироксенитами.*

Дайки мелкозернистых рудных пироксенитов отмечаются внутри или вблизи интрузий описываемых пород. Как и рудные шлиры, они являются ещё одним свидетельством принадлежности существенно пироксеновых пород к магматическим разновидностям. Подробная характеристика даек дана в главе 8.

Химический состав некоторых типичных разновидностей данного комплекса приведён в табл. 7.

Таблица 7. Химический состав рудных пироксенитов (вес. %)

Компоненты	Себлявр		Западный участок массива Вуориярви		
	Рудные пироксениты неизменённые		Перекристаллизованные рудные пироксениты	Перовскит-титаномагнетитовые шпильеры	
	1	2		3	4	5
SiO ₂	13,46	14,36	21,72	3,70	8,19
TiO ₂	18,68	20,03	13,39	19,86	19,97
Al ₂ O ₃	3,22	0,64	3,79	2,98	3,05
Fe ₂ O ₃	22,61	21,95	22,52	38,56	31,20
FeO	13,86	13,32	12,06	18,99	17,16
MnO	0,41	0,44	0,36	0,52	0,46
CaO	12,80	16,30	15,16	9,34	13,02
MgO	8,87	8,40	8,55	4,35	5,11
K ₂ O	2,22	1,22	0,83	0,28	0,41
Na ₂ O	0,55	0,57	0,61	0,40	0,50
P ₂ O ₅	0,42	0,50	0,25	0,13	0,17
Ta ₂ O ₅	0,016	0,013			
Nb ₂ O ₅	0,129	0,146	0,087	0,177	0,129
V ₂ O ₅			0,042		0,051
Cr ₂ O ₃			0,022		0,019
SrO	0,16	0,17	0,10		0,10
BaO	0,07	0,01			
ZrO ₂	0,01	0,01			
Cu	0,069	0,038	0,010*		0,009*
п.п.п.	2,20	1,70	не обн.	0,58	не обн.
Сумма	99,75	99,82	99,50	99,87	99,55
H ₂ O ⁻	0,16	0,10			
S _{общ.}	0,24	0,20	0,008	0,028	0,008
CO ₂	1,32	1,22			
Ni			0,016*		0,017*
Co			0,007*		0,006*

*) количественный спектральный анализ.

Примечание: Все пробы отобраны из керна скважин. В пробу 4 весом 9 кг вошли штуфы «чистых» разновидностей из пяти скважин в интервале глубин 135–300 м от поверхности. Анализы выполнены в химико-технологической лаборатории Мурманской ГРЭ (ХТЛ, г. Апатиты, 1980 – 1982 гг.).

4. ИНТРУЗИВНЫЕ ПОРОДЫ ЩЕЛОЧНОГО ЭТАПА

4.1. Йюлиты, мельтейгиты, уртиты

Магматические породы щелочной серии присутствуют на всех массивах без исключения. Размеры щелочных интрузий и геологическая позиция их хорошо видны на геолкартах без каких-либо дополнительных пояснений. Контакты их с вмещающими фенитами резкие. В контакте же с оливинитами и пироксенитами возникают всякого рода осложнения. Наиболее типичны два варианта:

а) йюлиты → турьяиты → мелилит-пироксеновые породы (с реликтами оливина) → гипербазиты;

б) йюлиты → нефелинизированные пироксеновые породы (своеобразные щелочные мигматиты) → слюдяно-пироксеновые метасоматиты → гипербазиты.

Нефелинизированные пироксеновые породы часто именовались в литературе «якупирангитами», что неверно, ибо это типичные метасоматиты с переменным составом, а не магматические породы.

Щелочные породы многообразны по облику, структурно-текстурным особенностям, набору акцессорных минералов. Преобладают йюлиты с соотношением пироксена и нефелина примерно 1:1, есть мельтейгиты и уртиты, не говоря уже о турьяитах, которым посвящён нижеследующий раздел. Мельтейгиты тяготеют к краевым частям интрузий, уртиты – к внутренним. Структуры щелочных пород неравномернозернистые (средне-крупнозернистые до пегматоидных), иногда порфирировидные; текстуры массивные, такситовые, директивные. Наиболее распространёнными минералами-примесями являются апатит, магнетит, пирротин, сфен, перовскит, шорломит. Первые три минерала присутствуют во всех разновидностях щелочных пород. Йюлиты (и мельтейгиты) со сфеном обнаруживаются, как правило, в узкой полосе эндоконтакта с фенитами. Очень часто в переменных количествах здесь же встречается и полевой шпат. Щелочные породы с перовскитом характерны для эндоконтактовых зон с пироксенитами. Шорломит обычно тяготеет к внутренним частям щелочных интрузий. Количество его может достигать 8–10%, причём возник он одним из последних и заливал промежутки между зёрнами пироксена и нефелина. В порядке выделения акцессорных минералов наблюдается строгая последовательность, которая не нарушается ни в каких фациях: магнетит → перовскит → сфен → шорломит. Содержание магнетита на отдельных участках также может достигать нескольких процентов и тогда такие йюлиты выделяются на магнитных картах положительными аномалиями. Обычное содержание P_2O_5 в йюлитах составляет 0,6–1,5%, но местами повышается до 2,5–3,5% и выше. В этом случае всегда отчётливо устанавливаются более поздние генерации наложенного апатита, интенсивно корродирующего в первую очередь таблитчатые зёрна пироксена. Иногда это тонкие прерывистые апатитовые жилки со сфеном.

Весьма необычными являются так называемые «волластонитовые йюлиты». Они известны в Колвикском массиве-сателлите на западе от Вуориярви (с содержанием волластонита до 20%); в южной части щелочной интрузии массива Вуориярви, а также в йюлит-уртитах обрамления Ковдорского апатит-магнетитового месторождения, где волластонит образует кристаллы длиной до нескольких сантиметров. На Колвикском массиве волластонит известен и в окружающих фенитах. В шлифах таких йюлитов видно, что волластонит в общем случае равновесен с пироксеном и нефелином.

Порфирировидные йюлиты выявлены на Центральном массиве Турьего полуострова, на Салланлатве, Песочном и Колвикском массивах. Вкрапленники представлены пироксеном и идиоморфным нефелином с квадратными или шестиугольными сечениями. Акцессорные минералы в этих йюлитах присутствуют в полном наборе: магнетит, перовскит, сфен, шорломит, апатит. На Салланлатве установлено, что порфирировидные йюлиты и мельтейгиты встречаются в виде обломков среди массивных йюлитов.

Очень редко в йюлитах появляются вкрапленники оливина, забронированные от основной массы тонкозернистой слюдяно-пироксеновой оторочкой.

В небольших количествах и не везде в йюлитах отмечается первичный (магматический) кальцит. Зёрна пироксена и нефелина на контакте с ксеноморфным кальцитом, выделившимся одним из последних, приобретают огранку. А внутри кальцита можно встретить мелкие почти идеальные кристаллы сфена.

Уртиты образуют участки среди ийолитов. Переходы между разновидностями расплывчатые. Уртиты всегда пегматоидные (мелкозернистых уртитов не бывает). В шлифах отчётливо видна интенсивная коррозия пироксена нефелином. Набор акцессорных минералов в точности такой же, как и в ийолитах. Возникли уртиты, скорее всего, на месте ийолитов в процессе поздней перекристаллизации, сопровождавшейся резким увеличением содержания нефелина.

Вторичные минералы в щелочных породах представлены бурым флогопитом, канкринитом, альбитом, красным гидронефелином, натролитом, либнеритом, поздними генерациями апатита и кальцита. Особенно подвержены вторичным изменениям уртиты. В карбонатизированных щелочных породах могут появляться любые минералы карбонатитового этапа.

Щелочные породы ийолитовой серии, как и любые группы изверженных горных пород, сопровождаются своими дайками. Они известны как внутри массива, где прорывают оливиниты, рудные пироксениты и материнские щелочные породы, так и за пределами интрузии среди фенитов. Наиболее распространены дайки ийолитов или мельтейгитов (массивных, мелкозернистых) и более молодые дайки ийолит-пегматитов. Последние встречаются только внутри массивов. Подробнее о дайках см. гл. 8.

Из таблицы 8 видно, что ийолиты разных фаций очень близки по химическому составу. Для сравнения в той же таблице приведён средний состав ийолитов Хибинского массива.

Таблица 8. Химический состав ийолитов (вес. %)

Компоненты	Вуориярви	Салланлатва		Массивы Турьего п-ова		Хибины
	Ийолит мелкозернистый	Ийолит с магнетитом	Ийолит с шорломитом		Ийолит порфиоровидный	Ийолит трахитоидный
	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	41,25	42,22	39,66	42,05	39,82	42,22
TiO ₂	2,62	1,79	3,70	2,00	2,12	4,21
Al ₂ O ₃	15,02	12,15	12,72	16,89	15,40	15,67
Fe ₂ O ₃	3,78	9,16	8,01	4,51	6,65	5,52
FeO	8,19	4,86	4,32	2,71	4,41	4,78
MnO	0,27	0,22	0,21	0,14	0,19	0,25
CaO	13,03	12,87	15,23	13,04	11,87	9,76
MgO	3,45	7,93	4,48	5,24	4,90	3,32
K ₂ O	2,03	1,96	2,30	3,23	3,56	3,30
Na ₂ O	8,58	6,07	7,06	7,90	9,05	8,37
SrO						0,33
P ₂ O ₅	0,89	0,36	1,56	0,59	0,65	1,25
SO ₃	1,18				0,65	
п.п.п.	0,20	0,35	0,49	1,22	1,00	
Прочие						0,93
Сумма	100,49	99,94	99,74	99,52	100,27	99,91
H ₂ O ⁻		0,20	0,22	0,26	0,09	

1. Ийолит с пирротинном, сфеном, шорломитом (краевые фации). Среднее из 2-х анализов, 1980 г.
2. Скв. 14, гл. 93, 8м, 1981 г. 3. Скв. 31, гл. 99,6 м, 1981 г. 4. Массив Южный. Скв. 128 (эталонная проба). Лаборатория Ильменского заповедника. Из материалов В.Я. Левина, 1973 г. 5. Центральный массив. Скв. 34, гл. 125,8 м., 1973 г. 6. Ийолиты I субфазы. Среднее из 25 анализов. Из материалов Ф.В. Минакова, 1975 – 1982 гг. Анализы 1 – 3, 5, 6 выполнены в ХТЛ Мурманской ГРЭ.

4.2. Турьяиты

Полнокристаллические нефелин-мелилитовые породы впервые описаны Рамзаем в 1921 г. на Турьем полуострове (что и отражено в их названии) Позже было установлено, что мелилитовые породы являются одной из важнейших составных частей щёлочно-ультраосновных комплексов. На Кольском полуострове они известны на самых крупных массивах: Турьинском, Ковдорском и Салмагорском¹. Из-за своей необычности они вызывали повышенный интерес у геологов и, естественно, о происхождении мелилитовых пород придумано множество гипотез, подчас взаимоисключающих одна другую². В 60-е годы на Ковдоре удалось установить, что турьяиты являются фацией магматических щелочных пород, но в то же время они всегда сопровождаются апогипербазитовыми метасоматитами мелилит-пироксенового, мелилит-оливинового, мелилит-монтчеллитового состава, описание которых приведено в гл. 5, раздел 5.2. Основные трудности при расшифровке происхождения мелилитовых пород на Ковдоре связаны со значительной их изменённостью. В 70-х годах при поисковых работах на массивах Турьего п-ова (где таких трудностей не было) магматическое происхождение турьяитов было надёжно подтверждено.

На Ковдоре и Центральном массиве Турьего п-ова турьяиты располагаются во внутренних частях щелочной интрузии, примыкающей к гипербазитам. На Салмагорском массиве они тяготеют к внешней стороне, но поскольку щелочные породы слагают здесь обширное ядро массива (а не периферическую зону как на предыдущих массивах), то турьяиты и на Салмагоре оказываются в той же геологической позиции, т. е. в эндоконтакте с гипербазитами. На Южном и Летнегорском массивах Турьего п-ова они залегают опять же во внутренних частях округлых щелочных интрузий, но гипербазиты на этих массивах отсутствуют. В контакте с фенитами турьяиты не встречаются и всегда отделены от них зоной ийолитового состава. Переходы турьяитов к ийолитам всегда расплывчатые. При документации скважин на Южном массиве Турьего п-ова для таких переходных зон использовался термин «ийолит-турьяит».

Три главных минерала (нефелин, мелилит и пироксен) образуют в турьяитах равновесную ассоциацию. В переменных количествах всегда присутствует и бурый флогопит, однако образовался он чуть позже и развивается на стыке зёрен нефелина и мелилита, нефелина и пироксена, замещая их.

В литературе (отечественной и зарубежной) существует множество названий мелилитовых пород (турьяиты, ункомпагриты, кугдиты, окаиты, мелилититы, ковдориты и др.). К сожалению, перечисленные названия попали и в «Геологический словарь» (1973), где все мелилитовые породы безоговорочно отнесены к магматическим. В статье Роненсона и др. (1975) на основе парагенетического анализа предлагается упростить терминологию полнокристаллических изверженных мелилитовых пород, ограничившись названиями «пироксеновый турьяит», «флогопитовый турьяит», «магнетитовый (или лейкократовый) турьяит». В предлагаемой УСФ так и сделано. Напрашивается и еще одно название: «шорломитовый турьяит». Правда, шорломит неравновесен с мелилитом и замещает его. Однако и в ийолитах наблюдается в точности такая же картина, а название «шорломитовый ийолит» всё-таки прижилось. На Турьем полуострове обнаружены очень редкие оливиновые турьяиты с мелкими округлыми вкрапленниками оливина, забронированными от основной массы двухслойными флогопит-пироксеновыми оторочками (т. е. своеобразные аналоги оливиновых ийолитов). Очень часто встречаются и пегматоидные (перекристаллизованные) турьяиты, как правило, с большим количеством бурого флогопита, равновесного с мелилитом и нефелином.

Структура неизменённых турьяитов гипидиоморфная, текстура массивная. Кристаллы пироксена обычно длиннопризматические, без следов зональности (в отличие от ийолитов, где очень часто краевые зоны кристаллов обогащены эгириновой молекулой). Никакого замещения пироксена мелилитом (как в метасоматических мелилит-пироксеновых породах) не наблюдается. Нефелин ксеноморфен, как кварц в гранитах. В богатых щелочами лейкократовых турьяитах Летнегорского массива нефелин может кристаллизоваться одним из первых, образуя идиоморфные таблитчатые кристаллы, уплощённые по базопинакоиду. В поперечных срезах кристаллы такой формы в шлифах дают несвойственное нефелину положительное удлинение.

¹ Упоминание в отчёте Л.Б. Антонова и др. (1969) о нефелин-мелилитовых породах на Песочном массиве требует подтверждения.

² Краткий обзор их приведён в монографии В. И. Тернового и др. на стр. 53–54 (1969).

Акцессорные минералы турьяитов представлены магнетитом, перовскитом, апатитом и поздним шорломитом. Сфен в турьяитах не встречается. Интересно, что в ковдорских турьяитах апатит долгое время не отмечался. Упоминания о нём нет в монографиях ни у Кухаренко (1965), ни у Тернового (1969). Это было непонятно, т. к. при справедливости магматической гипотезы он просто обязан там быть, как и в ийолитах. Тщательное изучение шлифов именно с этой позиции показало, что так оно и есть. Но в турьяитах Ковдора апатит присутствует в виде округлых мелких зёрен, а при одинаковости главнейших оптических констант мелилита и апатита, последний просто теряется на фоне больших скоплений мелилита. Зато в турьяитах Южного и Летнегорского массивов апатит сразу обнаруживается в любом шлифе, поскольку образует длинностолбчатые или игольчатые кристаллы с правильными шестиугольными сечениями и от мелилита отличается без всякого труда.

Естественно, что турьяиты (как и ийолиты) должны сопровождаться дайками аналогичного состава. На Ковдоре таких даек пока не встречено. Возможно, они и были, но в процессе поздних преобразований перекристаллизованы и изменены. На Турьем п-ове и Салмагорском массиве такие дайки попадаются, хотя и не столь часто, как дайки ийолитов. Мало того, турьяитовые дайки отмечались даже в фенитах, т. е. за пределами массивов (см. гл. 8).

Пространственно с турьяитами всегда связаны так называемые «скарноподобные породы», возникшие на их месте в послемагматическую стадию (см. гл. 6, раздел 6.3). Именно с ними связан практически весь набор вторичных минералов, из которых наиболее типичны цеболлит (по мелилиту), канкринит, андрадит (зональный), тёмно-зелёная роговая обманка, ярко-зелёный флогопит, монтичеллит, волластонит, почти бесцветный (белый в штуфах) диопсид, везувиан, хлорит, кальцит, содалит и др.

Химических анализов мелилитовых пород множество. Однако из-за терминологической неразберихи, как правило, невозможно понять, какие разновидности пород отбирались на анализы. Большинство из них явно не относится к «чистым разновидностям» турьяитов. Так, содержание СаО по разным данным колеблется от 17 до 35%, Al_2O_3 – от 2 до 16%. Как ни странно, даже по Ковдору нет анализов типичных неизменённых турьяитов. Лишь на Турьем п-ове специально были отобраны эталонные пробы, анализы которых и приведены в табл. 9.

Таблица 9. Химический состав турьяитов из массивов Турьего п-ова (вес. %)

Компоненты	Пироксеновый турьяит	Флогопитовый турьяит	Магнетитовый (лейкократовый) турьяит
	1	2	3
SiO ₂	38,74	36,48	40,60
TiO ₂	2,14	2,39	1,65
Al ₂ O ₃	13,06	15,90	16,10
Fe ₂ O ₃	6,96	5,36	5,51
FeO	3,53	4,26	4,13
MnO	0,19	0,18	0,18
CaO	19,66	16,74	15,70
MgO	4,62	5,32	3,34
K ₂ O	2,41	3,09	2,40
Na ₂ O	6,00	7,25	8,00
P ₂ O ₅	0,83	1,26	0,57
п.п.п	1,28	1,26	1,71
H ₂ O ⁻	0,28	0,22	
Сумма	99,70	99,71	99,89
S _{общ.}			0,06

1. Южный массив, скв. 128, эталонная проба 128/3. 2. То же, эталонная проба 128/2, глубина 37,0 м. Анализы Лаборатории Ильменского заповедника УНЦ АН СССР, 1973 г. 3. Летнегорский массив, скв. 8, проба 010, интервал 80–86 м. ХТЛ Мурманской ГРЭ, 1974 г.

5. МЕТАСОМАТИТЫ МАГМАТИЧЕСКОЙ СТАДИИ ЩЕЛОЧНОГО ЭТАПА

В данной главе рассматривается комплекс пёстрых и разнообразных по составу пород, окаймляющих щелочные интрузии, т. е., иными словами, слагающих экзоконтактовые ореолы вокруг них. Существуют две большие группы метасоматитов магматической стадии:

- а) апогипербазитовые (в основном, апооливиновые) метасоматиты;
- б) фениты, возникшие на месте вмещающих пород рамы, представленных биотитовыми гнейсами с прослоями амфиболитов, кислыми мигматитами, реже метадиабазами.

В свою очередь, метасоматиты по оливинитам также подразделяются на две непохожие ветви, одна из которых генетически тесно связана с ийолитами, вторая – с турьяитами.

В полном наборе весь комплекс метасоматитов представлен только на Ковдоре (если не считать отсутствующих фенитов по метадиабазам), т. е. на одном из крупнейших массивов Кольского п-ова с большим оливинитовым ядром и значительными массами щелочных магматических пород, включающих и турьяиты. Почти все петрографические разновидности метасоматитов (кроме единичных) обнаружены и на Турьем п-ове. Наверняка в один ряд с перечисленными встанет и Салмагора, но только после более детального изучения массива. На Vuoriaarvi и Sebljävre, где нет турьяитов, одна из ветвей метасоматитов, генетически с ними связанная, соответственно, выпадает. На мелких массивах с небольшими размерами щелочных интрузий (Африканда, Песочный, Озёрная варака) метасоматиты магматической стадии развиты слабо. На Салланлатве ийолиты занимают ведущую роль (по площади), но нет гипербазитов. А на Лесной вараке, сложенной почти нацело оливинитами, отсутствуют щелочные породы.

Степень переработки гипербазитов в зоне контакта со щелочной интрузией зависела от многих факторов, главными из которых являлись её размеры, морфология контактов, степень трещиноватости (пористость, проницаемость) вмещающих пород. В строении ореолов метасоматитов наблюдается определённая зональность, при этом зоны сменяют одна другую в такой последовательности: (ийолиты) → нефелин-пироксеновые породы → слюдяно-пироксеновые породы → пироксенизированные оливиниты → (оливиниты). В контакте же с турьяитами возникает совсем иная метасоматическая колонка: (ийолиты → турьяиты) → безнефелиновые мелилитовые породы → мелилит-пироксеновые породы → мелилитизированные и монтчеллитизированные оливиниты → (оливиниты). Во всей полноте перечисленные зоны встречаются не так уж часто. Реальные метасоматические колонки могут быть усечены и отдельные зоны из них выпадают. Переходы между зонами всегда расплывчатые, контакты извилистые. В каждой последующей зоне всегда можно встретить реликтовые блоки (участки) предыдущих зон. Все зоны метасоматической колонки возникли одновременно, разрастаясь и наступая одна на другую под воздействием потока «сквозьмагматических» растворов. В самой тыльной зоне происходило замещение щелочных мигматитов уже непосредственно расплавом. Следует сказать, что ощутимые следы воздействия потока тепла и щелочей улавливаются в зоне контакта гипербазитовых массивов с вмещающими гнейсами даже в том случае, если щелочных пород в современном эрозионном срезе либо нет, либо они располагаются в центре массива (как на Салмагоре). Об этом свидетельствуют: ореол существенно пироксеновых пород в краях оливинитового массива Лесная варака, обширные зоны пироксенизированных и ослюденелых оливинитов в контакте с гнейсами на Салмагоре, внешняя кайма массива Африканда, сложенная существенно пироксеновыми породами с нефелином, а также ореолы фенитизированных гнейсов вокруг трёх упомянутых массивов. Что касается фенитов, также безусловно относящихся к метасоматитам магматической стадии, то механизм их формирования во многом был таким же, как и силикатных пород по гипербазитам. Однако имелись и значительные отличия, обусловленные кислым составом пород, главенствующей ролью тектоники и некоторыми другими факторами (см. раздел 5.3).

Все метасоматиты магматической стадии (нефелин-пироксеновые, слюдяно-пироксеновые, мелилитовые, монтчеллитовые, а также фениты) рвутся дайками ийолитов и ийолит-пегматитов.

5.1. Нефелин-пироксеновые и слюдяно-пироксеновые породы

Пироксеновые породы с переменным количеством нефелина тяготеют либо к зоне контакта со щелочной интрузией (т. е. слагают самую тыльную зону ореола метасоматитов магматической ста-

дии), либо локализованы по периферии массивов, примыкая к фенитам. По масштабам распространения они значительно уступают слюдяно-пироксеновым породам. Часто нефелин-пироксеновая зона может вообще выпадать и тогда в непосредственном контакте с ийолитами (или фенитами) обнаруживаются только слюдяно-пироксеновые породы. Таким образом, нефелин-пироксеновые метасоматиты сплошных кольцевых зон не образуют. Исключением может стать Себляярв (при изучении правобережной части), где нефелин-пироксеновые породы слагают внешнюю зону шириной от 100 до 700 м. Почти сплошное кольцо таких же пород, но меньшей мощности, картируются с внутренней стороны ийолитовой интрузии на Вуориярви. Широко развиты они и вокруг ядра порфиридных ийолитов Центрального массива на Турьем п-ове, а кроме того, участки нефелин-пироксенового состава известны и в краевых его частях. На Африканде все нефелин-пироксеновые породы тяготеют к краям массива, но ещё в главе 3 (раздел 3.2) говорилось о ненадёжности камерального расчленения пироксеновых пород этого массива. Не исключено, что нефелин-пироксеновые породы Африканды могли возникнуть и при нефелинизации магматических пироксенитов. Решить этот вопрос можно только с помощью новых геолого-петрографических наблюдений. В ничтожном количестве пироксеновые породы с вкрапленностью нефелина встречены вблизи ийолитов ядра Песочного массива и на Лесной вараке во внешней зоне пироксеновых пород не далее 10–12 м от контакта массива с гнейсами.

В литературе эти породы часто именуется либо «якупирангитами», либо «нефелинизированными пироксенитами», что подразумевает их магматическое происхождение. Первое название неуместно, поскольку интрузивных пород, состоящих из щелочного пироксена, на массивах Кольского п-ова не встречено. Кстати, родился этот термин на щёлочно-ультраосновном массиве Якупиранга (Бразилия), а А.Н. Заварицкий (1956) ссылается, что подобные породы есть и на Африканде. Скорее всего, речь идёт о слабо нефелинизированных рудных пироксенитах. В частности, по Якупиранге Заварицкий приводит зарисовку шлифа типичного рудного пироксенита с сидеронитовой структурой (пироксен представлен титан-авгитом). Второе название имеет полное право на жизнь, но лишь в том случае, если доказано, что исходные породы являлись магматическими. Бесспорное наличие таких пород установлено пока что только в южной части Ковдорского массива.

По облику и количественному минеральному составу нефелин-пироксеновые породы весьма разнообразны. Пироксен по составу может быть почти таким же, как в слюдяно-пироксеновых породах (т. е. диопсид-авгит), но чаще имеет более яркие зелёные оттенки из-за повышенного содержания эгириновой молекулы. Нередки зональные пироксены, ярче окрашенные в краях. Нефелин всегда неравновесен с пироксеном и корродирует его. Количество нефелина колеблется от долей процента до первых десятков. Акцессорные минералы те же, что и в ийолитах: магнетит, перовскит, сфен, шорломит, апатит, пирротин. Шорломит более поздний и нарастает на перовскит и сфен. В небольших количествах есть и бурый флогопит.

Слюдяно-пироксеновые породы являются одной из главных составных частей массивов Вуориярви (почти 70% всей площади), Себляярва, Ковдора, Африканды и Центрального массива Турьего п-ова. Пироксен представлен диопсид-авгитом, количество бурого железистого флогопита варьирует в очень широких пределах, акцессорные минералы – титаномagnetит и перовскит (последний обычно в виде каёмки по магнетиту). Флогопит, как правило, развивается по пироксену, однако при последующей перекристаллизации эта пара минералов становится равновесной. Все остальные минералы (кроме перечисленных четырёх), строго говоря, к этим породам отношения не имеют. Редкая вкрапленность нефелина, шорломита, апатита, сфена связаны уже с воздействием тыловой зоны нефелинизации. В переменных количествах в слюдяно-пироксеновых породах всегда обнаруживается реликтовый оливин¹. При послемагматических преобразованиях в слюдяно-пироксеновых породах появляются тёмно-зелёный амфибол, андрадит, новые генерации апатита, магнетита, перовскита. А карбонатизация слюдяно-пироксеновых пород приводит к появлению в них любых минералов карбонатитового этапа.

5.2. Мелилититы, мелилит-пироксеновые и монтичеллитовые породы

Породы данной группы широко распространены на Ковдоре, где пространственно тяготеют к контактам со щелочной интрузией. В значительном количестве выявлены они и на Центральном массиве Турьего п-ова в аналогичной геологической позиции.

¹ Реликты оливина неожиданно были обнаружены даже в слюдяно-пироксеновых породах Озёрной варакы, где он никогда не отмечался (скв. 2047, гл. 231.7 м).

В существенно мелилитовых породах всегда наблюдаются реликтовые участки слюдяно-пироксенового состава, а также пироксенизированных и монтичеллитизированных оливинитов. Основные петрографические разновидности представлены мелилитами (90–95% мелилита), мелилит-пироксеновыми, мелилит-монтичеллитовыми и мелилит-оливиновыми породами с примесью бурого флогопита. В мелилитах близ границ со щелочной интрузией появляется вкрапленность нефелина. Состав мелилита в этих породах несколько иной, нежели в турьяитах. Если в последних он однороден и обогащён натрием, то здесь, зональный, с меньшим двупреломлением и густо-синими аномальными окрасками, а по составу близок к окерманиту (т. е. существенно кальциевый). Монтичеллит развивается в виде тонких каёмки вокруг реликтов оливина на контакте его с мелилитом. Акцессорные минералы: магнетит, перовскит, иногда мелкая вкрапленность зелёной шпинели. Комплекс вторичных минералов связан, главным образом, с последующим превращением мелилитсодержащих пород в скарноподобные (см. раздел 6.3).

Монтичеллитовые породы, тесно перемежающиеся с мелилитовыми, выявлены пока что только на Ковдоре. По внешнему виду они очень похожи на обычные оливиниты и отличаются лишь более светлой (серой) окраской. Для тех и других характерны одни и те же структуры, размеры зёрен, вкрапленность магнетита, который унаследует в том же количестве и почти такой же по химическому составу. В реликтах среди монтичеллитовых пород отмечены только оливиниты. В северной части Ковдорского массива есть участки, где монтичеллитовые породы непосредственно примыкают к щелочной интрузии. Естественно, вблизи контакта обнаруживаются нефелинизированные монтичеллитовые породы. Кроме магнетита, попадают редкие мелкие зёрна перовскита и зелёной шпинели.

5.3. Фениты и фенитизированные вмещающие породы

Термин «фенит» введён Брёггером в 1921 г. при описании пород, близких по составу к эгириновым и амфиболовым щелочным сиенитам, возникшим при изменении гранитов в экзоконтакте щелочного массива Фен в Норвегии, и прочно вошёл в литературу. В отличие от мелилитовых пород за фенитами сразу было признано метасоматическое происхождение. В «Геологическом словаре» (1973 г.) оговорено, что фенитами следует называть щелочные метасоматиты, возникшие вокруг щёлочно-ультраосновных массивов по гранитам, гнейсам, песчаникам и другим кварц-полевошпатовым породам. Эта точка зрения была высказана ещё А.С. Сергеевым (1967). Неудобство такой трактовки в том, что процессами щелочного метасоматоза могут быть охвачены амфиболиты, метадиабазы и вмещающие карбонатные породы, и тогда придётся изобретать иные названия, что вряд ли целесообразно. В.А. Афанасьев (1939) при описании экзоконтактовых ореолов Озёрной вараки применял термин «сиенитизация». Такое название строже и понятнее, нежели «фенитизация» (по крайней мере, не требуется новых названий), но в литературе оно не прижилось.

На геологических картах фениты вокруг щёлочно-ультраосновных массивов всеми рисуются в виде сплошных ореолов переменной ширины. На самом деле картина гораздо сложнее по следующим причинам:

1. Породы рамы вокруг массивов всегда разбиты сетью кольцевых и радиальных разломов, вдоль которых сиенитизация проявлена особенно интенсивно. Поэтому фениты образуют не сплошной ореол, а своеобразную «решётку». Ширина полос «решётки» зависит от степени раздробленности вмещающих пород вдоль каждого разлома, а также от близости его к границам массива: чем ближе к контакту, тем полоса фенитов шире.

2. Интенсивность переработки вмещающих пород тесно связана и с морфологией контакта щелочной интрузии: слабее всего они изменены при крутопадающих контактах (вертикальных или наклонённых под массив). Наиболее сильная переработка («пропаривание») наблюдается вдоль контактов, падающих от массива.

3. Сиенитизация кислых пород (гнейсов, мигматитов) часто приводит к появлению палингенных сиенитовых расплавов, которые весьма мобильны и могут внедряться в контракционные трещины остывающей ийолитовой интрузии, образуя типичные сиенитовые дайки.

4. Наличие фенитизированных пород около тех массивов, где на современном эрозионном срезе нет щелочных пород, свидетельствует о том, что формирование ореолов фенитов начиналось до внедрения щелочных расплавов. И всё же мощность зон изменённых пород в конечном счёте прямо пропорциональна размерам ийолитовых интрузий.

5. При удалении от границ массива заметно падает температура щелочных растворов, пропитывающих слабо прогретые породы рамы. Это приводит к появлению на флангах фенитовых ореолов низкотемпературных минеральных ассоциаций. Кроме того, можно выделить прогрессивные стадии фенитизации, протекающие при температурах 400–500°C, местами (при появлении сиенитовых расплавов) – до 700–800°C, и регрессивные (завершающие) с температурами порядка 200–250°C. Правда, Сергеев в регрессивные стадии помещает и карбонатизированные фениты, с чем никак нельзя согласиться. Это уже карбонатитовый этап формирования массивов, оторванный во времени и пространстве от щелочного.

Среди фенитов пока не выявлено каких-либо месторождений или перспективных проявлений полезных ископаемых. Отсутствие таковых сильно снижало интерес геологов к фенитовым ореолам, и в итоге по степени изученности фениты резко уступают «начинке» щёлочно-ультраосновных массивов. Этим и объясняется грубая схематичность в рисовке фенитовых ореолов на геологических картах.

Наиболее распространёнными разновидностями фенитов являются мелко-среднезернистые зеленовато-серые породы, массивные или с унаследованной полосчатостью гнейсов, состоящие из эгирин-диопсида, калиевого полевого шпата и альбита. В переменных количествах встречается нефелин. Типичные акцессорные минералы – апатит, сфен, сульфиды (чаще всего пирротин и пирит). Таков же состав реоморфных сиенитов, отличающихся от фенитов типичным магматическим обликом. С эгирин-полевошпатовыми фенитами перемежаются фениты с кварцем, развившиеся на месте гранитов, гнейсов и песчаников. Кварц всегда реликтовый и окружен тонкой прерывистой эгириновой каймой. Реликты его погружены в тонкозернистый эгирин-полевошпатовый агрегат¹. В качестве редких примесей в фенитах можно встретить волластонит, пектолит, ринкит, лабунцовит, эвдиалит, флюорит. В фенитах Вуориярви (юго-восточный фланг массива), Ковдора (вблизи западных границ) и Озёрной вараки попадаются пирохлор и гатчеттолит, тесно ассоциирующие с альбитом, причём поздним (альбитовые жилки пересекают фениты). Таким образом, сингенетичность тантало-ниобатов с фенитами надо ещё доказывать.

Вдоль зон разломов следы фенитизации обнаруживаются даже на удалении 4–5 км от границ с массивами (Ковдор, Вуориярви). Они проявлены в виде тончайших эгириновых жилок по сколовым трещинам (в поле такой эгирин легко спутать с хлоритом), слабой эгиринизации кварца, оторочек альбита вокруг олигоклаза, флогопитизации роговой обманки, замещения биотита щелочным амфиболом или хлоритом.

Ореолы фенитов вокруг Салмагоры и Лесной вараки относительно маломощны. Кварц исчезает лишь при приближении на 10–15 м к контакту с массивами, а иногда и того меньше. Фениты по метадиабазам практически не изучены. На Салланлатве они вскрыты всего одной картировочной скважиной № 22 и представлены пироксен-полевошпатовыми породами, тонкозернистыми, массивными, с мелкими жилками апатит-нефелин-пироксенового и нефелин-пироксенового состава. В картировочных скважинах №№ 23 и 28 вскрыты фенитизированные метадиабазы, в которых наблюдались мелкие ветвистые жилки пироксен-полевошпатового состава. О фенитах Песочного массива упоминаний нет. Похоже, их никто не видел из-за отсутствия обнажений и сильной заболоченности окружающей территории.

¹ В этом агрегате можно обнаружить и нефелин, вопреки правилу, гласящему: «...кварц с нефелином в одном шлифе не встречаются». Но правило не нарушается: кварц неравновесен со всеми окружающими минералами.

6. МЕТАСОМАТИТЫ ПОСЛЕМАГМАТИЧЕСКОЙ СТАДИИ ЩЕЛОЧНОГО ЭТАПА

6.1. Апатитизированные существенно пироксеновые и пегматоидные слюдяно-пироксеновые породы

Апатит-пироксеновые породы с роговой обманкой являются самыми ранними образованиями послемагматической стадии. Они развиваются по пироксеновым, слюдяно-пироксеновым, нефелин-пироксеновым породам, реже по рудным пироксенитам, ещё реже непосредственно по ийолитам. Рассекаются ийолитовыми дайками щелочного этапа. Они слагают обширные площади на Себлявуре, образуют серповидные зоны в пироксеновых породах западной части массива Вуориярви и известны во внутренних частях Песочного массива, окружая сплошным кольцом ийолиты ядра. Есть они и в краевых частях Африканды, но зоны мелкие, количество апатита ничтожно и выделять их на карте, да ещё в виде обширных полей, как это сделал Л.Н. Казаринов (1973), нет никаких оснований.

Минеральный состав этих пород весьма стабилен: пироксен, тёмно-зелёная роговая обманка, гранат (шорломит, андрадит), апатит, бурый флогопит, гидронефелин, магнетит, перовскит, сфен, пирротин, халькопирит. Возможна примесь кальцита. Нефелин в этих метасоматитах уже неустойчив. По облику эти породы весьма напоминают скарноподобные образования (особенно на Себлявуре). Однако генетически они не связаны с мелилитовыми породами и, напротив, обнаруживаются как раз в тех массивах, где мелилитовых пород нет.

С апатитизацией сопряжена перекристаллизация существенно пироксеновых и слюдяно-пироксеновых пород. Вообще апатит-амфибол-пироксеновые породы всегда крупнозернистые и среди них нередко встречаются гнёзда и участки пегматоидной структуры с гигантскими кристаллами пироксена и пачками бурого флогопита. Если же процесс перекристаллизации был длительным и охватывал значительный объём пород, то могли возникать и промышленные скопления слюды. Пока единственным примером такого рода является флогопитовое месторождение Петяйян-вара на массиве Вуориярви. Минеральные ассоциации перекристаллизованных пород в точности такие же как и обычных апатит-амфибол-пироксеновых. Мало того, пегматоидные слюдяно-пироксеновые породы также рвутся дайками ийолитов, что чётко определяет их относительный возраст.

6.2. Эгирииниты и апатит-эгириновые породы

Известны на Турьем п-ове, Озёрной вараке (очень мало) и на Салмагоре. На Турьем п-ове они локализованы вдоль южного контакта Южного массива, где развиваются, главным образом, по ийолитам, в меньшей степени, по фенитам и совсем редко, по турьяитам. Процессы эгиринизации и апатитизации могут, кроме того, интенсивно проявляться в крупных дайках ийолитов, секущих фениты. Одна из них мощностью 20 м и протяжённостью 150 м обнажена в скальном уступе Турьего мыса. Обнаружена она ещё в начале XX века Е.С. Фёдоровым¹. Несколько таких даек выявлено в северо-восточном обрамлении Южного массива в процессе поисков апатитовых руд. С глубиной процессы апатитизации быстро затухают и ниже 100 м от поверхности щелочные породы уже практически не изменены. Апатит-эгириновые породы образуют в ийолитах участки неправильной формы или зоны с расплывчатыми очертаниями.

На Салмагоре апатит-эгириновые породы распространены чуть южнее геометрического центра массива среди ийолитов. На геологической карте они показаны очень схематично (по геофизическим данным), но бурением установлена их распространённость до глубины по крайней мере 100–200 м от поверхности.

На Озёрной вараке эти породы слагают небольшую серповидную зону среди ийолитов в западной части массива.

Обычными минералами апатит-эгириновых пород на Турьем п-ове являются эгирин-диопсид, нефелин, апатит, сфен, шорломит, пирротин, халькопирит. Структура апатит-эгириновых пород мелко-среднезернистая, местами крупнозернистая (к примеру, «Жила Фёдорова» на Турьем п-ове). Основные минералы ийолитов в процессе апатитизации относительно устойчивы, тогда как в турьяитах все минералы (мелилит, пироксен, флогопит, перовскит, магнетит) корродируются апатит-

¹ На геолкарте массива (рис. 3) она помечена надписью «жила Фёдорова».

эгириновым агрегатом. При этом мелилит и магнетит исчезают первыми. Количество сульфидов может достигать 3–4%. Кроме того, в незначительном количестве на Турьем п-ове встречаются эгириниты более поздней подстадии с пектолитом, волластонитом, ринкитом (на карте они отдельно не выделены из-за малых масштабов распространения). Силикаты кальция образуют радиально-лучистые, звёздчатые, спутанноволокнистые и сноповидные агрегаты белого цвета. Второстепенные и аксессуарные минералы: сфен, пирротин, халькопирит, эвдиалит, цеолиты, канкринит, бурый флогопит, карбонаты, апатит.

На Салмагоре, в отличие от Турьего п-ова, апатит-эгириновые породы слагают в ийолитах ветвистые жилки с резкими секущими контактами. Системы сближенных жил образуют штокверковые зоны, обогащённые апатитом. Жилки состоят из апатита, эгирина, нефелина (как правило, почти неизменённого, полупрозрачного), пирротина, халькопирита, магнетита, сфена. В зальбандах жилок всегда наблюдаются оторочки бурого слюдита, а внутри жилок – ксенолиты ийолитов, почти нацело превращённые в слюдит. Крупные зёрна нефелина иногда разбиты сетью тончайших трещин, в которых наблюдается сыпь пылевидных зёрен пирротина и халькопирита.

6.3. Скарноподобные «предкарбонатитовые» метасоматиты

Встречаются только на тех массивах, где есть турьяиты и сопутствующие им мелилитовые и монтичеллитовые породы (Ковдор, Турий п-ов, Салмагора). В литературе их часто называют «авто-реакционными скарнами» или «предкарбонатитами», подчёркивая последним названием, что они являются своеобразным мостиком между щелочным и карбонатитовым этапами. Оба названия нельзя признать удачными. Во-первых, этот «мостик» обнаруживается лишь на единичных массивах, тогда как карбонатиты есть везде. Во-вторых, к классическим скарнам эти породы не имеют ни малейшего отношения. Но какое-то обобщающее название всё же требуется, а учитывая обилие в этих породах богатых кальцием минералов, наиболее логичным кажется то, которое и приведено в заголовке. На примере одного из массивов Сибири Л.С. Егоров (1963) писал, что «...так называемые автореакционные скарны... представляют собой продукты гидролиза и карбонатизации интрузивных мелилитовых пород...». Необходимо добавить, что не только интрузивных и не только мелилитовых. Развиваются они в первую очередь по турьяитам и мелилитовым метасоматитам, но заодно могут охватывать и значительные площади примыкающих к ним существенно пироксеновых пород, оливинитов и даже ийолитов.

Существуют три разновозрастные группы (три подстадии) скарноподобных пород:

- кальцит-мелилитовые и кальцит-пироксеновые породы (наиболее ранние);
- гранат-амфибол-диопсидовые и гранат-амфибол-монтичеллитовые средне-крупнозернистые породы;
- бело-жёлтые тонкозернистые «скарны».

В полном наборе они встречены только на Турьем п-ове. Высокотемпературные разновидности ранней подстадии можно считать исключением из правила, так как, во-первых, нигде, кроме Турьего п-ова, они пока не встречены, а во-вторых, масштабы их распространения ничтожны. Скарноподобные породы второй подстадии преобладают и слагают обширные площади. Поздние тонкозернистые «скарны» всегда их сопровождают, но встречаются среди крупнозернистых «скарнов» в виде пятен и мелких участков.

Все разновидности скарноподобных пород прорываются дайками нефелиновых сиенитов, но неизменённых ийолитовых даек в этих породах уже не будет. Секутся они также жилами форстерит-кальцитовых карбонатитов и, естественно, всеми более поздними карбонатитами. На Центральном массиве Турьего п-ова в них обнаружены жилы самых ранних эгирин-биотит-кальцитовых карбонатитов.

Разновидности ранней подстадии обнаружены лишь в нескольких шурфах и одной скважине в небольших саттелитах на северо-западе Турьего п-ова. Кальцит-мелилитовые и кальцит-пироксеновые породы перемежаются между собой и с участками слабо изменённых турьяитов и ийолитов. Похоже, что кальцит-мелилитовые породы возникли на месте турьяитов, а кальцит-пироксеновые – по ийолитам. И те, и другие рассекаются жилами монтичеллит-кальцитовых карбонатитов. Минеральный состав кальцит-мелилитовых пород: мелилит, кальцит, тёмно-зелёный флогопит, магнетит, дизаналит, пирротин. Мелилит образует столбчатые огранённые кристаллы длиной

до 3 см, сцементированные белым кальцитовым агрегатом. Магнетит также хорошо огранён, причём наравне с октаэдрическими гранями развиваются и грани ромбододекаэдра, что придаёт ему внешнее сходство с кристаллами шорломита. Дизаналит встречается в виде кубиков размером в ребре до 4 мм. Состав кальцит-пироксеновых пород практически такой же, если не считать, что вместо мелилита присутствует зелёный пироксен да встречаются мелкие зёрна апатита.

Преобладающими минералами второй (основной) подстадии скарноподобных пород являются тёмно-зелёная роговая обманка, андрадит, диопсид и ярко-зелёный флогопит. В апооливинитовых «скарнах» к ним добавляется монтichelлит. К второстепенным и аксессуарным относятся кальцит, канкринит, везувиан, магнетит, перовскит, апатит, сфен, пирротин, халькопирит. Количественные соотношения основных минералов варьируют в очень широких пределах и зависят от состава исходных пород. По оливинитам развиваются амфибол-монтichelлитовые (а при интенсивной переработке – гранат-амфибол-монтichelлитовые) породы, по существенно пироксеновым и мелилитовым породам – амфибол-гранатовые, по турьяитам и ийолитам – слюдяно-гранатовые. Из-за повышенного количества халькопирита в скарноподобных породах Центрального массива некоторые интервалы пришлось даже опробовать на медь, но содержаний выше 0,1% не оказалось.

Поздние тонкозернистые бело-жёлтые «скарны» состоят из цеболлита, везувиана, кальцита, гроссуляра, белого диопсида, цоизита, волластонита, светлоокрашенных слюд, канкринита. Благодаря обилию кальцита, эти породы вскипают под соляной кислотой.

7. КАРБОНАТИТОВЫЙ ЭТАП

Собственно карбонатиты

С момента открытия карбонатитов на острове Альнё в Швеции (1895 г.) прошло более века, но ещё в 1929 году карбонатитовый шток в жерле вулкана Чилва (Африка) был отнесён к кристаллическим известнякам, а несколькими годами позже апатит-форстерит магнетитовые руды Ковдора – к скарнам, возникшим якобы на контакте гранитов с известняками. Затяжные дискуссии о генезисе карбонатитов, длившиеся десятки лет, ушли в прошлое, хотя номенклатура пород карбонатитовых комплексов так и не разработана. В зарубежной литературе существует множество названий: альвикиты, бефорситы, казениты, раухаугиты, сёвиты, холлаиты и др. В отечественный «Геологический словарь» они не попали, но некоторые названия упоминаются под рубрикой *карбонатиты*, где разъясняется, что альвикиты и сёвиты – синонимы кальцитовых карбонатитов, а раухаугиты и бефорситы – синонимы доломитовых разновидностей. Название из одного слова (придуманного по месту первой находки) не объясняло существенных деталей состава и требовало хоть какой-то определённости. Так, среди сёвитов стали выделять пироксеновые, биотитовые, апатитовые и даже пирохлоровые разновидности. Спрашивается, а что же такое просто «сёвит»? Бефорситы иногда приравняются к «анкеритовым сёвитам» (вопреки нашему словарю), а что скрывается под названиями «бастнезитовый карбонатит» или «бефорситовый лампрофир» вообще непонятно.

Геологический словарь поясняет: *«Наряду со специфическим породным парагенезисом обычными (но не строго обязательными) признаками карбонатитов... являются: 1) определённый набор второстепенных минералов (магнетит, апатит, флогопит; 2) определённый набор аксессуарных минералов (пирохлор, гатчеттолит, дизаналит, карбонаты и фосфаты редких земель; ... 5) полосчатые текстуры...»* (т. I, с. 305). В определённый набор п.п. 1 и 2 следовало бы добавить пироксен, бадделеит и сульфиды. Последние являются сквозными минералами карбонатитов (кстати, как и магнетит с апатитом). В отечественной литературе разновидности этого сложнейшего комплекса (этапа) принято именовать по ведущему карбонату с добавлением названий основных силикатных минералов конкретного парагенезиса.

Карбонатиты известны на всех щёлочно-ультраосновных массивах Кольского полуострова, но лишь на половине из них (Ковдор, Вуориярви, Себляяр, Турьинский, Салланлатва) они образуют крупные залежи. На остальных массивах (Салмагора, Африканда, Лесная варака, Песочный) карбонатиты слагают маломощные зоны или жилы, представляющие лишь петрографический интерес.

Формирование карбонатитов происходило в несколько стадий. Количество их различно на разных массивах (к примеру, на Вуориярви – 12). Многостадийность формирования пород карбона-

титового этапа без труда устанавливается на любом массиве. Несмотря на общность минеральных парагенезисов главнейших стадий (а «генеральная последовательность» эволюции карбонатитового этапа выдерживается на всех массивах), есть отличия в частности, иногда весьма существенные. Следует отметить, что пестрота вещественного состава карбонатитовых образований обусловлена не только многостадийностью процесса, но и различными способами формирования их: либо выполнение полостей, либо метасоматическим путём, либо при ведущей роли взрывных явлений и, наконец, при сочетании всех упомянутых способов.

Объединяя близкие по способу образования стадии, можно выделить 4 основные группы карбонатитов:

1. Эгирин-биотит-кальцитовые карбонатиты, наиболее высокотемпературные, развивающиеся чаще всего метасоматическим путём по любым породам массива, включая фениты. Контакты с вмещающими силикатными породами, как правило, постепенные, расплывчатые. Количество силикатных минералов, включая унаследованные полевые шпаты и нефелин, колеблется в очень широких пределах. Каких-либо месторождений, связанных с этой группой карбонатитов, пока не найдено.

2. Форстерит-флогопит-кальцитовые карбонатиты, образующие тела выполнения также в любых породах массивов и за их пределами. Контакты с вмещающими породами резкие, секущие. Минеральный состав не зависит от состава вмещающих пород. Вместе с форстеритом (или вместо него) нередко встречается диопсид. Флогопит всегда зелёный. Акцессорные минералы представлены дизаналитом и шорломитом в ранних телах выполнения и бадделеитом – в поздних.

3. Амфибол-кальцитовые карбонатиты с тетраферрифлогопитом (красной железистой слюдой) развиваются обычно по предыдущим, т. е. в общем случае это части крупных тел форстерит-кальцитовых карбонатитов. Известны также самостоятельные тела и жилы. Акцессорными минералами в них являются гатчеттолит, пироклор, циркелит, циркон. С этими карбонатитами связаны промышленные скопления тантала и ниобия.

4. Доломитовые, анкеритовые, сидеритовые и прочие карбонатиты, в которых кальцит является второстепенным минералом. Только в них появляются барит, карбонаты редких земель, галенит, сфалерит, монацит.

На Турьем п-ове преобладают карбонатиты 1-й группы, на Ковдоре и Себлявре – преимущество за 2-й группой, на Vuoriaarvi (и только на нём) во всём многообразии представлены редкометалльные карбонатиты 3-й группы, наконец, на Салланлатве лидируют самые поздние карбонатиты 4-й группы.

На детальных магнитных картах тела карбонатитов выделяются отрицательными аномалиями среди пироксенитов, оливинитов и положительными аномалиями среди фенитов. С ийолитами карбонатиты близки по магнитным свойствам, а учитывая вариации в составе тех и других, уверенно разделить их по данным магнитной съёмки трудно, иногда невозможно.

Поскольку карбонатиты легко разрушаются при выветривании, положительные формы рельефа им не свойственны. Точнее, рельеф на участке их развития определяется вмещающими породами. Так, на Ковдоре они располагаются на склонах сопков, сложенных фенитами. Положительные формы рельефа могут быть связаны с залежами апатит-магнетитовых руд (Ковдор, Vuoriaarvi), но и здесь карбонатиты тяготеют к подножиям возвышенностей. На Себлявре, сплошь закрытом мореной мощностью 10–20 и более метров, карбонатиты в рельефе никак не просматриваются. На Турьинском массиве основные залежи карбонатитов приурочены к болотам.

Контакты крупных тел карбонатитов в большинстве случаев крутые, близкие к вертикальным. Мелкие жилы могут иметь самую разнообразную ориентировку. Карбонатиты прослежены бурением на глубину более 1 км на Ковдоре и на многие сотни метров в других массивах. В интервале изученных глубин каких-либо существенных изменений в качественных и количественных параметрах не замечено.

Пространственно к карбонатитам тяготеют родственные, т. е. генетически напрямую с ними связанные комплексы пород, представленные либо апатит-магнетитовыми рудами (с кальцитом, форстеритом, бадделеитом), либо апатит-силикатными полиминеральными образованиями. Кроме того, карбонатиты по причине слабой устойчивости к процессам выветривания обычно сопровождаются корами выветривания (апатит-штаффелитовыми, апатит-вермикулитовыми). В конечном счёте воз-

никают сложные геологические объекты с весьма пёстрой полезной нагрузкой: рудно-карбонатные, силикатно-фосфатно-карбонатные, фосфатно-карбонатные, редкометалльно-карбонатные.

7.1. Эгирин-биотит-кальцитовые карбонатиты

Являются самыми ранними образованиями карбонатитового этапа (I стадия). Известны на Ковдоре, Vuoriaarvi, Турьем п-ове, а в виде мелких жил и небольших линейных зон встречаются на Озёрной вараке, Африканде, Себлявре и Песочном массиве.

На Ковдоре они приурочены к южным флангам массива, где слагают зону субширотного простирания длиной около 2 км при ширине 250–300 м (сейчас большая часть их находится под хвостохранилищем). Развиваются метасоматическим путём по пироксенитам, ийолитам, фенитам. Карбонатиты очень неоднородны по количественному минеральному составу: от меланократовых, представляющих по существу кальцитизированные силикатные породы, до лейкократовых почти мономинеральных кальцитовых пород. Текстуры полосчатые, обусловленные чередованием зон с различным содержанием силикатов и кальцитовых полос-прожилков. На границе с последними нередко образуются кристаллы пироксена с хорошей огранкой длиной до 2 см. Акцессорные минералы: сфен, апатит, редкие зёрна магнетита. В обилии встречаются реликтовые минералы: нефелин (как правило, канкринитизированный), полевые шпаты. Иногда в слабо карбонатизированных ийолитах и фенитах появляется волластонит.

На Vuoriaarvi этих карбонатитов относительно немного. Как и на Ковдоре, встречаются они в зоне южного контакта массива, развиваясь по ийолитам, фенитам и изменённым (фенитизированным) амфиболитам. Состав такой же, только в качестве акцессорных добавляются пирротин, а в карбонатитах по амфиболитам – циркон.

На Турьем п-ове ранние карбонатиты слагают большую часть округлого ядра площадью 0,4 кв. км. Контакты карбонатитового ядра либо вертикальные, либо наклонены к центру его. В ийолитах приконтактной зоны наблюдается масса карбонатитовых жил, а в самих карбонатитах в обилии встречаются весьма крупные блоки изменённых ийолитов. Значительная доля карбонатитов представляет собой типичные эруптивные брекчии с обломками щелочных пород и эгирин-биотит-кальцитовым цементом. Минеральный состав: кальцит, биотит, эгирин, амфибол, гидронефелин, магнетит, апатит, пирротин, халькопирит. В краевых частях ядра к ним добавляется сфен и перовскит. Нередки участки бурых слюдитов, представляющие собой нацело замещённые обломки ийолитов. Количество тёмноцветных минералов в карбонатитах может достигать 50%. Наиболее лейкократовые карбонатиты локализируются в центре ядра.

Тёмно-зелёный амфибол, в целом нетипичный для ранних карбонатитов, на Турьем п-ове является постоянной примесью, образуя идиоморфные кристаллы. В штуфах почти чёрный. Случаев замещения эгирина амфиболом не наблюдалось, хотя оба минерала могут встречаться в одном шлифе. Гидронефелин ярко-красный в образцах, а в шлифах видно, что он засорён тонкозернистыми окислами железа и включениями карбонатов. Количество апатита не превышает 3–4%. Крайне необычным для ранних карбонатитов является присутствие пирохлора. Отмечается он часто, но размер зёрен меньше толщины шлифа, т. е. в образцах он не виден, да и содержание его ничтожно. На диаграммах гамма-каротажа никаких аномалий не наблюдается. Минерал красно-бурый (не исключено, что гатчеттолит), изотропный, с квадратными, шестиугольными и округлыми сечениями. К краям зёрен окраска может меняться до жёлтой.

7.2. Форстерит-кальцитовые и диопсид-кальцитовые карбонатиты с зелёным флогопитом

Карбонатиты данной группы наиболее распространены и слагают крупные залежи на Ковдоре, Vuoriaarvi, Себлявре, Салланлатве и Турьем п-ове. В унифицированной схеме формирования (УСФ) они отнесены к IV и V стадиям.

Относительный возраст этих карбонатитов чётко установлен на всех массивах: они прорывают оливиниты, пироксениты, ийолиты, фениты, скарноподобные породы, флогопитоносные метасомититы, апатит-форстерит-магнетитовые и апатит-силикатные руды. Отступлений от этого правила не бывает.

Диопсид-кальцитовые карбонатиты с форстеритом и дизаналитом выявлены на всех упомянутых массивах, кроме Ковдора. В отечественной литературе почему-то укоренилось твёрдое мнение, что они всегда «дорудные», т. е. предшествуют апатит-форстерит-магнетитовым рудам (Л.К. Пожарицкая и др., 1966). Часто их именуют «карбонатитами I стадии», считая фациальными разновидностями эгирин-биотит-кальцитовых карбонатитов. Такая точка зрения возникла при изучении щёлочно-ультраосновных массивов Сибири. На Кольском п-ове первые надёжные данные о возрастных взаимоотношениях подобных карбонатитов с магнетитовыми рудами появились при изучении месторождения Тухта-вара (Вуориярви), где они тесно перемежаются. Здесь-то и выяснилось, что эти карбонатиты рвут не только апатит-магнетитовые руды с бадделейтом, но даже и редкометалльные разновидности с гатчеттолитом¹. Мало того, упомянутые руды прорываются мелкими дайками порфиридных перидотитов, ксенолиты которых многократно фиксировались в диопсид-форстерит-кальцитовых карбонатитах с дизаналитом (тем более что внедрение карбонатитовых жидкостей нередко происходило по тем же сколовым трещинам вслед за перидотитами). На Тухта-варе карбонатиты с дизаналитом слагают неполнокольцевую зону радиусом 300–400 м, охватывающую рудный шток с флангов. Мощность зоны в плане составляет 25–50 м. Несколько ответвлений от неё пронизывают рудный шток почти насквозь.

Минеральный состав карбонатитов: кальцит, зелёный флогопит, диопсид, форстерит, апатит, магнетит, дизаналит, шорломит, пирротин. А.В. Лапин обнаружил в некоторых жилах и кальцитит.

На Себлявре карбонатиты данной разновидности образуют тела дугообразной формы вокруг так называемой «Центральной зоны» апатит-силикатных метасоматитов. Здесь преобладают флогопит-диопсид-кальцитовые и флогопит-кальцитовые карбонатиты. Форстерит встречается редко. Отличительной чертой карбонатитов Себлявра является ничтожное содержание аксессуарных минералов (вследствие чего в шлифах они часто выглядят «немыми») и ощутимая поздняя переработка, в процессе которой появляются низкотемпературные амфиболы и другие сопутствующие минералы. Это создаёт заметные трудности при расчленении себляврских карбонатитов. Решить их помогло бы изучение тяжёлой фракции протолочных минералогических проб, но процесс этот, как известно, трудоёмкий. Аксессуарные минералы, как и на Тухта-варе, представлены дизаналитом, кальцититом (на Себлявре он обычен), шорломитом. Размер зёрен, как правило, сотые доли миллиметра, редко до 0,1–0,2 мм. На Себлявре ещё раз подтверждено, что флогопит-диопсид-кальцитовые карбонатиты прорывают апатит-магнетитовые руды ковдорского типа.

Для кальцитовых карбонатитов с дизаналитом типичны «решетчатые» и «узорчатые» структуры, обусловленные ситовидными и скелетными формами зёрен силикатов и магнетита из-за интенсивной коррозии их кальцитом. Текстуры карбонатитов полосчатые, реже массивные.

На северо-западе Турьего п-ова в фенитах на берегу Сосновой губы единичными скважинами вскрыты два тела оригинальных *монтichelлит-кальцитовых карбонатитов*. Длина тел до 1,5 км при мощности в плане 0,3–0,4 км. Тела наклонены к Центральному массиву под углами 35–55°. Контакты с вмещающими породами резкие. По облику они внешне неотличимы от типичных форстерит-кальцитовых карбонатитов Ковдора или Вуориярви (такие же полосчатые, однородные), только вместо форстерита присутствует монтichelлит. Второстепенные и аксессуарные минералы представлены стандартным набором: тёмно-зелёный флогопит, апатит, магнетит, дизаналит, пирротин.

На Салланлатве встречаются и вовсе необычные *флогопит-кальцитовые карбонатиты с луншилом*² (вместо дизаналита), слагающие внешнюю зону карбонатитового штока с крутым (60–80°) падением к центру массива. Значительная часть карбонатитов представлена брекчиями с большим количеством включений изменённых ийолитов (до 40–50%), но есть и чуть более поздние типичные полосчатые карбонатиты, локализованные в узкой дугообразной линейной зоне в северной половине ядра. Таким образом, флогопит-кальцитовые карбонатиты Салланлатвы сформировались как минимум в две подстадии.

Флогопит в них образует 3 генерации: бурый, зелёный и красный (тетраферрифлогопит). Как ни странно, но тетраферрифлогопит является наиболее ранней генерацией, располагаясь во внутрен-

¹ Необходимо оговориться, что существуют две разновозрастные группы тантало-ниобиевых апатит-магнетитовых руд, одна из которых моложе описываемых карбонатитов (что и отражено в УСФ).

² Формула его NaNbO_3 , содержание Nb_2O_5 – 74%; TiO_2 – 3%; ThO_2 – 0,3%; очень редок в любых массивах подобного типа, за исключением Салланлатвы.

них частях кристаллов. Затем следует зона бурого железистого флогопита и, наконец, внешняя кайма представлена уже обычной тёмно-зелёной слюдой. Изредка встречается бледно-зелёный эгирин, защищенный флогопитовыми оторочками.

Существует и ещё одно отличие от типичных карбонатитов: апатита в них практически нет, по крайней мере, он не улавливается даже в шлифах, но фосфор в изначальных карбонатитовых жидкостях всё же был и примерно в тех же количествах, что и в типичных карбонатитах. Однако вместо апатита в этих карбонатитах на заключительных стадиях формирования появился франколит, локализованный в пределах жилообразных и дугообразных крутопадающих зон, прослеженных скважинами на сотни метров от поверхности. Максимальная длина зон не превышает 300 м при мощности в плане 5–20 м. Осаждение франколита происходило в относительно спокойных условиях на месте выщелоченного кальцита при идеальном сохранении всех первичных структурно-текстурных особенностей карбонатитов и всех минералов, кроме кальцита. Изменился только цвет породы (со светло-серого на серо-розовый). При этом уцелел и луешит.

Акцессорные и второстепенные минералы карбонатитов представлены, помимо луешита, магнетитом, пирротином, пирохлором. Весьма богат набор вторичных минералов, связанных с поздними стадиями карбонатитов, слагающих внутреннюю часть ядра. К ним относятся доломит, анкерит, барит, хлорит, анкилит, стронцианит, пирит, галенит, сфалерит и др. поздние сульфиды.

Форстерит-кальцитовые карбонатиты с бадделеитом всегда моложе всех предыдущих разновидностей, упомянутых в данном разделе. Это как раз те карбонатиты, с которыми генетически связаны апатит-форстерит-магнетитовые руды (тоже с бадделеитом). На Кольском п-ове отчётливо просматривается прямая зависимость количества магнетитовых руд от масштабов распространения форстерит-кальцитовых карбонатитов. На Ковдоре эти карбонатиты слагают мощную дугообразную зону длиной 2,5 км на юго-западных флангах массива и здесь же располагается Ковдорское апатит-магнетитовое месторождение. Вуориярви после Ковдора стоит на втором месте, и форстерит-кальцитовых карбонатитов здесь заметно меньше. Соответственно, и рудная залежь Тухта-вара значительно уступает по размерам Ковдорскому месторождению. На Себлявре и Турьем п-ове с небольшими залежами карбонатитов данного типа ассоциируют лишь мелкие штоки и линзовидные тела магнетитовых руд, не имеющие самостоятельного промышленного значения. На Салланлатве ни форстерит-кальцитовых карбонатитов, ни апатит-магнетитовых руд нет¹.

Залежи карбонатитов, располагающиеся вокруг или вблизи рудных штоков Ковдора и Вуориярви, наклонены по направлению к ним. Контакты тел и жил форстерит-кальцитовых карбонатитов с вмещающими породами резкие и секущие, прямолинейные либо извилистые.

В карбонатитах нередко встречаются ксенолиты вмещающих пород. По составу они могут отличаться от тех пород, в которых карбонатиты залегают. Так, на Ковдоре в телах карбонатитов, рвущих апатит-магнетитовые руды, наблюдаются ксенолиты не только этих руд, но и оливинитов, пироксенинов, ийолитов. В одной из жил карбонатитов внутри железорудного месторождения, наряду с обломками оливинитов, отмечены шарообразные и яйцевидные (т. е. прекрасно окатанные) обломки богатых форстерит-магнетитовых руд (массивных, крупнозернистых) весом до 12 кг. Под биноклем на поверхности обломков обнаруживается масса мелких зачаточных кристаллов магнетита и форстерита. Пока без ответа остаются вопросы, каков механизм возникновения шарообразных ксенолитов и каким образом (учитывая крайне низкую вязкость карбонатитовых жидкостей) столь тяжёлые обломки сохранились внутри жил, а не скатились на её стенки и не осели на дно карбонатитовой камеры.

По химическому и минеральному составу форстерит-кальцитовые карбонатиты весьма стабильны и очень сходны на разных массивах. Кальцит слагает 70–80% объёма породы, апатит с магнетитом – 12–15%, сульфиды (пирротин, пирит, халькопирит) – 1.5–2%. Остальная часть приходится на силикаты (первичные: форстерит, диопсид, флогопит; вторичные: актинолит, гумит, серпентин, поздние генерации слюд). В переменных количествах может присутствовать доломит, относящийся также к вторичным минералам. Содержание бадделеита составляет в среднем 0,02%. Диопсид тяготеет к приконтактовым частям тел, залегающих в ийолитах и фенитах, а в зоне экзоконтакта наблюдается слюдитовая оторочка. В Центральном массиве Турьего п-ова диопсид в этих карбонатитах преобладает, а форстерит редок, но и рудные линзы, ассоциирующие с этими карбонатитами имеют

¹ В скв. 30 в инт. 40,6 – 61,2 м вскрыта жила форстерит-кальцитовых карбонатитов с диопсидом, зелёным флогопитом, апатитом, но бадделеит в шлифах не обнаружен.

в основном апатит-диопсид-магнетитовый состав. На Себлявре, где, как уже говорилось выше, расчленение карбонатитов затруднено, карбонатиты данной разновидности (т. е. с бадделеитом) достоверно установлены только вблизи мелких рудных штоков. Однако они, как и предшествующие им карбонатиты с дизаналитом, не избежали вторичной переработки. Из силикатов в них преобладает уже актинолит, появляются гатчеттолит и пирохлор, т. е., строго говоря, их надо относить к следующей (редкометальной) стадии.

7.3. Редкометальные кальцитовые карбонатиты

Редкометальный комплекс карбонатитового этапа с тантало-ниобиевой минерализацией ограничивается в основном VI и VII стадиями (по принятой в данной работе унифицированной схеме). То, что не попало в эти рамки, является исключением из правила. Таких исключений немного. К первому относится присутствие тантало-ниобатов в ранних карбонатитах, возникших при участии взрывных явлений, что приводило к значительной потере летучих компонентов, резкому изменению температурных условий и, соответственно, к появлению редкометальных минералов не на «своём месте». О тонкой вкрапленности гатчеттолита и пирохлора в эгирин-биотит-кальцитовых карбонатитах Турьего п-ова уже упоминалось в разделе 7.1. Содержание редких металлов в таких карбонатитах ничтожно и представляет лишь чисто научный интерес. В разделе 7.2 описан второй случай, но уже с флогопит-кальцитовыми карбонатитами Салланлатвы, где на месте типоморфного дизаналита оказался луешит (т. е. крайний член ряда перовскит-дизаналит-лопарит-луешит). В этом случае возникло уникальное по минеральному составу и достаточно крупное по запасам месторождение ниобия, хотя и с бедными рудами. Третье исключение связано с появлением тантало-ниобатов в связи с автometасоматической переработкой рудных штоков на заключительных этапах их формирования (на примере изменённых апатит-магнетитовых руд участка Тухта-вара и Неске-вара массива Вуориярви). Подробно об этом изложено ниже (раздел 7.8). Наконец, пирохлор часто обнаруживается в поздних карбонатитах (доломитовых и даже сидеритовых, см. раздел 7.4). Однако либо его очень мало, либо это пылевидная вкрапленность. Поэтому относить поздние карбонатиты к редкометальному комплексу нет оснований.

Редкометальные кальцитовые карбонатиты известны на массивах Вуориярви, Ковдорском, Себлявском, а также на Центральном массиве Турьего п-ова. Многочисленные жилы тетраферрифлогопит-кальцитовых карбонатитов обнаружены во внутренних частях железорудных месторождений Ковдора и Вуориярви (Тухта-вара) в окружении изменённых апатит-магнетитовых руд, также с тантало-ниобиевой минерализацией. Линейные тела редкометальных карбонатитов длиной до 1–1,5 км выявлены в центральных частях Себлявского массива. В карбонатитовом ядре Центрального массива их очень немного и локализованы они по периферии ядра.

На участке Неске-вара (Вуориярви) редкометальные карбонатиты, образующие десятки протяжённых жил, реже трубчатые или воронкообразные тела, являются преобладающими разновидностями. Именно на Неске-варе широко проявлены карбонатиты как VI, так и VII стадий (на других массивах карбонатиты VII стадии либо вообще отсутствуют, либо масштабы проявления их ничтожны). По вещественному составу карбонатиты VI и VII стадий очень близки. В обоих стадиях определяющими силикатами являются амфибол и тетраферрифлогопит¹, но в ранних разновидностях это ярко-зелёный игольчатый актинолит и розовая слюда, а в поздних – волокнистый актинолит (местами рихтерит) и рубиново-красная слюда с очень контрастной обратной схемой абсорбции. Существенные различия есть и в аксессуарных минералах: для первых карбонатитов типичны гатчеттолит и радиоактивный пирохлор, для последних – почти неактивный пирохлор.

Часто устанавливается, что подобные карбонатиты развиваются метасоматическим путём на месте форстерит-кальцитовых или диопсид-кальцитовых карбонатитов с бадделеитом, но они могут образовывать и самостоятельные жилы (только, похоже, небольших размеров). Первые по структурно-текстурным особенностям очень напоминают исходные карбонатиты: полосчатые, белые, крупнозернистые. Форстерит всегда замещён либо оранжевым гумитом, либо тонкозернистым агрегатом из тетраферрифлогопита и актинолита. В самостоятельных мелких жилах карбонатиты

¹ Это название железистых слюд с аномальной (обратной) схемой абсорбции предложила О. М. Римская-Корсакова (1964); впоследствии она сама признала его неудобным из-за громоздкости, но оно уже прочно вошло в литературу.

данной группы обычно тонкополосчатые, раскалывающиеся на мелкие плитки по актинолитовым «прослойкам», с «очками» или линзочками мономинерального сахаровидного апатитового агрегата. Реже встречаются меланократовые карбонатиты с содержанием тетраферрифлогопита до 20–25%, возникшие, по всей вероятности, в зонах дробления на контакте крупных ийолитовых даек с пироксенитами. В телах изменённых форстерит-кальцитовых карбонатитов вкрапленность танталониобатов обычно крупнее (до 2–3 мм), тогда как в тонкополосчатых жилах это, как правило, мелочь (не более 0,1–0,15 мм), причём тантало-ниобаты тяготеют к актинолитовому агрегату.

С карбонатитами данной группы связано появление новых генераций магнетита, апатита, сульфидов (пирротина, халькопирита). Сульфидов в этих карбонатитах всегда больше, нежели в любых предыдущих разновидностях. Типоморфными акцессорными минералами являются гатчеттолит, пирохлор, циркелит, циркон, ильменит. Гатчеттолит однородный, почти чёрный со смолистым блеском; пирохлор оранжево-красный, коричнево-красный, вишнёвый, нередко многозональный. Поздние генерации пирохлора (неактивного) окрашены в медово-жёлтый цвет.

Самыми поздними в данной группе являются жилы лейкократовых кальцитовых карбонатитов. Они всегда мелкие и не выделяются даже на крупномасштабных геологических разрезах. Пространственно они тяготеют к актинолит-кальцитовым карбонатитам, являясь как бы своеобразной дайковой фацией их. Белый кальцит составляет около 90% породы. Повсеместно наблюдается пирротин в виде дендритов и червеобразных вростков. Отмечаются мелкие зёрна апатита, ильменита, единичные чешуйки тетраферрифлогопита, мелкая вкрапленность неактивного пирохлора. Обычно жилы этих карбонатитов залегают несогласно с полосчатостью и контактами актинолит-кальцитовых карбонатитов. Известны они на Неске-варе и Себлявре.

Генетически с карбонатитами данной группы связана и поздняя кальцитизация апатит-форстерит-магнетитовых руд, сопровождающаяся появлением тантало-ниобатов (см. раздел 7.8).

7.4. Доломитовые, анкерит-доломитовые и анкерит-сидеритовые карбонатиты

Жилы доломитовых карбонатитов можно встретить в самых различных участках Ковдора, Вуориярви, Себлявра, Турьего п-ова. Встречаются они и на Лесной вараке. Формирование жильных доломитовых карбонатитов происходило в несколько стадий (от древних к молодым):

- белые лейкократовые (сахаровидные) карбонатиты, мелкозернистые;
- кавернозные карбонатиты с большим количеством сульфидов и редкоземельных карбонатов, крупнозернистые до пегматоидных;
- доломитовые карбонатиты с кварцем, микроклином, хлоритом, монацитом.

Наиболее распространены жилы карбонатитов 2-й разновидности. Сульфиды в них представлены пирротинном, пиритом, галенитом, сфалеритом, а редкоземельные карбонаты – анкилитом и бербанкитом. Из силикатов всегда присутствуют хлорит и серпентин. На Неске-варе (Вуориярви) в качестве примесей в этих жилах отмечены кальцит, барит, карбонат-фтор-apatит, ильменит, гематит, анатаз, пирохлор, циркон, редчайшие ниобиевые и циркониевые силикаты, карбонаты бария, стронция. На Себлявре, помимо всех перечисленных минералов, встречается своеобразный тетраферрифлогопит: густо-зелёный по Ng и рубиново-красный по Np. Он образует столбчатые кристаллы, высота которых в 5–6 раз больше поперечных размеров. На Ковдорском железорудном месторождении в большом количестве отмечаются мелкие кальцит-доломитовые, доломитовые и подолит-доломитовые жилы с апатитом, тремолитом, гумитом, серпентином, магнетитом, пирротинном, цирконом, пирохлором. Подолит (или франколит, или карбонат-фтор-apatит) образует бурые фосфатные массы. В центральной части Лесной варакы известны доломитовые жилы с мелкими гнёздами сахаровидного апатита (как в редкометальных карбонатитах). В качестве примесей здесь присутствуют тремолит, гидрофлогопит, хлорит, кальцит, анкерит, сидерит, пирротин, пирит, магнетит, гидрогётит, пирохлор, циркон, луешит, натрониобит, карбонаты редких земель, халцедон.

С данными стадиями карбонатитового этапа связана доломитизация силикатных пород (оливинитов, пироксенитов, ийолитов), апатит-магнетитовых руд и кальцитовых карбонатитов всех разновидностей, приуроченная к обновлённым зонам дробления.

Помимо мелких разрозненных жил в эти стадии могли возникать и достаточно крупные тела и жилы. Облик и состав их столь различны, что привести какое-то обобщённое описание крупных проявлений поздних карбонатитов невозможно, поэтому ниже приводится очень краткая характеристика каждого участка.

Участок Петяйян-вара (Вуориярви). Вблизи флогопитового месторождения на северо-востоке массива выявлено шесть тел поздних карбонатитов длиной 110–320 м при мощности в плане 5–20 м, падающих под углом 30–75° преимущественно на запад, т. е. внутрь массива. Они пересекают пироксеновые породы (включая гигантозернистые флогопит-пироксеновые метасоматиты), ийолиты и фениты. Помимо упомянутых шести тел, на участке наблюдается и множество мелких жил. Изучены с поверхности канавами. Карбонаты представлены доломитом, анкеритом, кальцитом. Второстепенные минералы: стронцианит, барит, амфибол, флогопит, серпентин, пирит, пирротин, сфалерит, галенит, кварц; акцессорные: анкилит, карбоцернаит, анатаз, брукиит, бастнезит, монацит, циркон, бербанкит. В двух канавах изредка отмечался кварц в виде гребенчатых сростаний, устилающих стенки жеод. Попадает даже аметист бледно-фиолетовых тонов (длина кристаллов 1–12 мм). В половине бороздовых и керновых проб (в 103 из 222) содержание редких земель выше 1% (1–10%). Подробнее о результатах опробования см. раздел 14.12.

Участок Неске-вара (Вуориярви). В северной части рудной зоны «А» между профилями 9 и 14 располагается тело карбонатитов субширотного простирания длиной 220 м (по геофизическим данным) при видимой мощности до 40 м. Изучено пока что всего одной скважиной № 286 глубиной 206,4 м¹. Сложено розовыми порфирированными карбонатитами с вкрапленниками белого доломита размером до 5–7 мм. Розовая основная масса состоит из тонкозернистого карбонатного агрегата с примесью анкилита, гематита, гидроокислов железа. Содержание анкилита 5–7%. Количество P₂O₅ обычно не превышает 1–2%, но иногда в карбонатитах наблюдаются скопления мономинеральных франколитовых пятен тонкозернистого строения. В этих случаях содержание P₂O₅ в пробах резко поднимается до 6–11%. Вещественный состав этого тела детально не изучался.

Намаварское карбонатитовое поле. Располагается в 8 км к востоку от массива Вуориярви. На этом участке площадью 1 кв. км среди гнейсов с прослоями амфиболитов ещё в 1958 г. выявлено шесть относительно крупных тел и множество мелких жил анкерит-кальцит-доломитовых и анкерит-сидеритовых карбонатитов. Размеры наиболее крупных тел (м): 400×160; 200×40; 130×40; 300×30. В плане тела имеют линзовидную форму с расщеплёнными концами и ответвлениями во вмещающие породы. Падение крутое, близкое к вертикальному. С поверхности все тела надёжно оконтурены густой сетью канав, но бурения не было, поэтому о глубинном их строении ничего не известно. Контакты с вмещающими породами отчётливые, но неровные, извилистые. Часто на контакте наблюдаются зоны милонитизации. Внутри тел нередки останцы вмещающих пород, интенсивно карбонатизированных и микроклинизированных. В призальбандовых частях карбонатных жил в большом количестве присутствует дымчатый кварц, а в осевых частях встречаются морион и горный хрусталь с баритом, рутилом, натролитом, стронцианитом, поздним кальцитом. Отдельные кристаллы горного хрусталя достигают веса до нескольких килограммов. В крупных телах кварца меньше, но совсем бескварцевых карбонатитов на участке нет. Были находки слабоокрашенного аметиста. Породообразующие карбонаты представлены доломитом, кальцитом, анкеритом, сидеритом. Акцессорными минералами являются анкилит, сульфат-монацит, бастнезит, пирохлор.

Содержания стронция, барита, тантала, ниобия низкие и никакого интереса не представляют. Суммарное количество редких земель составляет 0,5–0,7%.

Между Намаварским участком и массивом Вуориярви в фенитизированных гнейсах выявлено ещё около десятка разрозненных жил субширотного простирания длиной 100–250 м при мощности в плане 20–50 м. По составу они очень похожи на карбонатиты Нама-вары, всегда с кварцем, жеодами мориона. Есть участки, обогащённые фосфором (либо это кварц-франколит-карбонатные породы, либо лиловые тонкозернистые охры). Содержание P₂O₅ в таких участках колеблется от первых процентов до 18%, но длина интервалов не превышает нескольких метров. Минералогия этих жил детально не изучалась.

Массив Салланлатва. Площадь карбонатитового ядра составляет 0,67 кв. км. Внешняя зона мощностью в плане 50–200 м сложена флогопит-кальцитовыми карбонатитами, описанными в раз-

¹ Номер скв. показан на рис. 35.

деле 7.2, а поздние карбонатиты сосредоточены во внутренней части ядра размером 0,8×0,4 км, где они представлены следующими основными разновидностями:

- брейнерит-доломитовыми карбонатитами;
- лейкократовыми анкеритовыми карбонатитами с обломками ийолитов;
- доломит-анкеритовыми карбонатитами с баритом;
- анкерит-сидеритовыми карбонатитами с баритом.

Таблица 10. Химический состав карбонатитов из массивов Турьего п-ова (вес. %)

Компоненты	Эгирин-биотит- кальцитовые	Монтчеллит- кальцитовые	Диопсид- флогопит- кальцитовые	Актинолит- кальцитовые	Доломитовые
	1	2	3	4	5
SiO ₂	5,29	4,88	10,29	4,67	1,20
TiO ₂	0,35	0,21	0,37	0,79	нет
Al ₂ O ₃	0,75	0,72	2,13	0,69	0,10
Fe ₂ O ₃	1,76	2,25	4,11	10,35	1,93
FeO	2,66	1,98	2,50	5,21	2,96
MnO	0,23	0,58	0,12	0,16	0,81
MgO	1,93	3,47	6,70	3,05	17,74
CaO	46,38	48,49	38,70	41,21	29,81
SrO	0,86	0,60	0,47	0,73	0,28
Na ₂ O	0,37	0,06	0,34	0,39	0,14
K ₂ O	0,70	0,24	1,61	0,43	0,01
CO ₂	34,25	33,55	26,43	29,07	42,54
H ₂ O ⁺			0,13	0,63	0,40
H ₂ O ⁻				0,07	нет
P ₂ O ₅	2,61	2,47	3,15	3,02	0,02
BaO	0,06	0,07	0,10	0,11	
TR ₂ O ₃	0,06	0,25	0,04	0,13	0,007
ZrO ₂			0,031	0,02	0,003
Ta ₂ O ₅			0,003	0,025	нет
Nb ₂ O ₅			0,017	0,195	0,003
Сумма	98,26	99,82	97,24	100,95	97,95
S _{общ.}	0,85	0,11	0,41	1,15	0,36
F			0,21	0,24	
U			0,007	0,012	
Th			0,003	0,003	

1. Скв. 1 (среднее из 3-х ан.). } Материалы В. С. Самойлова (1973 г)
2. Скв. 68. } Институт геохимии СО АН СССР.
3. Скв. 3, 9, 14 (средне из 10 ан.). ЦХЛ СЗТГУ, 1972 г. Материалы ЛГУ.
4. Скв. 3 (среднее из 3-х ан.). } ЦХЛ СЗТГУ, 1971 г.
5. Скв. 14, глуб. 150, 9 м. } Материалы Ю. М. Кирнарского (КФАН СССР).

Переходы между всеми разновидностями неотчётливые, что обусловлено мощной тектонической переработкой карбонатитов, сопровождавшейся столь же интенсивной хлоритизацией, анкеритизацией, а затем и сидеритизацией. Резкие контакты свойственны лишь обособленным телам лейкократовых анкеритовых карбонатитов.

Брейнерит-доломитовые карбонатиты представляют собой белые или светло-серые породы, часто кавернозные, тонкозернистые, массивные, либо с полосчатой и микроплойчатой текстурой. Они выявлены только в северной половине ядра, где слагают прерывистую зону между ранними флогопит-кальцитовыми и поздними анкеритовыми и сидеритовыми карбонатитами.

Таблица 11. Химический состав кальцитовых карбонатитов Ковдора и Вуориярви (вес. %)

Компоненты	Вуориярви (Тухта-вара)		Ковдор	
	Диолсид-флогопит-кальцитовые с дизаналитом, шорломитом	Форстерит-кальцитовые с бадделейтом		
	1	2	3	4
SiO ₂			1,33	1,79
TiO ₂			0,08	0,06
Al ₂ O ₃			0,21	0,51
Fe ₂ O ₃			2,28	1,74
FeO			1,68	0,25
MnO			0,11	0,08
CaO	42,0	41,5	50,05	52,51
MgO			2,93	1,67
K ₂ O			0,18	0,02
Na ₂ O			0,16	0,06
H ₂ O			0,05	0,06
CO ₂	26,0	30,0	36,36	39,50
P ₂ O ₅	4,3	4,4	4,00	2,39
BaO			<0,05	0,04
SrO			0,37	0,14
TR ₂ O ₃			0,04	0,09
S _{общ.}	0,25	0,73	0,30	<0,05
Fe _{общ.}	5,5	6,8		
ZrO ₂	0,06	0,03		
Сумма			100,12	100,91

Скв. 103, инт. 68,3–82,2 м; скв. 146, инт. 118,6–161,0 м. } Среднее из рядовых проб.
 Скв. 103, инт. 82,2–99,8 м; скв. 109, инт. 412,8–441,8 м } ХТЛ, Мурманской ГРЭ
 г. Пилькома-Сельга, среднее из 8 ан. } Из отчёта Б. И. Сулимова и др. (1983 г).
 Известковый карьер, среднее из 3 ан. } ЦХЛ СЗТГУ, 1977 г.

Лейкократовые анкеритовые карбонатиты образуют подковообразную залежь в юго-восточной части ядра длиной чуть более 1 км при ширине до 100 м. В пределах карбонатитового ядра это единственная залежь, имеющая относительно пологие контакты (не более 45° к центру ядра). Они про-

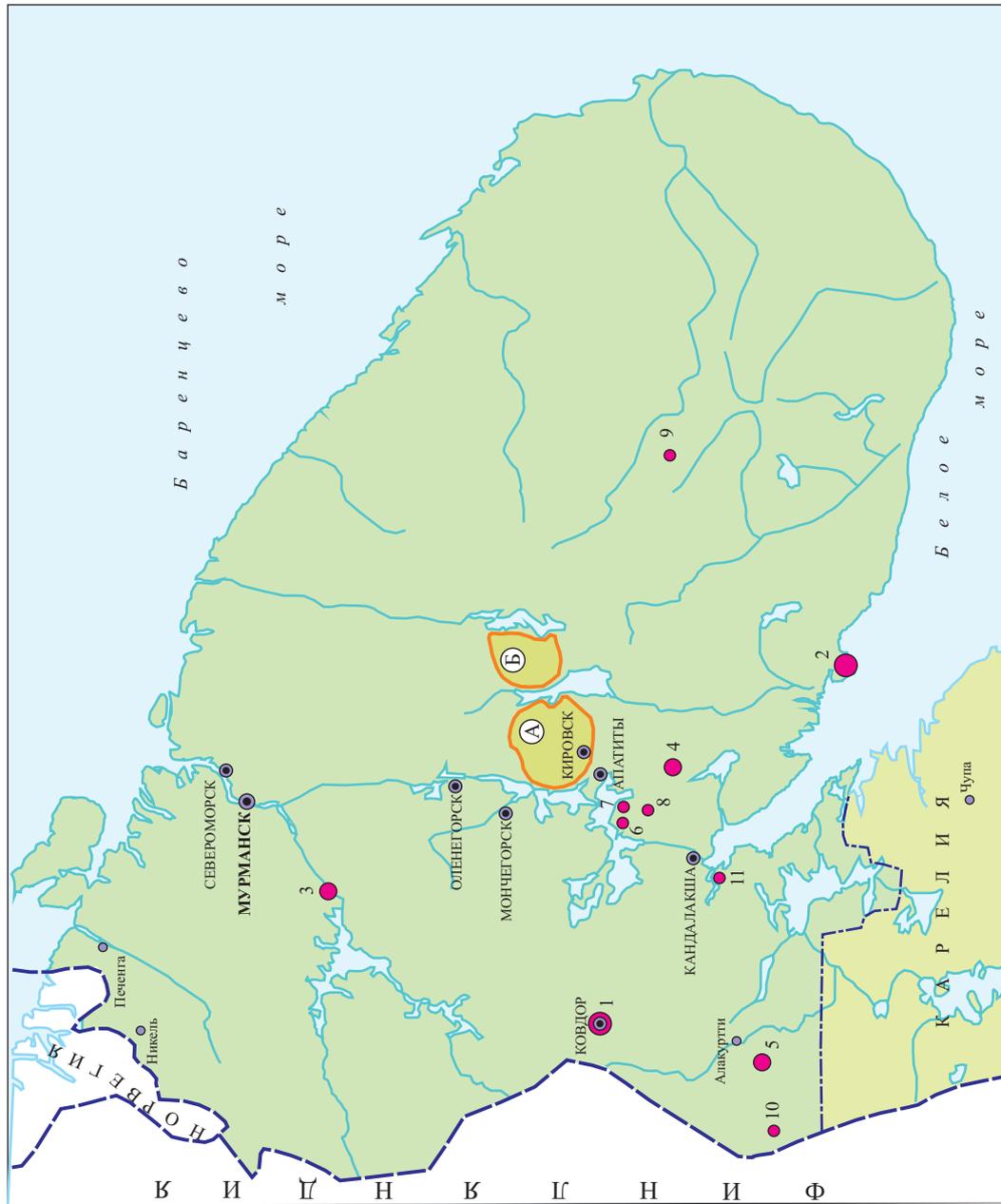


Рис. 1. Схема размещения кольцевых интрузий Кольского п-ова.

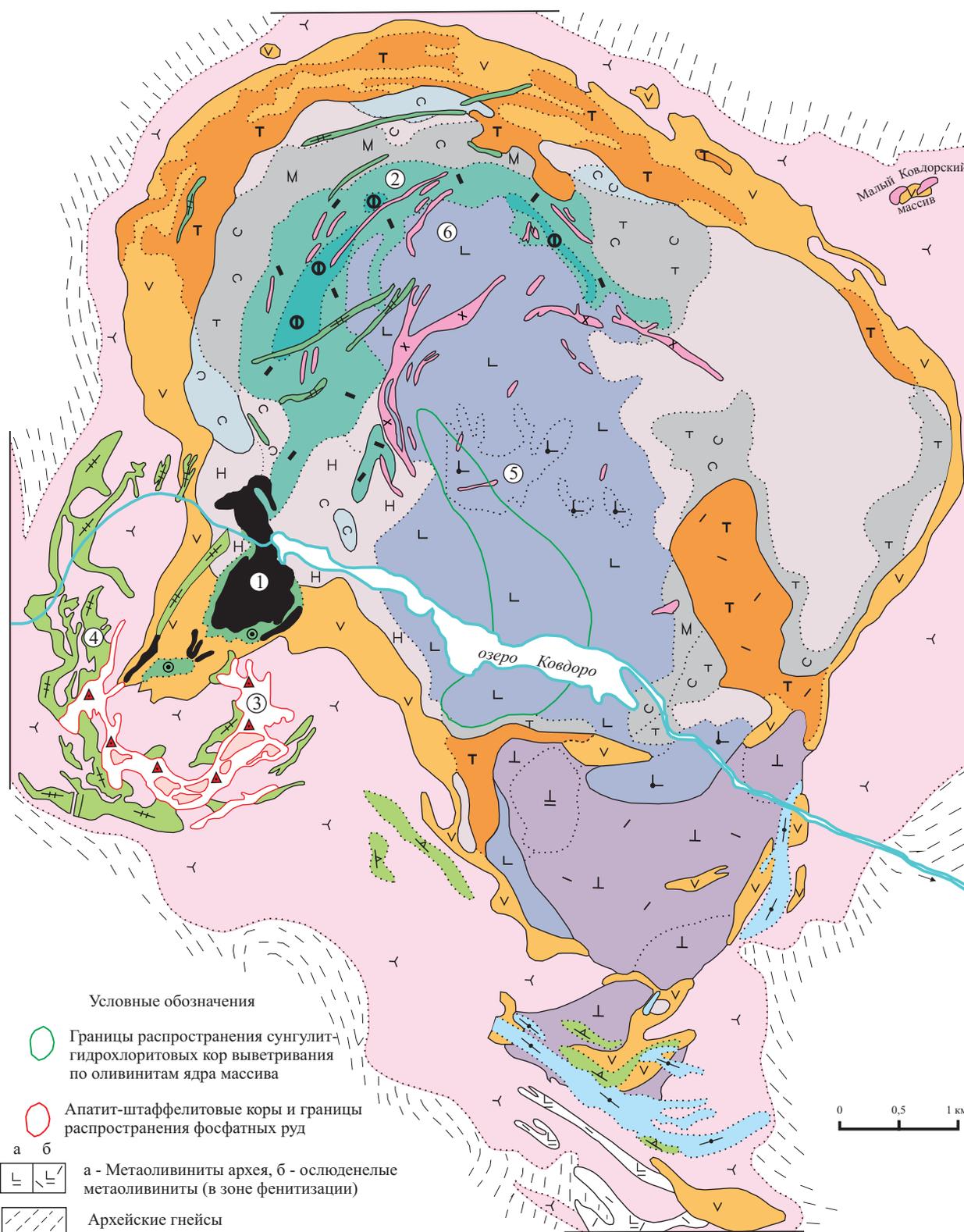


Рис. 2. Геологическая карта Ковдорского массива.

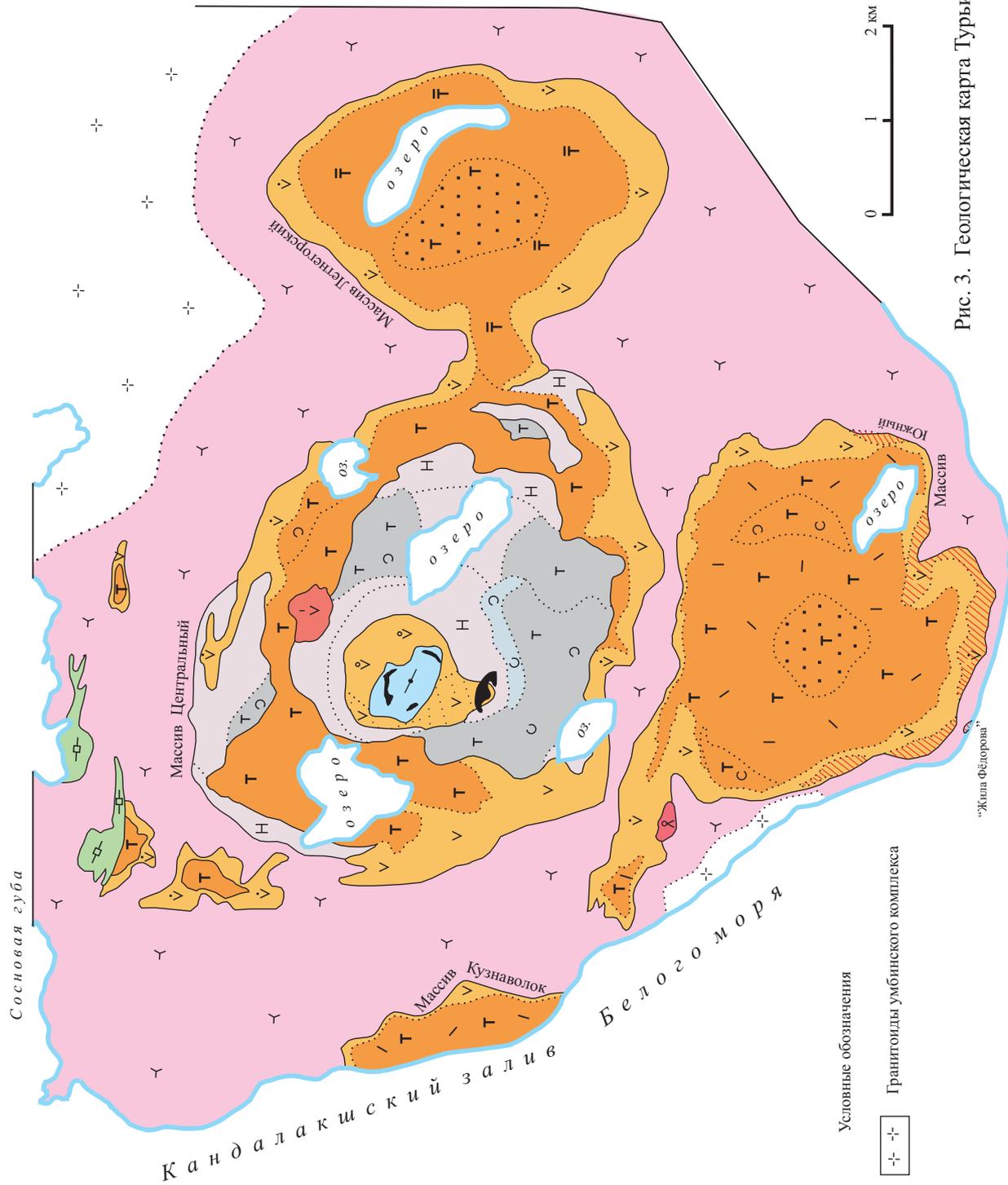
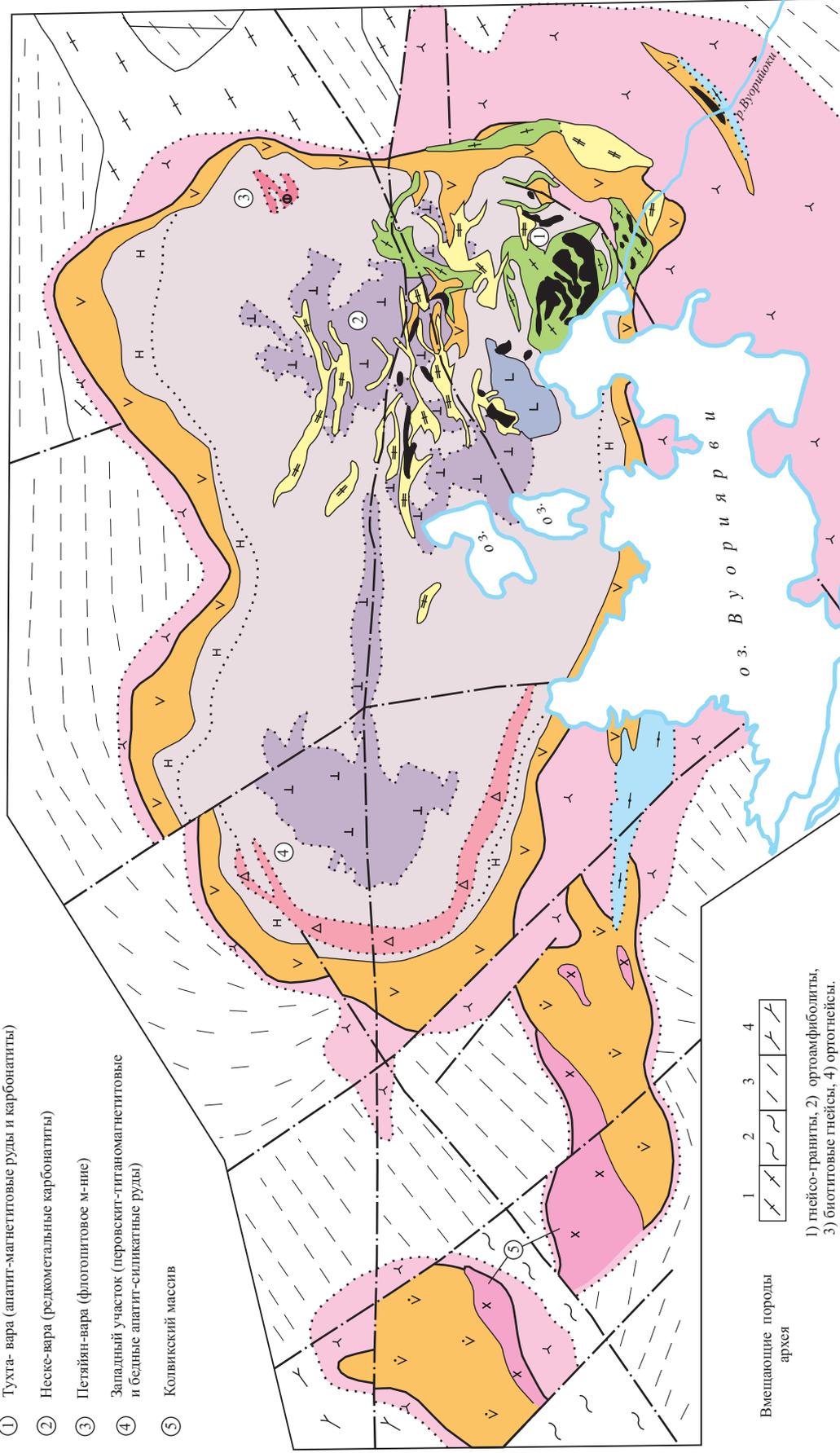


Рис. 3. Геологическая карта Гурынского массива.

Условные обозначения

- ① Тухта-вара (апатит-магнетитовые руды и карбонатиты)
- ② Неске-вара (редкометалльные карбонатиты)
- ③ Петяйн-вара (флогопитовое м-ние)
- ④ Западный участок (перовскит-титаномангнетитовые и бедные апатит-силикатные руды)
- ⑤ Кольвисккий массив



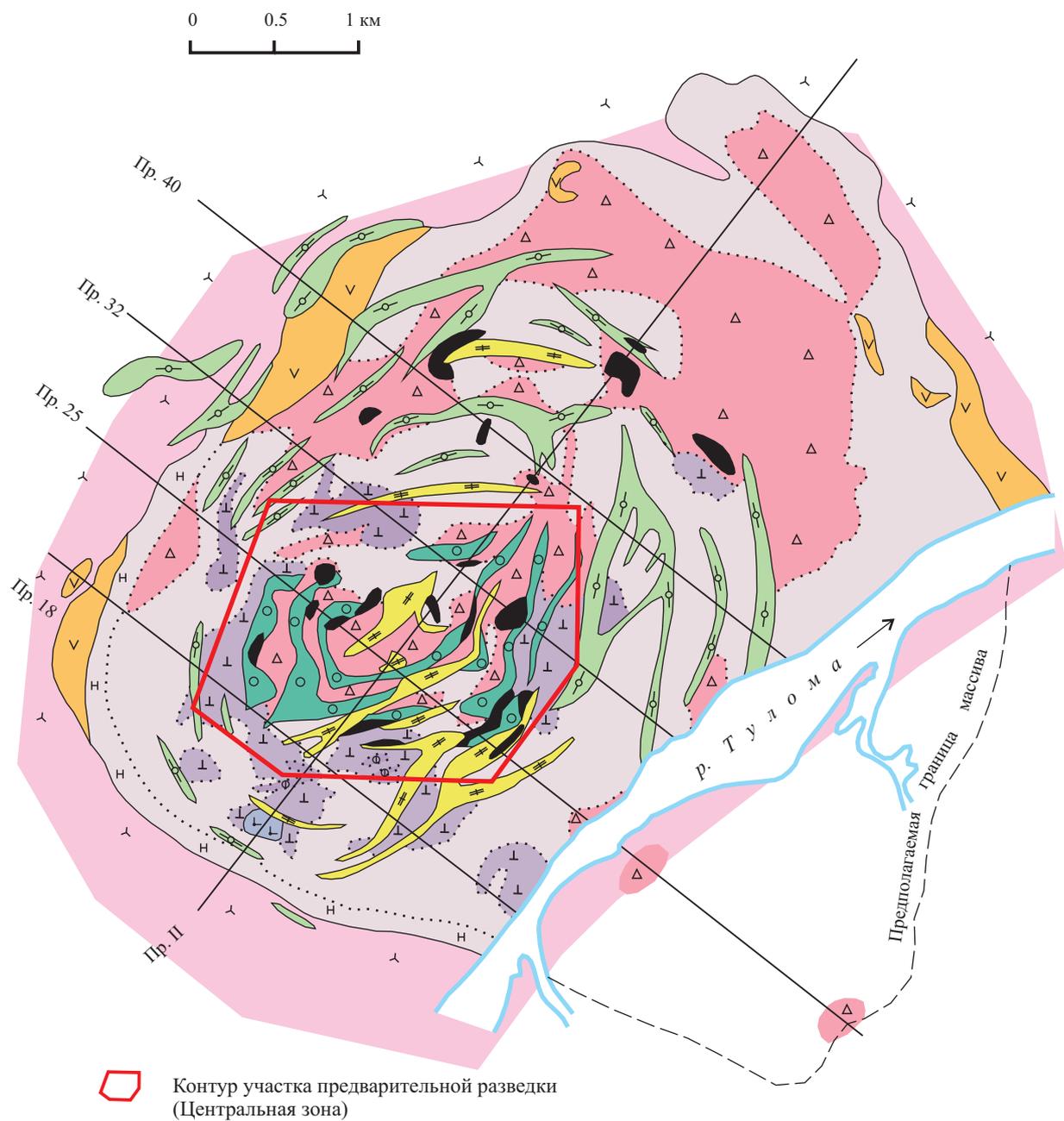
Вмещающие породы архея

1 2 3 4

1) гнейсо-граниты, 2) ортоамфиболиты,
3) биотитовые гнейсы, 4) ортогнейсы.

0 0,5 1 км

Рис. 4. Геологическая карта массива Вуориярви.



При составлении использована карта массива м-ба 1:10 000,
составленная В. Н. Карпатенковым и др. (отчёт Ю. А. Подкопаева и др., 1980 г.)

Рис. 5. Геологическая карта массива Себяевр.

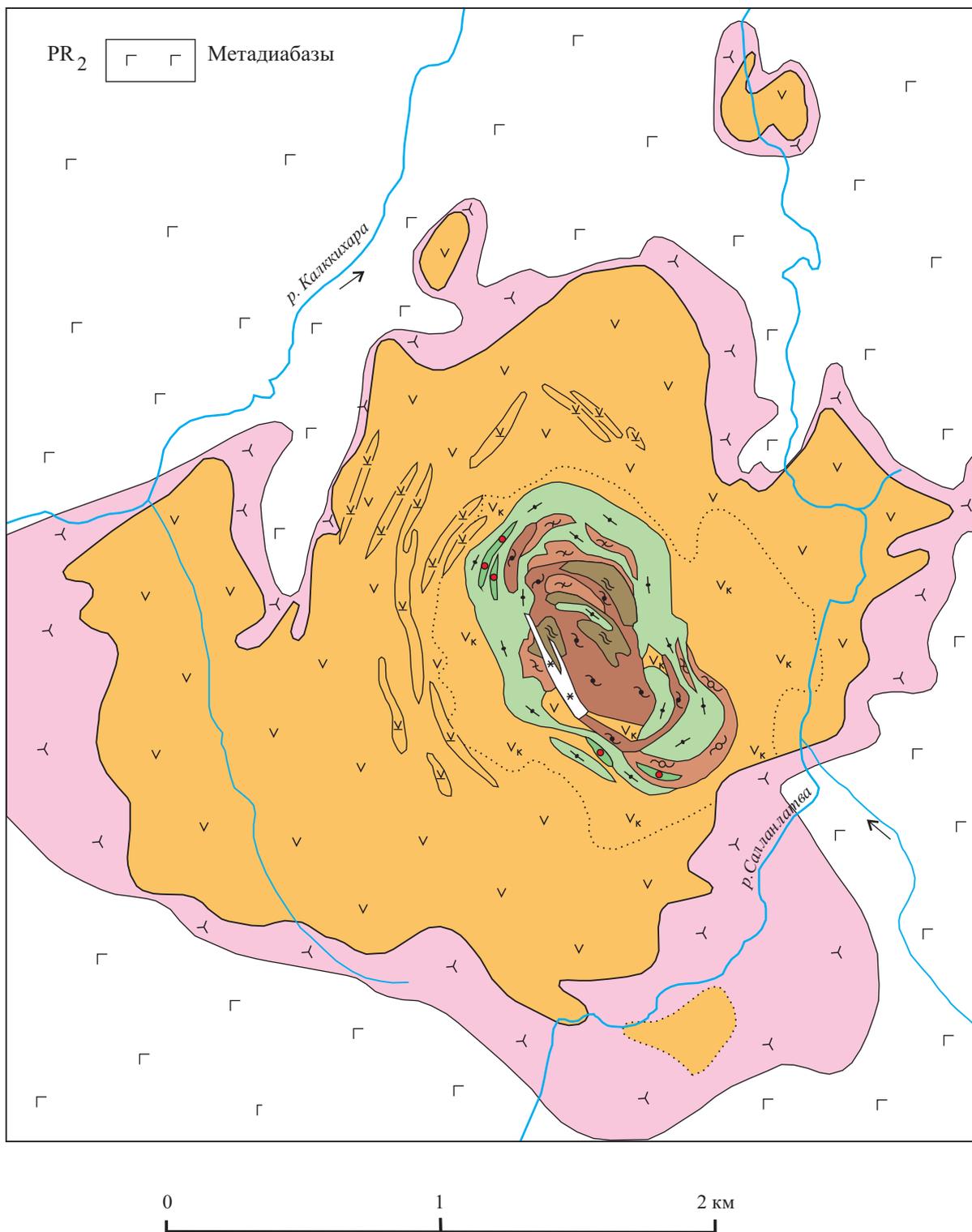
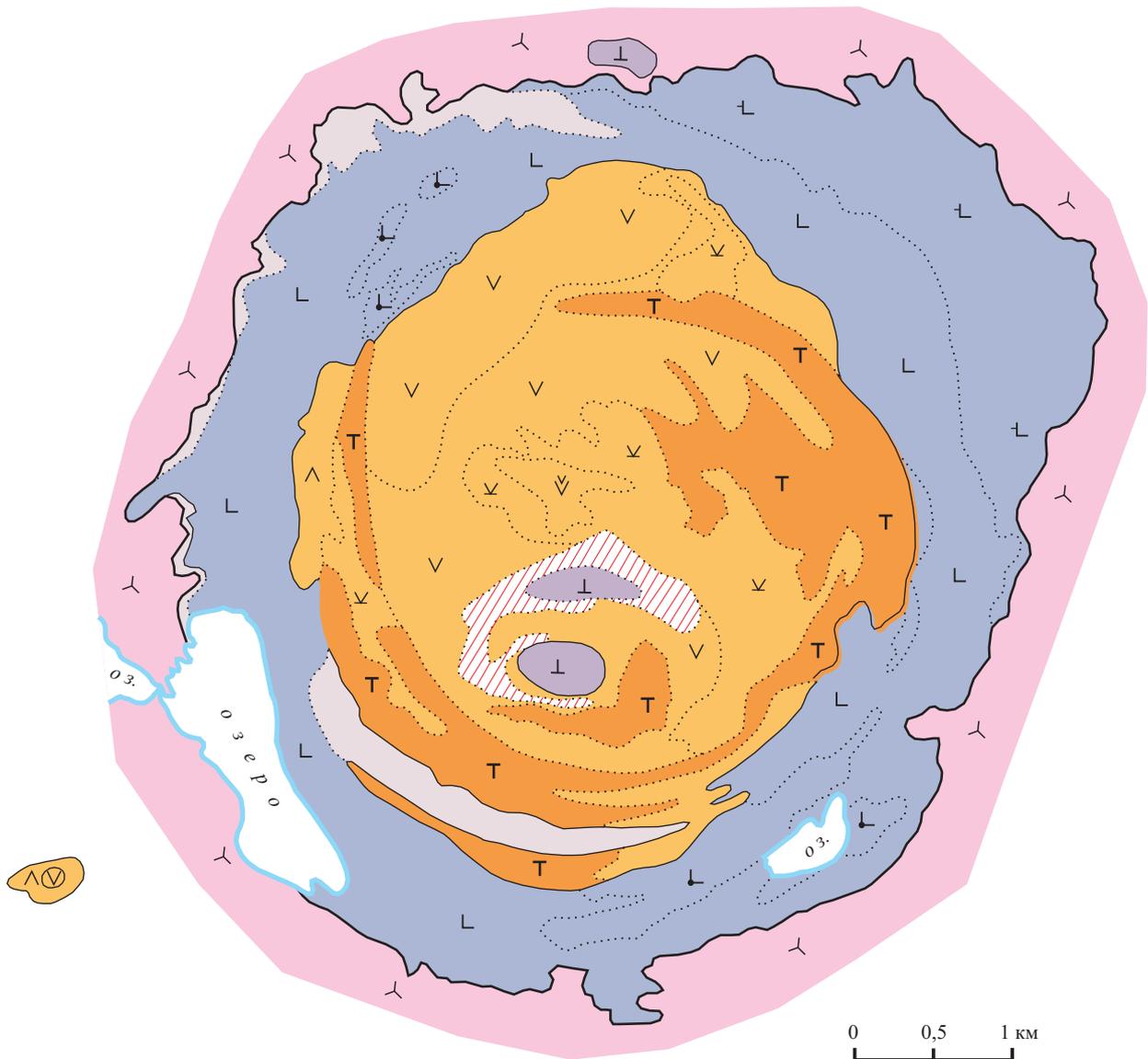


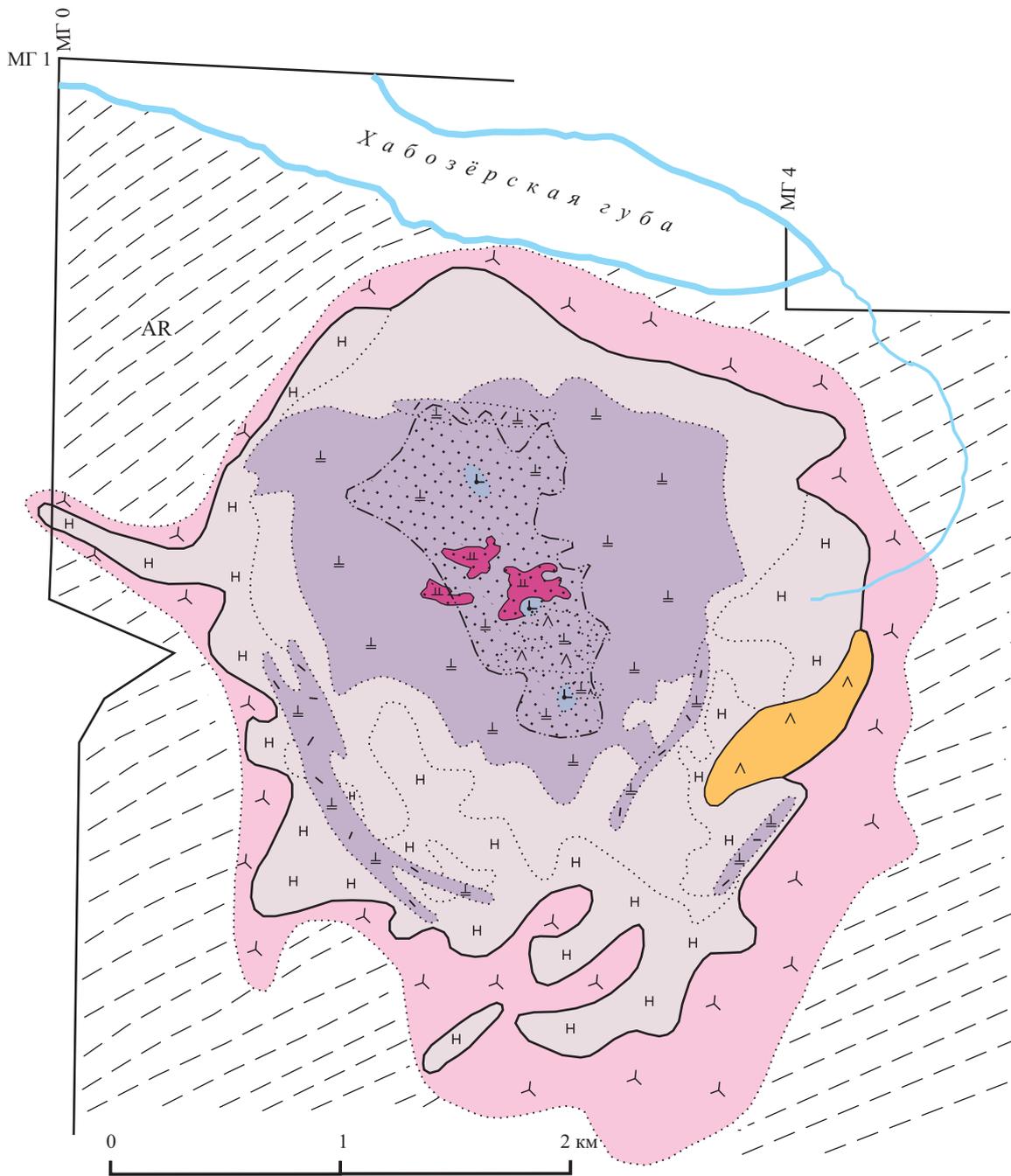
Рис. 6. Схематическая геологическая карта массива Салланлатва.



⌊ L L ⌋ Пироксенизированные оливиниты

В. П. Мамонтов, Мурманская ГРЭ 1997 г.

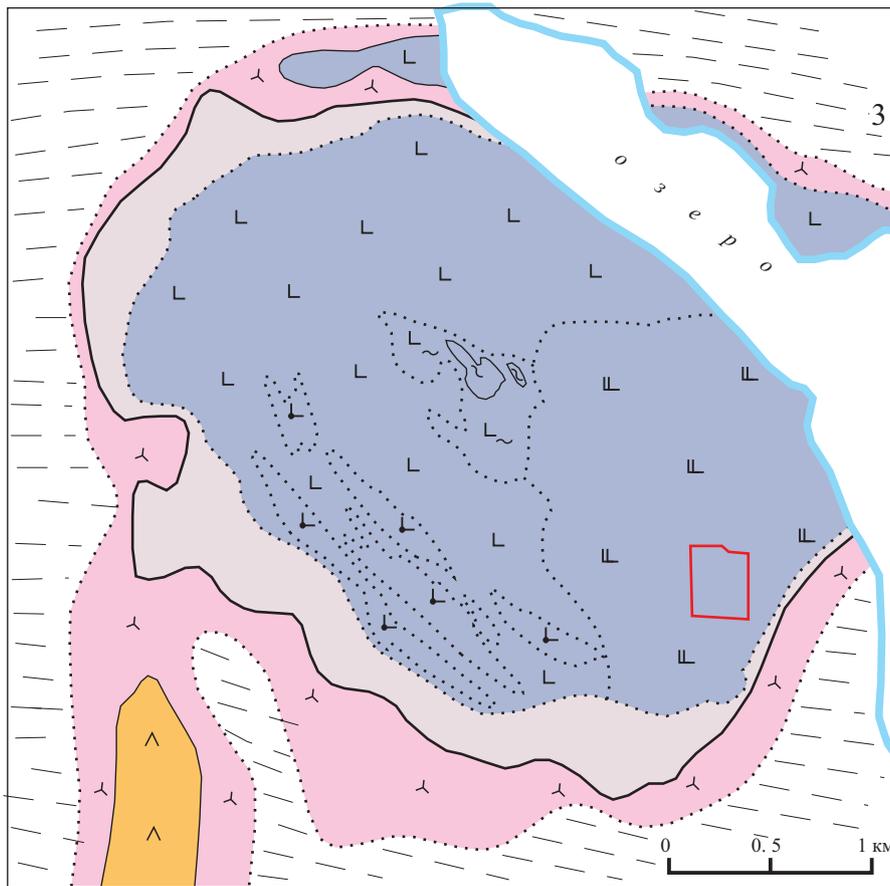
Рис. 7. Геологическая карта массива Салмагора.



- AR  Биотитовые гнейсы, мигматиты и амфиболиты беломорской серии
-  Внешний контур запасов перовскит-титаномагнетитовых руд категории C₁ (1951 г)

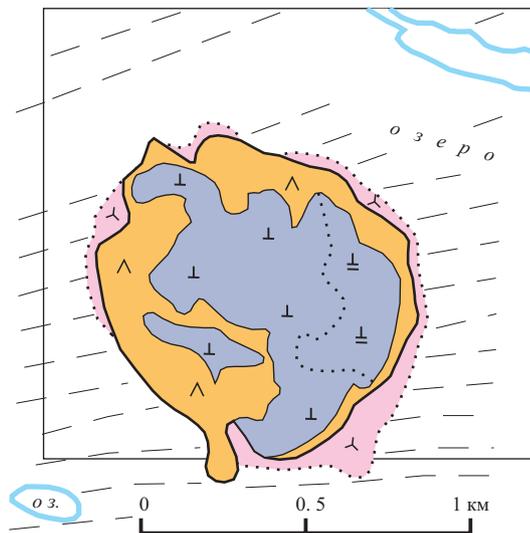
При составлении использованы карты м-ба 1:5 000 М. С. Афанасьева и Л. Е.Роговенко (1950 г.), В. Л. Богатырёва (1961 г.) и м-ба 1:25 000 В. В. Анзеля (1975 г.)

Рис. 8. Геологическая карта массива Африканда.



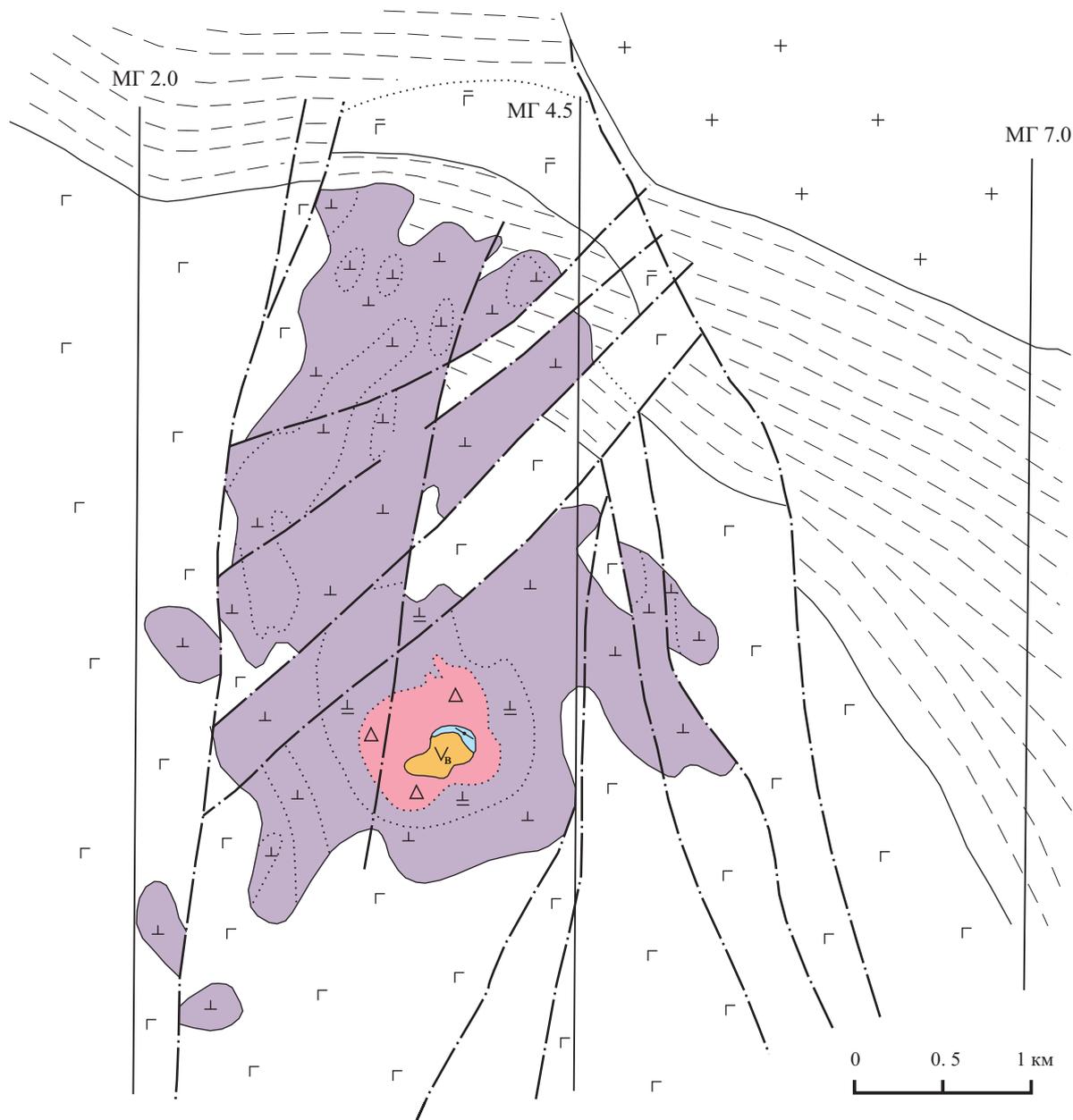
При составлении использованы карты м-ба 1:10 000 В. А. Афанасьева (1939), А. С. Огородникова (1955), м-ба 1:25 000 В. В. Анзеля (1975) и 1:5 000 Ю. А. Солопова по рудным оливинитам (1976). Участок разведочных работ на магниальные огнеупоры (Афанасьев, 1939; Огородников, 1955), Хабозёрское месторождение.

Рис. 9. Геологическая карта массива Лесная варака.



При составлении карты использованы результаты поисковых работ Мурманской ГРЭ за 1992 - 94 г. г. Биотитовые гнейсы беломорской серии

Рис.10. Геологическая карта массива Озёрная варака.

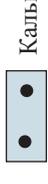
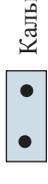


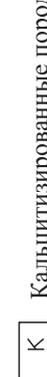
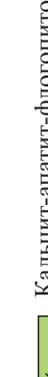
+ + Щелочные граниты
 Г Г Метабазбро
 Г Г Покровы метадиабазов с прослоями песчаников имандра-варзугской серии

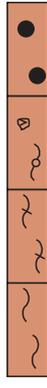
/ / / / Слюдяно-кварцевые сланцы и амфиболиты (кейвская и имандра-варзугская серии)

При составлении использованы карты м-ба 1:25 000 В. В. Анзеля и М. М. Калинкина (1975 г.)
 и м-ба 1:10 000 А. И. Александрова из отчёта Л. Б. Антонова (1969 г.)

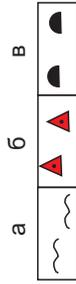
Рис. 11. Геологическая карта массива Песочный.

1	2	3	4
<p>Послемагматическая стадия</p>  <p>Апатит-эгириновые породы (Турий п-ов).</p>	<p>Дайки мелкозернистых ийолитов — V — V — T — T —</p> <p>Дайки ийолит-пегматитов — V — V — V — V — и уртитов — V — V — V —</p>	<p>Послемагматическая стадия</p> <p>а) Апатит-роговообманковые породы с перовскитом, шорломитом, магнетитом; б) гигантозернистые слюдяно-пироксеновые породы (Вуориярви); в) апатитизация (крап).</p> 	<p>Кальцит-мелилитовые породы Турьего п-ова</p> <p>а) Гранат-амфибол-диопсидовые скарноподобные породы с монтичеллитом; б) "скарнированные" породы (крап по турьяитам, ийолитам, пироксенитам).</p> 
<p>III б фаза</p> 	<p>Порфирировидные гранатовые ийолиты с воластонитом (Турий п-ов)</p>	<p>Дайки лилово-серых гранатовых микроийолитов и слюдяно-гранатовых пород — V — V — V —</p>	<p>Кальцит-мелилитовые породы Турьего п-ова</p> <p>а) Гранат-амфибол-диопсидовые скарноподобные породы с монтичеллитом; б) "скарнированные" породы (крап по турьяитам, ийолитам, пироксенитам).</p> 
<p>Кальцит-эгириновые породы с реликтами фенитов.</p> 	<p>I стадия</p>  <p>Эгирин-биотит-кальцитовые карбонаты со сфеном, обломками щелочных и ультраосновных пород.</p>	<p>Карбонатитовый этап</p> <p>II стадия</p>  <p>Апатит-флогопит-диопсидовые породы с кальцитритом, перовскитом (Себлявр).</p> <p>III стадия</p>  <p>Форстерит-магнетитовые руды с бадделитом, пегматоидные.</p> <p>IV фаза</p>  <p>Нефелиновые сниты, ювиты, полевошпатовые ийолиты и их дайки — X —</p>	<p>Существенно кальцитовые апоилолитовые породы с эгирином, биотитом, сфеном, местами с нефелином.</p> <p>Апатитизация и карбонатизация вмещающих пироксенитов (по набору аксессуарных - аналоги апатитизированных пород шелочного этапа.</p>  <p>а) Флогопит-диопсидовые породы; б) то же - гигантозернистые ("флогопитовый комплекс" Ковдора).</p> 

1	2	3	4
	<p>III стадия</p> 	<p>а) Апатит-форстерит-магнетитовые руды с бадделейтом (часто брекчий); б) кальцит-форстерит-магнетитовые руды с апатитом; в) апатит-диопсид-магнетитовые руды; г) магнетитовые руды карбонатитового этапа в целом (на мелкомасштабных картах).</p>	<p>а) Пегматидные кальцит-флогопит-магнетитовые руды; б) апатит-форстерит-флогопитовые метасоматиты краевых частей рудных залежей; в) зелёные слюдиты с гумитом, кальцитом; г) активизированные силикатные вмещающие породы (крап).</p> 
<p>III стадия</p> 	<p>III стадия</p>	<p>Автометасоматически переработанные кальцит-форстерит-магнетитовые руды с бадделейтом, гагчеттолитом (Тухта-вара).</p>	<p>Кальцитизированные породы (крап).</p> 
<p>IV стадия</p> 	<p>IV стадия</p>	<p>Дайка порфировидных перидотитов — L — I</p> <p>а) Диопсид-флогопит-кальцитовые карбонатиты с форстеритом, дианалитом. кальцититом; б) монтичеллит-кальцитовые карбонатиты (Турий п-ов); в) флогопит-кальцитовые карбонатиты с лусшитом, обломками ийолитов (Салланлатва); г) лейкократовые карбонатиты (Салланлатва).</p>	<p>Флогопит-франколитовые породы Салланлатвы (жилвные зоны по карбонатитам).</p> 
<p>V стадия</p> 	<p>V стадия</p>	<p>Форстерит-кальцитовые (а) и флогопит - кальцитовые (б) карбонатиты с бадделейтом, магнетитом, апатитом. Флогопит зелёный.</p>	<p>Кальцит-апатит-флогопитовые породы с диопсидом, магнетитом.</p> 
<p>VI стадия</p> 	<p>VI стадия</p>	<p>а) Тетраферрифлогопит-кальцитовые карбонатиты с амфиболом, гагчеттолитом, пиррохлотом, пиркелитом; б) то же с большим количеством магнетита. Тетраферрифлогопит розовый.</p>	<p>а) Изменённые магнетитовые руды с гумитом, гагчеттолитом; б) сульфидно-актинолит-магнетитовые жилы с эгирином (Себьявр); в) тетраферрифлогопитовые слюдиты с актинолитом (по пироксенитам); г) кальцит-тетраферрифлогопит-гумитовые породы с тантал-ниобатами.</p> 

1	2	3	4
 <p>Карбонатно-кварцевые жилы (с хрусталём, аметистом, мо-рионом). Нама-вара</p>	<p>а VII стадия</p>  <p>Актинолит (рихтерит)-кальцитовые карбонаты с рубиновым тетраферрифлогопитом, нерадиоактивным пирохлором.</p>	<p>4</p> <p>Актинолит (рихтерит) - кальцитовые карбонаты (по ранним форстерит-кальцитовым карбонатам).</p>	
<p>б VII стадия</p>  <p>Лейкократовые кальцитовые карбонаты с дендритами пирротина</p>	<p>а б в г</p>  <p>а) Доломитовые карбонаты белые, саровидные; б) брейнерит-доломитовые карбонаты; в) лейкократовые анкеритовые карбонаты Салланлатвы с обломками ийолитов; г) форстерит-доломит-магнетитовые руды (Ковдор).</p>	 <p>Доломитизация (+ тремолитизация и хлоритизация) щёлочно-ультраосновных пород и кальцитовых карбонатов (крап по соответствующей породе).</p>	
<p>IX стадия</p>  <p>а) Доломитовые и анкерит-доломитовые карбонаты грязно-серые, кавернозные, с хлоритом, анкилитом, бербанкитом, баритом, кварцем (или морионом), сульфидами (пирит, пирротин, галенит, сфалерит); б) то же, но обогащённые мелко-вкрапленным магнетитом (рудные); в) то же с большим количеством барита.</p>	<p>Дайки кимберлитоподобных пикритовых порфиритов — ⊙ — ⊙ —</p>	 <p>Анкерит-сидеритовые карбонаты с баритом, хлоритом.</p>	
<p>X стадия</p>  <p>Оливиновые мельгейгит-порфиры Турьего п-ова.</p>	<p>Дайки нефелинитов, иногда порфировидных (с вкрапленниками оливина и др.)</p>	 <p>Хлорит-кальцитовые жилы (всегда мелкие) с пиритом, цеолитами, иногда с анкилитом.</p>	
<p>V фаза</p>  <p>Эксплозивные карбонатитовые брекчии Салланлатвы</p>	 <p>Карбонатно-хлоритовые образования по тектоническим зонам и трещинам (крап).</p>		

1	2	3	4
		<p style="text-align: center;">Экзогенный этап</p> <p style="text-align: center;">Коры выветривания</p> <p>а) Сунгулитовые с серпентином, иддингситом, гидрохлоритом (по гипербазитам); б) апатит-штаффелитовые (по кальцитовым карбонатам и магнетитовым рудам); в) барит-лимонитовые (“железная шляпа” Салланлагты по анкерит-сидеритовым рудам).</p> <p>а) Вермикулит-апатитовые песчано-глинистые (Себляяр); б) вермикулитовые (Ковдор).</p> <p>Гидрофлогопитовые</p> <p>Дресвянистые с обломками слабо выветрелых пород (зона дезинтеграции).</p> <p>Перемещённые и смешанные с четвертичными отложениями.</p> <p style="text-align: center;">Прочие условные обозначения</p> <p>Геологические границы: а) резкие; б) постепенные; в) внешний контур массива.</p> <p>Тектонические нарушения (в основном, по данным магнитной съёмки).</p>	



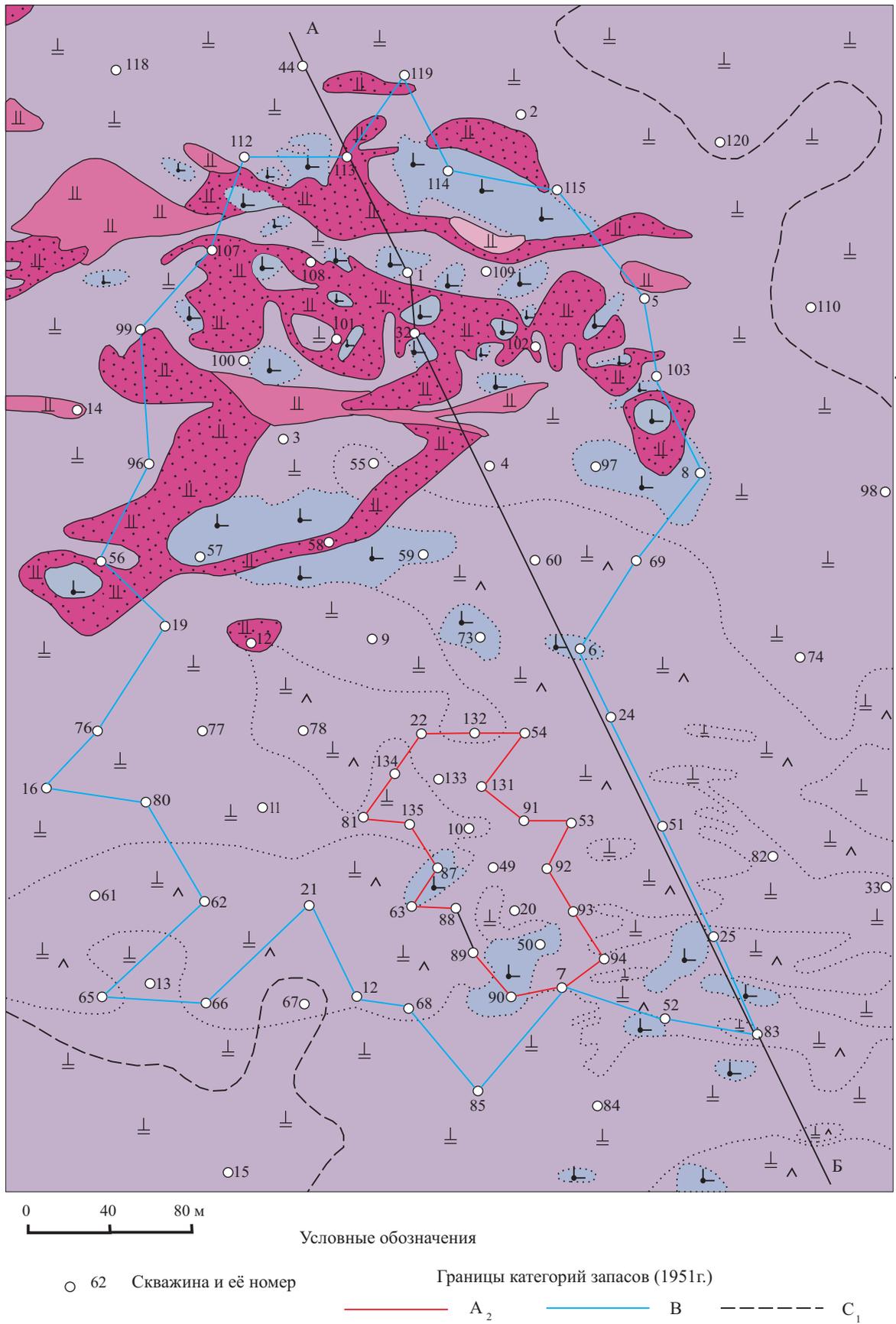
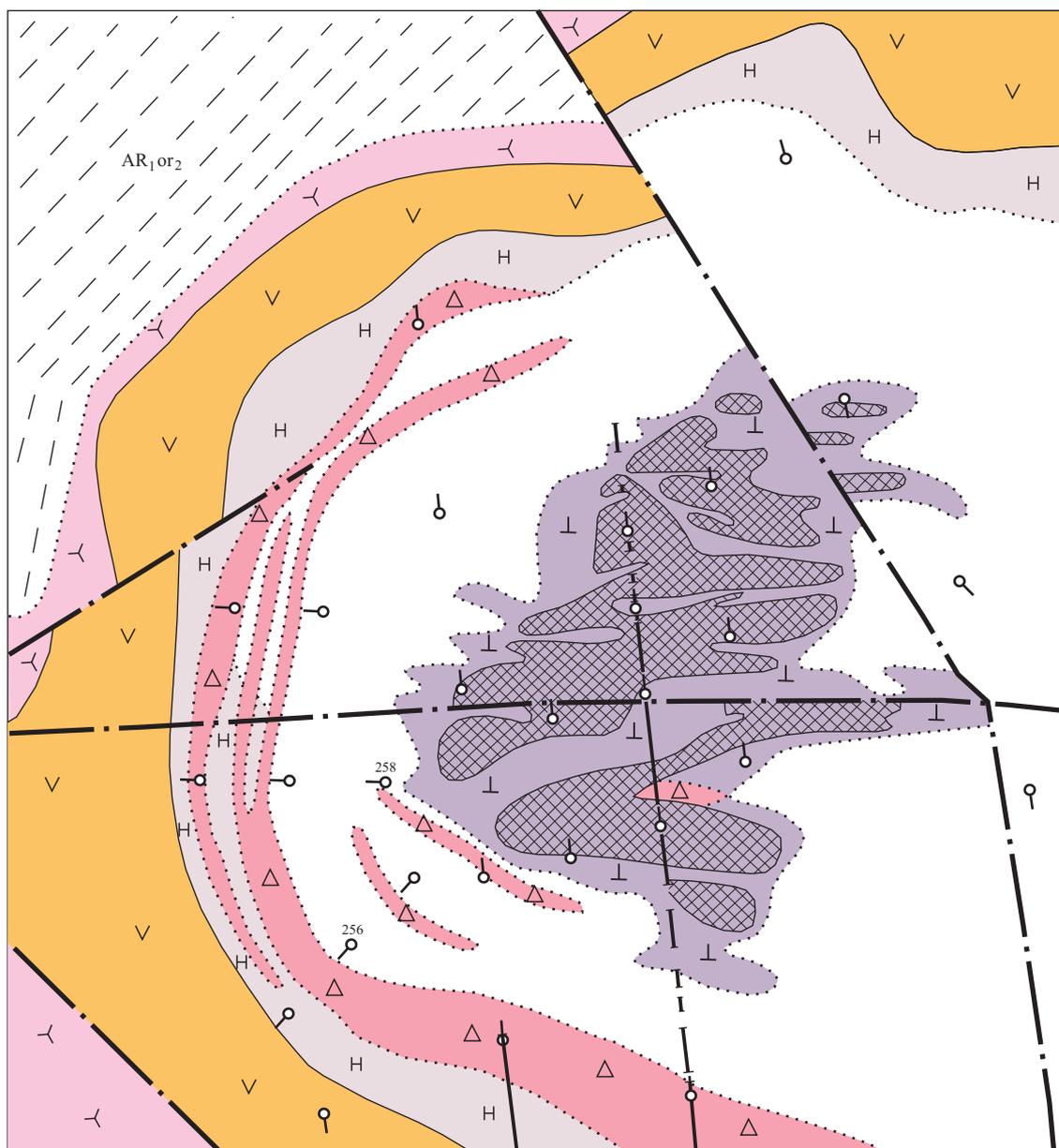


Рис.12. Геологическая карта центральной части массива Африканда.



Условные обозначения



Перовскит-титаномагнетитовые руды
(ограничены изолинией 100 мЭ)

— T — Канавы



Биотитовые и амфибол-биотитовые гнейсы

○ — Скважины и направление бурения



Рис. 14. Геологическая карта западной части массива Вуориярви.

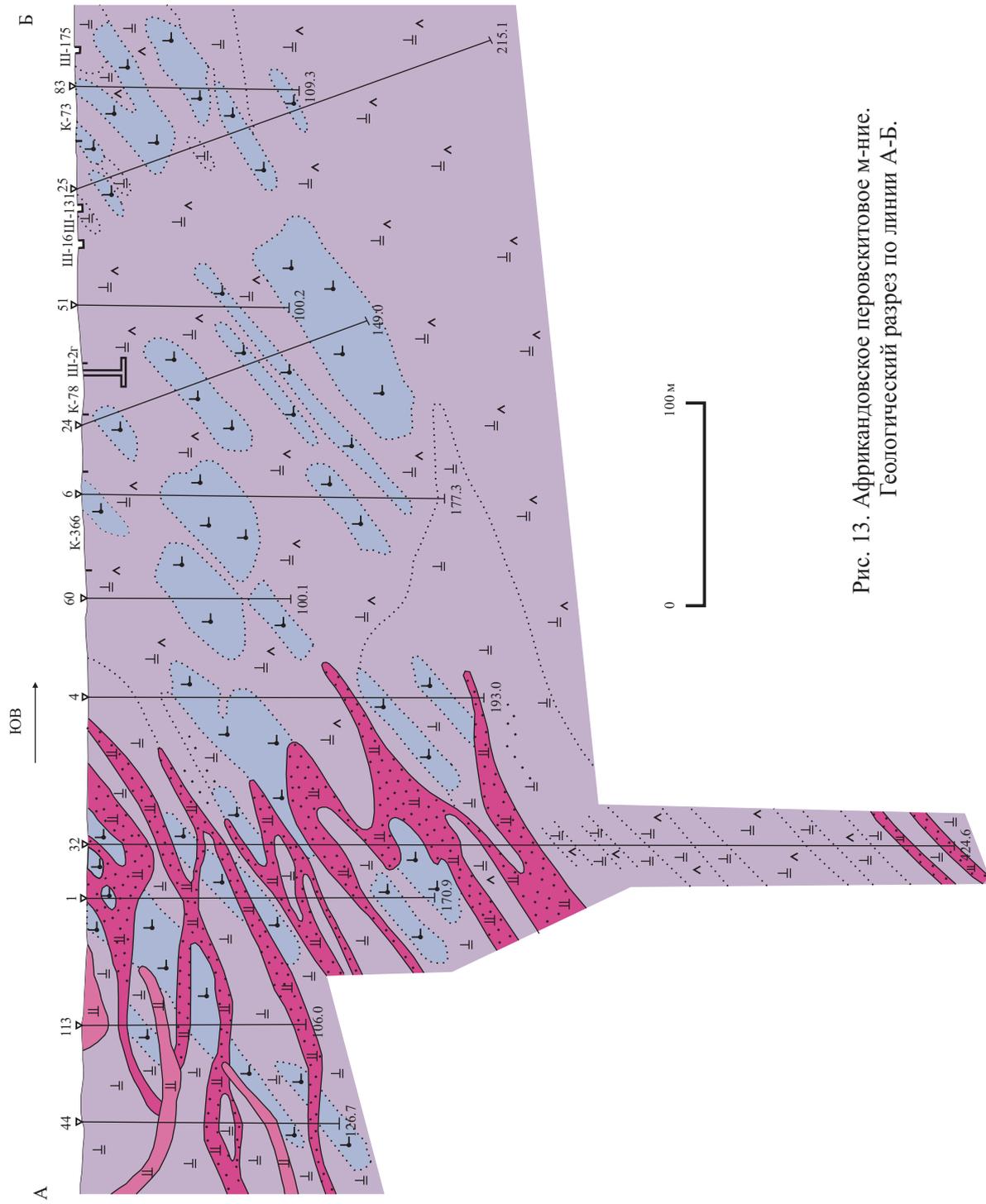
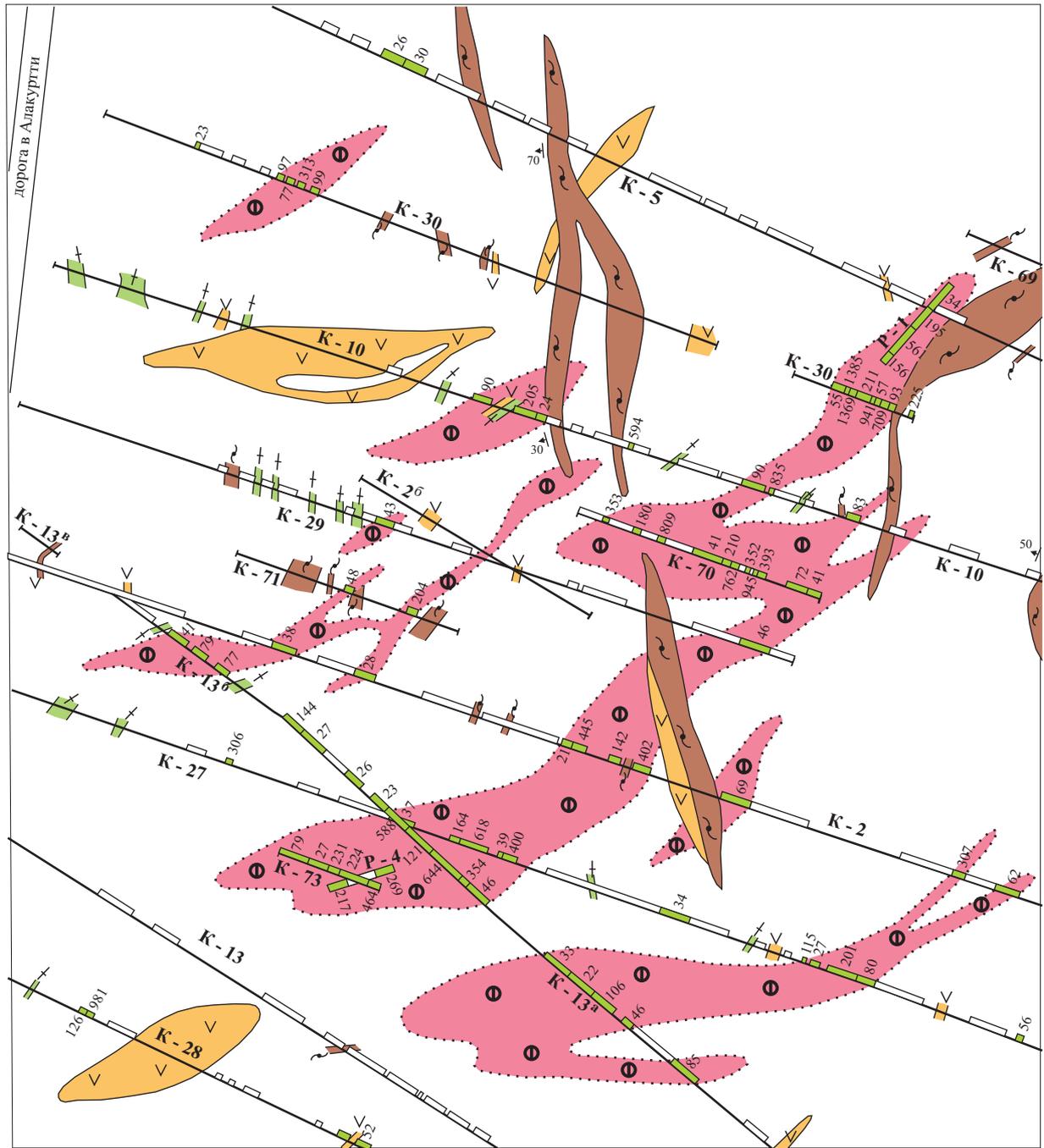


Рис. 13. Африкандовское перовскитовое м-ние.
Геологический разрез по линии А-Б.



Условные обозначения



Канавы 1962- 64 гг., их номера, борздовые пробы на флогопит и содержание флогопита (кг/м³). Закрашены пробы > 20 кг/м³.

Примечание. Существенно пироксеновые породы ("пироксениты") не закрашены.



Рис. 15. Геологическая карта вермикулит-флогопитового месторождения Петийян-вара.

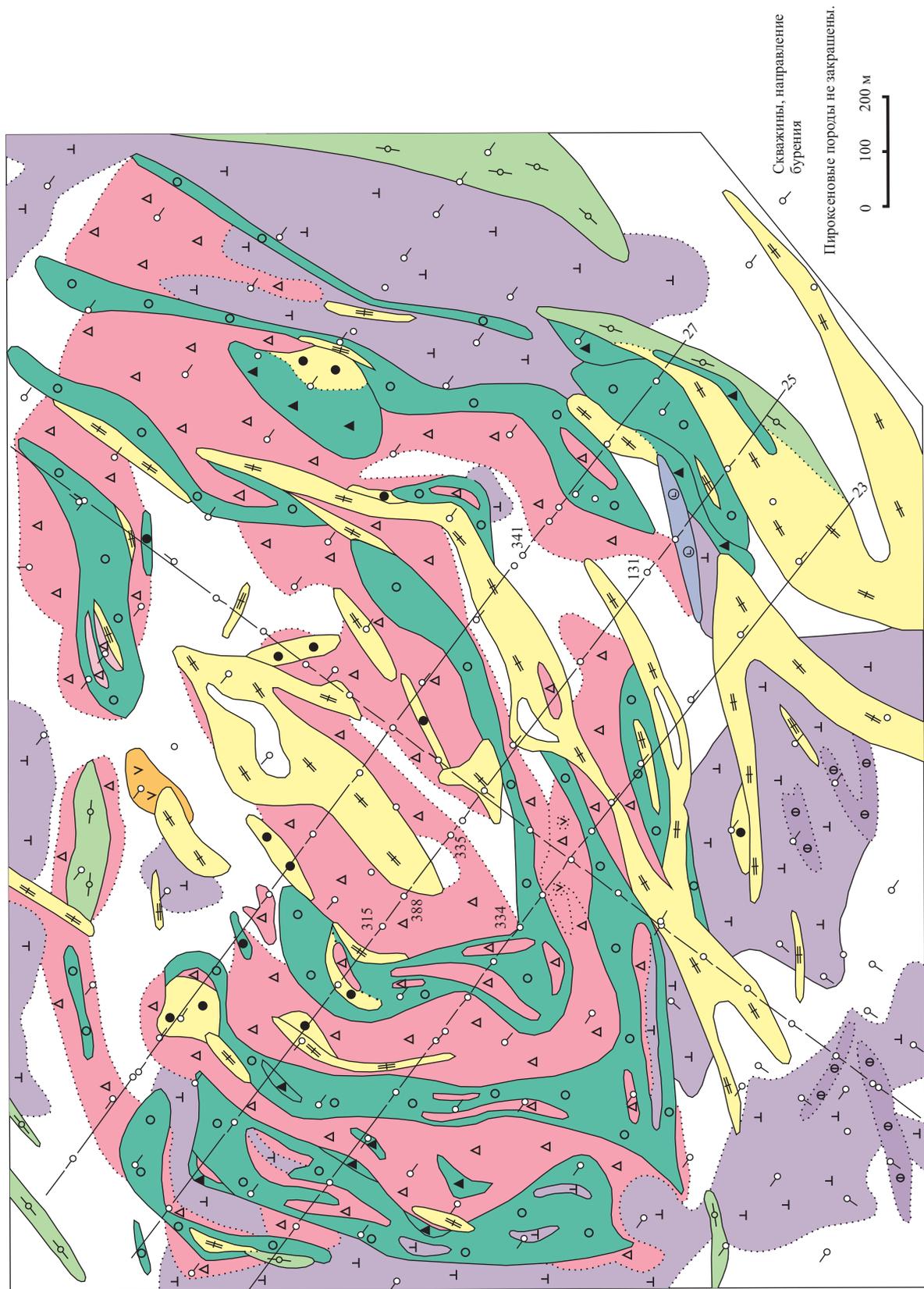


Рис.16. Геологическая карта Центральной зоны и южной части массива Себельевр.

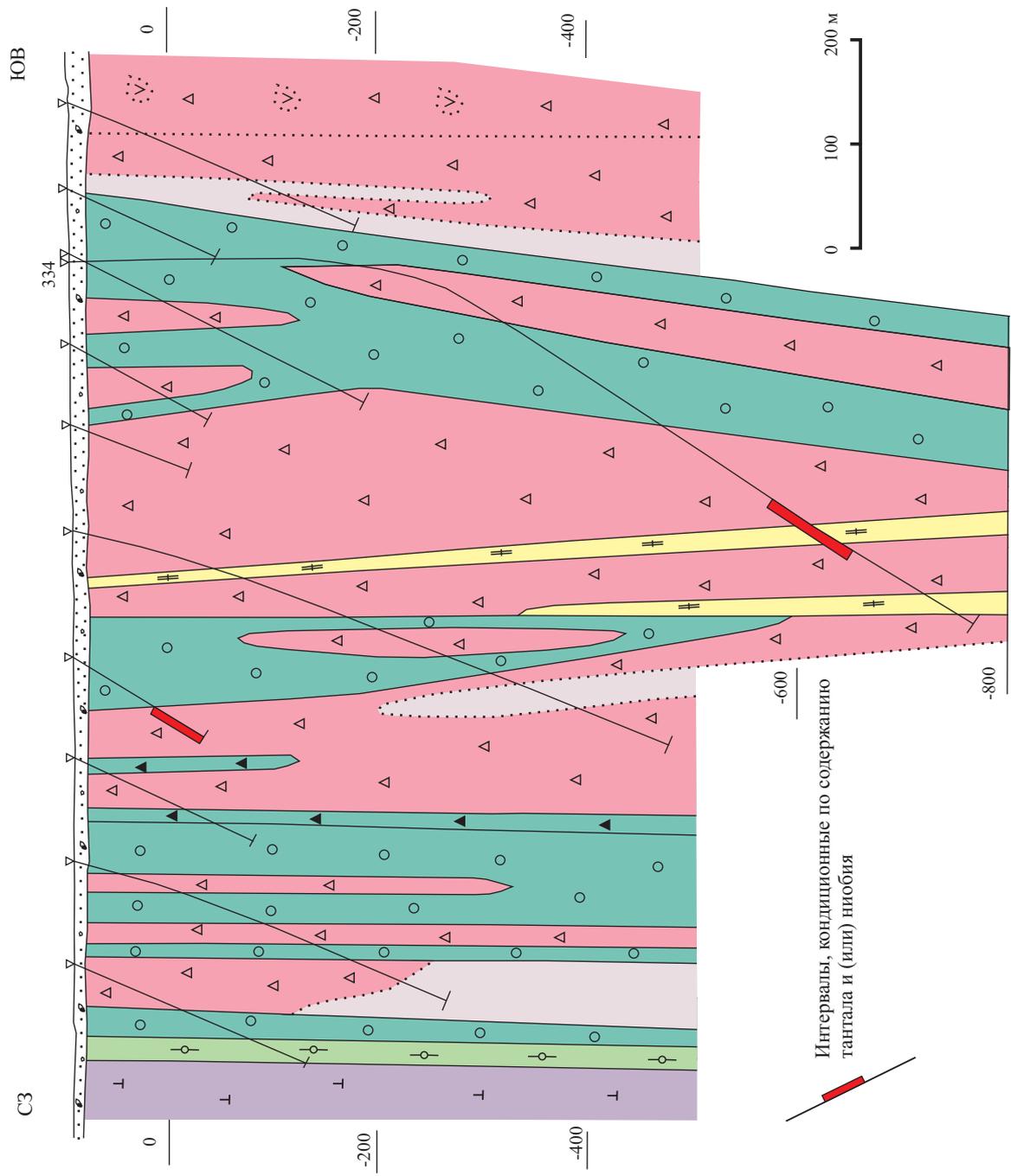


Рис. 17. Геологический разрез по профилю 23 (Себельяр).

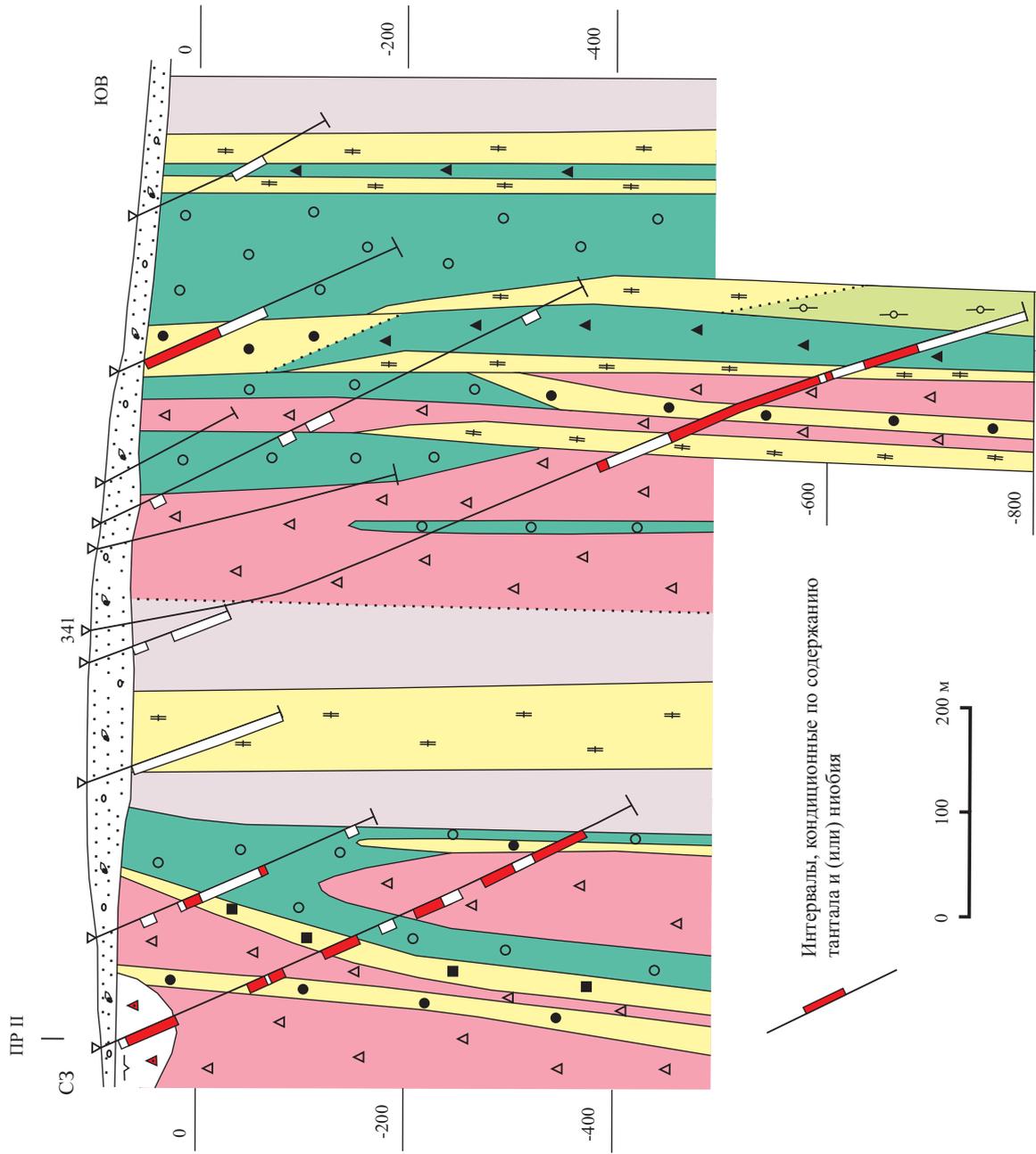


Рис. 18. Геологический разрез по профилю 27 (Себлявр).

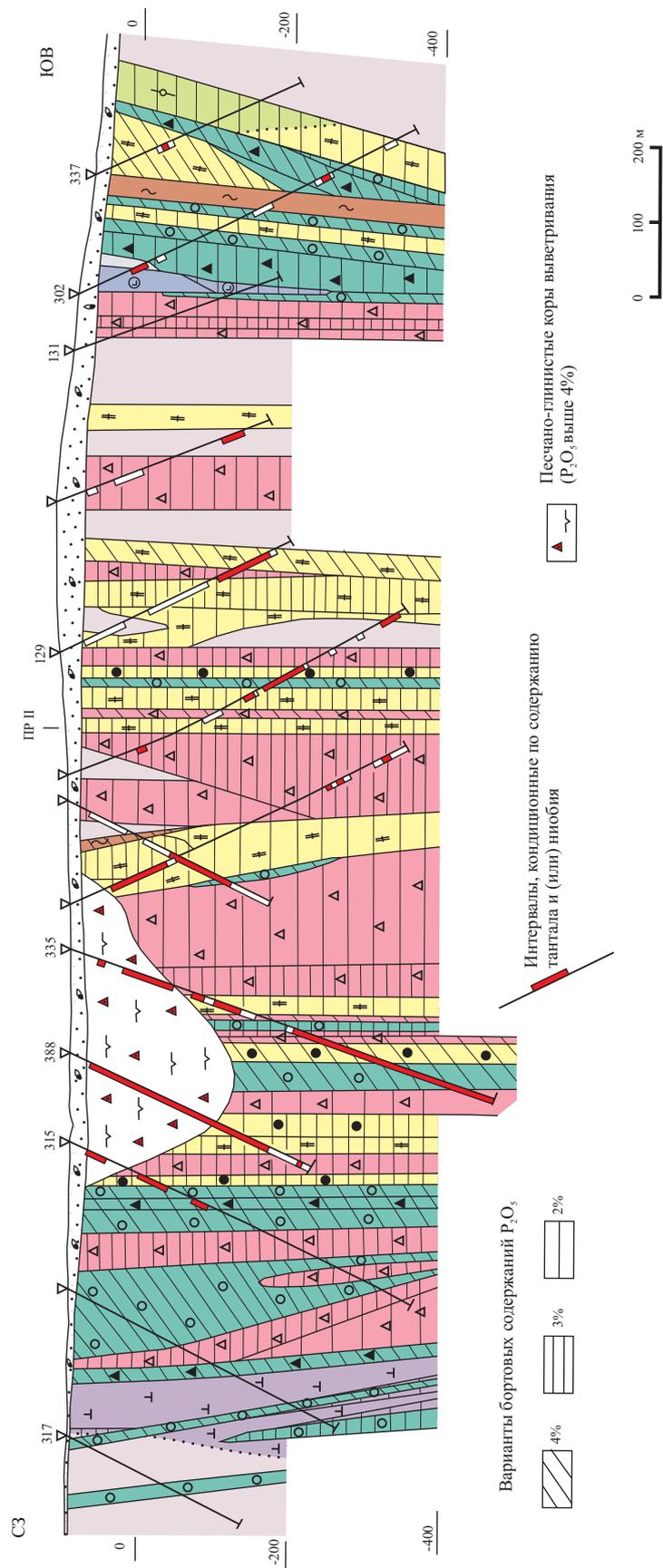


Рис.19. Геологический разрез по профилю 25 (Себлявр).

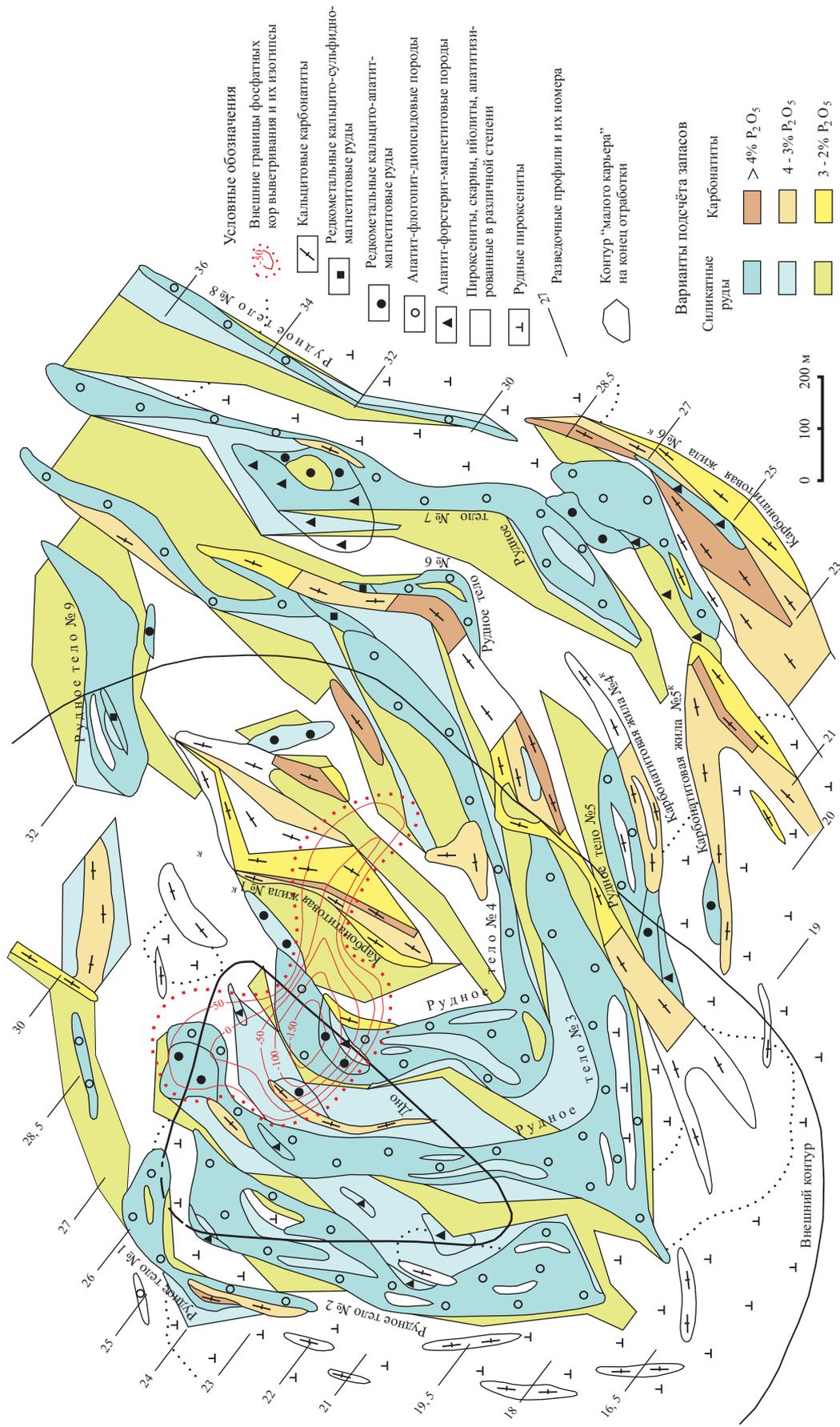


Рис. 20. План подсчёта запасов апатитовых руд Центральной зоны массива Себельяр.

рывают флогопит-кальцитовые карбонатиты и ийолиты. В них много обломков ийолитов и внешне они очень похожи на ранние флогопит-кальцитовые брекчии, только цвет основной массы темнее, т. к. кальцит белый, а анкерит – серый.

Анкеритовые и сидеритовые карбонатиты двух последних разновидностей можно разделить лишь условно по содержанию Fe (в данном случае граничным принято содержание $Fe_{\text{общ.}}$ 20%). В итоге среднее содержание $Fe_{\text{общ.}}$ в анкеритовых карбонатитах составило 18%, а в сидеритовых – 24%, тогда как содержания других компонентов практически одинаковые: P_2O_5 около 0,8%; редких земель 0,4%; CO_2 – 25%. Небольшая разница, правда, есть в количестве барита: 10,8% в анкеритовых и 13,8% в сидеритовых карбонатитах.

Текстуры самых поздних карбонатитов брекчиевидные и брекчиевидно-полосчатые. В обломках всегда отмечаются доломитовые и брейнерит-доломитовые карбонатиты, светлоокрашенные, а цемент зеленовато-серый хлорит-анкеритовый, часто с тонковкрапленным магнетитом. Сидерит развивается в анкеритовых карбонатитах в виде расплывчатых полос, линзочек, пятен неправильной формы. Широко распространены и мелкие разноориентированные жилки барит-сидеритового состава.

Таблица 12. Химический состав карбонатитов (вес. %) Себляврского массива

Компоненты	Форстерит-кальцитовые	Диосид-флогопит-кальцитовые	Актинолит-кальцитовые	Доломитовые
	1	2	3	4
SiO ₂	5,20	6,88	1,86	1,84
TiO ₂	0,38	0,70	0,23	0,50
Al ₂ O ₃	0,58	1,03	0,44	нет
Fe ₂ O ₃	3,57	5,08	3,10	1,87
FeO	1,89	3,25	2,88	3,42
MnO	0,16	0,16	0,21	0,30
CaO	44,62	43,48	49,40	28,74
MgO	5,40	3,97	2,08	18,90
K ₂ O	0,42	0,77	0,32	0,11
Na ₂ O	0,10	0,42	0,13	0,30
NiO	0,005	0,006		0,005
CuO	0,013	0,017	0,011	0,011
CoO	0,004	0,003		0,003
P ₂ O ₅	4,42	3,50	3,39	0,31
Ta ₂ O ₅	<0,001	<0,001	0,008	0,002
Nb ₂ O ₅	0,004	0,007	0,053	0,130
ZrO ₂	0,03	0,07	<0,01	<0,01
BaO	0,22	0,24	0,01	0,15
SrO	0,33	0,40	0,51	0,36
CO ₂	30,80	28,95	34,98	41,36
H ₂ O	0,27	0,17	0,10	0,16
Сумма	98,42	99,10	99,71	98,47
F	0,23	0,21		0,064
S _{общ.}	0,20	0,29	0,52	0,62
TR ₂ O ₃		0,10		

1, 2, 4 – из отчёта Ю.А. Подкопаева (1980 г).

3 – скв. 364. В пробу вошли выборочные штуфы «чистых» разновидностей (без ксенолитов пироксенитов и апатит-магнетитовых руд (1982 г). Все анализы выполнены в ХТЛ Мурманской ГРЭ.

Второстепенными и аксессуарными минералами всех поздних карбонатитов Салланлатвы являются (кроме хлорита и барита) магнетит, пирит, франколит, анкилит, ильменит, арагонит, стронцианит, галенит, сфалерит, халькопирит, гематит. В анкеритовых карбонатитах часто обнаруживается почти чёрный флогопит. В некоторых скважинах содержание Nb_2O_5 в ряде интервалов превышает 0,1%, достигая местами 0,2–0,4%, что связано с пылевидной вкрапленностью пирохлора. Размер зёрен обычно меньше толщины шлифа ($\approx 0,01 - 0,02$ мм) и уловить пирохлор на фоне высокодвупреломляющей карбонатной массы непросто. Под бинокляром его тем более искать бесполезно.

Среди ранних флогопит-кальцитовых карбонатитов отмечается множество мелких жил доломитового и анкеритового состава, но в ийолитах жилы поздних карбонатитов встречаются исключительно редко.

Химанализы карбонатитов различных массивов приведены в табл. 10–13.

Меланократовые образования карбонатитового этапа. Слагают наиболее крупные месторождения щёлочно-ультраосновных массивов (апатита, железа, редких металлов, слюды-флогопита и др.), а генетически связаны, в основном, с кальцитовыми карбонатитами 2^й и 3^й группы (см. начало главы 7). В отличие от карбонатитов, собственными названиями их, как ни странно, не удостоили. В принципе в этом и нет необходимости: они слишком пестры по минеральному составу, а разновидностей – множество, но какое-то обобщающее (собирательное) название всё же требуется. На Палаборе (ЮАР) их именуют фоскоритами. Средний минеральный состав таков (%): магнетит – 35, апатит – 25, карбонаты – 18; серпентин, вермикулит, сульфиды – 22. Ведущими компонентами являются медь и фосфор, попутно извлекаются магнетит, вермикулит (до 100 тыс. т в год), бадделейт (до 2 тыс. т), ураноторианит. Фоскориты образуют сплошное кольцо вокруг карбонатитов ядра и прослежены бурением на глубину 1 км.

Термин **фоскориты** можно расшифровать так: **фос** – фосфаты, **к** – карбонаты, **о** – оливин (серпентин), **р** – редкие металлы. А можно чуть иначе: **фо** – фосфаты, **с** – сульфиды, а далее по тексту. Для меланократовых аналогов кольских массивов он тоже вполне подходит.

7.5. Апатит-флогопит-диопсидовые породы

На Себлявре они являются основной разновидностью комплексных апатит-силикатных руд, располагаясь в пределах так называемой «Центральной зоны» площадью 2,5 кв. км. Образуют жилы мощностью от первых сантиметров до первых десятков метров, весьма однородные по составу и лишённые признаков метасоматической зональности, т. е. возникли, очевидно, при выполнении открытых трещин. Сближенные системы жил слагают рудные тела, линейные или серповидные. Существует несколько петрографических разновидностей этих пород, основными из которых являются:

Диопсид-магнетитовые с относительно небольшим количеством апатита, кальцита, флогопита. Мощность жил достигает 20–30 м. Внешне они напоминают рудные пироксениты, только пироксен представлен светлоокрашенным диопсидом, а слюда зелёная, а не бурая. Вместе с перовскитом присутствует и кальциртит.

Апатит-флогопит-диопсидовые крупнозернистые породы, резко преобладающие над остальными. Взаимоотношения с предыдущими разновидностями двоякие: либо диопсид-магнетитовые породы присутствуют в них в виде ксенолитов, либо наблюдаются постепенные переходы.

Апатит-флогопит-диопсидовые породы мелкозернистые, слагающие многочисленные мелкие жилы нескольких генераций, рвущие крупнозернистые руды.

В апатит-флогопит-диопсидовых породах (рудах) часто наблюдаются крупные (до 7–8 см) идиоморфные кристаллы-вкрапленники диопсида или такие же крупные, но измятые и поломанные кристаллы зелёного флогопита. Флогопит окаймлён тонкими оторочками тетроферрифлогопита, а диопсид обычно актинолитизирован. Отмечаются магнетит, кальцит, мелкая вкрапленность пирротина и халькопирита. Кальцит выделился самым последним, образуя плёнки вокруг апатита и развиваясь по контактам зёрен силикатов и магнетита. Типоморфным аксессуарным минералом является кальциртит¹, встречающийся в виде округлых зёрен размером 0,1–1 мм в кальците и апатите. В небольших количествах обнаруживаются шорломит и перовскит, а в актинолитизированных рудах – циркон и пирит.

¹ Формула его $Ca Zr_3 TiO_9$, содержание $TiO_2 - 16\%$, $ZrO_2 - 68\%$ (т. е. несколько больше, чем в цирконе). Минерал редкий, но на Себлявре обычен.

Таблица 13. Химический состав карбонатов и франколитовых пород Саллангаты

Компоненты	Флогопит-кальцитовые брекчи с обломками ийолитов	Полосчатые флогопит-кальцитовые с луешитом	Лейкокраговые флогопит-кальцитовые	Флогопит-франколитовая порода	Франколитовая порода	Лейкокраговые анкеритовые с обломками ийолитов	Доломит-анкеритовые с баритом			Анкерит-сидеритовые с баритом
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
SiO ₂	9,53	5,88	4,04	13,82	13,62	14,84	8,58	1,80	1,68	
TiO ₂	0,56	0,33	0,26	0,31	1,06	0,86	1,00	0,36	0,30	
Al ₂ O ₃	4,18	3,43	2,04	6,56	5,82	5,56	4,04	1,72	2,41	
Fe ₂ O ₃ Зобин.		16,38			14,99	17,64	27,40	25,62	34,33	
Fe ₂ O ₃	8,87		3,77	5,19						
FeO	7,90		3,60	6,48						
MnO	0,65	0,83	0,43	0,20	0,23	0,87	1,48	2,16	2,05	
CaO	27,12	31,03	41,11	27,62	29,86	17,69	14,18	14,01	11,44	
MgO	6,84	5,66	4,56	7,14	6,90	10,23	7,21	10,24	5,75	
K ₂ O	1,58	0,84	0,70	2,44	0,75	2,78	1,16	0,08	0,10	
Na ₂ O	0,47	0,32	0,22	0,92	0,72	0,81	0,34	0,18	0,22	
SO _{Зарач.}	0,97	0,88	0,43	0,46	0,07	1,15	3,43	4,66	5,06	
P ₂ O ₅	2,21	2,41	1,50	17,67	14,27	2,26	2,02	0,76	0,72	
BaO	1,76	1,60	0,79	0,83	0,13	2,09	6,24	8,48	9,20	
SrO	0,74	1,02	0,76	0,74	0,47		0,69		0,84	
TR ₃ O ₃	0,28	0,44	0,17	0,44	0,09	0,22	0,21	0,50	0,77	
Ta ₂ O ₅	0,002		0,002	0,001						
Nb ₂ O ₅	0,095	0,163	0,053	0,067	0,037		0,085	0,060	0,074	
CO ₂	23,29	27,83	34,14	5,94	8,36	19,53(п.п.п.)	20,57	26,22	26,00	
H ₂ O	0,48	0,21	0,35	0,51	0,37	0,37	0,46	0,23	0,14	
Сумма	97,53	99,25	98,93	97,34	97,75	96,90	99,10	97,08	101,08	
S _{сульф.}	1,16	1,57	0,77	0,30	0,27	0,99	0,87	0,67	1,07	
F	0,25		0,19	0,44						
Th		0,05			0,001		0,01	0,02	0,03	
Fe _{общ.}						12,62	18,15	17,96	24,33	

1. Навески на анализы отбирались из дубликатов керновых проб типичных разновидностей.
2. SO₃ рачч.² связанный с баритом определен, исходя из реального состава барита (34% SO₃ и 62% BaO).
3. S_{сульф.} определена как разность между S_{общ.} и серой, связанной с баритом.
4. Содержания урана во всех пробах не превысили п×10⁻⁴%.
5. Анализы выполнены в ХТЛ Мурманской ГРЭ (1980, 1987 гг.).

Таблица 14. Химический состав основных разновидностей апатитовых руд Себлявра (вес%)

Компоненты	Апатит-флогопит-диопсидовые породы с кальцитом		Апатит-форстерит-магнетитовые руды с бадделейтом		Апатит-форстерит-магнетитовые руды с тантало-ниобатами	
	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	20,14	21,04	17,54	19,36	6,45	5,70
TiO ₂	2,04	2,32	2,20	3,20	1,23	0,94
Al ₂ O ₃	3,96	4,54	2,24	1,18	0,46	0,50
Fe ₂ O ₃	11,12	14,61	23,89	17,89	30,30	26,16
FeO	9,72	9,72	12,15	12,06	19,02	13,25
MnO	0,32	0,35	0,31	0,78	0,51	0,42
CaO	23,00	17,60	11,84	12,73	14,37	20,38
MgO	9,62	11,20	13,80	20,20	8,03	8,10
K ₂ O	2,20	3,00	1,85	0,81	0,80	0,82
Na ₂ O	0,78	1,05	0,59	0,27	0,33	0,37
P ₂ O ₅	9,61	9,92	5,41	4,83	4,37	7,71
Ta ₂ O ₅	0,002	0,003	0,007	0,004	0,020	0,030
Nb ₂ O ₅	0,025	0,030	0,038	0,031	0,057	0,121
ZrO ₂	0,30	0,38	0,20	0,10	0,13	0,18
SrO	0,36	0,37		0,17	0,10	0,15
BaO	0,05	0,09		0,01		
Cu	0,13	0,10	0,015	0,017	0,022	0,028
Ni			0,006			
Co			0,007			
TR ₂ O ₃					0,09	0,15
U					0,016	0,026
Th					0,002	0,004
п.п.п.	6,80	4,05	6,14	6,16		
Сумма	100,18	100,37	98,30	99,80		
CO ₂	5,50	2,64	4,40	5,06	10,29	11,78
H ₂ O ⁻	0,18	0,25	0,47	0,40	0,26	0,26
H ₂ O ⁺					2,45	1,54
Сумма					99,31	98,62
S _{общ.}	1,09	1,06	0,48	0,21	1,39	1,95
F			0,47		0,32	0,48

Примечания:

Пробы 1, 2, 4 состоят из нескольких штучков типичных разновидностей, отобранных из керна свк. 366 и 383.

Проба 3 взята из скв. 115 (инт.50.1–52.1 м). Отчёт Ю.А. Подкопаева и др. (1980 г).

Анализы выполнены в ХТЛ Мурманской ГРЭ (1977, 1982 г.г.).

Проба 5. Скв. 339, инт. 137–170 м.

Проба 6. Скв. 339, инт. 180–200 м.

Анализы Геол. Института КФАН; а Ta, Nb, Zr, U, Th – ХТЛ Мурманской ГРЭ (1983 г.)

Иногда встречаются брекчиевидные руды с обломками пироксенитов и оливинитов размером до 15 см. Средние содержания основных компонентов в «чистых разновидностях» апатит-флогопит-

диопсидовых пород (т. е. без поздних карбонатных жилков и блоков изменённых пироксенитов) по данным 60 рядовых проб составляют (%):

Fe _{общ.}	– 13,9	} 45%
Fe _{магн.}	– 7,2 (или 11% магнетита)	
P ₂ O ₅	– 7,72 (или 19% апатита)	
CO ₂	– 6,66 (или 15% карбонатов)	
S _{общ.}	– 1,09	

Вторая половина породы сложена флогопитом и пироксеном, а 3–3,5% представлены сульфидами и аксессуарными минералами. Полные химанализы приведены в табл. 14. В ней же даны анализы из мелких штоков апатит-магнетитовых руд.

Крайне редко и в очень ограниченном количестве апатит-флогопит-диопсидовые породы отмечаются на Тухта-варе (Вуориярви), причём только на контакте кальцитовых карбонатитов (с дизаналитом), либо с пироксенитами, либо с дайками порфиридных перидотитов. Выделяются они лишь на колонках скважин, а на геологических разрезах не показаны из-за малых масштабов развития. Помимо апатита, флогопита и диопсида в них обнаруживаются магнетит, форстерит, шорломит.

Таким образом, парагенетические ассоциации форстерит-кальцитовых карбонатитов с дизаналитом и апатит-флогопит-диопсидовых пород совершенно одинаковы. Разница лишь в количественном минеральном составе. Это позволяет говорить о тесной генетической связи обеих разновидностей (учитывая сопряжённость их во времени образования) и считать апатит-флогопит-диопсидовые породы меланократовыми аналогами ранних форстерит-кальцитовых карбонатитов.

В этом же разделе следует упомянуть о более поздних апатит-флогопитовых породах, которые, скорее всего, связаны с форстерит-кальцитовыми карбонатитами (с бадделеитом). Они выявлены, в частности, на юге Ковдорского массива среди фенитов, ийолитов и эгирин-биотит-кальцитовых карбонатитов, где образуют зоны с расплывчатыми очертаниями. Содержания P₂O₅ в отдельных пробах могут достигать 16–25%, но крупных зон, представляющих промышленный интерес, не выявлено. Незначительные участки подобных же пород, часто обогащённых не только апатитом, но и магнетитом, встречаются в скважинах на участке Неске-вара (Вуориярви).

7.6. Оливин-флогопит-диопсидовые породы «флогопитового комплекса»

Глубокая метасоматическая переработка силикатных пород, сопряжённая во времени с формированием апатит-магнетитовых руд и сопровождавшаяся интенсивной перекристаллизацией с появлением гигантозернистых флогопит-оливиновых и флогопит-диопсидовых пород, известна только на Ковдоре. Породы так называемого «флогопитового комплекса» образуют полукольцевую зону в северной половине массива длиной около 6 км при ширине 0,2–1,2 км. Флогопитоносные метасоматиты возникли на месте оливинитов, слюдяно-пироксеновых, мелилитовых и гранат-амфибол-монтчеллитовых пород, реликты которых в этих метасоматитах отмечены многократно. Все разновидности метасоматитов, включая продуктивные на флогопит гигантозернистые породы, рвутся дайками нефелиновых сиенитов (как и наиболее ранние разновидности магнетитовых руд). Более 95% площади полукольцевой зоны сложено оливин-флогопит-диопсидовыми и флогопит-диопсидовыми породами, преимущественно среднезернистыми, а в осевых частях зоны переходящими в гигантозернистые. В последних никаких реликтов исходных пород уже не отмечается. К северо-западной части зоны приурочена так называемая «Главная флогопитовая залежь», где сосредоточены практически все промышленные запасы флогопита.

Оливин в этих породах не реликтовый, а новообразованный (как и форстерит в магнетитовых рудах). С флогопитом он образует устойчивую ассоциацию, в то время как диопсид часто замещается оливином. В штуфах светло-серый, часто полупрозрачный. Диопсид желтовато-зелёный и окрашен заметно светлее, нежели пироксены метасоматитов магматической стадии. Слюда всегда зелёная (а не бурая, как в ранних слюдяно-пироксеновых породах). Благодаря перечисленным особенностям, эти породы невозможно спутать ни с пироксенизированными оливинитами, ни со слюдяно-пироксеновыми ранними метасоматитами. Второстепенными и аксессуарными минералами являются кальцит, апатит, магнетит, бадделеит, ильменит, шпинель, халькопирит.

Ядро Главной залежи состоит из мономинеральных оливиновых пород, которые здесь играют роль кварцевого ядра обычных мусковитовых пегматитов. На отдельных участках во внутренних частях залежи (в том числе и в оливиновом ядре) проявились процессы интенсивной апатитизации с образованием радиально-лучистых и веерообразных апатитовых агрегатов размером до 2–3 м в поперечнике, обычно заметно радиоактивных из-за тончайшей вкрапленности ториянита. Формирование месторождения завершилось кальцитизацией силикатных пород, сопровождавшейся появлением огранённых кристаллов оливина и тетраферрифлогопита.

На поверхность гигантозернистые породы не выходят, т. е. Главная флогопитовая залежь является «слепой». В целом она погружается по направлению к периферии массива под углами 40–80%. Сильно апатитизированные породы имеют ограниченное распространение, слагая лишь внутреннюю часть («желток») залежи размером примерно 150×60×30 м, в то время как гигантозернистые флогопитоносные породы прослежены единичными скважинами до глубины 800 м.

В очень ограниченном количестве среди флогопит-диопсидовых пород встречены флогопит-диопсид-монтчеллитовые и диопсид-амфиболовые разновидности. Висячем боку Главной флогопитовой залежи нередко обнаруживаются флогопитизированные и диопсидизированные оливиниты.

7.7. Кальцит-апатит-форстерит-магнетитовые руды

По набору минералов они являются полными аналогами форстерит-кальцитовых карбонатов с бадделеитом. В разделе 7.2 уже упоминалось, что подобные руды слагают крупную залежь на Ковдоре и в значительно меньших масштабах обнаружены на Vuoriajvi, Sebjärvre и Центральном массиве Турьего п-ова.

Апатит-форстерит-магнетитовые руды являются основной разновидностью на *Ковдорском месторождении*. Существует несколько генераций этих руд, о чём свидетельствуют взаимопересечения рудных жил практически одинакового состава. «Чистые разновидности» этих руд состоят на 40–50% из магнетита и на 15–25% из апатита. Помимо форстерита, всегда есть примеси зелёного флогопита и кальцита. Акцессорными минералами являются пирротин, халькопирит и бадделеит. Текстуры руд пятнисто-полосчатые, часто брекчиевидные, с обломочным магнетитом. В брекчиевидных рудах нередки ксенолиты оливинитов, пироксенитов, ийолитов, *ранних форстерит-магнетитовых руд*. Объяснить появление апатит-форстерит-магнетитовых руд можно только гравитационной дифференциацией, т. е. осаждением тяжёлых минералов на дно карбонатитовой камеры. Брекчиевидные текстуры говорят о том, что формирование рудных залежей не обошлось и без участия взрывных явлений, при этом внедрявшаяся рудная масса в значительной степени уже была раскристаллизована, а карбонатитовая жидкость играла лишь роль «смазки». Экспериментальные данные показали, что искусственные карбонатитовые магмы в отличие от силикатных расплавов обладают очень низкой вязкостью, весьма подвижны, текучи и осаждение кристаллов в них происходит очень быстро (А.В. Лапин, 1978). Прямыми экспериментами доказано, что наличие в карбонатитовой жидкости лишь нескольких процентов P_2O_5 приводит к появлению в первую очередь кристаллов апатита, которые тут же оседают на дно камеры.

Упомянутые форстерит-магнетитовые руды, являющиеся древнейшей разновидностью магнетитовых руд карбонатитового этапа, всегда присутствуют в рудных залежах, но никогда не являются преобладающими. Во всех случаях это пегматоидные массивные однородные породы с соотношением форстерита и магнетита примерно 1:1. Содержания второстепенных минералов (кальцита, апатита, флогопита) очень невелики, а по количеству бадделеита они не отличаются от остальных разновидностей. Кстати, содержание бадделеита в рудах в среднем на порядок выше, нежели в форстерит-кальцитовых карбонатитах (т. е. около 0,2%). Пегматоидные текстуры форстерит-магнетитовых руд возникли уже позже при последующей перекристаллизации.

На южных флангах Ковдорского месторождения в небольших количествах известны диопсид-магнетитовые руды. По облику они очень похожи на предыдущие, только вместо форстерита присутствует диопсид.

Во внутренних частях Ковдорского месторождения залегают кальцит-апатит-форстерит-магнетитовые руды с крупными огранёнными кристаллами магнетита, зелёного флогопита, апатитовыми «солнцами». Возникли они при кальцитизации и перекристаллизации апатит-форстерит-

магнетитовых руд. Процесс сопровождался переносом и переотложением магнетита на флангах месторождения, где образовались многочисленные ветвистые зональные рудные жилки кальцито-магнетитового состава. Некоторых исследователей эти жилки навели на мысль о метасоматическом происхождении всего Ковдорского железорудного месторождения. Набор минералов в перекристаллизованных рудах остался в точности таким же, как и в исходных, однако магнетит отличается значительно большим количеством примесей (главным образом, магния и алюминия, связанных с микровостками шпинели). В итоге содержание $Fe_{\text{общ.}}$ в этом магнетите может падать до 60% (против 64–66% в апатит-форстерит-магнетитовых рудах). За счёт переноса и переотложения магнетита данные руды характеризуются большим разбросом по содержанию Fe.

На массиве Вуориярви (Тухта-вара) магнетитовые руды сосредоточены в центре рудно-карбонатной залежи. В момент образования руды слагали единый изометрический шток, впоследствии расчленённый карбонатитовыми жилами на серию блоков. Непосредственные контакты руд с силикатными вмещающими породами весьма редки, т. к. почти все они сорваны при внедрении карбонатитов. Однако кое-где они всё-таки уцелели. Контакты резкие и прямолинейные. Приконтактные изменения крайне незначительны и выражаются в появлении тонких кальцит-актинолитовых каёмок по пироксенитам. Изредка добавляется ещё одна тонкая зона, примыкающая к руде и состоящая из мелкозернистого форстерита с вкрапленностью магнетита. По минеральному составу и текстурно-структурным особенностям руды Тухта-вары в целом аналогичны ковдорским. Так, здесь известны форстерит-магнетитовые крупнозернистые разновидности (массивные, с соотношением форстерита и магнетита примерно 1:1), апатит-форстерит-магнетитовые с брекчиевидными текстурами, кальцит-форстерит-магнетитовые (перекристаллизованные), но все перечисленные типы играют подчинённую роль. Определяющим же типом являются кальцит-apatит-форстерит-магнетитовые руды, средне-крупнозернистые, массивные или такситовые, иногда с узорчатой текстурой, со следами слабой перекристаллизации магнетита и форстерита около кальцитовых гнёзд. Второстепенные и аксессуарные минералы представлены зелёным флогопитом (с тонкими каёмками тетраферрифлогопита), диопсидом, пирротинном, халькопиритом, бадделеитом.

Мелкие рудные штоки *Себлявурского массива* также сложены аналогичными рудами (пегматоидными форстерит-магнетитовыми, брекчиевидными апатит-форстерит-магнетитовыми). Значительная часть их переработана в поздние стадии карбонатитового этапа и содержит примеси тантало-ниобатов (о чём подробнее будет сказано в следующем разделе). Средние содержания основных компонентов в апатит-форстерит-магнетитовых рудах (вес.%)¹.

$Fe_{\text{общ.}}$	– 24,7	}	70%
$Fe_{\text{магн.}}$	– 18,3 (или 28% магнетита)		
P_2O_5	– 4,36 (или 11% апатита)		
CO_2	– 13,83 (или 31% кальцита)		
$S_{\text{общ.}}$	– 1,84		
ZrO_2	– около 0,2		

Остальная часть приходится в основном на форстерит.

Небольшие линзовидные (в плане) тела магнетитовых руд известны и на *Центральном массиве Турьего п-ова*, где они располагаются по периферии карбонатитового ядра или рядом с ним во вмещающих ийолитах и пироксенитах. Как и на других массивах, здесь выявлены все перечисленные выше петрографические типы руд, но преобладают кальцит-диопсид-магнетитовые с апатитом и бадделеитом. На Центральном массиве надёжно установлено, что рудные жилы моложе эгирин-биотит-кальцитовых карбонатитов (на других массивах эти породы разобщены пространственно). Контакты жил резкие либо неотчётливые. Помимо бадделеита, в этих рудах встречается пирротин и (что необычно) кальциртит.

На всех массивах магнетитовые руды данной группы прорываются жилами форстерит-кальцитовых карбонатитов (как с дизаналитом, так и с бадделеитом) и, естественно, всеми разновидностями поздних карбонатитов.

При анализе «Унифицированной схемы» (табл. 18) у геологов может возникнуть впечатление в излишней громоздкости предложенного варианта, где в *III стадию под разными буквенными индексами значатся руды с одинаковыми минеральными парагенезисами*: форстерит, магнетит, зелёный

¹ По данным анализов 60 рядовых керновых проб «чистых разновидностей».

флогопит, кальцит, апатит, бадделеит, да к тому же в одном случае и с гатчеттолитом (Тухта-вара). Мало того, точно таким же парагенезисом обладают и форстерит-кальцитовые карбонатиты V стадии. Причин тому три:

1. Длительность процесса формирования именно данного комплекса. Ранние форстерит-магнетитовые руды Ковдора древнее даек нефелиновых сиенитов (как и метасоматиты «флогопитового комплекса»).

2. Появление на Vuориярви кальцитовых карбонатитов с дизаналитом, рвущих *все разновидности* магнетитовых руд с бадделеитом.

3. Различия в последовательности формирования карбонатитовых комплексов Ковдора и Vuориярви, хотя в целом по набору пород (руд) оба массива удивительно похожи, а эталонные коллекции типичных разновидностей будут выглядеть практически одинаковыми.

На Ковдоре упрощённая картина такова (от древних к молодым):

- форстерит-магнетитовые руды и последующая их перекристаллизация в относительно спокойной обстановке;

- апатит-форстерит-магнетитовые руды, часто это брекчии взрывного типа;

- интенсивная кальцитизация руд, образование пегматоидных разновидностей с крупными октаэдрами магнетита; перенос и переотложение Fe на периферию залежи («маложелезистые руды»);

- внедрение кальцитовых карбонатитов с бадделеитом: многочисленные секущие жилы внутри рудного штока и крупные тела на юго-западном обрамлении;

- редкометальная стадия карбонатизации (с тантало-ниобатами).

На Vuориярви (Тухта-вара) было чуть иначе:

- кальцит-apatит-форстерит-магнетитовые руды с незначительной автометасоматической переработкой (появился гатчеттолит), однородные в пределах всего рудного штока как по облику, так и по химическому составу магнетита;

- кальцитовые карбонатиты с дизаналитом;

- кальцитовые карбонатиты с бадделеитом, неотличимые от ковдорских;

- редкометальная стадия, аналогичная ковдорской.

По каждой отдельной цепочке всё вроде бы понятно, а при совмещении в единую схему – не очень...

7.8. Редкометальные разновидности апатит-магнетитовых руд

На любом массиве, где есть магнетитовые руды, всегда присутствуют и редкометальные (тантало-ниобиевые) их разновидности. По минеральному составу и пестроте петрографических типов редкометальный комплекс карбонатитового этапа, пожалуй, самый сложный из всех образований щёлочно-ультраосновной формации. Некоторым облегчением при работе с редкометальными карбонатитами и магнетитовыми рудами является повышенная радиоактивность, связанная с примесями урана и тория в тантало-ниобатах, что позволяет оперативно и надёжно отделить их от остальных образований карбонатитового этапа¹. При небольшой мощности четвертичных отложений зоны развития редкометальных образований карбонатитового этапа можно оконтуривать с помощью гамма-шпуровой съёмки.

Описание магнетитовых руд с тантало-ниобиевой минерализацией следует начать с *участка Тухта-вара (Vuориярви)*, где они слагают внутреннюю часть рудного штока и бурением прослежены от поверхности до глубины 900 м. По относительному возрасту они неотделимы от обычных кальцит-apatит-форстерит-магнетитовых руд (с бадделеитом). Обе разновидности рвутся мелкими дайками порфиroidных перидотитов и форстерит-кальцитовыми жилами IV и V стадий. Таким образом, формирование обоих типов магнетитовых руд на Тухта-варе произошло без заметного перерыва во времени. Именно этот факт не позволяет отнести редкометальные руды Тухта-вары к более поздним стадиям (об этом «исключении из правила» упомянуто в разделе 7.3). Ничем не отличаются

¹ Обычно гатчеттолитом называют уран-танталовый пироклор.

оба типа руд и по внешнему виду, переходы между ними на глаз не улавливаются. Однако редкометальные руды надёжно оконтуриваются радиометрическими методами, а по результатам опробования на тантал и ниобий видно, что взаимопереходы между двумя типами достаточно резкие. Перечисленные особенности подсказывают единственно возможный вариант их возникновения – в процессе автотермической, относительно слабой переработки первичных руд. Слюда в обоих типах зелёная с тонкими каёмками тетраферрифлогопита. Магнетит по химсоставу практически одинаков и весьма стабилен. В итоге появился лишь один гатчеттолит¹, который либо нарастает на бадделеит, бронируя его, либо образует мелкую сыпь в апатитовом агрегате². Спорадически встречаются циркелит и пирохлор. Не исключено, что возникли они уже позже и связаны с формированием тетраферрифлогопит-кальцитовых карбонатитов VI стадии, которые на Тухта-варе также имеются.

На *участке Неске-вара (Вуориярви)* среди пироксенитов и карбонатитов (в основном редкометальных) выявлено свыше двух десятков линейных и трубчатых тел магнетитовых руд длиной от 20 до 300 м, разбросанных на площади почти 3 кв. км. Часть из них выделена лишь по данным магнитной съёмки, но все наиболее крупные тела изучены бурением, а четыре рудных тела с богатым ниобиевым оруденением разведаны. Тантало-ниобиевая минерализация установлена практически во всех рудных телах, при этом только с магнетитовыми рудами связаны наиболее высокие содержания ниобия (*карбонатиты в среднем всегда беднее*). Объяснить этот факт пытались разными гипотезами, перечислять и анализировать которые нет смысла, тем более что каждая из них страдала своими дефектами. Не исключено самое элементарное объяснение: более высокие содержания редких металлов в магнетитовых рудах по сравнению с карбонатитами обусловлены наложением нескольких циклов (стадий) минералообразования. Первая генерация тантало-ниобатов (главным образом, гатчеттолита) возникла в процессе автотермической переработки рудных тел (как на Тухта-варе). Затем при интенсивном изменении этих руд в VI стадию карбонатитового этапа (в результате чего от первичной минеральной ассоциации сохранился лишь бадделеит, да и то не везде) появились новые генерации гатчеттолита, а также циркелит и пирохлор. Наконец, определённую роль сыграли поздние процессы кальцитизации и актинолитизации VII стадии, добавив последние генерации слабо радиоактивного пирохлора.

Минеральный состав руд: кальцит, доломит, магнетит, апатит, форстерит, тетраферрифлогопит, гумит, актинолит, пирротин, халькопирит, пирит, гатчеттолит, циркелит, пирохлор, бадделеит, циркон, ильменит, серпентин, хлорит. Преобладающий тип руд имеет апатит-форстерит-кальцит-магнетитовый состав (правда, форстерит всегда заметно изменён).

Гатчеттолит – ведущий минерал-концентратор тантала. Образует изометрические зёрна бурокрасного (в шлифах) цвета размером 0,01–0,5 мм. Изотропен. Распределён неравномерно, предпочитая скопления апатита. Ранние генерации гатчеттолита богаче танталом и ураном. Так, в «затравках» почти чёрного гатчеттолита, располагающихся в ядре зёрен пирохлора, содержания Ta_2O_5 достигают 13%, а урана–16%. Соотношение оксида тантала к урану в гатчеттолитах разных генераций выдерживается на уровне 1:1 (это касается всех редкометальных образований на любых массивах).

С *пирохлором* связана основная доля ниобия. Пирохлор образует изометрические кристаллы размером до 2–3 мм. На Неске-варе распространены многозональные пирохлоеры с тончайшим чередованием слоёв, окрашенных в тёмно-бурые, коричневые и светло-коричневые цвета с вышеупомянутыми «затравками» чёрного гатчеттолита в центре. В рудном теле IV (оно же № 32), представляющем собой трубку размером в плане 55×120 м, прослеженную бурением до глубины 400 м, встречаются кристаллы оранжево-красного пирохлора размером до 2 см. Надо сказать, что и руды в этой трубке необычны и представлены пегматоидными разновидностями апатит-кальцит-магнетитового состава с крупными октаэдрами магнетита. Они очень похожи на перекристаллизованные кальцит-магнетитовые руды Ковдорского месторождения, только вместо зелёного флогопита здесь присутствует тетраферрифлогопит.

¹ Приуроченность вкрапленности гатчеттолита к апатитовому агрегату характерна для редкометальных магнетитовых руд всех массивов.

² В литературе он известен и под другими названиями: «цирконолит», «ниобоцирконолит». Сильно упрощённая формула – $Ca ZrTi_2O_7$, но всегда есть заметные примеси ниобия и радиоактивных элементов.

От циркелита¹ в этих рудах больше вреда, нежели пользы. Во-первых, в этом минерале всего понемногу (тантала, ниобия, циркония), т. е. редкометальные концентраты могут быть только низкого качества. Во-вторых, минерал тонкоигольчатый, хрупкий и легко уходит в шламы, что сильно увеличивает потери полезных компонентов при обогащении. При преобладании циркелита над тантало-ниобатами редкометальные руды даже при неплохих содержаниях тантала и ниобия по существу непригодны для обогащения (к примеру, богатые руды I и II тел, где циркелита в 1,5 раза больше, чем пирохлора). По цвету похож на гатчеттолит, т. е. почти чёрный, изотропный; так же предпочитает концентрироваться в апатитовом агрегате, но кристаллы всегда удлинённые и мелкие (до 0,15 мм при толщине 0,01–0,02 мм). Во множестве встречаются коленчатые и крестообразные двойники, а также шаровидные сростки – «ежи» размером до 2 мм. Нарастает на пирохлор, но сам часто замещается поздними генерациями светлоокрашенного пирохлора вплоть до полных псевдоморфоз. В ощутимых количествах обнаруживается только в магнетитовых рудах, тогда как в карбонатах его на один-два порядка меньше, чем пирохлора. Причиной тому могут быть изначально высокие содержания бадделеита в рудах, т. е. дефицита циркония при образовании циркелита не было. Появляется только в VI стадию карбонатитового этапа. Исключение составляют опять же богатые руды IV тела, где нет ни циркелита, ни бадделеита.

Содержание сульфидов в редкометальных рудах заметно выше, нежели в обычных. В богатых телах Неске-вары количество серы составляет 1,5–2,5%, а в сульфидно-апатит-магнетитовых рудах III тела – до 6%. И только руды IV тела вновь выбились из общих правил: среднее содержание серы здесь всего 1,1%, т. е. столько же, сколько в обычных магнетитовых рудах Тухта-вары.

На Ковдоре редкометальные руды сосредоточены в самом центре железорудного месторождения (так называемая «Аномальная зона») и прослежены бурением на глубину более 1 км. Доля этих руд не превышает первых процентов от общих запасов апатит-магнетитовых руд по месторождению в целом (табл. 15). Возникли они однозначно в VI стадию и тесно перемежаются с тетраферрифлогопит-кальцитовыми карбонатами, которые составляют около 40% объёма редкометальных образований «Аномальной зоны». Редкометальные руды представлены гумит-апатит-кальцит-магнетитовыми разновидностями с тетраферрифлогопитом, местами с форстеритом. Наряду с унаследованными минералами, появились новые генерации форстерита, апатита, магнетита, сульфидов, карбонатов. Новообразованный магнетит отличается повышенным содержанием титана (в среднем 3% TiO₂) и в то же время относительно высоким содержанием Fe (в среднем 66,3%). Титанистым является и форстерит. Гумит возник на заключительных стадиях и избирательно развивается по форстериту. Из-за примесей гумита и тетраферрифлогопита магнетитовые руды заметно выделяются на фоне всех остальных руд рыжеватой-серой окраской и легко диагностируются даже без радиометра. Переходы к обычным разновидностям постепенные, расплывчатые. Акцессорные минералы представлены гатчеттолитом, циркелитом и бадделеитом. Циркелит преобладает, что сильно снижает качество руд по сравнению, к примеру, с Тухта-варой, хотя средние содержания тантала практически одинаковы.

На Себляеве выделены следующие петрографические типы руд с промышленными содержаниями тантала и ниобия:

- редкометальные магнетитовые руды;
- сульфидно-актинолитовые породы с эгирином;
- редкометальные кальцитовые карбонаты;
- изменённые пироксениты (их мало, изучены слабо).

Первые (преобладающий тип) представлены кальцит-апатит-тетраферрифлогопит-магнетитовыми разновидностями, очень похожими на аналогичные руды Ковдора и Неске-вары. Практически все они сосредоточены в пределах Центральной зоны. Генетически это переработанные в поздние стадии апатит-форстерит-магнетитовые руды с бадделеитом. Есть руды с гатчеттолитом, есть и с пирохлором, но они столь тесно перемежаются, что документируются как один тип. Циркелита в них очень мало (он тяготеет в основном к изменённым пироксенитам). Из других акцессорных минералов отмечены бадделеит, кальциртит, циркон, дизаналит, ильменит и, конечно, весь набор типичных сульфидов (пирротин, халькопирит, пирит).

¹ В литературе он известен и под другими названиями: «цирконолит», «ниобоцирконолит». Сильно упрощённая формула – Ca ZrTi₂O₇, но всегда есть заметные примеси ниобия и радиоактивных элементов.

Кроме того, на Себлявре встречаются оригинальные кальцит-тетраферрифлогопит-магнетитовые жилы вне связи со штоками руд ковдорского типа, и хотя их доля очень невелика, из-за своей необычности они заслуживают упоминания. Мощность жил до 8–11 м по стволу скважин. Контакты с вмещающими изменёнными пироксенитами и апатит-флогопит-диопсидовыми породами резкие. Жилы сложены среднезернистым апатит-тетраферрифлогопит-магнетитовым агрегатом с пятнами («пузырями») почти мономинерального белого кальцита размером 1–10 см в поперечнике. Кальцитовая «прокладка» наблюдается и в эндоконтактах жил. Внутри пятен нередко отмечаются дендриты пирротина, растущие веерами от краёв к центру. Аксессуарным является медово-жёлтый пирохлор (размер зёрен 0,2–1 мм) в виде густой сыпи в меланократовых участках жил и в тонкой зоне эндоконтакта. Бадделеит в этих жилах не замечен. Скорее всего, такие жилы формировались в открытых трещинах, причём рудно-карбонатный материал внедрялся в полужатвердевшем состоянии, а карбонатитовые жидкости, играющие роль «смазки», обусловили появление кальцитовых «пузырей». Нередко встречаются и чисто метасоматические рудные жилки, в которых тоже есть кальцит, но нет мономинеральных пятен. Если они рассекают рудные пироксениты, то в них появляется много пластинчатого ильменита, а внутри жилок наблюдаются реликты перовскита вместе с новообразованным пирохлором.

Таблица 15. Содержания основных компонентов в редкометальных минералах магнетитовых руд и карбонатов (вес. % ; усреднённые и округлённые данные)

№№ п.п.	Название участка	Минерал	Компоненты					
			Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	TiO ₂	ZrO ₂	U	ThO ₂
1.	«Аномальная зона» Ковдора	Гт	38	8,5	6	6	10	3
2.		Цт	23	1,6	17	31	2	2
3.	Тухта-вара	Гт	36	10	7	7	14	2
4.	Неске-вара (богатые руды)	Пх	58	0,5	6	–	–	3,5
5.		Цт	26	1	15	26	–	1–3
6.	Неске-вара (рядовые руды)	Пх	56	1	5	–	–	3
7.		Гт	40	8	7	–	9	1
8.		НПх	67	0,7	4	–	0,3 (0–1)	0,5 (0–0,9)
9.	Себлявр	Гт	39	11	8	3	12	1
10.		Пх	59	3	5	1	0,5	0,8
11.		Цт	12	2	26	32	1	3

Примечание: Гт – гатчеттолит, Пх – пирохлор, НПх – неактивный пирохлор, Цт - циркелит.

1. Среднее из 86 анализов. 2. Среднее из 44 анализов. 3. Гт из апатит-магнетитовых руд. Среднее из 6 анализов. 4, 5. Богатые тела I и II. Пх из богатых руд IV тела содержит 62% Nb₂O₅ и 5% ThO₂. 6, 7. Анализы монофракций из представительной технологической пробы № 13, в которой преобладает карбонатитовая составляющая. 8. Среднее из 9 микрозондовых определений. 9. Среднее из 7 анализов. 10. Среднее из 6 анализов. 11. Среднее из 12 анализов. Разброс по отдельным анализам очень большой (%): Nb₂O₅ 1–22; Ta₂O₅ 0–3; TiO₂ 19–37; ZrO₂ 24–37; U 0–4; ThO₂ 0,1–5,8.

Для сульфидно-актинолитовых пород (кроме Себлявра, пока нигде не встреченных) характерны неустойчивые минеральные парагенезисы. В осязательных количествах в них всегда есть тонкокоготчатый эгирин, очень похожий на актинолит (который, кстати, нередко по нему и развивается). Кроме того, для этих пород типичен зональный флогопит, причём внутренние части чешуек сложены тетраферрифлогопитом, а внешние – бурым флогопитом. Количество сульфидов достигает 10% и более. Многие жилки сложены по существу богатыми апатит-халькопирит-редкометальными рудами, вот только масштабы такого оруденения очень малы. Подобные образования возникали в зонах интенсивной милонитизации в пироксенитах и апатит-флогопит-диопсидовых породах. Наибольшее количество таких жил встречено в скважине 340. Максимальная мощность жил – первые метры. Текстуры сульфидно-актинолитовых пород сланцеватые, свилеватые. Как правило, они сильно радио-

активны; под бинокляром в них без труда обнаруживаются гатчеттолит и пирохлор, а также циркон (кристаллы до 1 см) и пластинки ильменита.

В ядре *Центрального массива Турьего п-ова* также известны изменённые актинолит-магнетитовые руды с красной слюдой, бадделеитом, гатчеттолитом, пирохлором, цирконом, сульфидами, но масштабы редкометальной минерализации здесь ничтожны.

7.9. Силикатные метасоматиты экзоконтактовых ореолов рудных залежей

Вмещающие породы в контакте со штоками магнетитовых руд изменены, как правило, незначительно (Тухта-вара, мелкие тела магнетитовых руд на Неске-варе). Но иногда в экзоконтакте возникают весьма мощные ореолы метасоматитов, что связано как с многостадийностью процесса формирования рудных штоков, так и (в большей степени) с явлениями перекристаллизации внутри них, приводящими к переносу и переотложению вещества на периферию рудных залежей. Почти сплошной оторочкой флогопит-апатит-форстеритового состава мощностью в плане 20–120 м окружена южная часть Ковдорского железорудного месторождения (так называемые «маложелезистые руды»). Минеральный состав ореола метасоматитов неоднороден и непостоянен. Среди светло-серой апатит-форстеритовой массы часто наблюдаются участки мелкочешуйчатого зелёного слюдита. В любом месте можно встретить реликты изменённых вмещающих пород (пироксенитов, ийолитов). Кроме того, метасоматиты пронизаны множеством рудных жил, обычно зональных (с кальцитовым ядром), количество которых нарастает по направлению к рудному штоку, а также жилами кальцитовых и доломитовых карбонатитов. Минеральный состав: флогопит, форстерит, апатит, кальцит, мелковкрапленный магнетит (в рудных жилах, естественно, более крупный). Аксессуарные минералы представлены пирротином халькопиритом, бадделеитом, которого здесь значительно меньше, нежели в рудах. В слюдитовых участках он вообще не встречается. Отмечаются гумит, доломит, серпентин, хлорит.

Ореол метасоматитов кальцит-гумит-тетраферрифлогопитового состава мощностью 8–24 м окружает IV тело богатых руд на Вуориярви (кстати, здесь, как и на Ковдоре, много перекристаллизованных кальцит-магнетитовых руд). Текстуры их тонкополосчатые («рябые»), обусловленные чередованием слюдитовых зон и кальцитовых полос-прожилок. В отличие от Ковдора, в этих породах повсеместно отмечается мелкая вкрапленность гатчеттолита, так что часть их является рядовыми танталовыми рудами (а вся залежь сложена богатыми ниобиевыми рудами). На Неске-варе при метасоматической переработке силикатных пород появляются небольшие по масштабам зоны тетраферрифлогопитовых слюдитов. В одной из них (скв. 443, инт. 122,6–129,0 м) зафиксирована максимальная для щёлочно-ультраосновных массивов гамма-активность (4500 мкр/час), обусловленная густой вкрапленностью тантало-ниобатов.

7.10. Экзотические разновидности меланократовых пород карбонатитового этапа и мелкие жилы различного состава

На каждом массиве встречены оригинальные образования карбонатитового этапа, которые, как правило, на других массивах не наблюдаются, причём возникать они могут в любые стадии. Ниже приведён перечень подобных образований по каждому массиву с краткой характеристикой.

Себлявр

1. Изредка среди апатит-флогопит-диопсидовых пород II стадии встречаются ксенолиты форстерит-магнетитовых руд, крупнозернистых и пегматоидных, с зелёным флогопитом. Внешне они похожи с одной стороны на рудные оливиниты, с другой – на форстерит-магнетитовые руды с бадделеитом, но вместо него здесь обнаружены перовскит, шорломит и кальциртит. Таким образом, это древнейшие меланократовые образования карбонатитового этапа. Часто они сильно изменены: форстерит замещён хлоритом, серпентином или тонкозернистым актинолит-тетрафлогопитовым агрегатом, в то время как апатит-флогопит-диопсидовые породы совершенно свежие (т. е. в эти породы ксенолиты попали уже изменёнными).

2. Жилы пегматоидных флогопит-шорломит-магнетитовых пород. Мощность их обычно 15–40 см, очень редко до первых метров. Контакты резкие. Они прорывают пироксеновые и апатит-флогопит-диопсидовые породы. Магнетит с шорломитом слагают более половины объёма жил. Остальная масса представлена зелёным флогопитом с характерной для слюды щёлочно-ультраосновных массивов рисунчатостью. Размер кристаллов слюды нередко больше диаметра зерна. Всегда есть примазки белого кальцита, особенно в осевой части жил. При последующей кальцитизации шорломит интенсивно корродируется кальцитом и появляется сфен. В позднем кальците отмечаются игольчатые кристаллы бадделеита толщиной 0,01–0,02 мм. Встречаются также кальцитрит и циркон.

3. Сульфидно-актинолитовые жилы с эгирином и тантало-ниобатами, также относящиеся к экзотическим разновидностям, описаны в разделе 7.8, поскольку являются на Себлявре одним из типов редкометаллических руд.

4. Жилы пегматоидных кальцит-флогопит-сульфидных пород с магнетитом, эгирином, актинолитом, ильменитом, являющиеся фациальной разновидностью предыдущих образований, но с большим содержанием кальцита. Флогопит также бурый, нередко уже без следов зональности. Встречаются гатчеттолит с пирохлором, но в небольшом количестве. Эти жилы моложе предыдущих и прорывают все апатит-магнетитовые и апатит-силикатные разновидности, сами же рассекаются лишь жилами лейкократовых кальцитовых карбонатитов.

Ковдор

5. Рудные брекчии, образующие мелкие жилы в центре Ковдорского апатит-магнетитового месторождения. Из-за малых размеров они не показаны даже на самых крупномасштабных картах и разрезах. Не отражены они и в унифицированной схеме. По содержанию Fe, P₂O₅ и CO₂ он очень близки к рудам. Характерно обилие ксенолитов (до 50% объёма жилок) представленных:

- оливинитами, включая пироксенизированные;
- пироксенитами;
- ийолитами со сфеном или с шорломитом;
- апатит-флогопит-форстеритовыми породами;
- форстерит-магнетитовыми и апатит-форстерит-магнетитовыми рудами;
- форстерит-кальцитовыми карбонатитами;
- редкометаллическими рудами «Аномальной зоны».

6. В самом центре Ковдорского апатит-магнетитового месторождения встречены доломит-форстерит-магнетитовые руды, слагающие тело размером в плане 100×80 м в зоне контакта редкометаллических руд с обычными апатит-форстерит-магнетитовыми (в унифицированной схеме они отнесены к VIII стадии). Бурением эти руды прослежены до глубины 600 м. По форме тело представляет собой трубку неправильного сечения (рис. 25). Контакты с вмещающими породами резкие, секущие, часто тектонические. В экзоконтакте наблюдается ореол доломитизации мощностью 4–14 м. Очень редко в них отмечаются ксенолиты размером до 15 см в поперечнике, представленные оливинитами, магнетитовыми рудами, форстерит-кальцитовыми карбонатитами и даже рудными брекчиями, описанными в п. 5. Крайне необычной для этих руд является устойчивая ассоциация форстерита с доломитом (пока это единственный случай). Часто доломит слагает гнёзда, вокруг которых образуются октаэдри магнетита с очень ровными зеркальными гранями.

Вуориярви

7. К зонам повышенной трещиноватости, окружающим тела тантало-ниобиевых магнетитовых руд и карбонатитов участка Неске-вара приурочено множество мелких рудно-карбонатных жилок (так называемые «штокверковые зоны»). Среди них попадаются жилки своеобразного состава, к примеру:

- актинолит-магнетитовые с гатчеттолитом (вместо пирохлора);
- пирохлор-apatит-магнетитовые;
- сульфидно-apatитовые с любым сочетанием редкометаллических минералов, в том числе с циркелитом;
- тетраферрифлогопит-кальцит-ильменитовые с пирохлором.

Неоднократно в таких жилках фиксировались «аномальные парагенезисы» (например, пироклор с зелёным флогопитом). Часто гатчеттолит приурочен в осевым частям жилок, ассоциируя с зелёной слюдой, тогда как пироклор тяготеет к тонким приконтактовым зонам мелкочешуйчатого тетрафлогопитового слюдита.

Салланлатва

8. К экзотическим разновидностям здесь безусловно относятся эксплозивные брекчии, вскрытые в скв. №№ 36 (рис. 45), 50 (рис. 46), 53, 55, 62. В смежных скважинах они нигде не попадались, т. е. перекрытых геологических разрезов нет и морфология тел не установлена. Есть две разновидности брекчий:

- а) с кальцитовым цементом (плюс магнетит и бурый флогопит);
- б) с хлорит-анкеритовым цементом.

По содержанию углекислоты брекчии отвечают карбонатитам. Среди обломков отмечены пироксениты, ийолиты, кальцитовые карбонатиты, флогопит-франколитовые породы, анкеритовые и сидеритовые карбонатиты. Последние обнаружены только в брекчиях с хлорит-анкеритовым цементом и это может означать, что есть две фазы подобных образований. Поскольку данный момент требует дополнительных доказательств, в унифицированной схеме брекчии отнесены пока что к одной фазе (они показаны самыми последними перед гипергенным этапом). В хлорит-анкеритовом цементе встречены сидерит, барит, магнетит, пирит, франколит, анкилит и даже пироклор (содержания ниобия иногда достигают кондиционных), но луешит ни разу не попался. Из-за больших количеств железистых карбонатов содержание Fe может подниматься выше 20% (табл. 16). Обломки всегда угловатые, а количество их составляет 15–60%.

Из эксплозивных брекчий было отобрано 11 проб весом 27–65 кг на термохимическое растворение (ТХР) с целью поисков алмазов. Анализы выполнены в ОМЭ СЗПГО (1987 г.). В остатках ТХР встречены труднорастворимый пироклор, корунд, циркон. Во всех пробах обнаружен муассанит (карборунд) в количестве от единичных знаков до десятков зёрен, бесцветный, голубой, светло-зелёный, тёмно-синий. В пробе из скв. № 53 обнаружен кристалл алмаза в виде пластинки размером 0,09–0,1 мм. В повторной пробе из этой же скважины весом 163 кг подтвердить находку не удалось (вновь отмечен только муассанит).

Таблица 16. Химический состав эксплозивных брекчий Салланлатвы (вес. %) из скв. 50, интервал 175,0–191,8; №№ рядовых керновых проб 708–710:

SiO ₂	2,40	Na ₂ O	0,22	п.п.п.	26,12
TiO ₂	0,15	SO ₃ расч.	4,57	Сумма 101,04	
Al ₂ O ₃	2,25	S _{сульф.}	1,35	–O=S _{сульф.} – 0,67	
Fe ₂ O ₃ общ.	22,47	P ₂ O ₅	1,60	Сумма 100,37	
MnO	1,63	BaO	8,31	H ₂ O ⁻	0,22
CaO	18,59	SrO	1,54	CO ₂	26,22
MgO	8,83	TR ₃ O ₃	0,75	Fe _{общ.}	15,90
K ₂ O	0,12	Nb ₂ O ₅	0,142	Th	0,02

Анализ выполнен в ХТЛ Мурманской ГРЭ в 1987 г (см. пояснения к табл. 13).

8. ДАЙКОВЫЙ КОМПЛЕКС И МАЛЫЕ ИНТРУЗИИ ЩЕЛОЧНЫХ ПОРОД

Дайки различного состава появлялись почти на всём протяжении формирования щёлочно-ультраосновных массивов от начальных фаз магматической деятельности до последних стадий карбонатитового этапа. Из-за малых масштабов они за редким исключением не выделяются на геологических картах и разрезах (а только на колонках скважин). В то же время дайки оказывают неоценимую помощь в расшифровке истории формирования массивов, особенно в определении относительного возраста различных пород (в том числе разобобщённых пространственно), являясь чёткими

временными реперами (своего рода «маркирующими горизонтами»). В унифицированной схеме выделено 10 возрастных разновидностей даек. В действительности их больше, поскольку на некоторых массивах возможно более дробное расчленение внутри 10 основных типов, но эти детали существенной роли не играют.

1. Перечень основных разновидностей даек (от древних к молодым):
2. Мелкозернистые рудные пироксениты.
3. Щелочные рудные пегматиты.
4. Безрудные щелочные пегматиты.
5. Мелкозернистые ийолиты и турьяиты.
6. Ийолит-пегматиты и уртиты.
7. Гранатовые ийолиты и слюдяно-гранатовые породы.
8. Нефелиновые сиениты, ювиты, полевошпатовые ийолиты.
9. Порфирировидные перидотиты.
10. Кимберлитоподобные пикритовые порфириты.
11. Нефелиниты, оливиновые меланефелиниты.

Дайки, отмеченные в п. 1, 4, 5 сопровождают интрузии II и III^a основных фаз магматической деятельности и уже упоминались в главах 3 и 4. Помимо даек, указанных в п. п. 2, 6, 7, 9, 10, на некоторых массивах встречены и малые интрузии соответствующего состава. Случаев таких немного. На Африканде это тела рудных щелочных пегматитов, на Ковдоре и Вуориярви – нефелиновых сиенитов, на Турьем п-ове – малые интрузии гранатовых ийолитов (п. 6) и оливиновых мельтейгит-порфиров (п. 10), на участке Неске-вара (Вуориярви) и Центральной зоне Себляввра – единичные мелкие тела кимберлитоподобных пород. Все перечисленные случаи отражены на прилагаемых геологических картах разного масштаба. Коротко о малых интрузиях упомянуто в данном же разделе (вместе с соответствующими дайками).

Мелкозернистые рудные пироксениты

Генетически связаны с интрузиями рудных пироксенитов. Широко распространены внутри интрузии пироксенитов Западного участка массива Вуориярви, а за пределами интрузии их количество резко уменьшается. В каждой скважине их насчитывается по 60–100 штук, т. е. по одной дайке на 3–5 м керна. Около 65% даек не превышает мощности 20 см; 31% даек имеет мощность от 0,2 до 1,0 м и лишь 4% – свыше 1 м по стволу скважины (до 4 м). Суммарная мощность даек составляет 7% всего пробуренного метража по рудным пироксенитам. Углы контактов с осью керна самые разнообразные, но преобладают средние величины: 30–45° (45% даек); 45–60° (21%); 60–75° (20%). Похоже, что дайки контролируются несколькими системами диагональных трещин. Подтвердить это можно только в горных выработках, но и канавами вскрылась, к сожалению, лишь дресва (т. е. кора выветривания), в которой дайки не отличаются от пород интрузии.

Дайки рудных пироксенитов прорывают все разновидности пород интрузии: нормальные рудные пироксениты, перекристаллизованные их разновидности и перовскит-титаномагнетитовые шпиры. Состав даек непостоянен: есть пироксениты с небольшим количеством рудных минералов, есть и рудные пироксениты, слюдяно-пироксеновые породы, иногда в них встречается оливин. Все они являются фаціальными разновидностями.

По облику это мелкозернистые и тонкозернистые породы, массивные или с неотчётливой полосчатостью. По структурным особенностям и вещественному составу они являются полными аналогами исходных рудных пироксенитов, отличаясь от них лишь размером зёрен. Главные минералы представлены пироксеном, магнетитом, перовскитом, флогопитом. Количество рудных минералов составляет 10–30%. Магнетита примерно в 2–2,5 раза больше, чем перовскита. Изредка в дайках наблюдаются шпировидные обособления (как и в исходных рудных пироксенитах), состоящие почти нацело из рудных минералов. Естественно, размеры их в дайках микроскопические. Флогопит возник на заключительных стадиях формирования даек, развиваясь между зёрнами пироксена, часто на стыке с магнетитом. Оливин (если он есть) образует вкрапленники размером до 2–4 мм, сильно серпентинизированные.

Как упоминалось выше, дайки прорывают перекристаллизованные пироксениты, но сами иногда тоже подвергаются перекристаллизации, которая начинается вдоль контактов даек. При этом они превращаются в среднезернистые пироксен-флогопитовые породы с перовскитом (магнетит исчезает). Перовскит укрупняется и приобретает огранку. Оливин неустойчив и в зонах перекристаллизации отсутствует. Таким образом, дайки возникли на заключительных этапах формирования интрузии рудных пироксенитов в период их перекристаллизации.

На Себлявре такие дайки встречены также только в пределах интрузии рудных пироксенитов. Сведений о них мало, поскольку изученность рудных пироксенитов Себлявра намного хуже, нежели Западного участка Вуориярви. Установлено только, что они прорывают пегматоидные слюдяно-пироксеновые породы с промышленным флогопитом, что позволило отнести эти породы к древнейшим образованиям щёлочно-ультраосновных массивов, с которыми могут быть связаны месторождения крупнопластинчатой слюды. Мощность даек 10–30 см. Минеральный состав в точности такой же, как на Вуориярви.

Встречаются упоминания о пироксенитовых дайках на Песочном массиве, где они прорывают оливин-пироксеновые породы («перидотиты»).

Щелочные рудные и безрудные пегматиты

Хотя они и помещены в унифицированную схему на правах полноправных членов, встречаются эти породы только в центральной части Африканды, где образуют тела протяжённостью до 240 м при ширине в плане до 50 м. Рудные разновидности щелочных пегматитов рассекаются безрудными. Рудные пегматиты представляют собой крупнокристаллические неравнозернистые породы, состоящие из магнетита и перовскита, сцементированных розовым и красным нефелином. Из второстепенных минералов присутствуют пироксен (длина кристаллов достигает 25 см), роговая обманка, флогопит, шорломит, апатит, сфен, кальцит. Набор аксессуарных минералов весьма своеобразен: дизаналит, ильменит, ортит, бадделеит, пирохлор, циркон, анатаз и др., но общее их количество (по А.А. Кухаренко, 1965) не превышает 0,1%. Судя по перечню, возникли они в разное время и часть из них наверняка не связана напрямую с этими пегматитами.

Так называемые «безрудные пегматиты» представлены шорломит-пироксен-нефелиновыми разновидностями, состоящими на 60–75% из нефелина (плюс 15–20% пироксена и 10–15% шорломита). Всегда отмечаются примеси перовскита, магнетита, апатита.

Обе разновидности пегматитов рвутся дайками ийолит-пегматитов, генетически связанными уже со щелочной интрузией III фазы.

Похожие образования очень редко попадают и на Западном участке Вуориярви в виде мелких даек мощностью до 0,5 м. Состоят они из нефелина, шорломита и магнетита. Известны только в пределах интрузии рудных пироксенитов. Дайки нефелин-шорломит-магнетитовых пород моложе даек рудных пироксенитов, но, в свою очередь, пересекаются дайками типичных мелкозернистых ийолитов. Магнетит с шорломитом в сумме слагают примерно половину объёма породы, количество нефелина – 40–50%. Второстепенные и аксессуарные минералы: пироксен, флогопит, перовскит, апатит, канкринит, кальцит, сфен, гидронефелин, цеолиты, андрадит.

Приуроченность описанных образований к интрузии рудных пироксенитов наводит на мысль о прямой связи рудно-щелочных даек с магматическими породами II фазы.

Мелкозернистые ийолиты

Встречаются на всех массивах без исключения, причём не только внутри них, но и во вмещающих породах. На одном из обнажённых участков северного контакта Ковдора установлено, что дайки ийолитов в фенитах контролируются двумя системами ортогональных трещин, пересекающихся под углом 90° и располагающихся под углом 45° к контакту ийолитовой интрузии с фенитами. Дайки ийолитов обнаружены в оливинитах, слюдяно-пироксеновых породах, среди крупнозернистых ийолитов и турьяитов III фазы, в мелилитовых и монтичеллитовых метасоматитах. В свою очередь, они замещаются ассоциацией скарноподобных минералов (т. е. эти дайки древнее «скарнов») и рвутся более поздними дайками нефелиновых сиенитов IV фазы. На Вуориярви наблюдались взаимопересечения совершенно одинаковых по составу даек. Здесь их особенно много в субширотной зоне разлома, рассекающей массив по длинной оси (по несколько десятков штук в скважинах глубиной

150–250 м). На этом массиве дайки ийолитов прорывают апатитизированные пироксеновые породы и гигантозернистые флогопитоносные метасоматиты участка Петяйян-вара.

Мощность даек мелкозернистых ийолитов колеблется от первых сантиметров до 3 м, редко больше. Минеральный состав в точности такой же, как и типичных ийолитов: пироксен, нефелин, шорломит, апатит, сфен, магнетит, пирротин, бурый флогопит, канкринит. Часто эти дайки из-за тёмной окраски документируются в поле как «мельтейгиты». Однако тёмный цвет обусловлен лишь мелкозернистым сложением их, а в шлифах устанавливаются обычные для ийолитов соотношения нефелина и пироксена, близкие 1:1. На Себлявре таких даек весьма много в нефелинизированных пироксеновых породах, а в пределах Центральной зоны они единичны. На Салланлатве они отмечаются внутри интрузии ийолитов и во вмещающих диабазах.

Турьяиты

Дайки турьяитов очень редки (на Ковдоре они вообще до сих пор не встречены). Мало того, в отличие от даек ийолитов, они, как правило, не выходят за пределы турьяитовой интрузии. В пироксеновых породах их ещё можно встретить, но в ийолитах и фенитах их буквально единицы. И всё же такие дайки зафиксированы на Турьем п-ове и Салмагоре. Случаи взаимопересечений ийолитовых и турьяитовых даек неизвестны.

Впервые они обнаружены на Турьем п-ове и названы «микротурьяитами», по составу не отличающимися от обычных турьяитов, но преобладают флогопитовые разновидности. Здесь же отмечены дайки оливинных турьяит-порфиров мощностью 30–60 см. Количество вкрапленников – 7–10% и представлены они мелилитом, изменённым нефелином, пироксеном, магнетитом, перовскитом, оливином, флогопитом. Основная тонкозернистая масса состоит из нефелина, пироксена и продуктов изменения мелилита. Кроме того, в основной массе встречены апатит, канкринит, гранат, хлорит, цеолиты, тонкая вкрапленность магнетита, перовскита, пирротина.

На Салмагоре в скважинах встречены дайки порфировидных микротурьяитов с вкрапленниками таблитчатого пироксена и округлого нефелина (т. е. состав вкрапленников отвечает ийолиту). Тонкозернистая основная масса состоит из мелилита, нефелина, пироксена, магнетита, перовскита, апатита, т. е. в точности отвечает составу крупнокристаллических магматических турьяитов. Внешне порода похожа на мелкозернистый ийолит.

Полной неожиданностью явились находки в 1973 году даек турьяитов на Западном участке массива Вуориярви, где, как известно, магматические турьяиты отсутствуют. Вскрыты они только в скважинах. Мощность даек – первые сантиметры, редко до 1,5–3,5 м. Самая крупная встречена в скв. 256 (10 м по стволу скважины, а наибольшее количество даек отмечено в скв. 258 (около полусотни)¹. Турьяиты крупнозернистые до пегматоидных (что тоже крайне странно), массивные. Мелилит обычно цеболлитизирован, хотя попадает и свежий. С ним ассоциируют нефелин, магнетит, перовскит, апатит.

Ийолит-пегматиты и уртиты

Образовались вслед за дайками мелкозернистых ийолитов без заметного перерыва во времени и внутри массивов часто встречаются в одних и тех же скважинах, при этом ийолит-пегматиты всегда моложе. За пределами массивов дайки ийолит-пегматитов не обнаружены. На Ковдоре эти дайки известны среди ийолитов, турьяитов, пироксеновых пород и оливинитов. В экзоконтакте даек, секущих оливиниты, всегда наблюдаются двухслойные оторочки из мелкочешуйчатого бурого флогопита (ближайшая к дайке оторочка) и пироксена. Эти оторочки в миниатюре наглядно демонстрируют появление зон слюдяно-пироксеновых метасоматитов магматической стадии на контакте оливинитов со щелочной магмой. Мощность даек незначительна (до первых метров). Контакты с вмещающими породами резкие и прямолинейные. Углы падения обычно 10–30°. Крупные таблитчатые кристаллы пироксена, достигающие в длину нескольких сантиметров, часто располагаются перпендикулярно контактам дайки. Акцессорные минералы: шорломит, магнетит, перовскит, апатит.

На Вуориярви дайки пегматоидных ийолит-уртитов локализованы, в основном, на участке Неске-вара. Мощность их может достигать нескольких десятков метров по стволу скважины.

¹ Номера обеих скважин вынесены на рис. 14.

Обычно это гидронефелиновые породы с мелкими кристаллами эгирина, небольшим количеством сфена, кальцита, апатита. Иногда они превращены в крупнозернистый апатит-флогопит-амфибол-диопсидовый агрегат с натролитом, магнетитом, канкринитом и тогда содержание P_2O_5 в таких изменённых дайках поднимается до 4–6%.

На Салланлатве дайки ийолит-пегматитов и уртитов располагаются вдоль неполнокольцевых трещин в ийолитах вблизи карбонатитового ядра. Протяжённость их достигает сотен метров при мощности 20–30 м. Нефелин в них розовый до красновато-коричневого, эгирин-диопсид образует таблитчатые, беспорядочно ориентированные кристаллы. Остальные минералы: магнетит, шорломит, бурый флогопит, кальцит, апатит, сфен. Содержание P_2O_5 обычно меньше, чем в исходных ийолитах (0,1–0,9%), но иногда в этих породах появляются радиально-лучистые «солнца» апатита и содержание фосфора на локальных участках может повыситься в несколько раз.

Гранатовые ийолиты и слюдяно-гранатовые породы

Небольшая интрузия порфирированных гранатовых ийолитов вскрыта скважинами №№ 82 и 85 в северной части Центрального массива (Турий п-ов), что дало повод к выделению в унифицированной схеме ещё одной субфазы (III⁶). Характерной чертой является обилие в молодых ийолитах мелких угловатых ксенолитов оливинитов (отороченных бурым слюдитом), пироксенитов, ранних ийолитов с магнетитом, скарнированных турьяитов. В свою очередь, ийолиты рвутся жилами кальцитовых карбонатитов различного состава. Минеральный состав: пироксен, нефелин, буро-красный гранат, волластонит, апатит. Вкрапленники представлены пироксеном, нефелином (с квадратными сечениями), гранатом (с шестиугольными сечениями).

На Турьем п-ове известны даже две генерации даек гранатовых ийолитов: а) лилово-серых микроийолитов и б) пятнистых среднезернистых ийолитов (более молодых). Все они мелкие. Прорывают любые разновидности крупнокристаллических ийолитов (в том числе порфирированные гранатовые), фениты, кальцит-мелилитовые, скарноподобные и апатит-эгириновые породы.

Близкие по составу дайки изредка встречаются на Vuoriaarvi. Они прорывают фениты, ийолиты, уртиты, рудные пироксениты. Состав их слюдяно-гранатовый с примесью роговой обманки, канкринита, кальцита. Гранат представлен бурым зональным андрадитом.

Нефелиновые сиениты, ювиты, полевошпатовые ийолиты

Выявлены на всех массивах. В северной половине Ковдорского массива они образуют многочисленные неполноконические и линейно вытянутые дайки, падающие преимущественно к центру его под углами 30–60°. Длина наиболее крупных дайковых тел превышает 2 км при мощности до 150 м. Только на Ковдоре отмечены случаи, когда эти дайки прорывают форстерит-магнетитовые руды железорудного месторождения (но в перекристаллизованных кальцит-apatит-форстерит-магнетитовых рудах их уже нет). Они пересекают также форстерит-магнетитовые жилы в оливинитах ядра (Центральная магнитная аномалия) и известны во всех разновидностях метасоматитов «флогопитового комплекса». В свою очередь, рвутся жилами форстерит-кальцитовых и поздних карбонатитов.

Это светло-серые мелкозернистые массивные породы, сложенные эгирином, калиевым полевым шпатом, нефелином, альбитом, флогопитом. Содержания нефелина и калиевого полевого шпата варьируют в широких пределах, откуда и множественность названий данной группы пород. Акцессорные минералы представлены сфеном, апатитом, магнетитом, сульфидами.

Дайки в оливинитах всегда отделены от них многослойными оторочками, суммарная мощность которых не превышает сантиметра при мощности даек несколько десятков сантиметров. Строение оторочек: (нефелиновый сиенит) → эгириновая зона (очень редко) → мелкочешуйчатый зелёный слюдит → красно-бурый слюдит → кайма зелёно-жёлтого пироксенового агрегата → внешняя зона из чёрного серпентина → (неизменённый оливинит).

На западном фланге Vuoriaarvi нефелиновые сиениты и сиениты слагают несколько тел, наиболее крупное из которых имеет протяжённость 1,5 км при максимальной ширине 0,5 км. Совместно с ийолитами нефелиновые сиениты образуют два обособленных массива-сателлита (так называемый «Колвикский массив»). Минеральный состав: калиевый полевой шпат, эгирин, нефелин, сфен, апатит. Есть и мелкие дайки, тяготеющие, в основном, к краевым частям массива.

На Себлявре эти дайки прорывают апатит-флогопит-диопсидовые породы. На Африканде отмечались мелкие дайки с вкрапленниками эгирин-авгита, а основная масса состоит из эгирин-диопсида, нефелина, канкринита, калиевого полевого шпата с примесью магнетита, сфена, апатита, бурого флогопита, кальцита. Здесь они рассекают дайки ийолит-пегматитов.

На Салланлатве дайки нефелиновых сиенитов встретились только в метадиабазе в скважине № 22. Здесь их много, самая крупная – 7 м по стволу скважины.

Необходимо отметить, что на многих массивах есть разновидности более молодых сиенитовых даек, сближенных во времени с предыдущими. Они всегда мелкие (обычно первые сантиметры) и весьма редкие, поэтому в унифицированной схеме не отражены. Сиениты крупнозернистые, светлоокрашенные, с натролитом и канкринитом.

Положение этой группы даек в унифицированной схеме нельзя считать окончательно зафиксированным. Для некоторых массивов (к примеру, Ковдор и Себлявр) оно достаточно обосновано. Но на Вуориярви в скв. 279 отмечено замещение дайковых нефелиновых сиенитов эгирин-кальцитовым агрегатом. В этом случае нефелиновые сиениты должны быть древнее и всех разновидностей магнетитовых руд, но как раз взаимоотношения даек и руд на Вуориярви в керне не попались. На Турьем п-ове редкие обломки нефелиновых сиенитов обнаружены в ранних эруптивных карбонатитовых брекчиях. Эти факты настораживают и требуют дополнительного геологического материала для обоснования относительного возраста нефелин-сиенитовых даек. Не исключено, что формировались они длительное время и первые генерации их могли возникнуть сразу вслед за дайковой фацией ийолитов.

Порфиroidные перидотиты («мончикиты»)

Относятся к группе редких даек и (за единичными исключениями) всегда мелкие. Одна из таких даек попала на геолразрез по профилю III месторождения Тухта-вара (скв. 152). Именно в пределах рудно-карбонатной залежи Тухта-вара они наиболее распространены. Единичные дайки встречены на участках Неске-вара и Западном. Они прорывают все разновидности магнетитовых руд, но сами рвутся карбонатитовыми жилами, начиная с форстерит-кальцитовых (взаимоотношения с эгирин-биотит-кальцитовыми карбонатитами I стадии не встречались). Вкрапленники представлены оливином, бурым флогопитом, магнетитом, размер их – 0,5–1,5 см. Часты ксенолиты пироксенитов, ийолитов, апатит-магнетитовых руд. Темно-серая основная масса имеет тонкозернистое сложение и состоит из пироксена, флогопита, кальцита, магнетита, перовскита, апатита.

Внешне они похожи на оливинсодержащие дайки рудных пироксенитов. Отличать их можно только под микроскопом, да и то не очень уверенно. Близки они и по химсоставу, по крайней мере, по содержанию основных петрогенных элементов. Различие намечается в количестве примесей. Так, в перидотитах Тухта-вары серы в 6–7 раз, а фосфора в 3–4 раза больше, нежели в дайках гипербазитов Западного участка. Вдвое больше в них и потерь при прокаливании, что связано с примесями карбонатов.

Несколько подобных же даек мощностью 10–15 см встречено около штоков апатит-магнетитовых руд на Себлявре. Минеральный состав их в точности такой же, как на Тухта-варе.

В литературе встречаются упоминания о «дайках перидотитов» на Озёрной вараке и Салмагоре, но нет уверенности, что сюда не попали дайки, сопряжённые со II фазой.

Кимберлитоподобные пикритовые порфириты

Обнаружены на Вуориярви, Себлявре, Салмагоре, Африканде и Озёрной вараке. Эти дайки возникли в конце карбонатитового этапа и рвутся лишь доломитовыми жилами. На Вуориярви они чаще всего встречаются среди рудно-карбонатных пород участков Тухта-вара и Неске-вара. Относительно крупное тело таких пород размером в плане 20×100 м вскрыто на участке Неске-вара скважинами 219 и 235 (рис. 35). Для этих даек характерно обилие вкрапленников и обломков, составляющих до 30–40% объёма породы. Во вкрапленниках присутствуют оливин (сильно серпентинизированный), магнетит, бурый флогопит, белый кальцит. Обломки представлены пироксенитами, ийолитами, магнетитовыми рудами, кальцитовыми карбонатитами. Размер вкрапленников – до 2 см, а обломков – до 10 см и более. Основная масса мелкозернистая, светло-серая. Состоит из кальцита, пироксена, флогопита, оливина, роговой обманки, актинолита, магнетита, перовскита, апатита. Ф.П. Семиля-

киным (1967) сделано множество химанализов этих пород. Все анализы близки между собой и по ведущим компонентам (кремнию, магнию, железу, алюминию, титану) действительно отвечают кимберлитам. Только сумма щелочей в них почти вдвое больше, нежели в типичных (по Семилякину) кимберлитах. Ни пиропы, ни хромдиоксида в них не обнаружено. В упомянутом выше теле на участке Неске-вара эти породы представлены среднезернистыми гранатовыми перидотитами, однако гранат является андрадитом (бурый, часто зональный, переходящий к краям в почти бесцветный гроссуляр).

В пределах Центральной зоны Себляврского массива выявлено около полусотни даек пикритовых порфиритов мощностью 0,4–9,2 м по стволу скважины. Есть и крупное тело на проф. 25, вскрытое скважинами № 302 в интервале 28–139 м и № 131 в интервале 228–259 м (рис. 19). В скважине 302 вскрыты брекчиевидные полнокристаллические породы тёмно-серого цвета с обломками магнетита, оливинитов, кальцит-флогопит-магнетитовых руд, кальцит-диопсидовых пород. Оливин, кроме того, присутствует и во вкрапленниках размером до 1 см наряду с кристаллами бурого и зелёного флогопита. Состав основной массы: пироксен, оливин, кальцит, гранат (по внешнему виду андрадит), магнетит, перовскит. В мелких дайках гранат не замечен, а основная масса – тонкозернистая слюдяно-карбонатная с актинолитом и рудной пылью. Глубокая вторичная переработка даек приводит к возникновению кальцит-тетраферрифлогопитовых пород с актинолитом и мелкокрапленным магнетитом, сохранивших лишь теньевые текстуры пикритовых порфиритов.

Дайки пикритовых порфиритов на остальных массивах по составу аналогичны. Крупных даек пока не встречено.

Нефелиниты, оливиновые меланефелиниты

Являются самыми молодыми магматическими образованиями щёльно-ультраосновных массивов. Встречены на Турьем п-ове и Ковдоре, локализованы в краевых частях массивов.

Сформировались в две подфазы. К первой принадлежат оливиновые мельтейгит-порфиры. На западном фланге Южного массива (Турий п-ов) известна небольшая интрузия этих пород размером в плане 200×400 м. Есть и дайки мощностью до 14 м по стволу скважин. Количество вкрапленников – до 50%. Представлены они оливином, пироксеном, нефелином, магнетитом, изредка роговой обманкой. Размер вкрапленников 2–15 мм. Округлые вкрапленники оливина всегда окружены оторочкой бурого слюдита. Основная масса: игольчатый пироксен, канкринит, натролит, мелкокрапленный магнетит, кальцит. Акцессорные минералы: апатит, сфен, пирротин, перовскит, шорломит.

Ко второй подфазе относятся нефелиниты и меланефелиниты, афировые и порфиоровые. Основная масса афанитовая зелёно-серого или коричневатого-серого цвета. Вкрапленники (если они есть) имеют формы, свойственные нефелину (с квадратными, прямоугольными, шестиугольными и овальными сечениями), но нефелин во вкрапленниках нигде не сохранился и замещён агрегатом из анальцима, натролита, кальцита. В основной массе отмечены пироксен, слюда, анальцим, натролит, канкринит, карбонаты, апатит, сфен, гранат, перовскит, магнетит.

На Ковдоре дайки этих пород обнаружены лишь на юге массива. Мощность их всегда невелика (от первых сантиметров до первых метров). Они рвут карбонатиты ранних стадий, включая форстерит-кальцитовые, а в более поздних не обнаружены. Различаются порфириформные нефелиниты (с вкрапленниками пироксена, бурого флогопита, оливина, нефелина) и тонкозернистые нефелиниты, лишённые вкрапленников (т. е. картина такая же, как на Турьем п-ове).

Химсостав пород дайкового комплекса см. в табл. 17.

9. КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ

Присутствуют на всех массивах.

На Ковдоре коры выветривания покрывают 2/3 площади массива. Мощность их колеблется от первых метров до 100–160 м. На щелочных породах краевых частей плутона их меньше всего. Максимальной мощности коры выветривания достигают на флогопитоносных метасоматитах и оливинитах ядра. Здесь они состоят из нескольких зон, различающихся степенью выветривания исходных пород:

- сунгулитовой зоны (самой верхней);
- вермикулитовой (с наиболее высококачественным вермикулитом);

Таблица 17. Химический состав пород дайкового комплекса, вес. %

Компоненты	Мелкозернистые рудные пироксениты		Ийолиты мелкозернистые			Турьянг-порфир	Ургиты		Порфировидные перидотиты	Кимберлитоподобные пикритовые порфириты		Нефилиниты
	1	2	3	4	5		6	7		8	9		10	11	12
SiO ₂	29,46	35,22	41,00	42,90	41,66	35,30	38,00	37,46	33,62	27,48	30,88	34,84
TiO ₂	10,36	5,32	1,50	0,91	0,85	3,02	0,15	1,01	3,68	3,26	2,28	2,00
Al ₂ O ₃	2,81	5,94	17,63	16,20	14,02	10,40	26,43	20,81	4,36	3,78	1,41	13,15
Fe ₂ O ₃	17,23	11,20	5,43	5,40	6,72	7,30	1,22	9,09	8,76	9,63	12,25	5,92
FeO	9,63	6,93	5,13	4,63	3,87	6,48	1,26	4,86	7,93	5,04	5,04	4,50
MnO	0,30	0,27	0,25	0,07	0,16	0,08	0,07	0,15	0,56	0,27	0,20	0,19
CaO	18,80	14,01	9,30	9,58	13,94	16,37	6,36	7,22	9,37	11,73	7,64	11,73
MgO	9,95	16,86	4,70	3,05	6,01	6,50	1,55	2,92	25,70	19,20	26,40	4,60
K ₂ O	0,28	1,80	2,60	2,70	2,30	2,50	0,74	3,55	1,70	2,34	1,42	2,60
Na ₂ O	0,48	0,62	9,80	11,60	7,22	7,00	11,30	11,20	0,46	2,74	0,55	7,55
SO ₃	0,06	0,12	1,49	0,13		0,29	0,31		0,80	0,27	0,44	0,53
P ₂ O ₅	0,09	0,12	0,59	1,08	2,58	0,74	0,25	1,08	0,46	0,50	0,16	0,63
п.п.п.	0,42	1,40	0,92	1,57	0,45	3,86	12,13	0,90	2,27	13,64	10,50	11,34
Сумма	99,87	99,81	100,34	99,82	99,78	99,84	99,77	100,25	99,67	99,88	99,17	99,58

Примечания: Все анализы выполнены в ХТЛ Мурманской ГРЭ.

1, 2, 3, 7, 9, 10 – Вуориярви; 4, 6, 12 – Турий п-ов; 5, 8 – Салланлатва; 11 – Себьявр

Ан. 11. Скв. 302, глуб. 136,6 м. Материалы Ю.А. Подкопаева, 1977 г.

Содержания остальных компонентов, %:

H₂O – 0,76; CO² – 4,40; F – 0,19; Ta₂O₅ менее 0,001; ZrO₂ менее 0,01; NiO – 0,152; CuO – 0,015; Cr₂O₃ – 0,16; V₂O₅ – 0,03.

- гидрофлогопитовой;
- зоной дезинтеграции, представленной дресвой и щебнем.

Оливиниты в самой верхней зоне превращены в иддингсит-гидрохлорит-сунгулитовые породы. На железорудном месторождении коры выветривания представлены штаффелит-магнетитовыми рудами (давно отработанными), а на крупных карбонатитовых телах юго-западного фланга массива – апатит-штаффелитовыми рудами.

На Vuориярви коры выветривания залегают почти на всей территории массива, кроме отдельных участков ийолитовой интрузии. Мощность кор на Тухта-варе составляет 3–5 м, на Неске-варе – 1–6 м, на Западном участке и флогопитовом месторождении Петяйян-вара – 4–18 м. Исходные породы превращены в землистые и дресвянистые массы или мелкую щебёнку, а слюда – в вермикулит или гидрофлогопит. На Неске-варе широко распространены сдвинутые (перемещённые) коры выветривания, перемешанные подчас с мореной. Нередко их очень трудно отличить от кор, сформировавшихся на месте, что сильно снижает достоверность геологической информации по горным выработкам и заставляет применять бурение на самых ранних стадиях поисков. Возникли они, очевидно, при перемещении подошвой ледника смёрзшихся, пропитанных льдом слоёв (пластин) дресвы, являвшихся «прокладкой» между ледником и невыветрелыми скальными породами. Оттаявшая впоследствии дресва сохранила все текстурно-структурные особенности коренных пород, включая мелкие жилки различных карбонатитов в пироксенитах. Однако под такими «коренными» породами можно обнаружить горизонты песчано-глинистых отложений и самых обычных песков. Такого же происхождения и валуны местных пород в морене. По размерам и форме они неотличимы от невыветрелых окатанных валунов гнейсов, гранитов и амфиболитов, только сложены дресвой. Глыбы, щебень и дресва различных пород щёлочно-ультраосновного комплекса могли перемещаться вместе с мореной и ледником на значительные расстояния и тогда становились причиной ложных площадных геохимических и радиоактивных аномалий. Подобные аномалии – обычное явление на примыкающих с востока территориях (между массивом Vuориярви и Намаварским карбонатитовым полем). Любопытно, что на Тухта-варе, расположенной вплотную к участку Неске-вара, сдвинутые коры выветривания не встречаются. Наиболее мощная дресва (до 160 м) обнаружена на восточном фланге месторождения Неске-вара. Здесь она заполняет жёлоб в кристаллических породах длиной свыше 700 м при ширине в плане 200–250 м. Жёлоб ориентирован вдоль субширотной системы тектонических нарушений и имеет почти отвесные стенки. Сверху весь участок перекрыт крупновалунной мореной мощностью 5–34 м, за исключением ничтожного «пятка» размером 30×50 м, где на поверхности обнажаются штаффелитовые коры выветривания, выявленные ещё в 50-х годах Е.Б. Гуптор. В дресве наблюдаются обломки ийолитов, пироксенитов, апатит-форстерит-магнетитовых руд, карбонатитов. Обломки рудно-карбонатных пород слабо штаффелитизированы. Содержание железа в корах колеблется от 5 до 29%, P_2O_5 – 1 до 13%, а в штаффелитовых породах скважины № 4, пробуренной на «пятячке» – до 32%. В целом участок изучен слабо. Скорее всего, жёлоб представляет собой карстовое ущелье в карбонатитах, впоследствии заполненное дресвой, снесённой сюда со всех частей массива (т. е. это не коры, возникшие на месте).

Известно, что коры выветривания на карбонатитах обогащаются редкими металлами и апатитом за счёт выщелачивания карбонатов. Однако на Неске-варе этого не произошло из-за того, что дресва, как правило, перемешана с мореной. Обогащение устанавливается лишь на локальных участках.

На Себлявре коры выветривания приурочены к внутренним частям массива. Выделяются два типа кор: дресвянистые и песчано-глинистые.

Площадные дресвянистые коры выветривания могут достигать мощности 80 м (скв. № 104 на проф. II). По сравнению с коренными породами вещественный и химический состав дресвянистых кор выветривания заметных изменений не претерпел. Это обычное физическое выветривание и по таким корам легко угадывается состав исходный пород.

Песчано-глинистые коры мощностью до 200 м заполняет жёлоб в кристаллических породах размером в плане 750×250 м (142 тыс. кв. м), расположенный в пределах Центральной зоны между профилями 24 и 28,5. Коры перекрыты четвертичными отложениями мощностью 20 м. В отличие от мощных кор Vuориярви, они сформировались на месте, причём по редкометалльным апатит-магнетитовым рудам и карбонатитам, обогащённым сульфидами. Глинистые продукты вы-

ветривания редставлены пластичной (во влажном состоянии) жёлто-бурой массой монтмориллонит-хлорит-гидрослюдистого состава с каолином, гидрогётитом, франколитом, вермикулитом, апатитом. Содержание мелкочешуйчатого вермикулита достигает 50%. Разнозернистые глинистые пески окрашены в жёлто-зелёный или тёмно-зелёный цвет и также обогащены вермикулитом и апатитом. Встречаются чёрные и буро-чёрные пелитоморфные образования, состоящие из гидрогётита с небольшой примесью коллофана и франколита. Апатит и магнетит есть в любых разновидностях и являются остаточными минералами.

Средний выход глинистой фракции (т. е. менее 0,01 мм) около 26%. Песчаная фракция состоит из вермикулита (42%), апатита с франколитом (26%), магнетита (12%), амфибола (10%). С глинистой фракцией связано очень мало P_2O_5 , лишь единичные пробы дают значения выше 3%.

Средние содержания в корах (%): P_2O_5 – 9,6; $Fe_{общ.}$ – 24,3; CO_2 – 1,2, сера отсутствует. Таким образом, практически все карбонатиты выщелочены, а сульфиды полностью разложены и окислены.

Коры покрывают почти весь *Салланлатвинский массив*, за исключением юго-восточного фланга, где они смыты.

По составу выделены три типа кор:

- железистоокисные охры («железная шляпа») на поздних карбонатитах ядра;
- существенно карбонатные дресвянистые коры на флогопит-кальцитовых карбонатитах;
- коры на изменённых ийолитах и карбонатно-хлоритовых породах.

Размер залежи железистоокисных охр в плане 0,5×0,7 км (264 тыс. кв. м), мощность – от 3 до 32 м, максимальная мощность – в центре карбонатитового штока. Охры представляют собой глиноподобные массы тёмно-бурого цвета с переменным количеством обломков сильно ожелезнённых карбонатитов различного состава. Основные минералы: лимонит, гётит, барит, вермикулит, магнетит, карбонаты. Сульфиды нацело разложены и попадают только внутри уцелевших обломков карбонатитов. Содержание барита 5–25%, $Fe_{общ.}$ 11–39%. Нередко в корах устанавливаются повышенные содержания Nb_2O_5 (0,2–0,4%), однако редкометалльные минералы в них не встречены и, очевидно, разложены до землистых масс.

Коры выветривания на флогопит-кальцитовых карбонатитах распространены по периферии карбонатитового ядра. Мощность их составляет 14–23 м. Минеральный состав тот же, что и у невыветрелых карбонатитов, только слюда сильно гидратирована. В целом в этих корах вермикулита очень мало. Повышенные количества его (10–30% и более) приурочены лишь к узкой полосе контакта ийолитов и карбонатитов, не превышающей ширины 12 м при длине зоны примерно 1 км. Причём это, безусловно, только часть обогащённой вермикулитом зоны, которая доступна для изучения канавами. Ослуденелые изменённые ийолиты должны окружать сплошной каймой всё ядро, следовательно, фронт работ для поисков вермикулита имеется. Луешит и пирохлор в дресве редкометалльных карбонатитов, похоже, неплохо сохранились, хотя детальные минералогические исследования этих кор не проводились. Правда, луешит в период поисков 1957–62 гг. был принят за перовскит, а повышенные концентрации ниобия связывались только с пирохлором. В некоторых канавах содержание ниобия заметно выше, нежели в невыветрелых карбонатитах, т. е. не исключено обогащение ниобием при выветривании карбонатитов.

На *Лесной вараке* коры выветривания развиты слабо (в отличие от Ковдорского месторождения оливинитов). Местами разрушенные до дресвы оливиниты перемежаются с совершенно свежими скальными оливинитами. Выветрелые оливиниты имеют грязно-бурю окраску, скальные – чёрную, тёмно-серую, тёмно-бурю, серо-зелёную. Различия в окраске обусловлены размерами (дисперсностью) примесей титаномагнетита, степенью выветривания и серпентинизации. Оливиниты пересечены густой сетью жил сунгулита (кольскита), белого или светло-жёлтого минерала, похожего на тальк. По составу это гидросиликат магния (MgO 37–43; SiO_2 37–45; Fe_2O_3 0,3–0,9; Al_2O_3 0,5–0,9; CaO 0,2–2,4; потери при прокаливании 13–15%; щелочей нет). Падение жил самое разнообразное, мощность их колеблется от первых миллиметров до 0,5–0,6 м. Распределены неравномерно. По приблизительным подсчётам суммарная масса сунгулитовых жил составляет около 15% общего объёма горной породы (в пределах разведанного на огнеупорное сырьё участка). Конечная глубина распространения сунгулитовых жил неизвестна. Наиболее глубокая скважина № 1 (50,3 м) сверху донизу вскрыла перемежающиеся скальные и дезинтегрированные оливиниты, прорванные по всему разрезу сунгулитовыми жилами (последняя отмечена в интервале 44,5–47,2 м).

На Озёрной вараке, Салмагоре, Африканде и Турьем п-ове коры выветривания маломощны, представлены только зоной дезинтеграции, местами отсутствуют. На Турьем п-ове кор нет даже на карбонатитах (вероятно, смыты нацело), хотя известны дресвянистые коры с гидрофлогопитом на турьяитах и ийолитах.

10. ЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Массив Вуориярви перекрыт четвертичными отложениями практически весь. На возвышенностях (Тухта-вара, Неске-вара, Петяйян-вара, Западный участок) мощность их обычно составляет 0,5–2 м, в пониженных частях рельефа – до 10–15 м. По направлению к оз. Вуориярви мощность чехла возрастает до 25–35 м. Толщей песков мощностью до 25 м закрыта и вся долина речки Вуорийоки.

Основные типы четвертичных отложений:

1. Ледниковые (основная морена).
2. Позднеледниковые (озы, сложенные гравийно-песчаным материалом).
3. Современные (илы, торф озёрно-болотных образований).

В 1975–76 гг. минеральный состав шлихов из четвертичных отложений был изучен на материале 68 проб весом 40–120 кг, отобранных из скважин и горных выработок. Установлено, что тяжёлая фракция состоит в основном из магнетита, амфибола, пироксена. В качестве примесей отмечены альмандин, эпидот, ставролит, турмалин, ильменит, перовскит. В количестве сотых долей процента обнаружены циркон, пироклор, бадделеит, кианит, силлиманит, рутил. В единичных знаках встречены хромит, монацит, барит, шпинель, корунд. В четырёх пробах попались знаки золота.

На Салланлатве выделены те же типы четвертичных отложений, что и на Вуориярви. Мощность четвертичных отложений резко возрастает по направлению к юго-востоку от центра массива. Так, в пределах карбонатитового ядра средняя мощность их по поисковым профилям составляет: пр. 4 – 2,6 м; пр. 6 – 3,1 м; пр. 8 – 7,9 м; пр. 10 – 34,7 м; пр. 12 – 62,0 м. На профилях 4 – 8 это типичная морена, представленная супесью тёмно-серого или коричнево-серого цвета с галькой и валунами диабазов, гранитов, амфиболитов, ийолитов, кварца в количестве 40–70%. На профилях 10 и 12 в морене появляются горизонты плохо отсортированных кварц-полевошпатовых пылеватых песков с небольшой примесью валунов.

Из четвертичных отложений было отобрано 10 шлиховых проб весом 12–58 кг с целью попутных поисков алмазов (в итоге их там не оказалось). Пробы отбирались из керна поисково-оценочных скважин с придонной части чехла. Минеральный состав:

- магнитная фракция: магнетит с примесью железистых силикатов метаморфических пород;
- элекромагнитная фракция: пироксен, эпидот, амфибол, гранат, гематит, ильменит, ставролит, слюды, шорломит;
- тяжёлая немагнитная фракция: апатит, кианит, силлиманит, рутил, перовскит, луешит, сфен, флюорит, карбонаты.

Интересно, что барит, который в подстилающих карбонатитах местами является породообразующим минералом, отмечен лишь в трёх пробах и то в знаках.

На Себлявре средняя мощность четвертичных отложений составляет 20 м. На возвышенных участках – до 30–40 м, в понижениях – 15–30 м, в заболоченных депрессиях – 1,0–15 м.

К упомянутым выше основным типам на Себлявре добавляются морские отложения, расположенные в долине р. Туломы и представленные зеленовато-серыми глинистыми песками.

На Турьем п-ове скальные породы обнажаются лишь в узкой береговой полосе, да и то представлены они, в основном, вмещающими породами, пронизанными множеством даек щёлочно-ультраосновного комплекса.

Максимальная мощность четвертичных отложений (41 м) отмечена во внутренних частях Центрального массива, минимальная (0,5–2 м) – на вершинах возвышенностей вокруг него. Представлены они валунной супесью, суглинками, песками, горизонтами морских песчанистых глин. Валунуны очень пёстрые по составу, причём много местных пород (турьяитов, ийолитов, фенитов, гранодиоритов). Весьма часты валуны щелочных пород Хибинских и Ловозёрских тундр.

Значительная часть массивов Африканды, Озёрной и Лесной варак доступна для горных работ. На юго-восточном фланге Лесной варак известны коренные выходы рудных оливинитов.

11. УНИФИЦИРОВАННАЯ СХЕМА ФОРМИРОВАНИЯ МАССИВОВ (УСФ) И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

11.1. Пояснения к схеме формирования

Предлагаемая схема формирования (табл. 18) является первым опытом разработки единой (генеральной) линии эволюции всех щёлочно-ультраосновных массивов Кольского п-ова. В процессе дальнейшего изучения массивов схема будет несомненно дополняться и уточняться.

Принцип построения схемы простой. В осевой её части (графа 3) показаны первичные магматические породы, начиная с древних, либо карбонатиты и их производные, сформировавшиеся, главным образом, при выполнении полостей. А в левой и правой частях – сингенетичные с ними метасоматиты, а также послемагматические образования, возникшие либо по породам экзоконтакта массивов (графа 1), либо по более ранним породам внутри них (графа 4). Вопросы генезиса и взаимоотношений различных пород здесь уже не рассматриваются, т. к. эти сведения приведены в главах 3–8.

Некоторые моменты схемы требуют пояснения:

1. Поскольку данная схема, как было сказано выше, является «генеральной линией», ряд мелких частных в ней не нашли отражения. Так, на массивах Турьего п-ва существует восемь только основных разновидностей щелочных даек, часть которых более нигде не встречается. В схему такие дайки не попали. Скарноподобные метасоматиты сформировались, как минимум, в две стадии, но поздние бело-жёлтые «скарны» (с везувианом, гроссуляром и др.) не имеют площадного распространения. Разделить обе разновидности можно только на детальном плане, зарисовках канав и скважин. В схеме все скарноподобные породы показаны одним значком. Карбонатитовый этап разбит на одиннадцать стадий. Это лишь главные. На самом деле этот этап можно разделить и более подробно (т. к. существует множество генераций среди бесчисленных карбонатитовых жил), но тогда сильно усложнилась бы и без того непростая картина формирования карбонатитового этапа. Как следует из предыдущих глав, совсем не обязательно наличие всех стадий карбонатитов на каждом массиве. *Поэтому стадии в пределах конкретных массивов следует нумеровать по-своему.*

2. В то же время в схему вошли очень редкие, но принципиально важные для понимания эволюции карбонатитового этапа породы: монтичеллит-кальцитовые карбонатиты и кальцит-мелилитовые породы Турьего п-ова, доломит-форстерит-магнетитовые руды Ковдора, франколитовые породы Салланлатвы и вообще вся гамма поздних карбонатитов этого массива.

3. Некоторые литологические разновидности карбонатитового этапа, показанные в схеме как фациальные, являются на самом деле разновременными. К таковым, к примеру, относятся апатит-форстерит-магнетитовые, кальцит-форстерит-магнетитовые и другие магнетитовые руды III^Б стадии, сближенные во времени формирования. Красить их в различные цвета нелогично, поскольку парагенетические ассоциации в них совершенно одинаковы (форстерит+магнетит+апатит+кальцит+зелёный флогопит+бадделеит). Поэтому различаются они только крапом. Но вот карбонатитам V стадии в точности с таким же набором минералов пришлось дать уже свой цвет, т. к. по времени они отделены от апатит-магнетитовых руд не только образованиями IV стадии с совершенно иными маркирующими минералами, но и дайками порфиридных перидотитов. В этом случае одинаковый цвет разновременных комплексов на геолкартах, да ещё разделённых какими-то промежуточными по возрасту образованиями будет вызывать недоумение и вопросы при чтении карт.

4. Есть исключения и обратного плана: редкометальные апатит-магнетитовые руды Тухта-вары (массив Вуориярви) закрашены в один цвет с более ранними обычными апатит-магнетитовыми, отличаясь от них только крапом. Дело в том, что автосоматическая переработка первичных апатит-магнетитовых руд, сопровождавшаяся появлением гатчеттолита, была столь незначительной, что внешне руды совершенно не изменились и, кроме гатчеттолита, в них ничего другого не появилось. Этим они резко отличаются от редкометальных руд «Аномальной зоны» Ковдора, возникших в VI стадию, когда, наряду с гатчеттолитом, появились циркелит, пироклор, новые генерации сульфидов, гумит, много тетраферрифлогопита. Такой приём (т. е. закрашка пород с разными парагенезисами в один цвет), конечно, искусственный и вызван лишь стремлением упростить схему.

5. Некоторые породы карбонатитового этапа разных массивов, объединённые в одну стадию, совместно не встречаются. Трактовка их как одновременных образований возможна лишь с допущениями и только на основе сходства минеральных парагенезисов. К таковым относятся, в частности, монтичеллит-кальцитовые карбонатиты Турьего п-ова с одной стороны и флогопит-кальцитовые карбонатиты Салланлатвы IV стадии с другой. Ещё пример: доломит-магнетитовые руды Ковдора и анкеритовые карбонатиты Салланлатвы.

6. Дайки показаны в УСФ в виде узких длинных лент, протягивающихся не только в правую часть схемы (графа 4), но нередко и в левую, т. е. во вмещающие породы (графа 1). Последнее возможно только в том случае, когда такие дайки в фенитах достоверно установлены. Если на ленту «нанизан» прямоугольник, значит эти породы, помимо даек, могут образовывать и малые интрузии (щелочные рудные пегматиты, нефелиновые сиениты). Дайки не считаются самостоятельными фазами магматической деятельности из-за ничтожных размеров, к тому же для каждого массива характерен свой набор даек. Исключение сделано лишь для нефелиновых сиенитов (IV фаза), встречающихся на любом массиве, а на некоторых (Ковдор, Вуориярви) выделяющихся даже на геолкартах масштаба 1:25 000.

7. Для метасоматитов отведено место слева и справа от осевой части схемы. Строго говоря, они не могут иметь своей окраски и должны показываться цветным крапом по исходной породе. Границы их распространения также должны быть цветными (и точечными), при этом цвет границ и крапа обязан соответствовать конкретной фазе (стадии), с которой связаны метасоматиты. Однако геологические карты, нарисованные по этому классическому принципу, местами будут нечитаемые. Скажем, для изображения пироксенизированных рудных оливинитов, впоследствии скарнированных, да ещё флогопитизированных в карбонатитовый этап (что в северной части Ковдора наблюдается сплошь и рядом), потребуется три цветных крапа (оранжевый, синий, зелёный) с тремя пересекающимися точечными границами тех же цветов. Всё это будет располагаться на фиолетовом фоне оливинитов, имеющих свой (чёрный) крап. Без упрощений здесь просто не обойтись и выражаются они в следующем:

а) границы распространения всех метасоматитов – точечные, но только чёрные (как и между фациями магматических пород);

б) на графических материалах отображаются не все процессы, происшедшие на конкретном участке массива, а лишь преобладающие;

в) метасоматиты карбонатитового этапа закрашиваются теми же цветами, что и тела выполнения, а литология показывается чёрным крапом;

г) для некоторых широко распространённых процессов принят чёрный крап, дополнительно наносимый на исходную породу, иногда даже без границ и тем более без своего цвета (апатитизация в щелочном этапе, скарнирование, кальцитизация, актинолитизация, доломитизация).

8. О цветах раскраски:

а) Для магматических пород двух первых этапов существуют общепринятые на геолкартах раскраски: фиолетовый (гипербазиты) и оранжевый (щелочные породы). Для карбонатитов ещё с 50-х – 60-х годов при картировании массивов Сибири применяли такие цвета:

– ранние карбонатиты – голубые;

– кальцитовые карбонатиты средних стадий – зелёные;

– поздние карбонатиты – жёлтые и коричневые.

Эти же цвета приняты и в УСФ.

б) Турьяиты выделены более густым цветом (двойная оранжевая закраска) только для наглядности, чтобы их пространственное положение внутри массива чётче выделялось на фоне многочисленных фаций ийолитов.

в) Метасоматиты щелочного этапа столь пестры и многообразны, что подход к их отображению был дифференцированным. Для метасоматитов экзоконтактовых ореолов (фенитов) выбран лилово-розовый цвет (как для граносиенитов). Соответственно, дайки и малые интрузии сиенитов IV фазы показаны тем же цветом, но более густой (двойной) закраской. Тот же щелочной метасоматоз магматической стадии, но не по кислым породам, а по гипербазитам внутренних частей массивов, формирует около интрузий ийолитов ореолы существенно пироксеновых пород, нефелинизированных

в различной степени, слюдяно-пироксеновых пород и пироксенизированных оливинитов. Эти силикатные породы пользуются наиболее широким распространением на массивах. По валовому химическому составу они ближе всего стоят к гипербазитам, поэтому окрашиваются одним из оттенков светло-фиолетового цвета. Около интрузий турьяитов возникает совершенно иной набор метасоматитов (с мелилитом, монтичеллитом). Для отличия от предыдущей серии силикатных пород метасоматиты около турьяитов окрашиваются серым цветом. Скарноподобные породы, называемые некоторыми исследователями «предкарбонатитами», показаны синим цветом, близким по тону к окраске ранних карбонатитов.

9. В тексте унифицированной схемы после словесной характеристики пород часто в скобках дано название массива, где они более всего развиты (наиболее типичны), либо встречаются только на данном массиве.

11.2. Закономерности локализации месторождений полезных ископаемых и типы руд

Перечень месторождений и проявлений с разбивкой по четырём этапам формирования массивов приведён в табл. 19. Из неё следует, что промышленные концентрации полезных компонентов возникали во все этапы. Наибольшее количество месторождений связано с карбонатитами, а наименьшей полезной нагрузкой характеризуется щелочной этап.

Ведущие полезные компоненты каждого этапа:

Гипербазитовый: железо, титан, магнезиальные огнеупоры. Необходимо отметить, что железо здесь связано только с титаномагнетитом, т. е. сырьём, нежелательным для доменного производства, но перспективным для электрометаллургии, тем более что оно характеризуется чрезвычайно низким содержанием серы и фосфора.

Щелочной: фосфор в виде апатита в бедных рудах, а также слюда-флогопит на Вуориярви.

Карбонатитовый: тантал, ниобий, цирконий, цериевые редкие земли, железо, фосфор, слюда-флогопит, кальцит (известь), барит, а также попутные компоненты (уран, медь, кобальт и др.). Совместное нахождение в рудах тантала и ниобия указывает на ведущую роль гачеттолита (радиоактивного пироксена с существенной примесью тантала). Нерадиоактивные или слабо активные редкометалльные карбонатиты несут только ниобиевое оруденение (пироксен, луешит). Цирконий концентрируется в бадделеите, циркелите, кальциртите, цирконе. Из бадделеита уже получают высококачественные (95% ZrO_2) концентраты. Циркон присутствует как акцессорная примесь и промышленного значения не имеет. Кальциртит, широко распространённый в апатит-силикатных рудах Себляввра, с точки зрения промышленного использования пока не изучен. Циркелит сильно снижает качество руд, поскольку плохо обогащается, а состав минерала не позволяет получить концентраты высокого качества.

Апатит в карбонатитах и родственных им магнетитовых рудах по составу заметно отличается от хибинского, главным образом, низким содержанием элементов-примесей. В нём вдвое меньше фтора (1,3–1,5%), в 2–7 раз ниже содержание редких земель (0,14–0,7%), а оксида стронция меньше на порядок (0,23–0,37%). Содержание P_2O_5 в апатитах щелочно-ультраосновных массивов составляет 40,4–41,4%.

Железо связано, главным образом, с магнетитом, а в поздних карбонатитах – с сидеритом. Из-за постоянных примесей магния, алюминия, титана содержание железа в магнетите колеблется в пределах 63–67% и никогда не поднимается до уровня магнетитов из железистых кварцитов.

Флогопит относится к сквозным минералам, поэтому крупнопластинчатая слюда может появиться в любых комплексах пород массивов, была бы лишь возможность для перекристаллизации и образования гигантозернистых пород. А, как известно, процессы перекристаллизации также свойственны всем трём этапам и проявились даже в самых древних породах (оливинитах). Поэтому и промышленные скопления крупнопластинчатой слюды могут возникнуть на любом этапе. Что и произошло: на Себляввре – в гипербазитовом этапе, на Вуориярви – в щелочном, на Ковдоре – в карбонатитовом.

Экзогенный: вермикулит, фосфор, барит, железо, ниобий. Поскольку слюда присутствует во всех породах массивов, то в корях выветривания всегда есть вермикулит и гидрофлогопит. Количество

Таблица 19. Полезные ископаемые щёлково-ультраосновных массивов и типы руд

№№ пп	Главные типы руд	Этап формирования				Полезные минералы: главные, второстепенные	Основные полезные ископаемые	Попутные компоненты	Название массивов (месторождений и проявлений)
		гипербазит	щелочной	карбон.	экзотен.				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Рудные оливиниты	•				<i>Титаномагнетит с никелем</i>	<i>Железо, титан</i>	Никель	Лесная варака, Ковдор (Центральная магнитная аномалия)
2	Оливиниты	•				<i>Оливин</i>	<i>Магнезиальные огнеупоры</i>	–	Лесная варака (Хабозёрское), Ковдор
3	Рудные пироксениты, щелочные пегматиты	•				<i>Перовскит, титаномагнетит</i>	Титан, железо	Редкие земли, ниобий	Африканда, Вуориярви (Западный участок), Себельяр (обрамление Центр. зоны)
4	Пегматодные слюдяно-пироксеновые породы	•	•	•		<i>Слюда-флогопит</i>		–	Ковдор, Вуориярви (Петтян-вара), Себельяр
5	Апатит-пироксеновые бедные руды		•			<i>Апатит</i>	<i>Фосфор</i>	–	Вуориярви (Западный уч-к), Себельяр (Сев.-зап. и Сев.-вост. уч-ки), Песочный
6	Апатит-эгириновые породы		•			<i>Апатит, халькопирит</i>	<i>Фосфор</i>	Медь	Салмагора
7	Кальцит-апатит-флогопит-диопсидовые руды			•		<i>Апатит, магнетит, халькопирит, кальцитрит, циркон, слюда</i>	<i>Фосфор, железо</i>	Медь, цирконий, слюда-чешуйка	Себельяр (Центральная зона)
8	Апатит-форстерит-магнетитовые руды			•		<i>Магнетит, апатит, бадделит</i>	<i>Железо, фосфор, цирконий</i>	–	Ковдор, Вуориярви (Тухта-вара), Себельяр (Центр. зона)
9	Редкометалльные апатит-магнетитовые руды			•		<i>Гатчеттолит, бадделит, магнетит, апатит,</i>	<i>Тантал, ниобий, цирконий, железо, фосфор</i>	Уран	Ковдор («Аномальная зона»), Вуориярви (Тухта-вара, богатые тела Неске-вары), Себельяр

Продолжение табл. 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	Редкометалльные карбонаты			•		<i>Гатчеттолит, пирохлор, апатит</i>	<i>Тантал, ниобий</i>	Уран, фосфор	Вуориярви (Неске-вара)
11	Неактивные редкометалльные карбонаты			•		<i>Слабо радиоактивный пирохлор</i>	<i>Ниобий</i>	–	Вуориярви (Неске-вара)
12	Кальцитовые карбонаты			•		<i>Луешиит, пирохлор, магнетит, франколит</i>	<i>Ниобий</i>	Железо, фосфор	Салланлатва
13	Барит-сидеритовые карбонаты			•		<i>Апатит, кальцит, магнетит</i>	<i>Кальцит, фосфор</i>	Железо	Вуориярви, Ковдор, Себьявр
14	«Железная шляпа»			•		<i>Барит, сидерит, анкилит</i>	<i>Барит, железо</i>	Редкие земли (цериевые)	Салланлатва
15	Коры выветривания по слюдяно-пироксеновым породам				•	<i>Барит, лимонит</i>	<i>Барит</i>	Минеральные краски (охры)	Салланлатва
16	Апатит-штаффелитовые руды				•	<i>Вермикулит</i>		–	Ковдор, Вуориярви
17	Глинисто-древянистые коры по породам карбонатитового этапа				•	<i>Апатит, иттаффелит, магнетит</i>	<i>Фосфор</i>	Железо	Ковдор
18	Древянистые коры по карбонатитам и изменённым ийолитам				•	<i>Апатит, вермикулит, магнетит</i>	<i>Фосфор, вермикулит</i>	Железо	Себьявр (Центральная зона), Вуориярви (восточный фланг Неске-вары)
						<i>Луешиит, пирохлор, вермикулит, магнетит</i>	<i>Ниобий</i>	Железо, вермикулит	Салланлатва

гидрослюд напрямую связано с содержанием слюды в исходных породах. Барит и апатит весьма устойчивы в корях и при выщелачивании карбонатов количество их всегда повышается по сравнению с исходными породами. В штаффелитовых корях, при формировании которых происходит осаждение и накопление вторичных фосфатов, содержание P_2O_5 повышается многократно. В части редких металлов картина сложнее. Во-первых, в глубоко переработанных редкометалльных рудах танталонииобаты превращаются в землистые массы (Себлявр, Ковдор). Во-вторых, на наиболее крупном месторождении редких металлов (участок Неске-вара) широко развиты перемещённые коры, смешанные с четвертичными отложениями, и обогащения редкими металлами не произошло. Похоже, неплохо сохранились луешит и пирохлор в дресвянистых корях Салланлатвы, но эти коры крайне слабо изучены. Железо связано, в основном, с магнетитом, либо с лимонитом (на Салланлатве). Обращают внимание высокие содержания оксида марганца в «железной шляпе» Салланлатвы (2,7–3,6%, см. табл. 30). Подобных содержаний в каких-то иных образованиях щёлочно-ультраосновного комплекса не установлено.

Часть III. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПРОЯВЛЕНИЙ

12. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГИПЕРБАЗИТОВОГО ЭТАПА

Титаномагнетитовые руды

12.1. Ковдор (Центральная магнитная аномалия)

На Ковдоре рудные оливиниты приурочены к внутренней части гипербазитового ядра. Переходы к нормальным оливинитам постепенные. Площадь наиболее крупной оруденелой зоны, ограниченной изолинией 100 мэ и близкой по форме к изометрической, составляет 0,5 кв. км (рис. 2). К юго-востоку от неё прослеживается ещё ряд мелких аномалий такой же интенсивности. Бурением рудные оливиниты изучены до глубины 400 м (Афанасьева и др., 1974).

Установлено два типа оруденения:

- а) вкрапленный, связанный с первичным титаномагнетитом;
- б) жильный, со штокверками мелких крутопадающих жил форстерит-магнетитового состава (т. е. по возрасту это карбонатитовый этап). Естественно, встречается и смешанный тип.

Подсчёт прогнозных ресурсов до глубины 300 м:

	Бортовое содержание Fe _{общ.} %	Руды млрд. т.	Содержание Fe _{общ.} в руде, %	Коэффициент рудоносности
1-й вариант	10	1,5	14,6	0,94
2-й вариант	15	0,46	19,1	0,20

Вся площадь развития рудных оливинитов застроена городскими кварталами.

Из рудных оливинитов с форстерит-магнетитовыми жилами магнитной сепарацией получен концентрат с содержанием Fe_{общ.} – 63,8%; TiO₂ – 2,42%; Ni – 0,08%. Из рудных оливинитов с первичным (вкрапленным) магнетитом концентрат получился несколько иным: Fe_{общ.} – 59,9%; TiO₂ – 3,70%; Ni – 0,17%. Выход концентратов от руды составил 12–16%, извлечение Fe_{общ.} – 52–62%. Из магнетитового концентрата с повышенным содержанием никеля методом избирательного восстановления в электропечах получен ферроникель с содержанием никеля до 5% и стальной полупродукт (Вершинин и др., 1974).

12.2. Лесная варака

Титаномагнетитовые руды образуют серию сближенных субпараллельных залежей в юго-восточной части массива (рис. 9). Общая длина рудной зоны – около 2 км при ширине до 0,5 км (вместе с «прослоями» слабо оруденелых оливинитов). Падение зоны (по замерам полосчатости) направлено к центру массива под углом 60–85°.

Рудные оливиниты известны с момента открытия массива, т. е. с 1936 г. В 50-х годах в этой части массива с поисково-картировочными целями пройдено множество шурфов по сети примерно 100×100 м, к тому же здесь известны и скальные выходы рудных оливинитов. Частично рудная зона

вскрыта и канавами по профилям через 100 м. Бурения не было. В 1976 г. в рамках тематических исследований рудными оливинитами занимался Ю.А. Солопов (Ленинградский горный институт), которым составлена карта фактического материала и схематическая геолкарта масштаба 1:5 000 (на основе передокументации старых горных выработок и маршрутных поисков). Солоповым выделены два основных типа руд:

а) титаномагнетитовые полосчатые рудные оливиниты (преобладающий тип);

б) перовскит-титаномагнетитовые руды, слагающие узкие (до 20–25 м) протяжённые полосы среди магнетитовых руд.

По данным В.А. Афанасьева (которые Ю.А. Солопов приводит в своём отчёте) среднее содержание магнетита в рудах составляет 42%, оливина – 54%, перовскита – 2%. В перовскит-титаномагнетитовых рудах среднее количество этих минералов составляет, соответственно, 26; 47 и 26%.

Средние содержания основных компонентов в руде и минералах (%)¹:

	Руда ¹	Магнетит	Оливин
SiO ₂	21,5	0,4–1,6	около 40
TiO ₂	5,3	9–12	0,1–0,4
Fe ₂ O ₃	25,2	46–50	2–2,3
FeO	16,3	29–30	8–10
MgO	28,2	5–7	46–48
NiO	0,2	0,15–0,28	0,12

Серы и фосфора практически нет (в некоторых образцах обнаруживаются примеси этих элементов в количестве первых сотых долей процента). Бороздовое опробование канав и шурфов не проводилось, поэтому о качестве руд можно судить только по данным, приведённым выше. Содержание Fe_{общ.} по этим данным составляет 30,3%, в том числе железа, связанного с магнетитом – около 24%, содержание железа в магнетите – 55–58%. Таким образом, месторождение изучено крайне слабо даже для поисковой стадии (главным образом, из-за отсутствия бороздового опробования).

В октябре 1976 г. Западно-Кольской ГРП (Б.В. Афанасьев) была отобрана технологическая проба рудных оливинитов весом 10 т. Паспорт её приложен к отчёту Э.Д. Пурыскина (1977). Химический состав руды приведён в табл. 6 (графа 4), а анализы минералов и концентратов – в табл. 20. Выход титаномагнетитового концентрата составил 33%, а оливинового – 57%. По данным Института металлургии Уральского научного центра (Вершинин, 1978) в титаномагнетите обнаружены вроски ильменита размером 0,02–0,005 мм и сульфидов железа размером порядка 0,001 мм, с которыми предположительно связан никель (или часть его). По этим же данным содержание оливина в концентрате составляет 5–7%, но эта цифра явно завышена, исходя из количества кремнекислоты (см. табл. 20, графа 1).

При лабораторных плавках концентрата, сразу возникли трудности, которых не было на Ковдоре, и прежде всего из-за большого количества в шлаках тугоплавких оксидов титана и магния. В принципе селективное выделение из данных концентратов элементов-примесей, включая никель, возможно, но необходимы дополнительные исследования, на которые в то время не нашлось средств. По мнению металлургов, примеси оливина в концентрате следует свести к минимуму.

Ю.А. Солоповым в 11 пробах различных оливинитов, в том числе рудных, а также в магнетитовых концентратах определено содержание платиноидов. Количество платины в пробах колеблется от следов до 0,7 г/т (в концентрате), палладия – от следов до 1,4 г/т. Достоверность анализов, по мнению Солопова, низкая. В его же отчёте приведены данные Л.Б. Антонова (1972 г), судя по которым количество платины и палладия в гипербазитах Лесной варачи не превышает сотых долей г/т. Несомненно, что эти исследования необходимо повторить на современном лабораторном уровне.

Для оценки прогнозных ресурсов рудных оливинитов приняты такие параметры: длина рудной зоны – 1500 м, суммарная мощность рудных тел в плане – 250 м (за вычетом «прослоев» слабо оруденелых оливинитов), объёмный вес – 4. Количество руды на 100 м углубки при этом составляет: 1500×250×100×4=150 млн. т. Соответственно, до глубины 300 м прогнозные ресурсы составят округлённо 0,5 млрд. т руды.

¹ Среднее из 7 анализов штучных проб.

Таблица 20. Химический состав минералов и концентратов из рудных оливинитов Лесной варачи (вес. %)

Компоненты	Титаномагнетит	Магнетитовый концентрат	Оливин	Оливиновый концентрат
	1	2	3	4
SiO ₂	1,40	1,54	39,80	38,49
TiO ₂	11,75	10,23	0,36	0,91
Al ₂ O ₃	2,33	2,80	0,30	0,31
Fe ₂ O ₃	46,38	45,43	2,02	0,44
FeO	29,71	29,87	8,09	9,84
MnO	0,32	0,14	0,13	0,19
MgO	7,20	8,44	48,21	46,51
CaO	0,42	0,26	0,70	1,46
K ₂ O				0,039
Na ₂ O				0,037
Cr ₂ O ₃	0,42	0,234		0,002
V ₂ O ₅	0,08	0,018		0,003
CuO				0,004
CoO			0,018	
ZnO		0,044	0,004	
Ni	0,16	0,171	0,10	0,100
S		0,033		0,004
P		0,046		0,004
H ₂ O ⁻				0,100
H ₂ O ⁺				0,64
CO ₂				0,100
п.п.п.			0,59	
Сумма	100,17	99,26	100,32	99,18
Fe _{общ.}	55,64 _(расч.)	54,12		7,98 _(расч.)

Лаборатория КФАН СССР (1976 г.), технологическая проба № I–ЛВ.

Примечание: В таблицах, приведённых в отчёте Пурьскина (1977) по непонятным причинам показаны не все компоненты, а содержания некоторых не сбиваются с данной таблицей, составленной на основе подлинника паспорта.

Сырьё для магнезиальных огнеупоров

12.3. Ковдор (северная часть оливинитового ядра)

Значительная часть оливинитового ядра Ковдорского массива застроена городскими кварталами, но северный фланг доступен для разведки и последующей отработки.

Первичными минералами оливинитов являются оливин (81–92%) и магнетит (3–8%). К поздним минералам-примесям относятся флогопит, пироксен, амфиболы, перовскит, апатит и др. Сверху скальные оливиниты перекрыты корой выветривания мощностью до 50 м, в которой они превращены в бурую дресву, но изменения в химическом составе оливина кор выветривания в целом незначительны (лишь по тонким трещинам и с поверхности отмечается замещение оливина сунгулитом). Средняя мощность морены, перекрывающей коры выветривания, составляет 4 м.



Карьер рудника Железный ОАО Ковдорский ГОК
(Ковдорское бадделеит-апатит-магнетитовое месторождение).

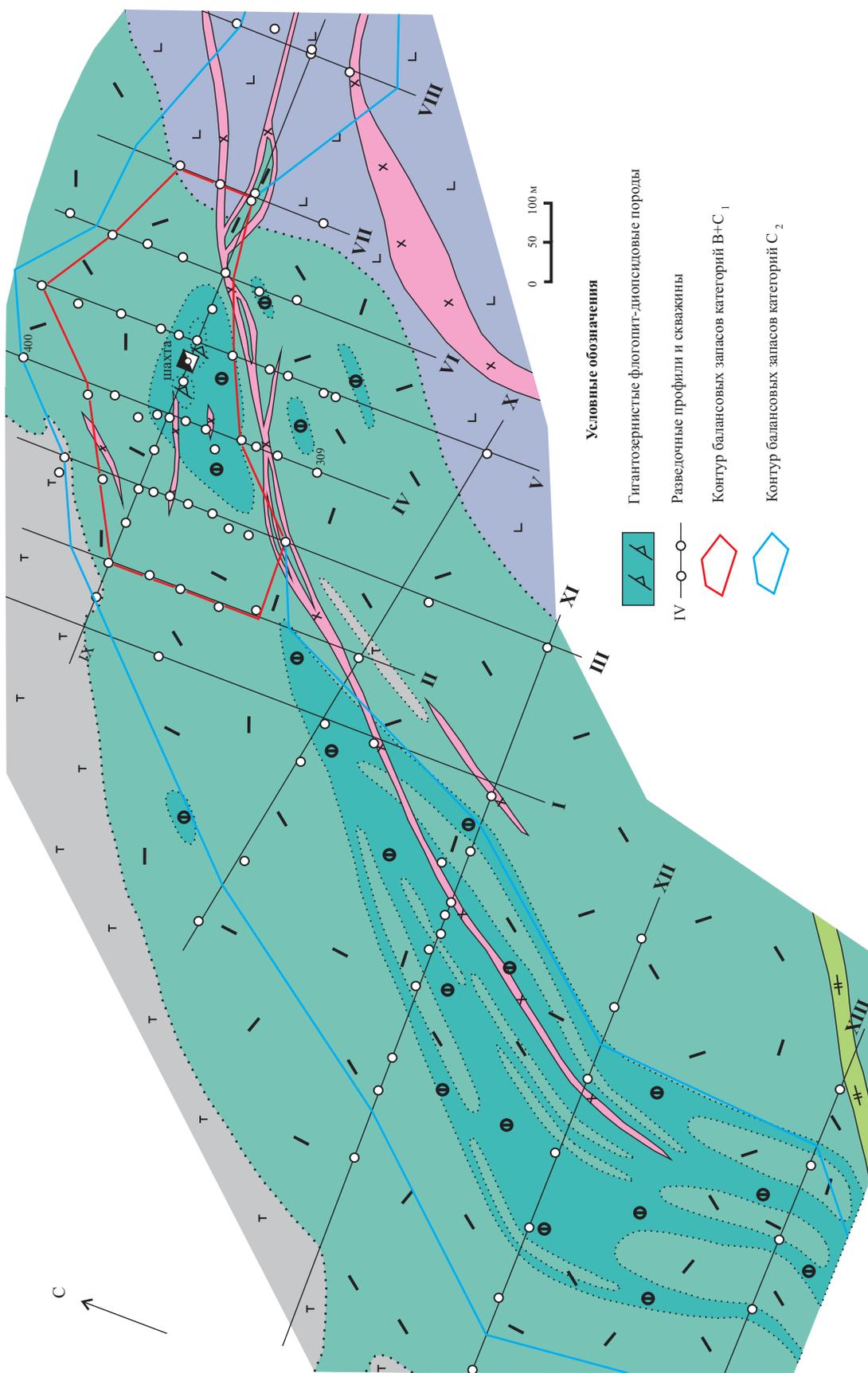


Рис. 22. Геологическая карта северо-западной части Ковдорского флогопитового месторождения.

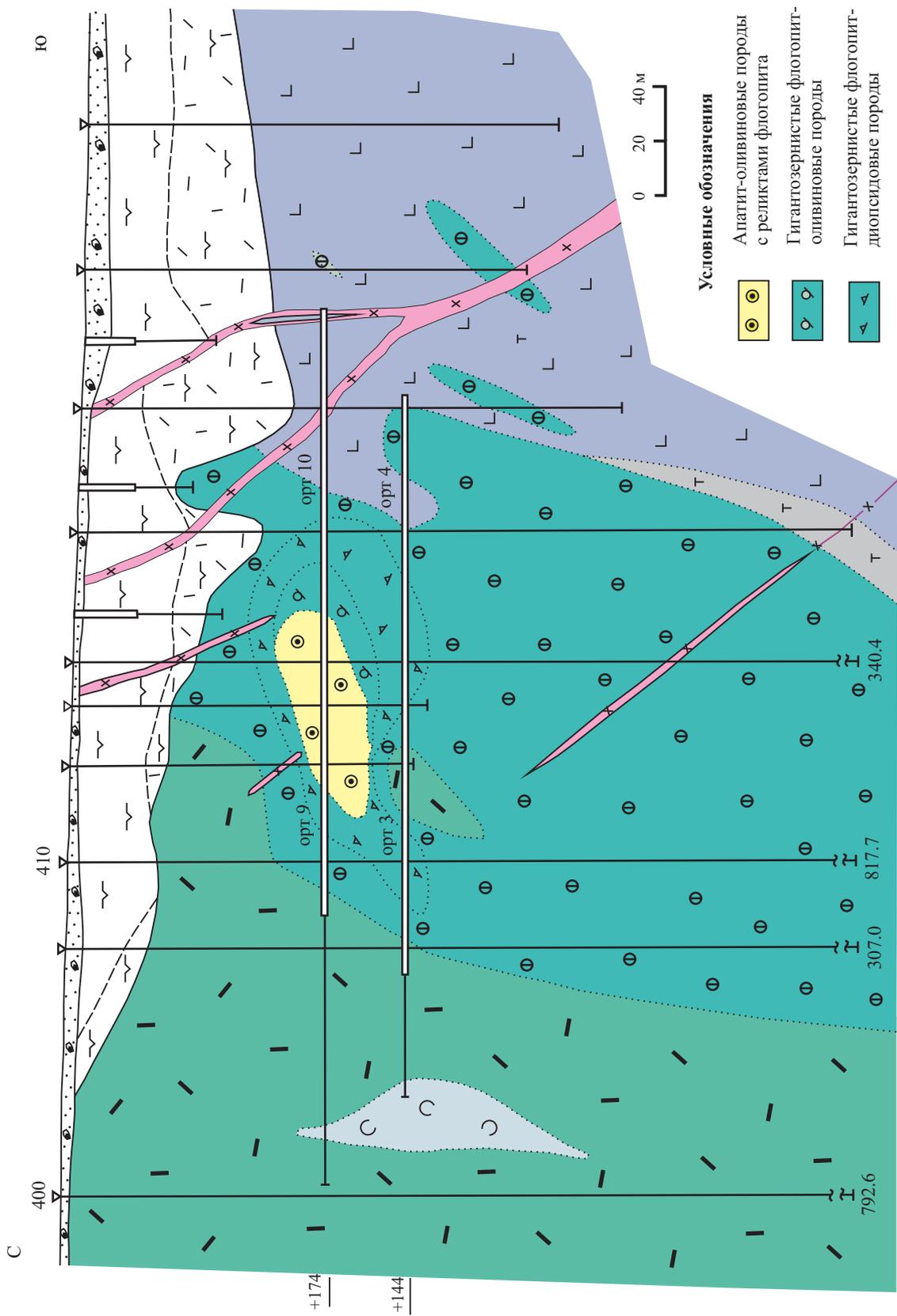
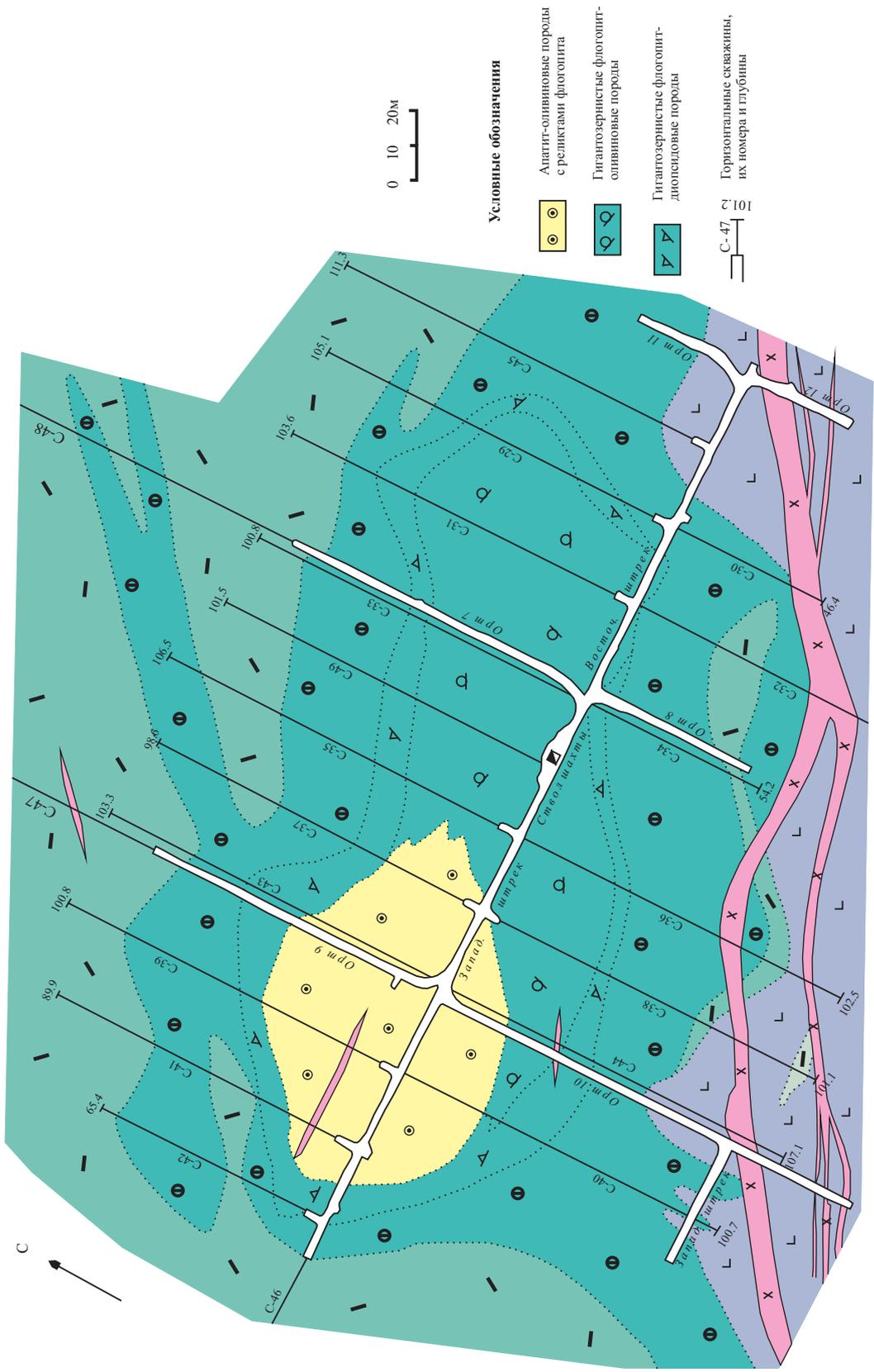


Рис. 23. Геологический разрез по профилю IV Ковдорского вермикулит-флогопитового месторождения.



Условные обозначения

- Анатит-оливиновые породы с реликтами флюорита
- Гигантозернистые флогопит-оливиновые породы
- Гигантозернистые флогопит-диопсидовые породы
- Горизонтальные скважины, их номера и глубины

Рис. 24. Геологический план горизонта +174 Ковдорского флогопитового месторождения.

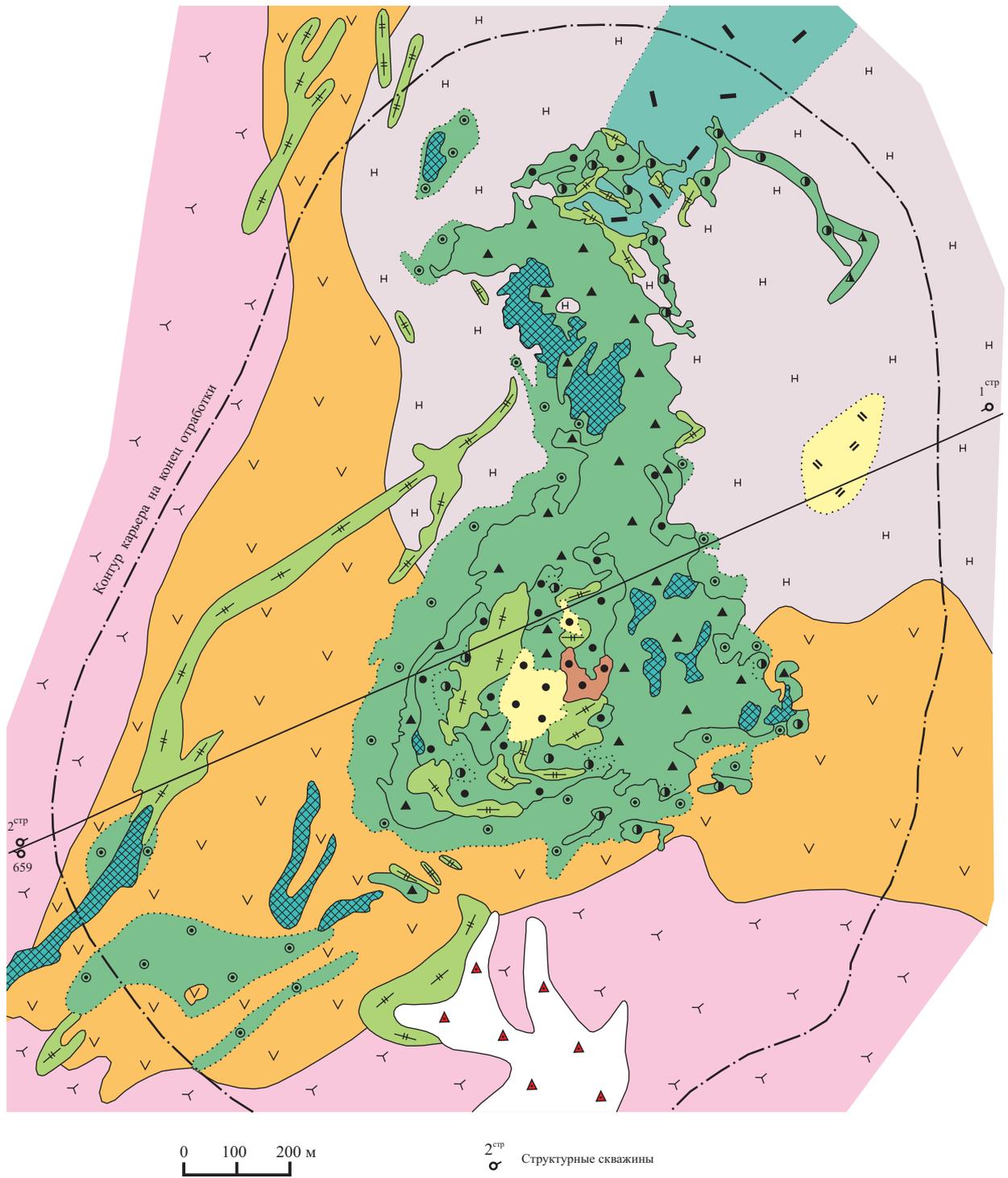
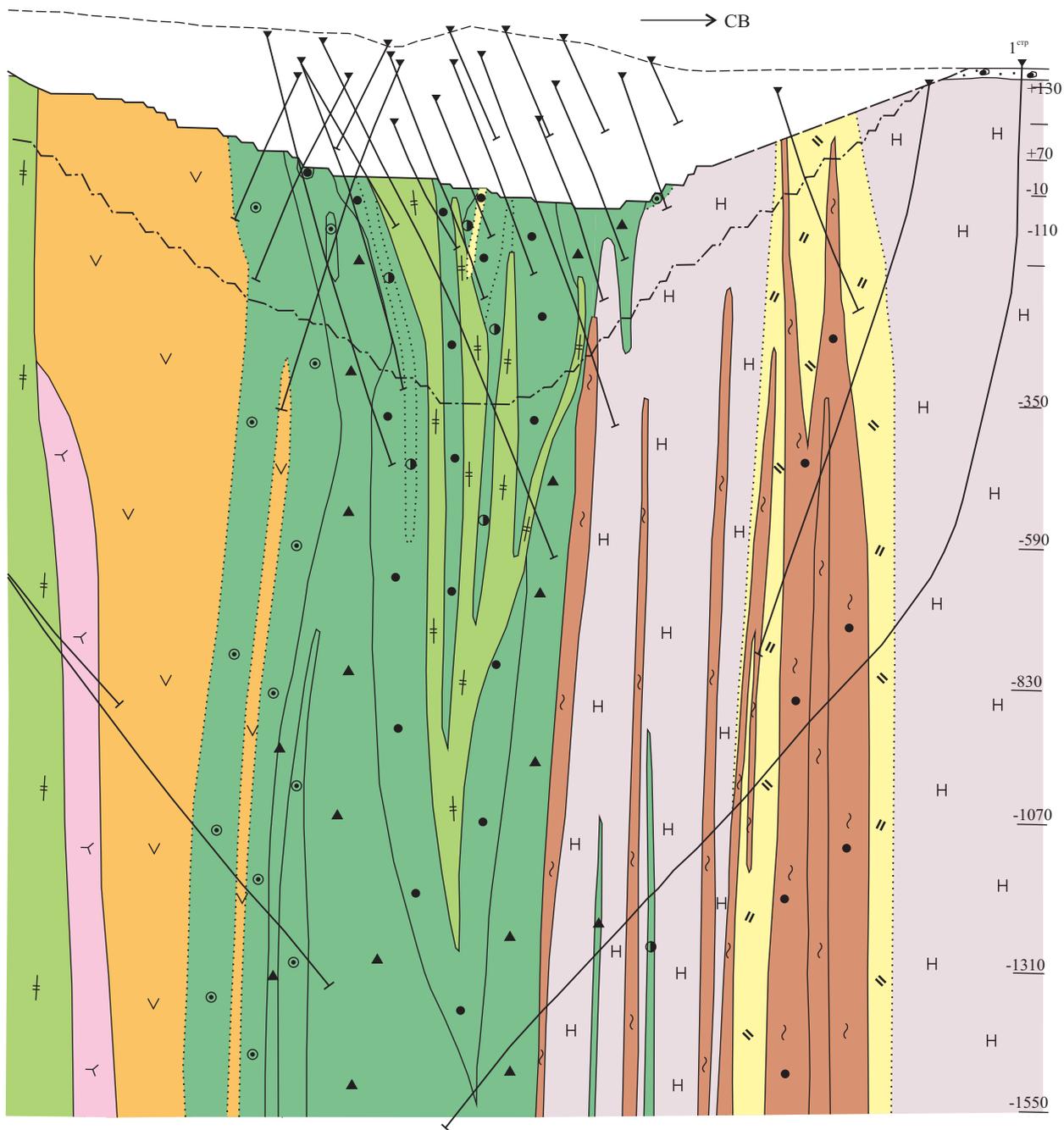


Рис. 25. Геологическая карта Ковдорского апатит-магнетитового месторождения.



 Контур карьера на 1. 07. 93 г.

0 100 200м



 Схематизированный контур карьера на 1. 07. 93 г.

 Контур карьера на конец отработки.

Рис. 26. Геологический разрез по профилю VII Ковдорского апатит-магнетитового месторождения.



Рис. 27. Геологическая карта апатит-магнетитового месторождения Тухта-вара.

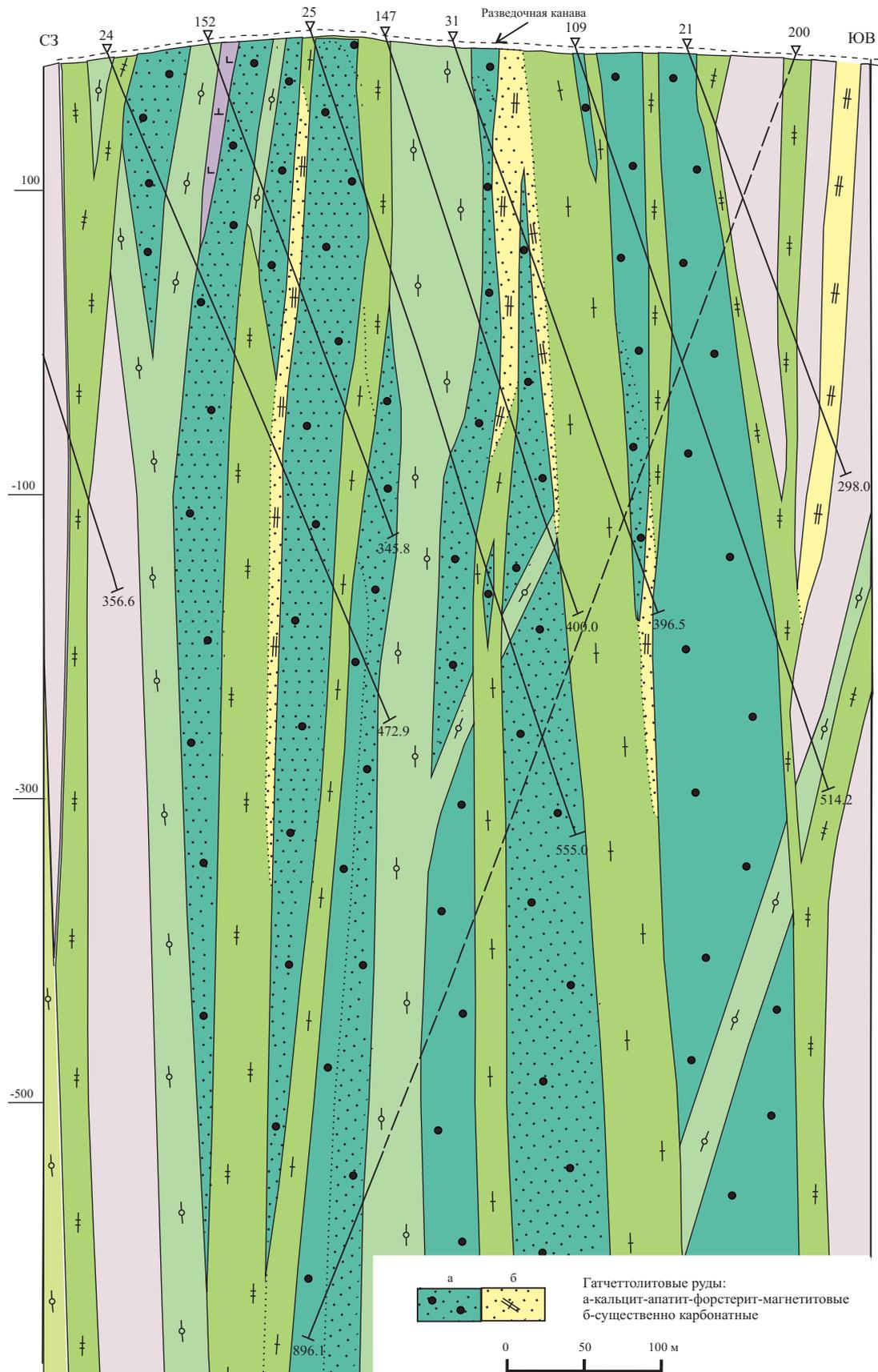
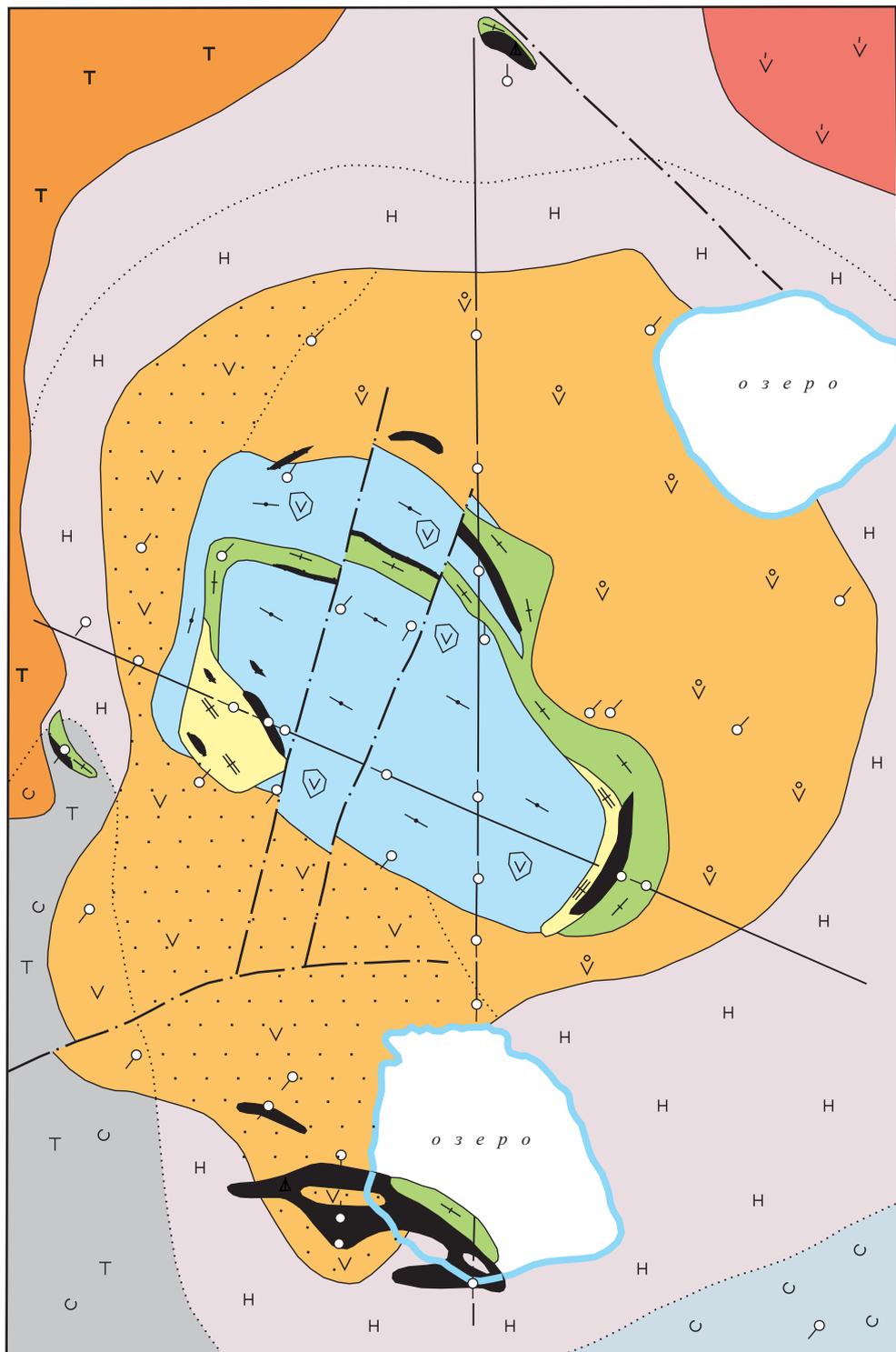


Рис. 28. Геологический разрез по профилю III месторождения Тухта-вара.



 Скважины и направление бурения
 Апатит-магнетитовые руды

0 100 200 м

Рис. 32. Геологическая карта рудно-карбонатного ядра Центрального массива (Турий п-ов).

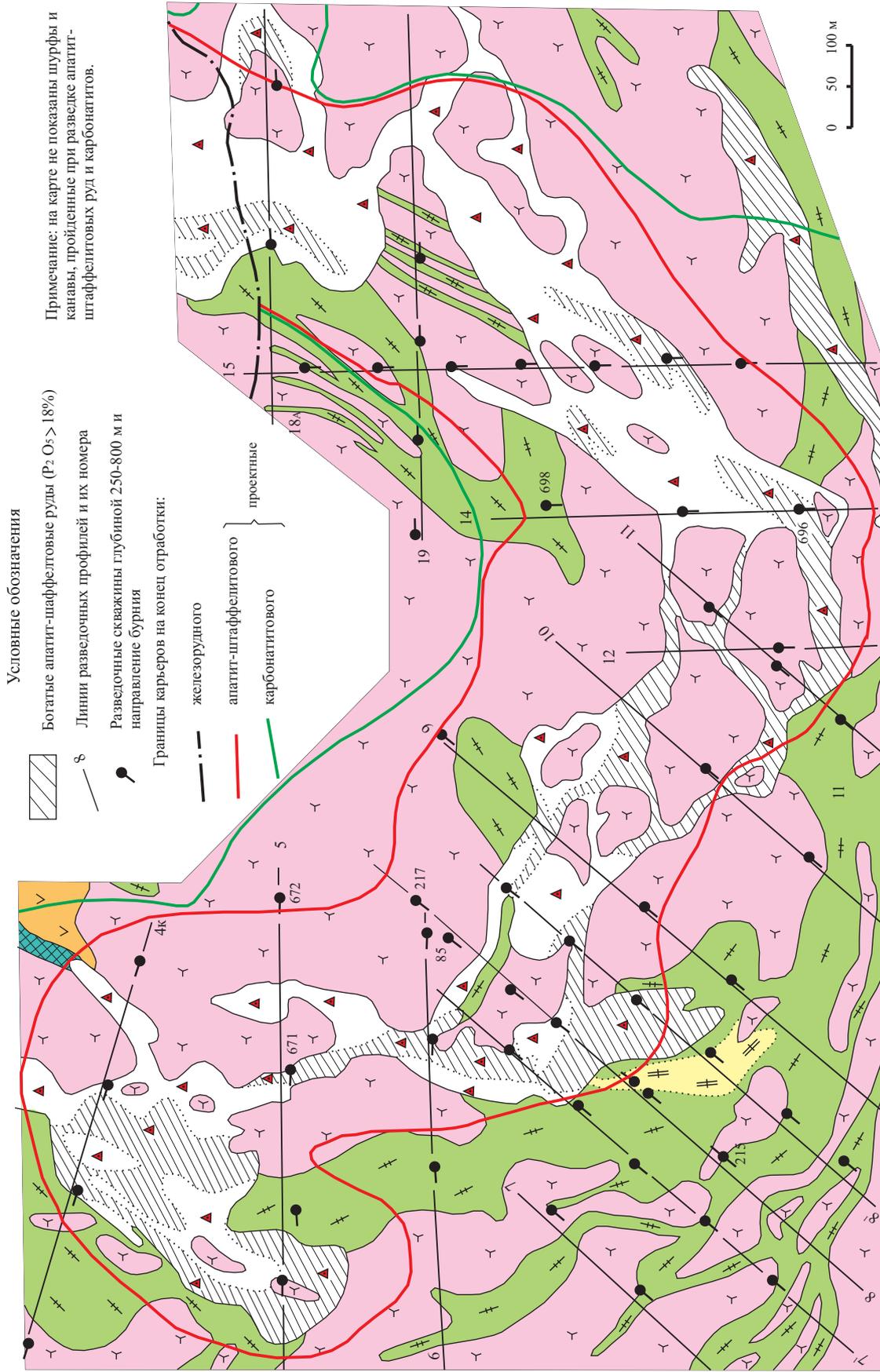


Рис. 33. Геологическая карта Ковдорского месторождения апатит-шарфелитовых и апатит-карбонатных руд (Б. И. Сулимов, 1983 г.).

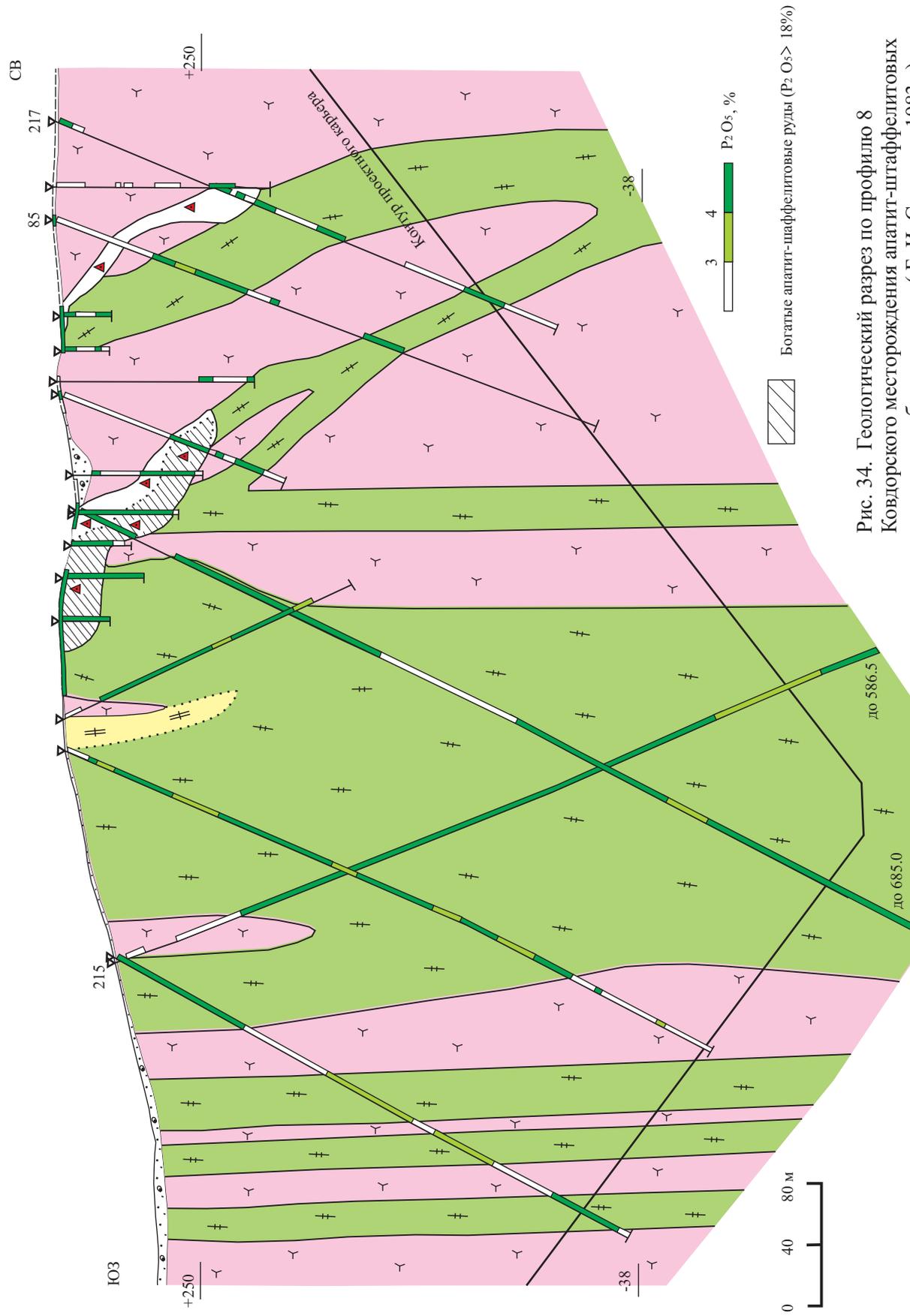


Рис. 34. Геологический разрез по профилю 8 Ковдорского месторождения апатит-шарфелитовых и апатит-карбонатных руд (Б. И. Сулимов, 1983г.).

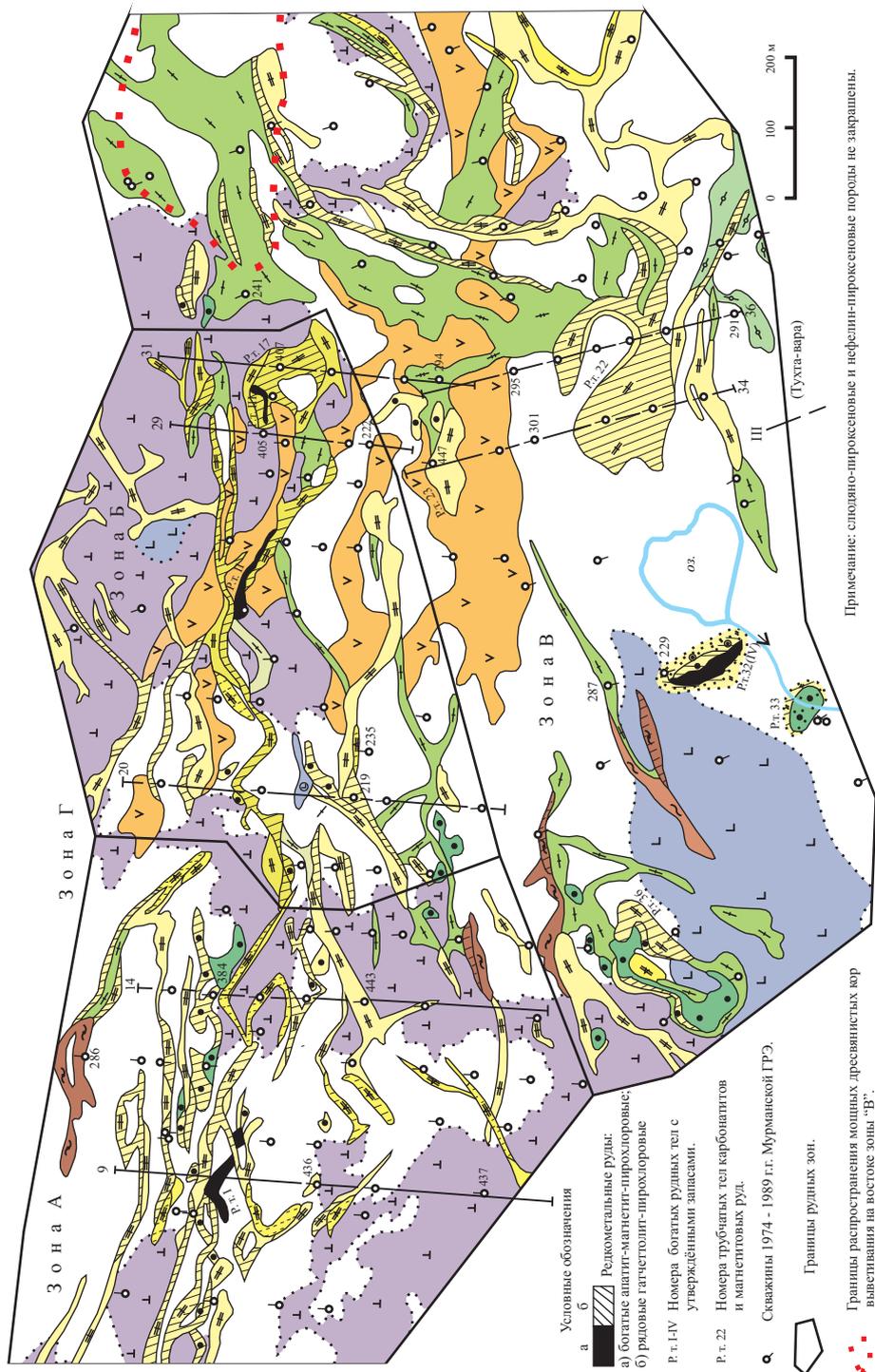


Рис. 35. Геологическая карта участка Неске-вара (массив Вуориярви)

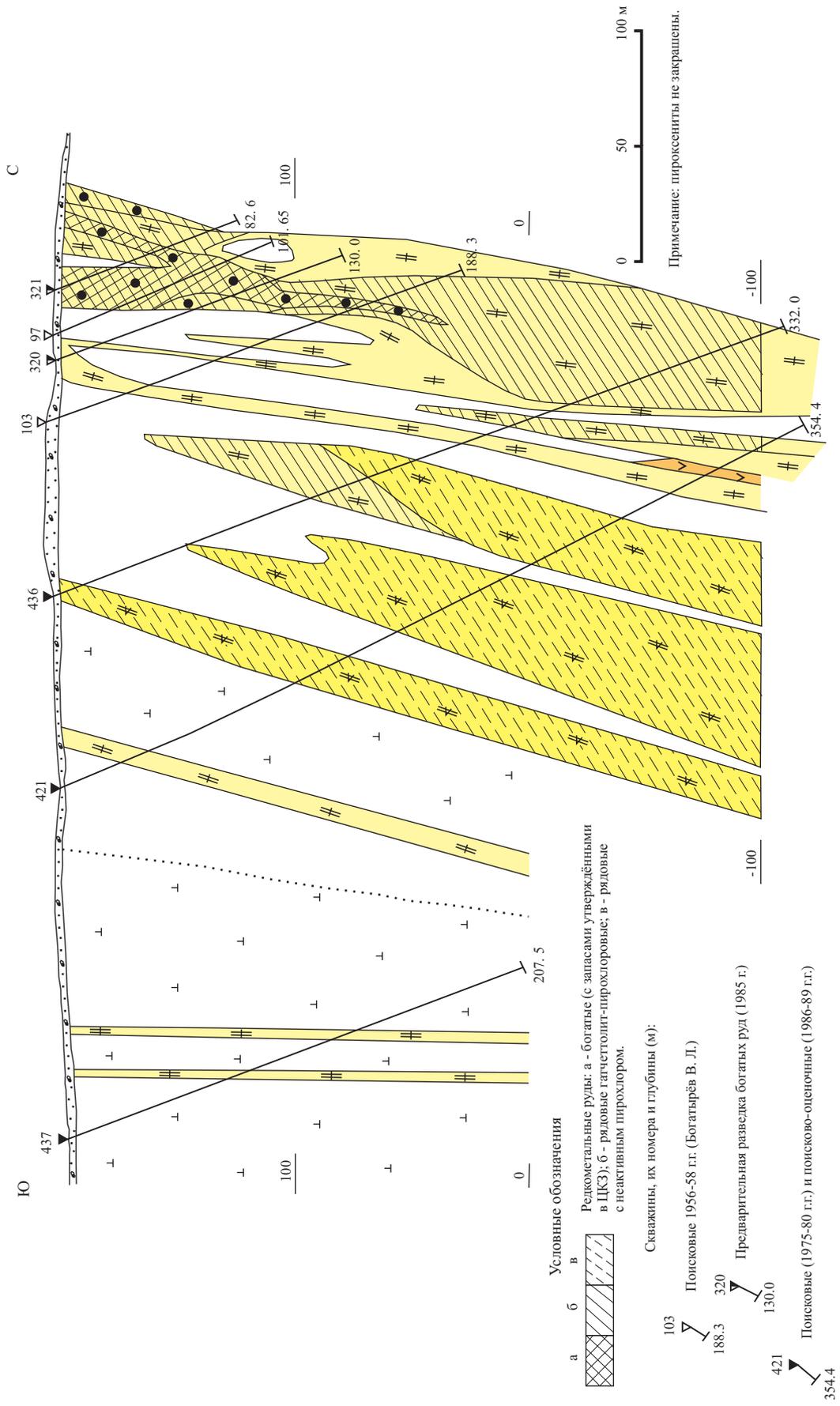
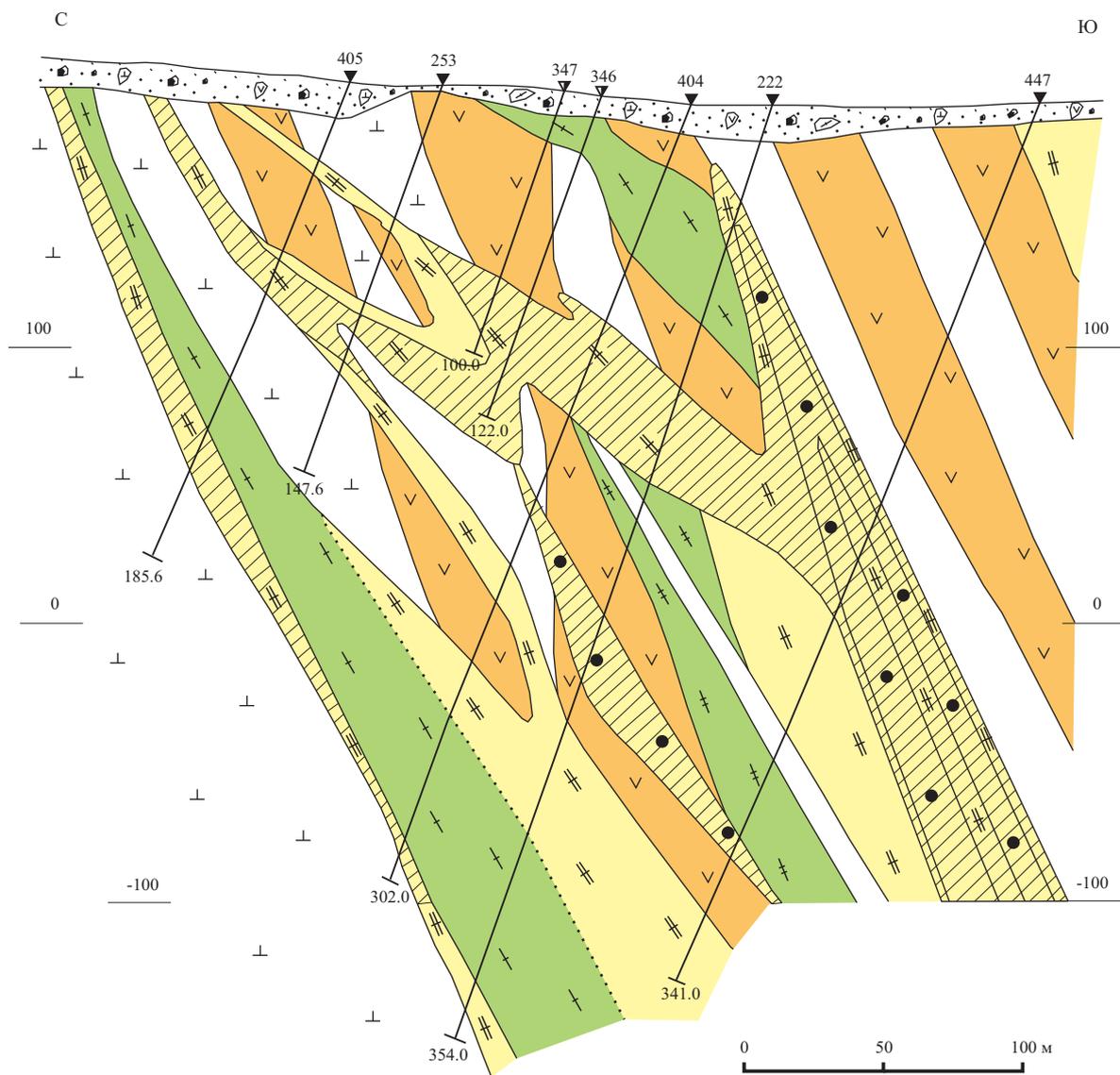


Рис. 36. Геологический разрез по профилю 9 (Неске-вара).



Условные обозначения



Гачтетолит-пироксеновые руды

Скважины, их номера и глубины (м):



Предварительная разведка богатых руд (1985 г.)



Поисковые (1975-80 г.г.) и поисково-оценочные (1986-89 г.г.)

Примечание: пироксениты не закрашены.

Рис. 37. Геологический разрез по профилю 29 (Неске-вара).

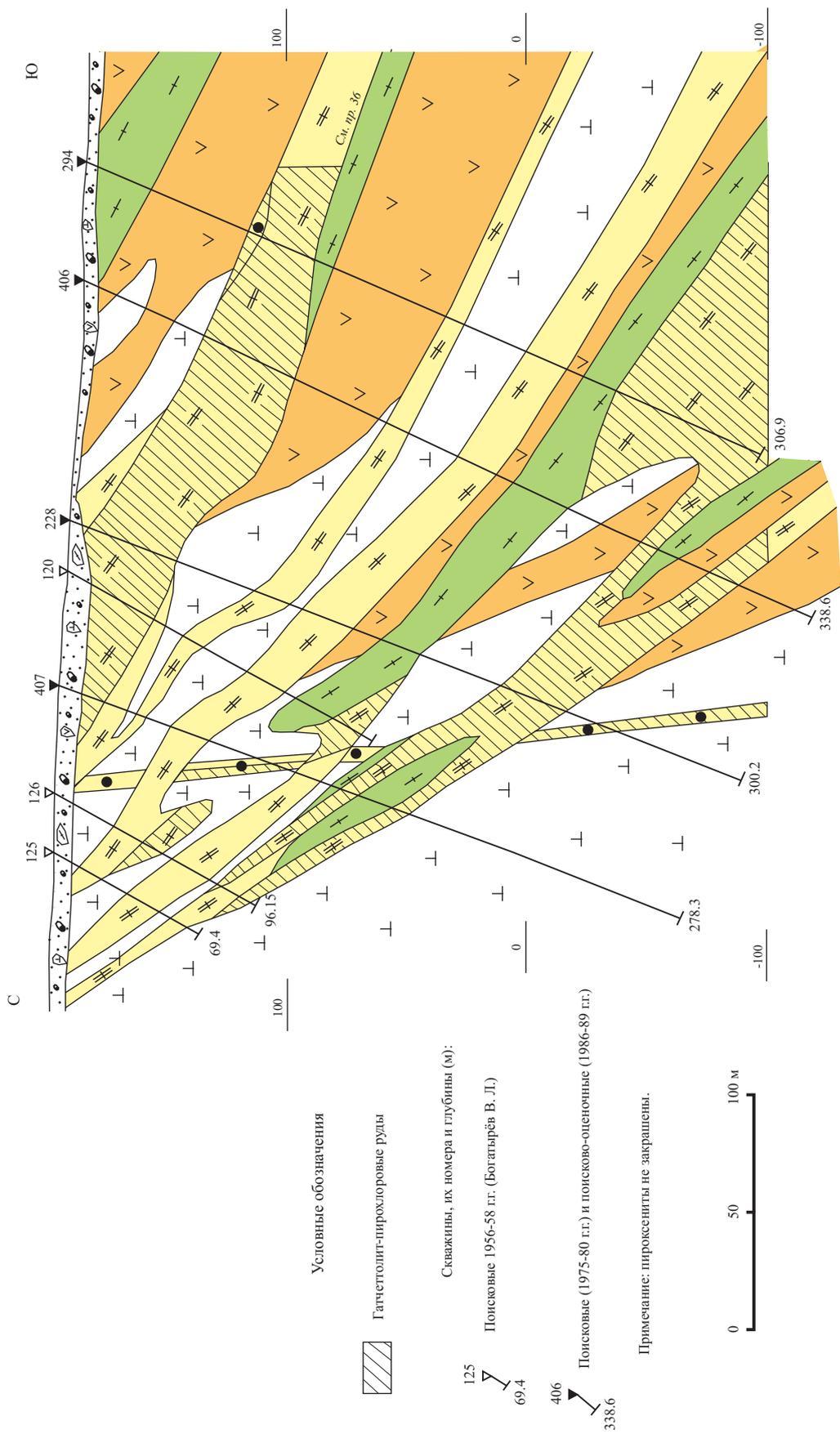


Рис. 38. Геологический разрез по профилю 31 (Неске-вара).

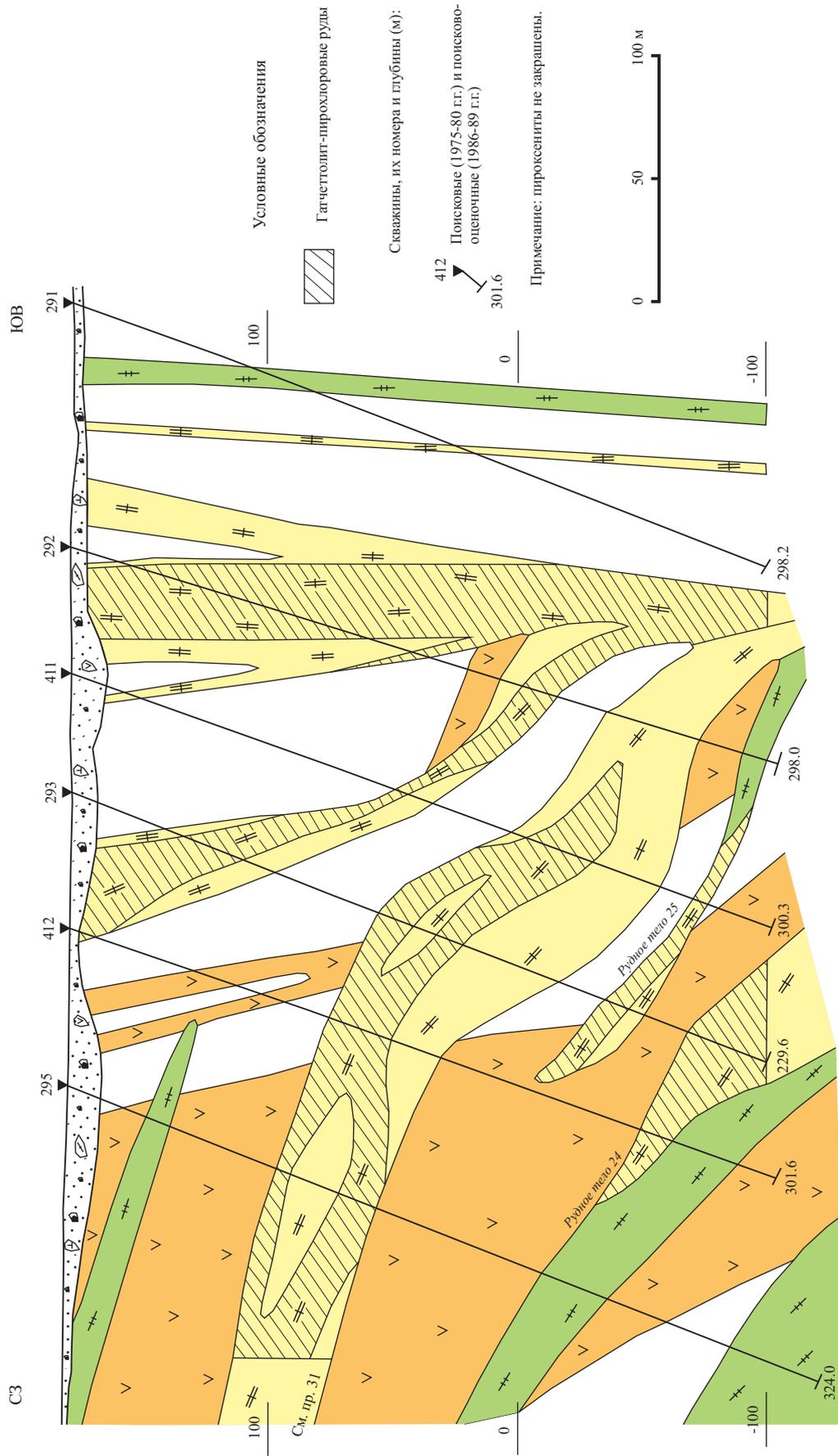


Рис. 39. Геологический разрез по профилю 36 (Неске-вара).

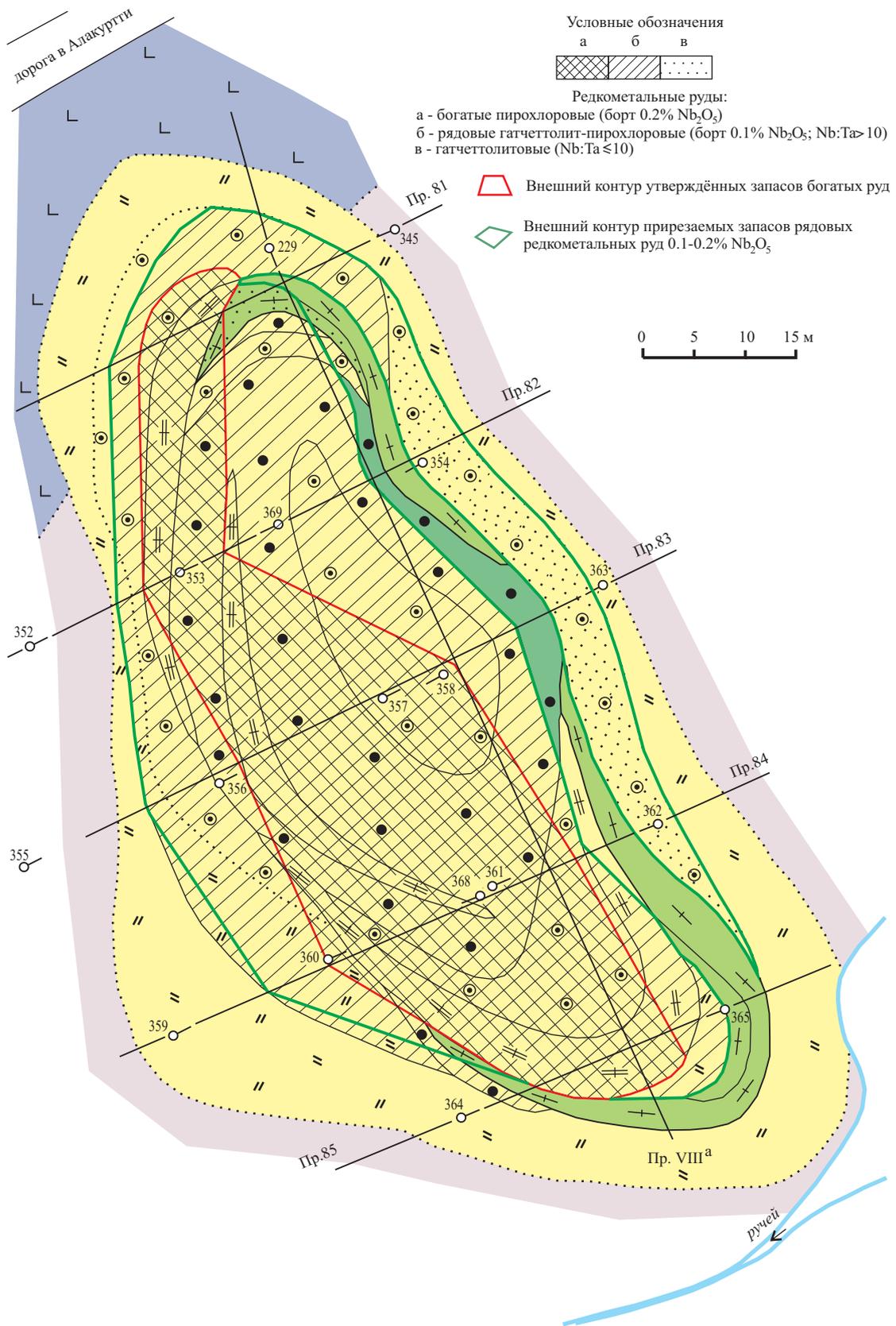
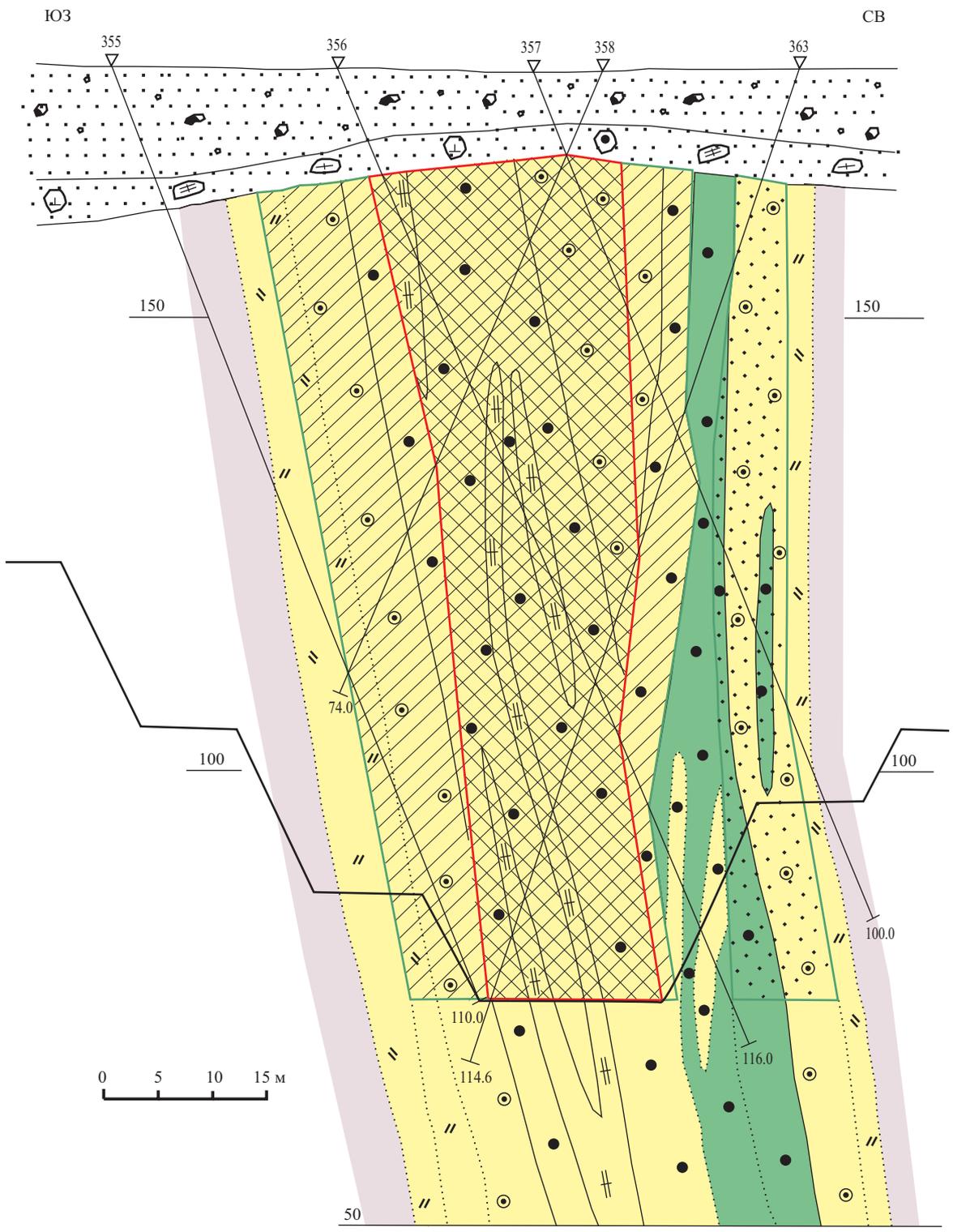


Рис. 42. Рудное тело IV (Неске-вара).



Условные обозначения см. рис.42

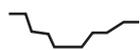
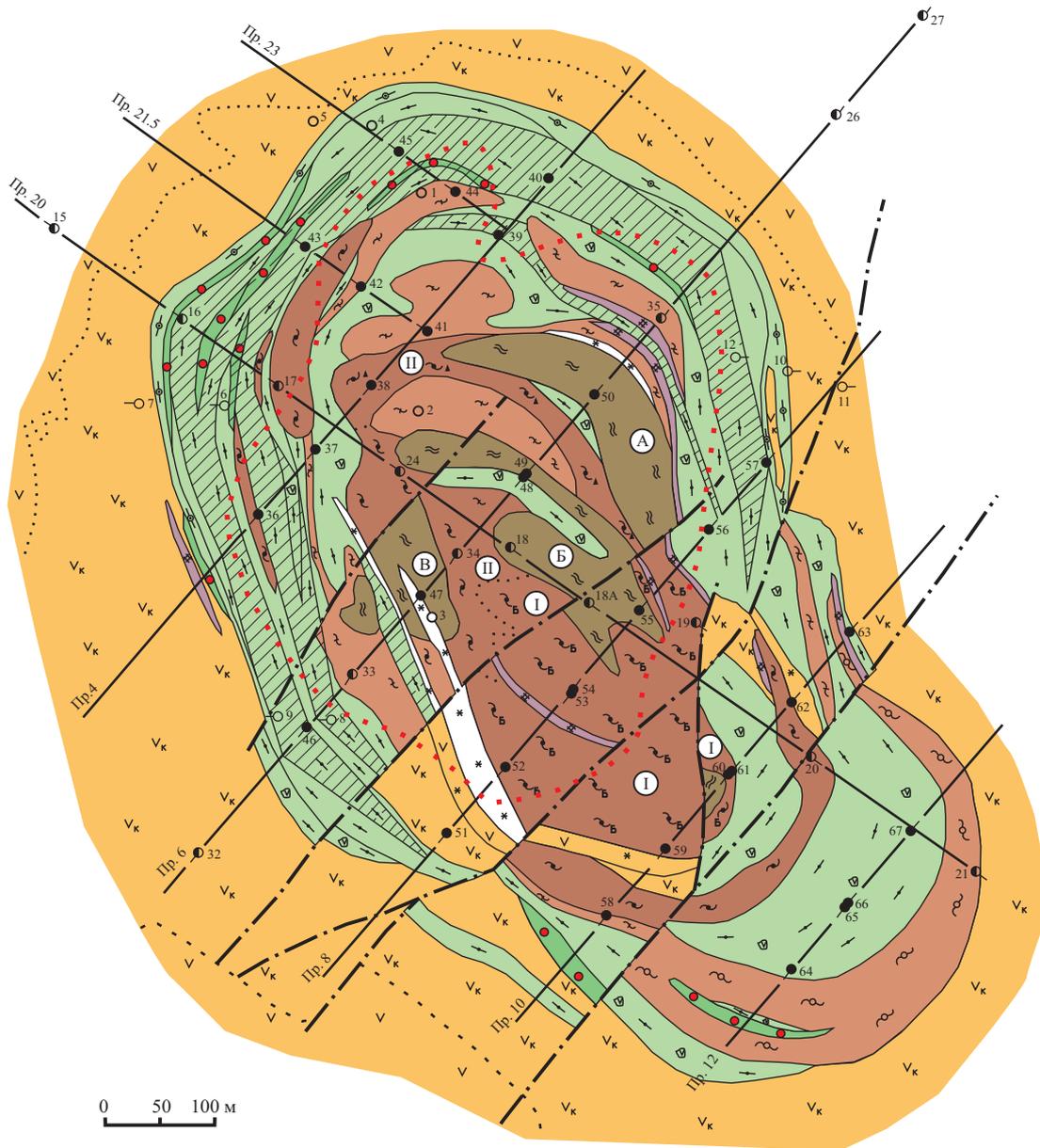
 Контур карьера на конец отработки

Рис. 43. Геологический разрез по профилю 83 рудного тела IV (Неске-вара).



Условные обозначения

- | | | | |
|---|--|---|--|
|  | Редкометалльные (пироклор-луешитовые) руды | | |
|  | Площадь распространения железисто-окисных охр ("железная шляпа") |  | Скважины и их номера:
поисковых работ 1958 г. (Серба Б. И.) |
|  | Индексы тел (блоков) анкерит-сидеритовых карбонатитов (барит-сидеритовых руд). |  | поисковые (1978-81 г.г.) и поисково-оценочные (1984-87 г.г.) |
|  | Номера тел (блоков) доломит-анкеритовых карбонатитов (анкерит-баритовых руд). |  | Предполагаемые разрывные нарушения (по геофизическим данным). |

Рис. 44. Геологическая карта карбонатитового ядра массива Салланлатва.

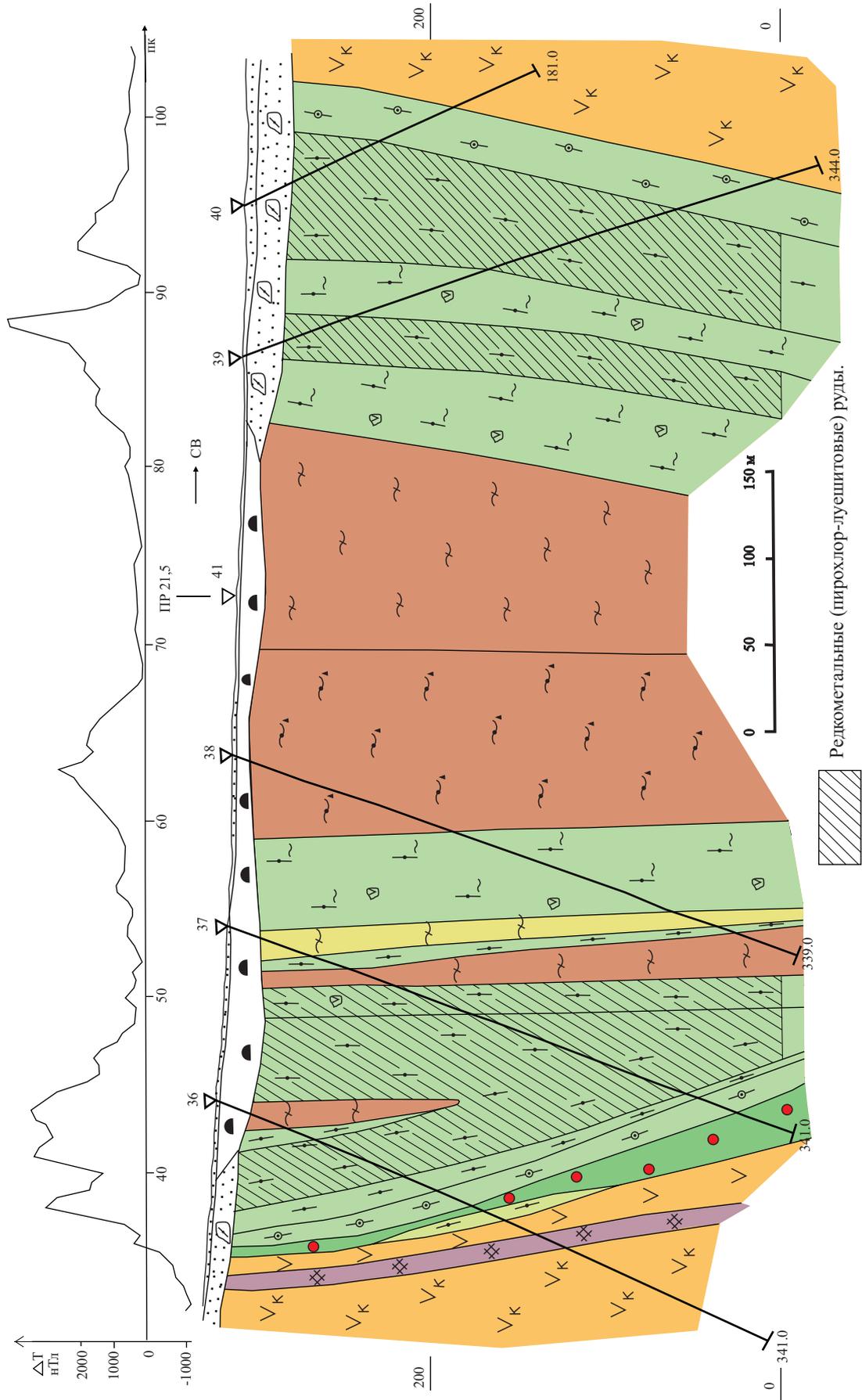


Рис. 45. Геологический разрез по профилю 4 (Салланлагва).

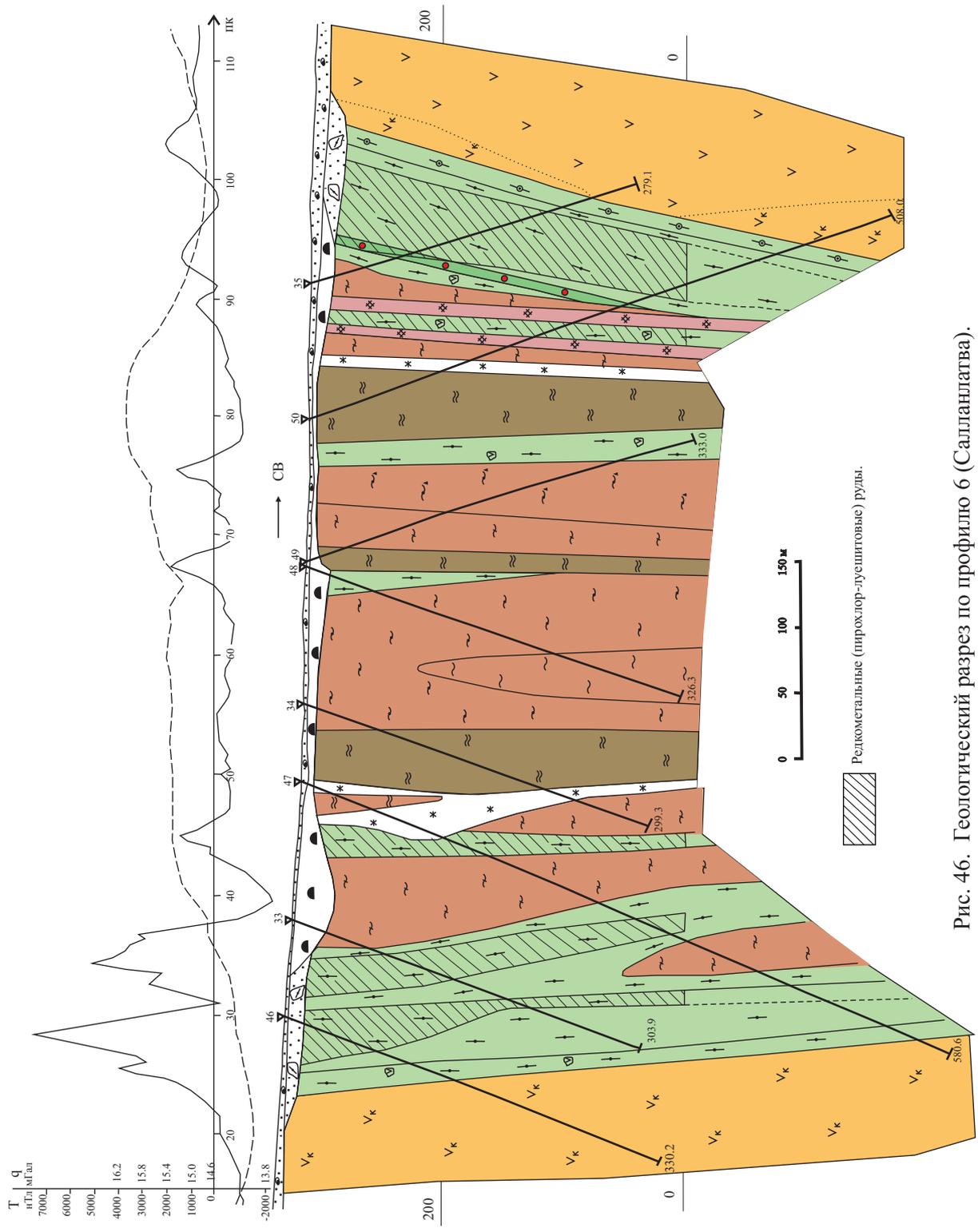


Рис. 46. Геологический разрез по профилю 6 (Салланлава).

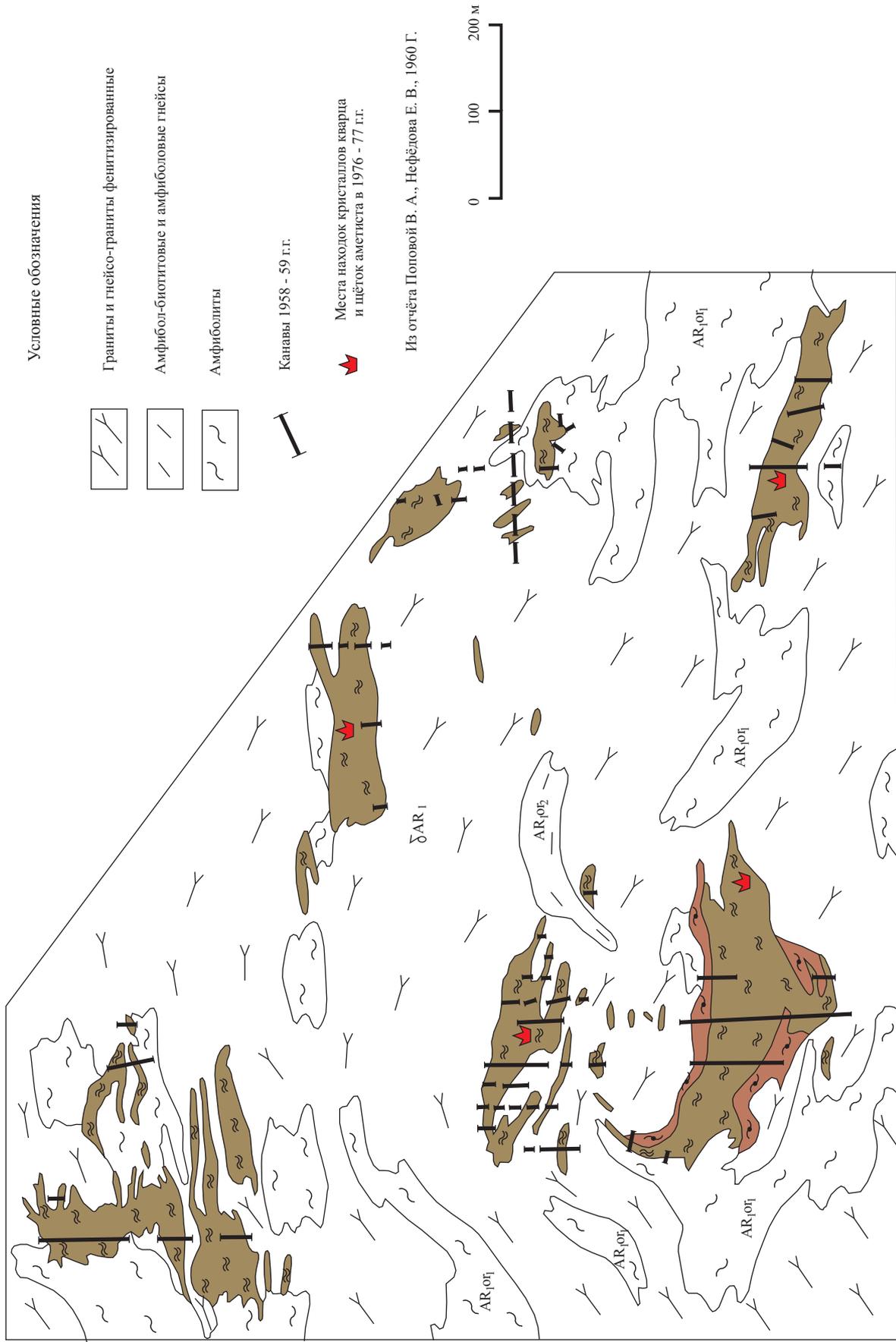


Рис. 50. Геологическая карта карбонатитового поля участка Нама-вара.

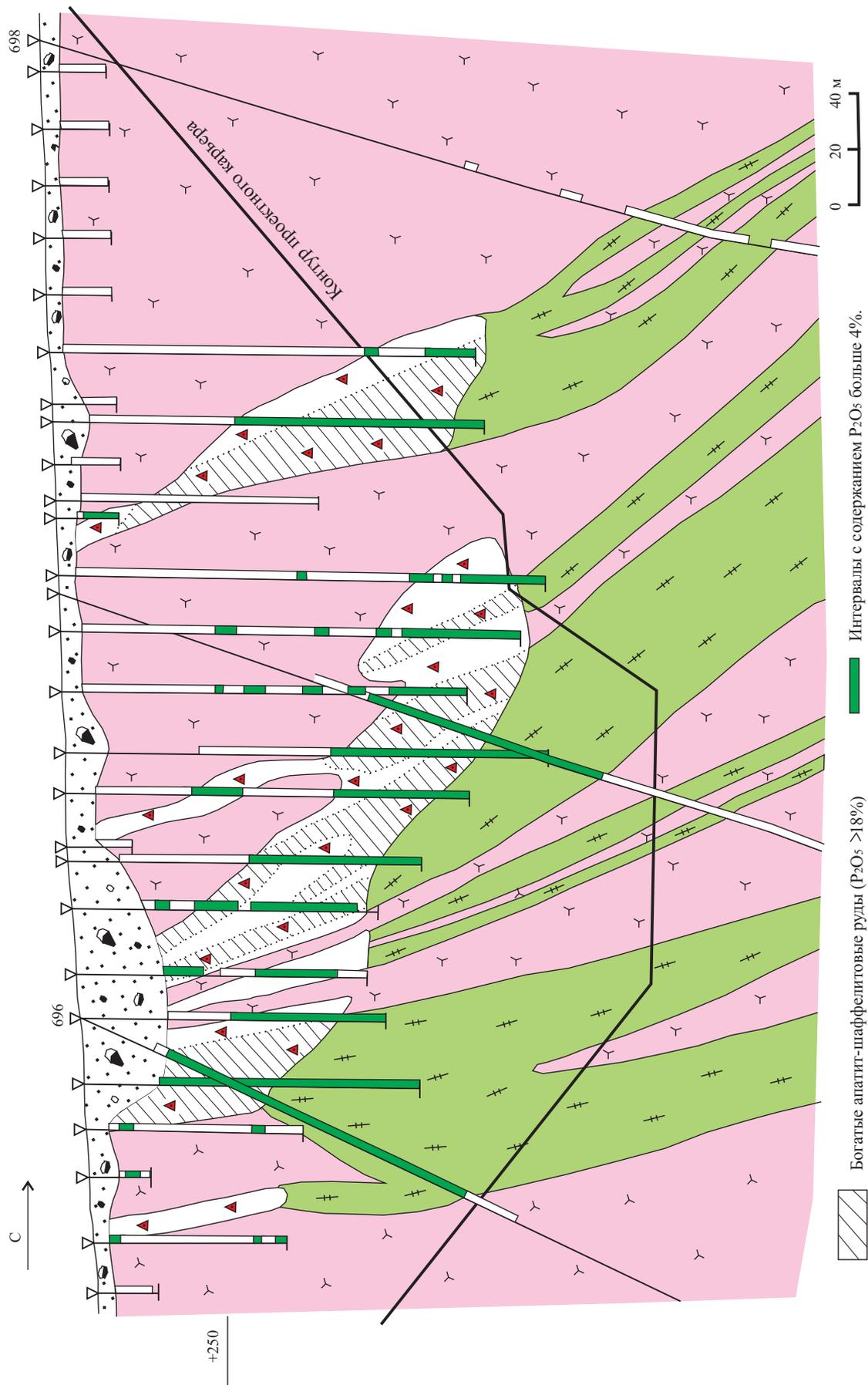


Рис. 51. Геологический разрез по профилю 14 Ковдорского месторождения апатит-шафелитовых и апатит-карбонатных руд (Б.И. Сулимов, 1983).

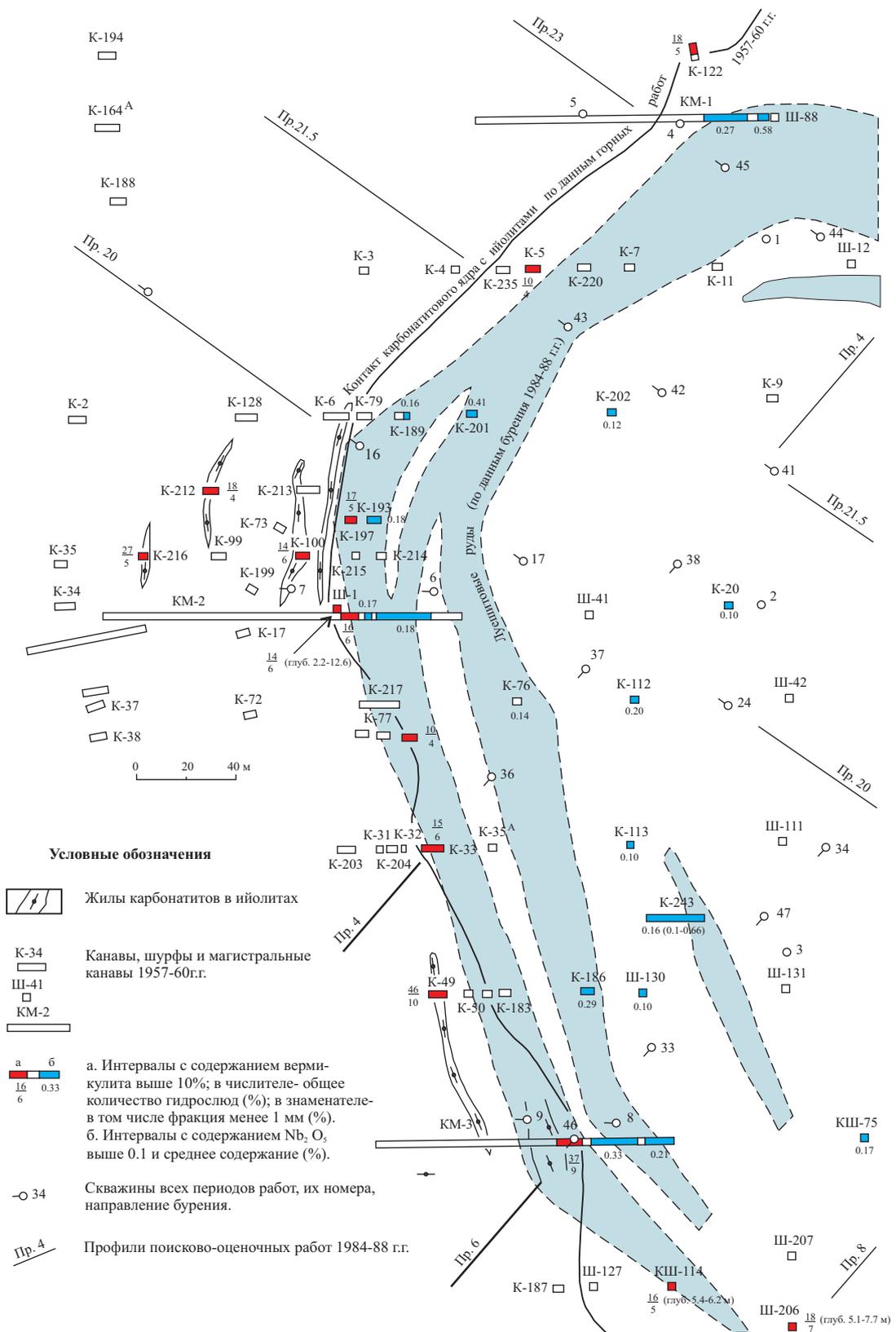


Рис. 52. План опробования дресвянистых кор выветривания Салланлатвы на вермикулит и ниобий.

Таблица 21. Средний химический состав сырья для магнезиальных огнеупоров Ковдора

Компоненты	Скальные оливиниты	Серпентин-оливиновые коры выветривания
MgO	42,99	40,18
CaO	1,27	1,78
SiO ₂	37,44	35,87
FeO	9,06	8,98
Fe ₂ O ₃	4,61	6,62
Al ₂ O ₃	0,86	1,19
Ni	0,138	0,129
п.п.п.	1,48	2,78
CO ₂	0,87	0,96
TiO ₂	0,22	0,28
Cr ₂ O ₃	0,19	0,17
MnO	0,42	0,45
K ₂ O	0,48	0,12
Na ₂ O	0,19	0,27
P ₂ O ₅	0,19	0,29
Сумма	100,41	100,07
Объёмный вес	3,26	2,88
Среднее значение модулей:		
MgO/SiO ₂	1,15	1,12
MgO/Fe ₂ O ₃ +FeO	3,14	2,57

Примечание: Данные взяты из протокола ГКЗ по утверждению запасов (№370 от 29. 03 1996 г.).

Технологические исследования оливинитов как магнезиально-силикатного сырья для производства огнеупоров (табл. 21) были начаты в 1986–1987 гг. на трёх пробах оливинитов, отобранных при вскрышных работах на вермикулит-флогопитовом карьере. Исследования проводил опытный завод Всесоюзного института огнеупоров (г. Боровичи). В 1988 г. огнеупоры из ковдорских оливинитов были испытаны в промышленных условиях на Оскольском электрометаллургическом комбинате и комбинате «Североникель». В 1989 г. проба весом 400 т была направлена в г. Боровичи, а проба весом 700 т – на Пантелеймоновский завод огнеупоров. В итоге перечисленных исследований:

- определены основные физико-технические свойства изделий, отвечающих стандарту СЭВ 5366-85 и превосходящих по пределу прочности на сжатие и термостойкости аналогичную продукцию из дунитов;
- изготовлены и испытаны опытно-промышленные партии форстеритовых огнеупоров в футеровке сталеразливочных ковшей и футеровке печей СКБ-892 для выплавки анодного никеля и печей для обжига цемента;
- выявлены возможности использования оливинитов в качестве сырья для производства огнеупорных формовочных порошков в литейном производстве.

В процессе опытно-промышленной добычи ковдорские оливиниты отправлялись на Череповецкий и Новолипецкий металлургические комбинаты. За 1993 – 94 гг. добыто 22,7 тыс. куб. м оливинитов (главным образом, из кор выветривания), в том числе 33,3 тыс. т кондиционного сырья.

Месторождение разведано скважинами по сети 100×200 м. Бортовое содержание MgO для скальных оливинитов – 40%, для выветрелых – 37% при содержании Al₂O₃ и CaO не более 2% *каждого*, а потерь при прокаливании – не более 2,2% для скальных и 4% для выветрелых. Поскольку общих требований к качеству магнезиально-силикатного сырья нет, для Ковдорского месторождения были разработаны технические условия на скальный оливинит (ТУ 21 – 0281921 – 26 – 94) и на выветрелые разновидности ТУ 21 – 0281921 – 25 – 94). Ими установлены:

- основные компоненты, определяющие огнеупорность сырья: MgO , CaO , SiO_2 , Fe_2O_3 , FeO , Al_2O_3 , Ni , потери при прокаливании (на эти компоненты анализируются рядовые пробы);
- второстепенные, определяемые в групповых пробах: TiO_2 , Cr_2O_3 , MnO , K_2O , Na_2O , CO_2 , P_2O_5 .

<u>Балансовые запасы, млн. т:</u>	категория В	категория С ₁
Выветрелые (серпентин-оливиновые) породы	28,2	34,6
Скальные оливиниты (до гл. 150 м от поверх.)	65,0	162,0

Государственная комиссия, в частности, отметила: «*Качество ковдорских оливинитов в сравнении с дунитами в значительной степени выигрывает из-за низких потерь при прокаливании, что является их важным технологическим свойством, позволяющим применять безобжиговые технологии.*»

12.4. Хабозёрское месторождение (Лесная варака)

Открыто в 1936 г. Безрудные почти мономинеральные оливиниты занимают площадь около 3 кв. км, но детально изучен лишь участок размером 400×400 м, расположенный на пологой возвышенности с превышением над уровнем оз. Б.Сайгозеро 23–43 м (абс. отметки участка 150–170 м, а уреза воды–127 м). Расстояние от границ участка до берега озера 500–600 м. Запасы оливинитов как сырья для магнезиальных огнеупоров впервые утверждены ГКЗ протоколом № 2284 от 16. 05. 1941 г. (в то время ещё ВКЗ) и вторично после доразведки и проведения полупромышленных технологических исследований – протоколом № 2148 от 08. 02. 1958 г.

Объёмы разведочных работ:

- а) Бурение: 24 скв. глубиной 10–50 м;
- б) Горные работы: две магистральные канавы суммарной длиной 560 м, серия коротких канав, 63 шурфа, 4 траншеи глубиной до 3 м для отбора полупромышленных проб.

Мощность валунно-песчано-глинистых отложений, перекрывающих оливиниты, колеблется от 0,1 до 2,5 м, составляя в среднем на разведанном участке 0,85 м. Количество валунов в морене достигает 50–60%, размер их от 0,2 до 1,5 м. По составу это, в основном, гнейсы и мигматиты. Коры выветривания развиты слабо (см. главу 9). По приблизительному подсчёту масса дезинтегрированных оливинитов не превышает 10% разведанных запасов. По химсоставу и огнеупорности выветрелые оливиниты не отличаются от скальных. В то же время сунгулитовые жилы резко снижают качество сырья. Даже небольшие примеси сунгулита в дроблёном оливините заметно увеличивают количество потерь при прокаливании, являющихся вредной примесью.

Минеральный состав оливинитов (объёмные %): оливин – 95–98; рудные минералы (титаномагнетит, перовскит) – 2,0–3,4; минералы-примеси представлены флогопитом, тремолитом, пироксеном, лимонитом, карбонатами, сунгулитом, гидрослюдами. Молекулярный состав оливина: Mg_2SiO_4 (форстерит) – 89%; Fe_2SiO_4 (фаялит) – 11%. Химический состав оливинитов приведён в табл. 6 (графа 5).

1955 г. на Пантелеймоновский завод направлена проба весом 940 т, а во ВНИИО (г. Харьков) – проба весом 20 т. Размер кусков оливинитов в пробах составлял 50–250 мм. По данным ВНИИО состав пробы, поступившей на завод, следующий (вес. %):

SiO_2 – 36,6%;	Cr_2O_3 – 0,31;
$(Al_2O_3+TiO_2)$ – 1,7;	NiO – 0,51; (завышение \approx втрое)
$Fe_{общ.}$ в пересчёте на Fe_2O_3 – 16,8;	MnO – 0,51;
MgO – 43,14;	CaO – 1,35.
п. п. п. – 0,76;	

На заводе были изготовлены две партии форстеритового кирпича марки Ф-4 (370×150×75 мм) с введением добавки магнезитового порошка от 15 до 25%. Вес партий – 95 и 345 т. Кирпич использовался для насадки регенераторов мартеновских печей. Огнеупорность – 1750°C. Испытания его проведены на заводе «Запорожсталь» в 1956 г. Кирпич простоял 1086 плавок и показал лучшую стойкость, нежели огнеупоры из уральского дунита. Наиболее качественные форстеритовые изделия получились при применении зерновых масс с максимальной величиной зёрен оливинита 3 мм и обжиге изделия при температуре 1600°C.

Содержание химических компонентов по выработкам и блокам вычислено среднеарифметическим методом. Выход кондиционных оливинитов (т. е. за вычетом сунгулитовых жил) определён статистически линейным способом по каждой разведочной выработке. Объёмный вес оливинита в целике равен 2,84 т/куб. м. На наш взгляд, эта цифра занижена, а количество замеров недостаточно. Объёмный вес определён всего по 5 пробам и колеблется от 2,5 до 3,3. Такой разброс недопустим, а нижние пределы значений получились меньше, чем у гнейсов (удельный вес оливинита составляет ориентировочно не менее 3,3). Из подсчёта балансовых запасов исключены выработки, вскрывшие сильно сунгулитизированные породы с выходом кондиционного оливинита менее 55%. Запасы по категориям А и В подсчитаны до горизонта 140 м (10–20 м от поверхности), учитывая глубину большинства разведочных скважин. Всего выделено 8 подсчётных блоков. Кроме того, ГКЗ обязала авторов выделить ещё серию блоков категории С₁ в полосе экстраполяции. Характеристика их в отчёте отсутствует и есть только в протоколе ГКЗ. Выход кондиционных оливинитов в среднем по месторождению составил 77%.

Протоколом ГКЗ № 2148 от 08. 02. 1958 г. по состоянию на 01. 01. 1957 г. утверждены следующие запасы оливинита (тыс. т):

категория А – 453
категория В – 1236
категория С₁ – 8035

Авторами отчёта предложена разработка оливинитов карьером с высотой уступов 10–12 м (два уступа). Сунгулит должен быть отделён от кондиционных оливинитов. При отборе технологической пробы применялась ручная разборка горной массы, но при этом отмечено, что значительная часть сунгулита отходила в отвалы с мелочью (фракция 0–50). Количество некондиционного оливинита составляет в среднем 23%, кроме того, ожидается примерно 15% оливинитовой мелочи. Таким образом, выход кондиционного товарного оливинита составит 60–65%.

Разработка месторождения начата небольшим карьером силами ОАО «Железобетонные изделия» (г. Полярные Зори). Дроблённый оливинит отправлялся на Череповецкий металлургический комбинат. Поначалу всё шло неплохо, но затем в связи с отсутствием у завода финансовых средств (а похоже, и опыта горных работ) добыча постепенно затухала и в 2001 г. прекратилась вовсе. В марте 2003 г. завод был объявлен банкротом, а лицензия на добычу аннулирована.

Перовскит-титаномагнетитовые руды

12.5. Африканда

Месторождение расположено в Полярнозоринском районе Мурманской области в 1,5 км от железнодорожной станции Африканда Октябрьской ж. д. Площадь месторождения – 0,77 кв. км и приурочено оно к внутренним частям массива (рис. 8 и 12). Абсолютные отметки участка I очереди отработки составляют 220–230 м. Максимальные высотные отметки (273 и 289 м) расположены чуть южнее участка. Железная дорога и ЛЭП проходят по берегу Хабозёрской губы – небольшого залива в южной части озера Имандра. Абсолютная отметка уреза воды в Хабозёрской губе–127,5 м. Прилегающие к участку территории с абсолютными отметками 160–190 м в значительной степени заболочены. На базе запасов месторождения в 50-х годах прошлого века вырос рабочий посёлок с населением 2 тыс. жителей. В двух километрах от посёлка, непосредственно около станции, построены обогатительная фабрика, дробильный цех, отделение сушки концентратов, котельная, подъездные железнодорожные пути, бункера готовой продукции, помещения транспортных служб, электроподстанции, административные здания, а в 3 км западнее фабрики создан отстойник. Электроснабжение осуществлялось от ГЭС «Нива-1», расположенной вблизи г. Полярные Зори. Автодорога соединяет пос. Африканда с шоссе Мурманск–Санкт-Петербург и районным центром. Расчётная производительность фабрики – 0,5 млн. т руды в год (или 85 тыс. т перовскитового и 100 тыс. т титаномагнетитового концентратов).

Добыча руды – открытая. Карьер находился в эксплуатации с 1956 по 1958 гг. Проектные параметры карьера:

– длина по поверхности – 380 м, по дну – 270 м;

- ширина по поверхности – 180 м, по дну – 90 м;
- глубина – 50 м, т. е. до отметки +170 м;
- высота уступов – 10 м.

Рабочие горизонты намечались на отметках 220, 210, 200, 190 и 170 м. Горизонт +220 м вскрыт полностью. По нему пройдена разрезная траншея, из которой могут вестись очистные работы. Запасы были утверждены в 1951 г. протоколом ВКЗ № 6851.

В 1957 г. пущена в строй обогатительная фабрика, выпускавшая небольшие партии перовскитового концентрата. Спроса на титаномагнетитовый концентрат не было. По разным причинам со временем упал интерес и к перовскитовому концентрату.

В 1972 г. запасы перовскитовых руд с баланса были сняты. Какое-то время Африкандовское рудоуправление занималось обогащением привозных медно-никелевых руд (до 1982 г.), затем институт Механобр (г. Ленинград) создал на базе рудоуправления «Кольский филиал института Механобр» (КФИМ) с целью проведения укрупнённых технологических исследований обогатимости руд различных (в том числе и новых) месторождений Кольского п-ова и Карелии. Однако и это направление оказалось в итоге нереализованным, а опытная обогатительная фабрика с новейшим оборудованием демонтирована.

Границы месторождения с вмещающими породами постепенные. Контуры рудной залежи могут быть проведены только по данным опробования. Разведка проведена горными выработками (шурфы, канавы) и вертикальными скважинами глубиной 100–200 м. Одна скважина (№ 32) пробурена до глубины 424,6 м и из руд не вышла (рис. 13). Запасы подсчитаны при бортовом содержании 5,4% TiO_2 , связанного с перовскитом, и 7,6% Fe, связанного с титаномагнетитом. В пересчёте на минеральный состав это означает, что в руде должно быть не менее 10% перовскита и 12% титаномагнетита.

Основные петрографические типы руд представлены крупнозернистыми пироксенитами (более 50%), амфиболизированными пироксенитами (21%), реликтовыми блоками рудных оливинитов (9%), а также рудными щелочными пегматитами (12%). Максимальные содержания перовскита и магнетита свойственны блокам рудных оливинитов. Содержание Fe в них составляет в среднем 18%; TiO_2 (связанного с перовскитом) – 15%, а с титаномагнетитом – 3,4%. Количественный минеральный состав руд приведён в табл. 22.

Таблица 22. Количественный минеральный состав основных разновидностей перовскит-титаномагнетитовых руд Африканды (в объёмных %)

Типы руд Минералы	Оливиниты			Пироксениты		Кальцит-амфибол-пироксеновые породы	Щелочные рудные пегматиты
	мелкозернистые	порфири-видные	грубозернистые	мелкозернистые	крупнозернистые		
Магнетит	26,5	35,0	30,3	15,0	21,3	25,4	33,8
Перовскит	28,0	31,6	24,5	10,2	16,2	22,8	35,7
Оливин	38,3	30,3	32,5		0,5	1,3	
Пироксен	0,3		1,7	72,5	54,1	19,8	10,9
Слюды	2,0	3,1	2,5		3,0	7,6	5,1
Нефелин				0,3	0,6	1,4	10,1
Амфибол				0,8	3,2	19,9	2,6
Кальцит					0,7	1,0	0,4
Апатит				1,1	0,1	0,2	0,1
Сфен				0,1	0,3	0,6	0,5
Вторичные силикаты	4,9		8,5				0,3
Шорломит							0,5
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Количество подсчётов	20	5	2	58	147	73	35

Из книги А.А. Кухаренко и др., 1965 г.

Среднее содержание Fe по месторождению составляет 12,5%, а TiO₂, связанного с перовскитом, – 8,33% (т. е. 15% перовскита). В южной части детально разведан участок I-й очереди с запасами по категориям А+В+С₁ 34,3 млн. т руды до глубины 300 м, том числе по категории А – 12,5 млн. т. Средние содержания компонентов в руде на участке I очереди составили (%): Fe_{общ.} – 14,2; TiO₂ – 12,03; (Nb,Ta)₂O₅ – 0,22; TR₂O₃ – 0,67; ThO₂ – 0,026. Запасы считались по тем же кондициям, что и для всего месторождения. В среднем в рудах I очереди содержится 14% перовскита и 22% титаномагнетита.

Средний химический состав титаномагнетита по 8 анализам (%)¹

SiO ₂ – 0,69;	FeO – 29,45;	MnO – 0,70;
TiO ₂ – 7,94;	Cr ₂ O ₃ – 0,09;	NiO – нет;
Al ₂ O ₃ – 1,33;	CaO – 0,40;	V ₂ O ₅ – 0,04;
Fe ₂ O ₃ – 57,26;	MgO – 2,42;	TR ₂ O ₃ – 0,01

Проблемами обогащения руд Африканды многие годы занимался Горный институт КФАН (Т.Б. Найфонов, Э.Д. Пурьский и др.). В институте разработана магнитно-флотационная схема обогащения с замкнутым водооборотом. Выход перовскитового концентрата – 15–17%, титаномагнетитового – около 22% (очевидно, эти данные получены для руд с содержанием минералов несколько выше средних). Извлечение перовскита – до 85%, титаномагнетита – до 95%. Состав перовскитового и магнетитового концентратов приведён в табл. 23, а редких земель в перовскитовом продукте – в табл. 24. Химический состав перовскита по типам руд приведён в табл. 25.

Таблица 23. Химический состав концентратов из перовскит-титаномагнетитовых руд Африканды (вес. %)			Таблица 24. Состав редких земель в перовскитовом концентрате (относит. %)	
(по данным Горного института КФАН СССР за разные годы)				
Компоненты	Перовскитовый	Магнетитовый	лантан	19–22
SiO ₂	3,5–4,2		церий	49–53
TiO ₂	50	7–7,5	празеодим	5,2–5,8
Al ₂ O ₃	0,76		неодим	17–18
Fe ₂ O ₃	1,4–1,7	Fe _{общ.} 60–61	самарий	1,8
FeO	1,2–1,35		европий	0,4
CaO	35		гадолиний	0,9
MgO	1,8–1,9		тербий	0,08
K ₂ O	0,1		диспрозий	0,4
Na ₂ O	0,8			
P ₂ O ₅	0,03–0,2	0,015–0,03		
Nb ₂ O ₅	1,1	0,026		
Ta ₂ O ₅	0,06			
ThO ₂	0,08–0,3			
TR ₂ O ₃	4			
V ₂ O ₅		0,10–0,12		

Из таблицы 23 видно, что содержание ThO₂ в перовските варьирует в весьма широких пределах.

¹ Из «Объяснительной записки к подсчёту запасов I очереди...» (М.С. Афанасьев, 1949 г.) Эти же данные опубликованы в монографии «Геология СССР» (1958 г.)

Таблица 25. Химический состав перовскитов Африканды (вес. %)

Компоненты	Из рудных оливинитов			Пироксенит крупнозернистый	Кальцит-амфибол- пироксеновая порода	Из щелочных рудных пегматитов			
SiO ₂	0,33	0,28	1,04	0,84	0,36	0,60	0,21	0,96	0,44
TiO ₂	54,50	54,50	54,06	55,30	52,06	53,36	52,36	52,44	50,84
ThO ₂	0,04	0,07	0,04	0,13	0,17	0,11	0,11	0,11	0,16
(Nb,Ta) ₂ O ₅	0,44	0,80	0,58	0,42	2,02	1,66	1,24	1,26	1,61
TR ₂ O ₃	2,29	2,76	2,10	2,18	7,56	5,20	5,22	5,60	6,68
Fe ₂ O ₃	1,37	1,28	1,36	1,68	2,00	1,72	1,73	2,40	1,88
FeO	0,31			0,97					
CaO	37,62	39,22	39,08	36,46	35,34	36,86	34,28	36,70	33,83
SrO	1,19	0,05	0,05			0,10	1,98		2,10
Na ₂ O	0,98	0,30	0,05	0,46		0,52	1,03	0,63	1,67
K ₂ O	0,48	0,05		0,44			0,56	0,10	0,68
п.п.п.	0,56			0,70			0,57		0,20
Сумма	100,11	99,31	98,36	99,58	99,51	100,13	100,29	100,20	100,09
Уд. вес.	4,01	4,04	4,00	4,03	4,16	4,13	4,12	4,12	4,07

Из книги А. А. Кухаренко и др. 1965 г.

12.6. Западный участок массива Вуориярви

Перовскит-титаномагнетитовые руды (рудные пироксениты) представляют собой средне-крупнозернистые массивные породы с сидеронитовой структурой, местами перекристаллизованные до пегматоидных и изобилующие шлировидными обособлениями, почти нацело сложенными перовскитом и титаномагнетитом. Внешние контуры интрузии рудных пироксенитов ограничиваются на магнитных картах изолинией 75 миллиэрстед. Внутри неё выделяются несколько сближенных рудных тел общей площадью 0,36 кв. км, оконтуривающихся изолинией 100 мэ, что соответствует, как показали данные бурения, рудам с содержанием $Fe_{\text{общ.}}$ выше 15% (рис. 14). Мощность дресвянистых кор выветривания (часто перемещённых) составляет 4–17 м, а мощность четвертичных отложений – 0–5 м, редко до 9 м.

В 1979–81 гг. на месторождении пройдена серия канав и пробурено 9 скважин глубиной до 300 м (2646 пог. м).

При бортовом содержании Fe 15% средние содержания составляют (%): $Fe_{\text{общ.}}$ – 18,1; TiO_2 – 8,7; P_2O_5 – 0,55; S – 0,06; Nb_2O_5 – 0,06. Содержание магнетита около 26%, перовскита около 10%.

Химический состав перовскита приведён в табл. 26. Содержание ThO_2 обычно держится на уровне 0,03–0,04, реже выше. В скв. 282 (проба 08178 в интервале 110,0–113,6 м) встретился аномальный перовскит с содержанием ThO_2 0,18%; Nb_2O_5 1,069 и TR_2O_3 5,05% (этот анализ также вошёл в число усреднённых). Таким образом, тория в перовскитах Западного участка в среднем заметно меньше, нежели на Африканде. Содержания редких земель и ниобия также ниже. Это характерно для ранних генераций перовскита, т. е. для неизменённых или слабо изменённых первичных магматических руд, которых на Африканде, похоже, осталось немного.

Таблица 26. Химический состав перовскита и концентратов из руд Западного участка Вуориярви (вес. %)

Компоненты	Перовскит	Концентраты	
		Перовскитовый	Магнетитовый
	1	2	3
SiO_2	1,51	2,66	
TiO_2	53,74	53,55	10,9
Al_2O_3		2,89	
Fe_2O_3		2,86	$Fe_{\text{общ.}}$ 58,4
FeO		0,70	
CaO	38,00	35,79	
MgO		0,71	
MnO		0,09	0,72
SrO	0,20		
P_2O_5		0,23	0,11
Nb_2O_5	0,630	0,730	0,036
Ta_2O_5	0,055	0,065	
ThO_2	0,05		
TR_2O_3	2,88		
V			0,056
Cr			0,026
Ni			0,02
S		0,03	Менее 0,05
сумма	97,065	100,293	

Анализы выполнены в ХТЛ Мурманской ГРЭ. 1. Среднее из 15 анализов моно-фракций, 1980 г. 2. Среднее из 2 анализов, 1979 г. 3. 1979 г.

Лабораторные технологические исследования проведены на уровне «пристрелочных»: технологическая проба отобрана из канав, т. е. из кор выветривания, но в пробу отбирались невыветрелые монолитные глыбы, представленные в основном сливными рудами шлировидных обособлений. Представительной её назвать никак нельзя. В данном случае интересовало лишь качество концентратов, которые были получены в Горном институте КНЦ РАН Т. Б. Найфоновым в 1979 г. по магнитно-флотационной схеме обогащения руд Африканды (табл. 26).

Подсчёт прогнозных ресурсов. Площадь рудных тел – 360800 кв. м, объёмный вес – 3,5; суммарная длина интервалов с содержанием $Fe_{\text{общ}}$ выше 15% составляет 1988 м из 2619 м, пробуренных по рудным пироксенитам в целом. Откуда коэффициент рудоносности равен $1988:2619=0,76$. Ресурсы руды до глубины 300 м по категории P_1 составляют: $360800 \times 300 \times 3,5 \times 0,76 = 288$ млн. т (округлённо 300 млн. т).

12.7. Себлявр (обрамление Центральной зоны)

Для комплексных фосфатных руд Центральной зоны рудные пироксениты являются вмещающими породами, а одновременно – перовскит-титаномагнетитовыми рудами, близкими по составу и облику к аналогичным рудам на Африканде и (особенно) на Vuoriaarvi (рис. 16, см. раздел 14.1). Это тёмно-зелёные среднезернистые до пегматоидных породы, массивные, с переменным количеством бурого флогопита и всегда со шлирами сплошных перовскит-титаномагнетитовых руд, что сразу отличает интрузивные пироксениты от сходных по составу и облику слюдяно-пироксеновых апооливиновых пород, в которых шлиры отсутствуют. Мощность шлировидных обособлений по керну скважин колеблется от первых сантиметров до первых метров. Шлиры состоят из идиоморфных кристаллов перовскита размером 1–3 мм, залитых магнетитовым цементом.

Внешние контуры интрузии устанавливаются по изолиниям 70–100 миллиэрстед и подтверждены бурением. В процессе изучения Центральной зоны и её обрамления в 1977–1984 гг. рудные пироксениты вскрыты в 17 скважинах на 9 разведочных профилях. Общий метраж бурения по этим рудам составил 2326 п. м. Средние содержания TiO_2 и $Fe_{\text{общ}}$ в магнитной фракции по данным перечёта 33 анализов, выполненных в ЦХЛ СЗПГО, составляют 10,8 и 59,3%, соответственно. Магнитные фракции получены из типичных руд рядовых и групповых керновых проб. Содержание TiO_2 в перовските колеблется от 53 до 57% (в среднем 55,4%); Nb_2O_5 – 0,35%; TR_2O_3 – 1,96%; ThO_2 – 0,08%.

Средние содержания основных компонентов в рудах (%): $Fe_{\text{общ}}$ – 14,85; TiO_2 – 8,18; S – 0,42; CO_2 – 7,24; Ta_2O_5 – 0,007; Nb_2O_5 – 0,087. Количество магнетита в рудах – около 16%; перовскита – почти 12%. Повышенные количества серы и углекислоты связаны с поздней карбонатизацией, сопровождавшей формирование апатит-силикатных, апатит-магнетитовых, апатит-редкометаллических руд и карбонатитов Центральной зоны.

Подсчёт прогнозных ресурсов. Суммарная площадь рудных пироксенитов обрамления Центральной зоны составляет 1,07 кв. км, объёмный вес 3,5; глубина подсчёта – 300 м. При этих параметрах количество руды равна: $1070000 \times 300 \times 3,5 = 1,1$ млрд. т по категории P_1 .

Пегматоидные флогопит-пироксеновые породы

12.8. Себляврское флогопитовое месторождение

Промышленные скопления крупнопластинчатой слюды приурочены к пегматоидным и гигантозернистым рудным пироксенитам южной части массива (точнее, южных флангов Центральной зоны) и генетически связаны с постмагматической перекристаллизацией интрузивных пироксенитов¹. Слюда гнездово-вкрапленная.

В 1963–65 гг. с целью поисков слюды пробурена 41 скважина (6,4 тыс. пог. м) по сети 300×150 м со сгущением сети до 100×100 м, а также пройдены несколько глубоких шурфов до 30–35 м (один шурф с рассечками). Мощность флогопитовых зон 5–60 м. Размеры и морфология их изучены слабо из-за отсутствия подземных горных выработок, а сверху всё месторождение перекрыто чехлом четвертичных отложений мощностью 10–30 м, местами до 40 м.

¹ На рис. 16 (раздел 14.1) четыре слюдоносные зоны в пироксенитах выделены тёмно-фиолетовым цветом.

Содержание забойного сырца по зонам составляет 54–180 кг/куб. м (в среднем 100 кг). Были попытки определить выход промсырца и шипаной слюды, но по керну скважин обычного диаметра это делать бесполезно. По электротехническим свойствам большая часть флогопита отвечает принятым стандартам. Прогнозные ресурсы забойного сырца на участке 500×600 м составляют по Б.В. Губачёву 1,35 млн. т.

13. МЕСТОРОЖДЕНИЯ И РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЩЕЛОЧНОГО ЭТАПА

Апатитизированные пироксениты

13.1. Вуориярви (обрамление рудных пироксенитов Западного участка)

Бедные апатит-силикатные породы массива Вуориярви образуют серповидную зону длиной 3 км при ширине до 150 м с вертикальным падением, окаймляющую интрузию пироксенитов с запада (рис. 14 в разделе 12.6). В 1976–77 годах зона изучена с помощью 14 наклонных скважин до глубины в среднем 200 м (3089 пог. м). Степень апатитизации с глубиной не меняется, распределение апатита весьма равномерное. Минеральный состав пород: пироксен, тёмно-зелёная роговая обманка, флогопит, магнетит, апатит, перовскит, гидронефелин, шорломит. Границы рудных тел выделены по бортовому содержанию P_2O_5 2,5%. Суммарная площадь рудных тел составила при этом 0,32 кв. км. Средние содержания P_2O_5 – 3,27; $Fe_{\text{общ}}$ – 11,2%.

Прогнозные ресурсы до глубины 300 м при объёмном весе 3,5 равны: $320000 \times 300 \times 3,5 = 336$ млн. т (11 млн. т P_2O_5). Технологические исследования не проводились.

13.2. Северная часть Себляврского массива

Апатитизированные пироксениты слагают обширные поля общей площадью 2 кв. км к северу от Центральной зоны (рис. 5 в начале II части). Минеральный состав: пироксен, тёмно-зелёный амфибол, флогопит, апатит, магнетит, шорломит, перовскит, примеси карбонатов. Северная половина массива изучена на стадии поисков в 1973–1977 гг. (Ю.А. Подкопаев) и разбурена по очень редкой сети скважинами глубиной 100–200 м. В 1980–1983 гг. бурения вне пределов Центральной зоны не было, поэтому оценка прогнозных ресурсов дана по отчёту Ю.А. Подкопаева (1980). При подсчёте использована 21 скважина (3047 п. м). Расположены они на 9 поисковых профилях. Ресурсы подсчитаны двумя блоками до глубины 300 м. Результаты подсчёта при бортовом содержании P_2O_5 2%:

Наименов. блоков	Площадь блока (кв. км)	Глубина подсчёта (м)	Средн. содерж. P_2O_5 (%)	Коэфф. рудоносности	Запасы, млн. т	
					руда	P_2O_5
Сев.– зап.	0,81	300	4,07	0,93	716,4	29,2
Сев.– вост.	1,16	300	3,48	0,89	981,8	34,2
Итого:			3,73		1698,2	63,4

13.3. Массив Песочный

На этом массиве апатит-силикатные породы располагаются во внутренней его части, образуя изометрическую залежь размером 750 м в поперечнике, ядро которой сложено карбонатизированными ийолитами. Площадь залежи (за вычетом ийолитов ядра) составляет 0,36 кв. км, т. е. чуть больше, чем на Вуориярви. Минеральный состав: пироксен, тёмно-зелёная роговая обманка, апатит, магнетит, карбонаты, перовскит, циркон, сфен, рутил, пирротин, халькопирит, пирит, ильменит.

Апатитизированные пироксениты вскрыты канавами, из которых отобрано 53 бороздовые и штупные пробы (Антонов, 1969) со средним содержанием P_2O_5 4,2% при максимальном 8,6%. Позднее (Анзель, Калинин, 1975) из горных выработок отобрано ещё 23 пробы с содержанием P_2O_5 2–18% при среднем 6,8%. Столь скудные данные не позволяют не только привести какой-то прогноз ресурсов, но даже получить представление о средних содержаниях P_2O_5 по залежи в целом.

13.4. Южный массив Турьего полуострова

В штучной пробе из «жилы Фёдорова» (см. главу 6, раздел 6.2) содержание P_2O_5 составляет 15,4%. В таких же штучных пробах весом 5–12 кг, отобранных из делювия Южного массива, содержание P_2O_5 колеблется от 5 до 14%. Но этим дело и ограничивается. На Южном массиве уцелели лишь «корешки» залежей апатит-эгириновых пород, т. е. месторождение было, но срезано в процессе эрозии практически полностью. В большинстве бороздовых проб из горных выработок, вскрывших скальные коренные породы, содержание P_2O_5 не превышает первых процентов (в целом не больше 3%), а количество меди, связанной с халькопиритом – 0,03–0,06%. Скважинами же вскрыты в основном неизменённые ийолиты или эгиринизированные их разновидности с ничтожным содержанием апатита. Прогнозные ресурсы не подсчитывались, поскольку считать, собственно говоря, нечего.

13.5. Салмагора

В 1994–95 гг. в предполагаемой зоне развития апатит-эгириновых пород в центральной части Салмагорского массива пройдено несколько наклонных поисковых скважин глубиной 200–360 м. Скважинами вскрыты крутопадающие штокверковые зоны, обогащённые апатитом, а местами и халькопиритом. Мощность отдельных жил составляет 2–4 м по стволам скважин, а общая мощность зон от 25 до 85 м. Минеральный состав: эгирин, нефелин, апатит, пирротин, халькопирит, магнетит, сфен, флогопит. Максимальные содержания P_2O_5 в жилах достигают 10–19%, но при сплошном опробовании зон снижаются от 4,1–4,7% (по трём скважинам) до 6% (скв. 2021). Наибольшие содержания меди в жилах: 0,35% и 0,54% при видимой мощности 1,4 и 2,2 м, соответственно. Повышенные содержания апатита и халькопирита могут наблюдаться в одних и тех же интервалах, но это совсем не обязательно.

Сеть поисковых скважин слишком редка и какой-то целостной картины в плане промышленной ценности комплексного оруденения пока не складывается. Для окончательных выводов о перспективах объекта потребуется проведение дополнительных (т. е. поисково-оценочных) работ.

Прогнозные ресурсы (P_1+P_2) составляют 580 млн. т руды (30 млн. т P_2O_5).

Флогопитоносные метасоматиты

13.6. Вермикулит-флогопитовое месторождение Петяйян-вара (Вуориярви)

Гигантозернистые породы с крупнопластинчатым флогопитом расположены в северо-восточной части массива на площади 0,1 кв. км, где слагают несколько зон в слюдяно-пироксеновых породах. Длина наиболее крупной (Центральной) зоны – 300 м при мощности в плане 25–30 м.

В 1962–64 гг. месторождение оконтурено канавами через 50 м. Кроме того, пробурено 20 скважин (2500 пог. м), в том числе 6 скважин по слюдоносным зонам, а также пройдено 4 шурфа глубиной 16–30 м. Геолкарта месторождения (рис. 15) пересоставлена на основе фактических данных В.Н. Плиева, но каких-либо дополнительных работ на этом участке с того времени больше не велось.

По времени процесс перекристаллизации сопряжён с апатитизацией пироксенитов, т. е. метасоматической переработкой их в щелочной этап формирования массива. Минеральный состав жильной массы: пироксен, флогопит, тёмно-зелёная роговая обманка, магнетит, перовскит, гидронефелин, кальцит, апатит.

О морфологии слюдоносных зон на глубину данных очень мало и возможны различные варианты рисовки. Судя по документации глубоких шурфов, на месторождении развит гнездовый тип ослюденения, распределение слюды крайне неравномерное.

Среднее содержание флогопита (забойного сырца) – 206 кг/куб. м. Выход промышленного сырца по группам (%): I группа (пластины 100 кв. см и более) – 1,2; II группа (50–99 кв. см) – 3,0; III группа (4–49 кв. см) – 10,8. Общий выход – 15%, т. е. втрое ниже, чем на Ковдоре¹. Выход полуочищенных

¹ Необходимо оговориться, что по данным эксплуатации средний выход промсырца на Ковдоре составил 16,1% от забойного, а не 46,6%, как подсчитано по данным детальной разведки (см. гл. 14, раздел 14.2).

подборов составляет 1,0–2,7% от забойного сырца, а щипаной слюды – 94% от подборов. Слюда (как следует из группового состава) в основном мелкозерная.

Прогнозные ресурсы флогопита (по Плиеву) до глубины 200 м составляют 600 тыс. т, но объёмы работ на участке недостаточны даже для детальных поисков. Групповой состав слюды определён всего по трём шурфам, а запасы слюды подсчитаны в основном по данным наземных горных выработок. Относительно детально месторождение изучено лишь по одному профилю, но и этот материал не даёт возможности судить о морфологии слюдоносных зон.

Поисковые работы на участке Петяйян-вара велись параллельно с разведкой Ковдорского флогопитового месторождения. Изучение и обработка слюды обоих месторождений проводилась по одной и той же методике одними и теми же организациями: лабораторией Ковдорской ГРП, Филинской слюдяной фабрикой в Горьковской области, институтом Гипронинеметаллоруд, Всесоюзным электротехническим институтом (ВЭИ). По электротехническим свойствам флогопиты Ковдора и Vuориярви очень сходны, но по термостойкости слюда Vuориярви заметно лучше:

	Линейное увеличение толщины пластин (%) после нагревания до температуры С°:			
	150	250	450	750
Вуориярви	0,7–5	2,2–3,9	6,5–8,8	25–80
Ковдор	1,6–6,0	1,0–15,8	17,0–20,0	29–165

(Из книги В. И. Тернового и др., 1969 г., стр.168)

Вермикулитовые коры выветривания над флогопитовым месторождением описаны в данном разделе в порядке исключения, поскольку изучались одновременно с флогопитом единой системой горных выработок и скважин. Оба объекта тесно взаимосвязаны в пространстве.

По коре выветривания, мощность которой 14–18 м, подсчитаны прогнозные ресурсы вермикулита (точнее, гидрофлогопита) в количестве 385 тыс.т при содержании гидрослюд 6–11%, в том числе I сорта (фракция крупнее 1 мм с объёмным весом после обжига не более 200 кг/куб. м) – 254 тыс.т. Контуры зон, обогащённых гидрослюдой, почти в точности совпадают с флогопитоносными зонами (при содержании её от 10% и выше). Наиболее крупная Центральная зона заключает в себе 60% всех запасов вермикулита и 77% запасов крупнопластинчатого флогопита. Объёмный вес обожжённых гидрослюд (кг/куб. м):

- фракция более 10 мм – 40–100
- фракция 3–10 мм – 60–260
- фракция 1–3 мм – 80–320.

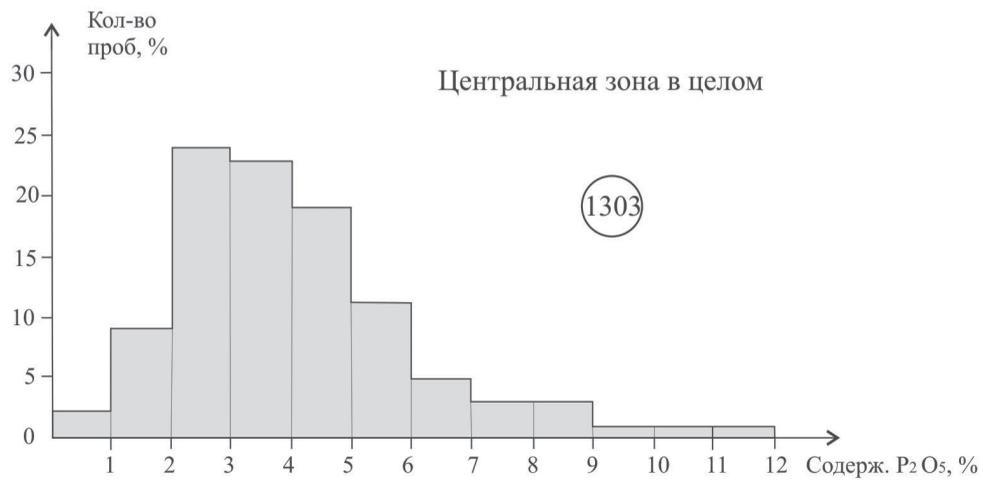
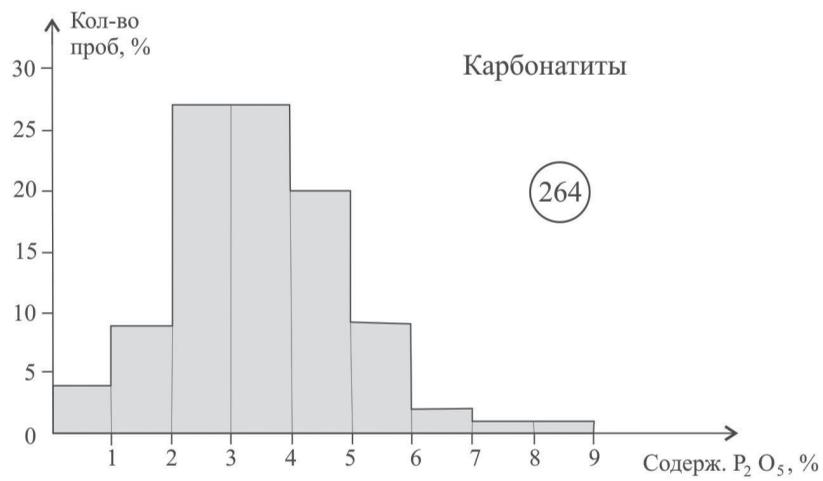
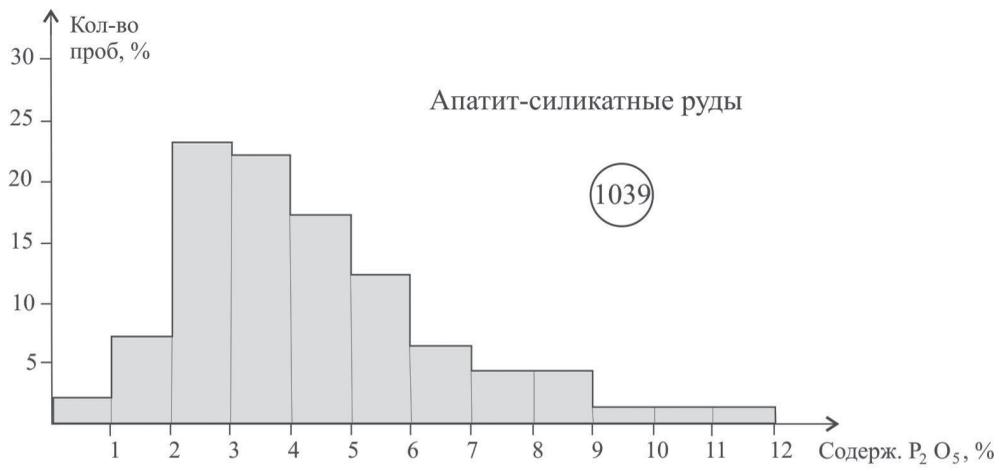
По сумме фракций вес обожжённой гидрослюды не превышает 200 кг/куб. м до глубины 14 м, а затем резко (скачком) возрастает.

14. МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРБОНАТИТОВОГО ЭТАПА

14.1. Комплексные апатитовые руды Центральной зоны Себлявра

В 1973–1977 гг. на всей площади массива проведены поисковые работы на апатит (143 скв.; 26,9 тыс. пог. м бурения), в результате чего выделены три перспективные зоны: Центральная (наиболее крупная), Северо-западная и Северо-восточная (Ю.А. Подкопаев). В 1977–1979 гг. в пределах Центральной зоны проведены поисково-оценочные работы, а в 1980–1984 гг. – предварительная разведка. В общей сложности в пределах Центральной зоны пройдено 122 скважины (41 тыс. пог. м бурения), в том числе две структурных: № 334 на проф. 23 глубиной 977 м и № 341 на проф. 27 глубиной 949 м (рис. 16–21). Параметры разведочной сети с поверхности составили примерно 200×200 м, а в западной части зоны между профилями 21 и 27 сеть сгущена до 100×200 м.

Площадь Центральной зоны – 2,5 кв. км. Вмещающими являются рудные пироксениты (т. е. перовскит-титаномagnetитовые руды), окружающие Центральную зону почти сплошным кольцом. Мощность четвертичных отложений 10–20 м. Минеральный состав руд: пироксен, флогопит,



Цифры в кружках - количество проб.

Рис. 21. Гистограммы распределения P_2O_5 в апатитовых рудах месторождения Себлявр.

апатит, кальцит, доломит, магнетит, амфиболы, сульфиды (пирротин, пирит, халькопирит), кальцитрит, циркон, перовскит, шорломит, ильменит, бадделейт, пироклор, гатчеттолит, циркелит.

Основные геолого-промышленные типы апатитовых руд и их доля в общих запасах (%):

1. Апатит-силикатные руды (апатит-флогопит-диопсидовые породы и апатитизированные пироксениты) – 74.
2. Апатит-магнетитовые руды ковдорского типа – 11.
3. Карбонатиты (апатит-карбонатные руды) – 15.
4. Тантало-ниобиевые апатитовые руды – это составная часть первых трёх типов.

При бортовом содержании P_2O_5 4% в плане выделяются несколько серповидных и линейно-вытянутых тел апатитовых руд, образующих неполнокольцевую зону. Мощность отдельных тел варьирует от 20 до 180 м, длина – 0,4–1,5 км. При бортовом содержании P_2O_5 3% рудные тела в западной части зоны сливаются в одно, тогда как в восточной половине они ещё сохраняют свои очертания, несколько увеличиваясь по мощности. Наконец, при бортовом содержании 2% разделение на рудные тела теряет смысл (рис. 19). При подсчёте запасов выделено 9 рудных тел (вместе с апатит-магнетитовыми) и 6 карбонатитовых тел (всего 96 подсчётных блоков). План подсчёта запасов приведён на рис. 20.

Запасы апатитовых руд по категориям C_1+C_2 при разных бортовых содержаниях P_2O_5 до горизонта -400 м (450–480 м от поверхности), на флангах – до горизонта -200 м:

Борт P_2O_5 , %	Запасы руды, млн. т		Среднее содержание P_2O_5 , %	Запасы P_2O_5 , млн. т
	в целом	в том числе карбонатиты		
4	633	44	5,6	35,3
3	1207	178	4,6	56,0
2	1902	271	3,9	74,2

Средние содержания других компонентов при борте 3%:

а) по данным подсчёта запасов (%):

$Fe_{\text{общ.}}$ – 12,7; $Fe_{\text{магн.}}$ – 6,4; $S_{\text{общ.}}$ – 1,08; CO_2 – 13,6; ZrO_2 – 0,17; Cu – 0,06.

б) по данным химического анализа представительной пробы:

SiO_2 – 20,0	MgO – 11,9	Nb_2O_5 – 0,1
TiO_2 – 3,13	CaO – 21,4	Co – 0,006
Al_2O_3 – 3,84	F – 0,43	Ni – 0,004
MnO – 0,42		

Богатых апатитовых руд на месторождении нет. Максимальные содержания P_2O_5 (9–12%) отмечаются лишь в трёх процентах рядовых керновых проб (рис. 21).

Апатит-магнетитовые руды специально не разведывались из-за мелких размеров тел и их разрозненности. В пределах Центральной зоны они рассматривались как фосфатные руды и запасы их считались вместе с апатит-силикатными разновидностями. Встречены они почти во всех рудных телах апатит-силикатных руд (кроме тел №№ 6 и 9), а также в карбонатитовых телах №№ 1к и 6к. Из 96 подсчётных блоков интервалы апатит-магнетитовых руд есть в 38. Статистический подсчёт запасов при содержании $Fe_{\text{магн.}}$ 10% (или 16,5% $Fe_{\text{общ.}}$) показал, что их количество в Центральной зоне составляет 133 млн. т при среднем содержании (%): $Fe_{\text{общ.}}$ – 20,5; P_2O_5 – 4,9; S – 1,3; CO_2 – 10,9. Часть апатит-магнетитовых руд содержит промышленные концентрации тантала и ниобия.

Тантало-ниобиевая минерализация генетически связана с последними стадиями карбонатитового процесса. Участки с кондиционными содержаниями тантала и (или) ниобия вскрыты 32 скважинами в рудных телах №№ 2–5, 7 и карбонатитовых жилах №№ 1к, 3к–6к или в 38 подсчётных блоках из 96. По результатам статистического подсчёта запасы таких руд составляют 153,7 млн. т, из которых на апатит-магнетитовые руды приходится 46,5%; на карбонатиты – 30,9%; на силикатные

карбонатизированные метасоматиты – 22,6%¹. Соотношение пироксеновых и гатчеттолитовых руд примерно 2:3 (т. е. 40 и 60%). Средние содержания в целом по всем типам редкометалльных руд составляют (%): Ta₂O₅ – 0,012; Nb₂O₅ – 0,147; ZrO₂ – 0,16; CO₂ – 15,9; Fe_{общ.} – 15,0; P₂O₅ – 4,7; S – 1,66. В пироксеновых рудах ниобия вдвое больше, нежели в гатчеттолитовых при соразмерном содержании остальных компонентов.

Минералами-концентраторами циркония в апатит-силикатных рудах являются кальцитрит и циркон, присутствующие примерно в равном соотношении в количестве 0,2–0,3% (в сумме); в апатит-магнетитовых рудах – бадделейт, а в редкометалльных разновидностях к нему добавляется циркелит.

Лабораторные технологические исследования обогатимости апатит-силикатных руд проводились как в процессе поисково-оценочных работ, так и в период предварительной разведки Механобром, Горным институтом КФАН СССР, Институтом минеральных ресурсов (г. Симферополь). Наиболее интересными оказались комплексные схемы обогащения ИМР^а, разработанные на технологической пробе № 10, отобранной при бортовом содержании P₂O₅ 4% (Тихонов и др., 1984) и пробе № 13, отобранной при борте 3% (Тихонов, Шпынёва и др., 1989).

При лабораторных исследованиях из руды пробы № 13 получены следующие концентраты:

	Содержание основного компонента, %	Выход, %	Извлечение, %
Апатитовый	P ₂ O ₅ – 37,7	8,6	75,2
Карбонатный	карбонатов – 85,0	24,5	68,8
Магнетитовый	Fe – 65	10,1	92,6 от Fe _{магн.}
Сульфидный	S – 40,0	0,3	27,0
Слюдяной	слюды – 95	18,1	58,5
Медный	меди – 15	0,11	45,0

Кроме того, в концентратах содержатся следующие компоненты (%):

- в апатитовом: CO₂ – 3,4; F – 1,7; TR₂O₃ – 0,15;
- в карбонатном: SiO₂ – 3,0; MgO – 5,2; CaO – 45,4; P₂O₅ – 2,4; CO₂ – 38,4;
- в магнетитовом: TiO₂ – 5,5; MnO – 0,97; P₂O₅ – 0,08; S – 1,3; Nb₂O₅ – 0,25;
- в сульфидном: Fe – 53,3; Cu – 0,05; Co – 0,1; Ni – 0,015;
- в медном: S – 42,9; Fe – 36,4; Co – 0,7; Ni – 0,07; Ag – 0,01.

Вопросы извлечения аксессуарных минералов тяжёлой фракции (кальцитрита, циркона, бадделейта, перовскита, ильменита и других) изучены слабо.

Лабораторные исследования обогатимости редкометалльных апатитовых руд проведены лишь однажды и то после завершения предварительной разведки (ВИМС, Гусев и др., 1989 г.). В результате по сложной гравитационно-магнитно-флотационной схеме с применением в голове процесса покусковой радиометрической и магнитной сепарации получены следующие концентраты:

- магнетитовый с выходом 13,4% при извлечении железа 55,1%, содержании его в концентрате 67,2% и TiO₂ – 1,91%;
- концентрат редких металлов с выходом 0,94% при содержании Ta₂O₅ 0,63% и Nb₂O₅ 6,0% при извлечении, соответственно, 48,7 и 40,3%; количество урана в концентрате – 0,54%; тория – 0,145%; ZrO₂ – 7,0;
- апатитовый с выходом 8,66% при извлечении 65,6% и содержании P₂O₅ 36,5%.

При гидрометаллургическом переделе концентрата редких металлов получены товарный фторанталат калия, технический оксид ниобия и урановый химконцентрат при извлечении полезных компонентов 92–98%.

Доля кальцитовых карбонатитов в запасах комплексных апатитовых руд при бортовом содержании P₂O₅ 3% составляют почти 15% (вместе с редкометалльными разновидностями). В принципе возможна селективная добыча карбонатитов, если, к примеру, возникнет необходимость временного

¹ Сюда вошли кондиционные по редким металлам участки среди апатит-флогопит-диопсидовых руд, генетически связанные с карбонатитовым этапом; сульфидно-актинолитовые метасоматиты и изменённые пироксениты.

складирования их. Содержание основных компонентов в «чистых» карбонатитах (по результатам усреднения анализов 60 выборочных керновых проб составляет (%):

Fe _{общ.}	– 5,24
Fe _{магн.}	– 1,7 (около 3% магнетита)
P ₂ O ₅	– 2,99 (7,5% апатита)
CO ₂	– 32,84 (75% кальцита)
S	– 0,96

Реальные содержания P₂O₅ в карбонатитовых блоках несколько выше из-за присутствия в них мелких участков апатит-силикатных и апатит-магнетитовых руд. Так, при борте 3% среднее содержание P₂O₅ в карбонатитах составляет 4,03%, а при борте 2% – 3,53%.

Сведения по фосфатным корам выветривания приведены в разделе 16.3.

14.2. Ковдорское флогопитовое месторождение

Расположено в 3 км к северо-западу от г. Ковдора и залегает непосредственно под вермикулитовым месторождением. Открыто в 1960 г. Промышленные скопления крупнопластинчатого флогопита связаны с полукольцевой зоной флогопит-оливин-диопсидовых пород (см. раздел 7.6). К северо-западной части полукольцевой зоны приурочена так называемая «Главная флогопитовая залежь» – наиболее мощная и богатая часть месторождения длиной около 800 м при ширине 50–200 м, перекрытая сверху вермикулитовыми корами выветривания мощностью до 70–80 м и четвертичными отложениями мощностью 6 м (рис. 22–24). Ядро залежи сложено апатитовыми и апатит-оливиновыми породами с реликтами гигантских кристаллов флогопита. Запасы апатитовых руд в ядре залежи составляют 1,2 млн. т при среднем содержании P₂O₅ 7,5%. ГКЗ они не утверждались. По условиям залегания месторождение отнесено ко II группе.

Детальная разведка проведена с помощью подземных горных выработок и бурения (с поверхности и из подземных выработок). В центральной части Главной залежи была пройдена разведочная шахта глубиной 122 м. Из ствола к западу и востоку (по простиранию) пройдены штреки на горизонтах +174 м и +144 м, т. е. на глубинах 92 и 122 м от поверхности, из которых, в свою очередь, пройдены орты на север и юг (вкрест простирания) через 100 м до полного пересечения продуктивной толщи. Две структурные скважины глубиной по 800 м пробурены с поверхности.

Запасы забойного сырца, утверждённые ГКЗ протоколом № 4529 по состоянию на 01. 01. 1965 г., составили 1369 тыс. т по категориям В+С₁ и 6741 тыс. т по С₂ (жильной массы, соответственно, 5,5 и 62,3 млн. куб. м). Запасы категории С₁ подсчитаны до горизонта +80 м (около 190 м от поверхности), а категории С₂ – до глубины 500 м от поверхности. Все запасы категорий В+С₁ сосредоточены на Главной залежи. Средние содержания забойного сырца составляют: для категории В – 365,1 кг/куб. м; С₁ – 164,3 кг/куб. м. Здесь же есть и запасы категории С₂ в количестве 1180 тыс. т слюды со средним содержанием 145,4 кг/куб. м. Остальные запасы категории С₂ распределены ещё в 6 залежах, из которых наиболее крупными являются Западная (3,8 млн. т слюды с содержаниями 73–115 кг/куб. м в разных блоках) и Восточная (1,7 млн. т слюды с содержаниями 92–156 кг/куб. м). В оставшихся четырёх мелких залежах (№№ 1–4) заключено всего 42 тыс. т слюды при содержаниях 32–137 кг/куб. м. Выход промсырца колеблется от 10 до 80% по блокам. Групповой состав промсырца (%): I гр. (пластины 100 кв. см и более) – 35; II гр. (50–99 кв. см) – 30; III гр. (4–49 кв. см) – 35. По многолетним данным ГОК'а «Ковдорслюда» (на 1987 год) средний выход промсырца по запасам категорий В+С₁ составил 16,1% от забойного (по данным детальной разведки 46,6%), в том числе пластин I группы – 9,3%. Выход сырья для слюдопласта – 5,3%; для механической щипки – 6,3%.

Отработка верхних горизонтов месторождения предусматривалась карьером, нижних – подземным способом. В контуре проектного карьера во вскрыше находятся кондиционные вермикулитовые руды с запасами гидрослюд I и II сорта в количестве 2,3 млн. т.

Месторождение разрабатывается с 1966 г. подземным способом, а с 1979 г. начата параллельная отработка и карьером. В процессе подземной отработки месторождения велась и доразведка (прирост и перевод запасов в промышленные категории), в том числе и на Западной залежи, примыкающей к Главной, где до глубины 200 м часть запасов категории С₂ переведена в С₁. Запасы утверждены протоколом ЦКЗ МПСМ СССР и с 1981 г. начата отработка Западной залежи.

В 1991 г. добыто 76 тыс. куб. м горной массы, в том числе на открытых работах – 36,8 тыс. куб. м; добыча забойного сырца составила 21,5 тыс. т. В 1992 г. погашено 8350 т запасов (2134 т из карьера при потерях 277 т или 13%; 6216 т из подземных выработок при потерях 322 т или 5,2%). Всего за период эксплуатации 1966–1992 гг. добыто чуть более 2 млн. куб. м жильной массы, погашено в недрах 542 тыс. т забойного сырца. Среднее содержание слюды составило 270 кг/куб. м.

Выпуск промсырца за последние 5 лет упал из-за уменьшения спроса с 4 тыс. т до 959 т в 1991 г. В то же время растёт выпуск слюдопластового сырья, товарного скрапа. Кроме того, производится слюда дроблёная и молотая, слюда для буровых работ и для пигментирования. За 1991 г. выпущено в целом 10,2 тыс. т флогопитовой продукции, включая промсырец, выход которого составил всего 4,2% от забойного (в том числе размер 100 – 2,4%, размер 50 – 1,8%). Промсырец поставляется четырём слюдяным фабрикам, слюдопластовое сырьё – пяти предприятиям, скрап и молотый флогопит – девяти.

Остаток запасов забойного сырца с учётом доразведки и перевода запасов в промышленные категории составил на 01. 01. 1992 г. 1578 тыс. т забойного сырца по категориям В+С₁ и 6203 тыс. т по С₂ в том числе по Главной залежи, соответственно, 1,0 и 0,9 млн. т и по Западной 0,5 и 3,6 млн. т.

Мелкозернистый флогопит (менее 4 кв. см) при детальной разведке не изучался, промышленностью не используется, так же как и содержащийся в жильной массе апатит.

Обработка Ковдорского вермикулит-флогопитового месторождения ведётся по единому проекту, составленному институтом Гипронинеметаллоруд в 1989 г. Работа флогопитового карьера по технологии добычи разделяется на 2 периода: обработка междукамерных целиков и добыча массивной руды (ниже подземного рудника, который с углубкой карьера до горизонта +132 м прекратит своё существование).

Производительность цеха механизированной выборки флогопитовой обогатительной фабрики (ФОФ) составляет 30 тыс. т забойного сырца в год. Общий срок обеспеченности ФОФ запасами составляет 54 года (Главная и Западная залежи). За счёт доразведки участков месторождения с запасами категории С₂ срок можно увеличить.

14.3. Ковдорское месторождение комплексных апатит-магнетитовых руд

Комплексные апатит-магнетитовые руды слагают крупный шток в юго-западной части массива длиной 1 500 м при ширине 300–800 м, падение близкое к вертикальному. Структурными скважинами месторождение изучено до глубины почти 2 км, при этом существенных изменений качественных и количественных параметров не отмечено (рис. 25, 26).

Процесс формирования месторождения был длительным и многостадийным. Основные петрографические типы руд и карбонатитов (от древних к молодым):

1. Форстерит-магнетитовые руды, крупнозернистые и пегматоидные, массивные.
2. Апатит-форстерит-магнетитовые руды (преобладающий тип), часто брекчиевидные с обломками силикатных пород массива.
3. Кальцит-apatит-форстерит-магнетитовые руды, перекристаллизованные (с октаэдрами магнетита).
4. Форстерит-кальцитовые карбонатиты (многочисленные жилы и мелкие тела внутри залежи и во вмещающих породах).
5. Гумит-apatит-кальцит-магнетитовые руды с тетраферрифлогопитом, гатчеттолитом и циркелитом
6. Тетраферрифлогопит-кальцитовые жилы с тантало-ниобатами.
7. Рудные брекчии (мелкие жилы в центре залежи).
8. Доломит-форстерит-магнетитовые руды
9. Кальцит-доломитовые, доломитовые и подолит-доломитовые жилы.
10. Кроме того, наиболее мощная (южная) часть рудной залежи окружена почти сплошным кольцом метасоматитов, формировавшихся, как и залежь в целом, длительное время (так называемые «apatит-силикатные маложелезистые руды»).

Все перечисленные разновидности описаны в соответствующих главах части II.

Запасы впервые утверждены ГКЗ в 1951 г., затем они переутверждались в 1971 г. (на баланс поставлены апатит, бадделит и редкие металлы) и в 1975 г. (на баланс поставлены маложелезистые

силикатные руды и апатит-кальцитовые карбонатиты). Вначале из руд добывался только магнетит, затем была построена Апатит-бадделеитовая обогатительная фабрика (АБОФ). Предполагалось строительство ещё двух фабрик: по обогащению редкометалльно-apatит-магнетитовых руд и по переработке маложелезистых руд. Однако эффективность этих производств оказалась низкой. В итоге запасы ниобия и тантала в 1982 г. с баланса были сняты (протокол ГКЗ № 1720к от 30. 07. 82 г.). Часть маложелезистых руд с относительно высокими содержаниями апатита и магнетита комбинат перерабатывает в смеси с обычными апатит-магнетитовыми рудами, а остальная часть складирована в спецотвал.

Проектная мощность комбината – 16 млн. т по руде в год. В 1993 г. добыто 9,2 млн. т апатит-магнетитовых руд (Fe – 25,9%; P₂O₅ – 7,1%) и 4,0 млн. т маложелезистых руд (Fe – 12,1%; P₂O₅ – 6,9%). На обогащение направлено 10 млн. т, в том числе 0,9 млн. т маложелезистых руд. Остальная часть добытой рудной массы заскладирована. Получено 3,6 млн. т магнетитового концентрата (Fe – 63,8%, извлечение 91,3%); 1,2 млн. т апатитового концентрата (P₂O₅ – 38,18%, извлечение 58,3%) и 3 тыс. т бадделеитового концентрата (ZrO₂ – 98,1%).

На 01. 01. 1994 г. остаток балансовых запасов (без целика) до горизонта минус 350 м по категориям В+С₁ составил 490,9 млн. т руды, в том числе:

- 380,0 млн. т апатит-магнетитовых руд (Fe – 25,16%; P₂O₅ – 6,9%; S – 0,28%);
- 11,6 млн. т редкометалльных апатит-магнетитовых руд (Fe – 23,5%; P₂O₅ – 5,8%);
- 69,8 млн. т маложелезистых силикатных руд (P₂O₅ – 6,28%; Fe_{общ.} – 11,1%; S – 0,25%);
- 29,5 млн. т апатит-кальцитовых карбонатитов (P₂O₅ – 6,33%).

Кроме того, 55 млн. т в основном маложелезистых руд находятся в спецотвалах (P₂O₅ – 5,79%). За период разработки месторождения с 1962 по 1981 гг., когда добывался только магнетит, в I поле хвостохранилища, расположенном южнее карьера, накоплено 68,2 млн. т мокрых хвостов с содержанием P₂O₅ 10,8%. К тому же количество бадделеита в хвостах в 1,5 раза выше, нежели в исходных рудах.

Редкометалльные руды «Аномальной зоны» слагают два небольших крутопадающих штока размером в плане 150×120 и 80×35 м в центре южной (наиболее мощной) части рудной залежи. Запасы руд утверждены ГКЗ в 1971 г. протоколом № 6273 в количестве 14,5 млн. т по категориям В+С₁ до отн. –350 м. Средние содержания основных компонентов в рудах (%):

Ta₂O₅ – 0,0124; Nb₂O₅ – 0,076; ZrO₂ – 0,19; Fe_{общ.} – 23,7; P₂O₅ – 5,9; S – 0,3.

Содержание аксессуарных минералов (%): бадделеит – 0,2; гатчеттолит – 0,06; пироксенолор – 0,02; циркелит – 0,1; халькопирит – 0,2. Качество руды низкое из-за большого количества циркелита. Производительность фабрики по переработке этих руд должна была составить 750 тыс. т в год. Потребители концентратов – предприятия оборонной промышленности. В 1978 г. они отказались от этих концентратов из-за небольшого их объёма и необходимости строительства специального цеха по переработке (поскольку схема гидрометаллургического передела гатчеттолитовых концентратов была иной, нежели лопаритовых, являющихся традиционным сырьём). В итоге проект строительства обогатительной фабрики так и не был реализован. Редкометалльные руды по сей день перерабатываются в смеси с обычными, однако радиоактивные примеси в них постоянно напоминают о себе, заражая бадделеитовые концентраты.

В 1994 г. появились данные о наличии серебра и платиноидов в сульфидах из комплексных апатит-магнетитовых руд Ковдора (Иванников и др.), где с помощью новой методики обнаружена тонкая вкрапленность свыше 20 минералов благородных металлов. Больше всего их оказалось в редкометалльных разновидностях руд (Ag – 16 г/т; платиноиды 2,2 г/т, в том числе Pt – 0,4 г/т) и в доломит-форстерит-магнетитовых рудах (Ag – 1,4 г/т; платиноиды 2,3 г/т, в том числе Pt – 1,2 г/т). Авторы статьи прогнозируют нахождение платиноидов и в карбонатитовых комплексах других массивов (Вуориярви, Себлявр, Турий п-ов).

14.4. Месторождение апатит-магнетитовых руд и карбонатитов участка Тухта-вара

Месторождение находится в юго-восточной части массива Вуориярви и представляет собой трубообразную залежь с вертикальным падением площадью 0,5 кв. км (рис. 27, 28).

Залежь приурочена к одноимённой сопке с абс. отн. 208 м (превышение над уровнем оз. Вуориярви составляет 34 м). Мощность четвертичных отложений – 1–1,5 м, что позволило изучить поверхность с помощью канав. Южный фланг залежи частично располагается под озером, а юго-западный

фланг закрыт четвертичными мощностью 15–24 м. Сверху рудно-карбонатные породы превращены в дресву, мощность которой – 1–5 м. Магнетитовые руды сосредоточены в ядре залежи размером 0,6×0,4 км, а краевые зоны сложены кальцитовыми карбонатами различного состава.

Основные разновидности рудно-карбонатных пород (от древних к молодым):

1. Кальцит-апатит-форстерит-магнетитовые руды с бадделеитом.
2. Редкометальные кальцит-апатит-форстерит-магнетитовые руды с гатчеттолитом (и унаследованным бадделеитом).
3. Диоксид-кальцитовые карбонаты с форстеритом, зелёным флогопитом, дизаналитом, шорломитом.
4. Форстерит-кальцитовые карбонаты с зелёным флогопитом, бадделеитом.
5. Тетраферрифлогопит-кальцитовые карбонаты с гатчеттолитом 2-ой генерации.

Кроме того, отмечаются дайки докарбонатитовых перидотитов, доломитовые жилы и дайки кимберлитоподобных пород.

Магнетитовые руды с гатчеттолитом локализованы в северо-западной части рудного штока. С глубиной доля редкометальных руд заметно возрастает, хотя параметры рудного штока в целом сохраняются без изменения, что хорошо видно на геологическом разрезе по профилю III (рис. 28). На поверхность выходит лишь незначительная часть их и этим объясняются весьма скромные площадные размеры гамма-аномалий в пределах залежи Тухта-вара. Скважиной № 200 гатчеттолитовые руды прослежены до глубины почти 900 м.

На рис. 29 и 30 приведены гистограммы распределения содержаний Fe, P₂O₅, ZrO₂ в магнетитовых рудах и P₂O₅ в карбонатах, а на рис. 31 – Ta₂O₅ в рудах и карбонатах. Гистограммы Fe и P₂O₅ симметричные, близкие к нормальным, что говорит о сплошном выдержанном оруденении, об отсутствии тенденций к локальным скоплениям полезных компонентов. Такие закономерности свойственны однородным рудам с относительно высокими содержаниями полезных компонентов. Любопытно, что и ZrO₂ (т. е. бадделеит) распределён по такому же закону, хотя содержания его ничтожны. Гистограммы распределения содержаний тантала получились типичными гиперболовидными. По А.В. Каждану (1974), это свойственно неравномерному прерывистому оруденению при низких концентрациях полезных компонентов.

При увязке гистограмм с фактическим геологическим материалом напрашиваются следующие выводы:

1. Магнетит, апатит и бадделеит являются парагенными минералами, возникшими одновременно и распределёнными в рудах по одному и тому же закону. Симметричное распределение содержаний компонентов свойственно применительно к карбонатитовому этапу телам выполнения (в том числе и собственно форстерит-кальцитовым карбонатам).

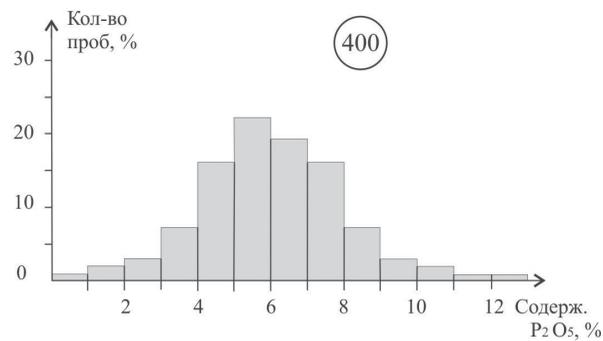
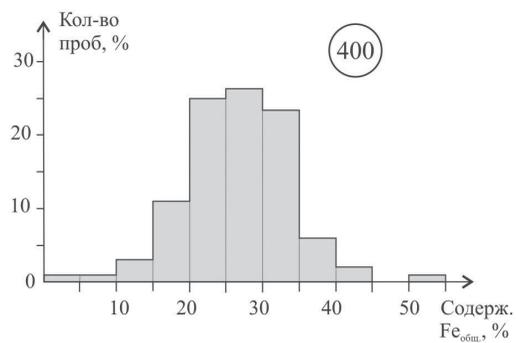
2. Гатчеттолитовое оруденение является наложенным, т. е. более поздним, а гиперболовидный характер гистограмм объясняется метасоматическим происхождением редкометальных руд. Кстати, распределение содержаний ниобия в месторождениях карбонатитового этапа в точности подчиняется этому же закону.

3. В процессе превращения обычных руд в редкометальные степень их переработки на Тухта-варе была столь незначительной, что это не отразилось на характере распределения Fe, P₂O₅ и ZrO₂.

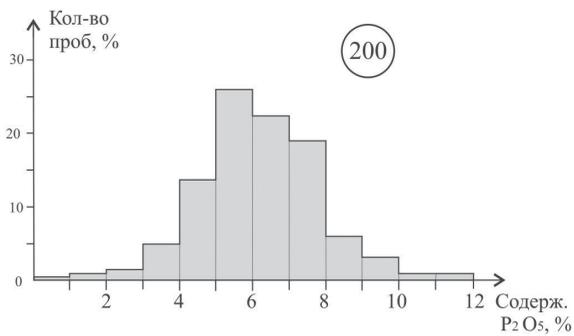
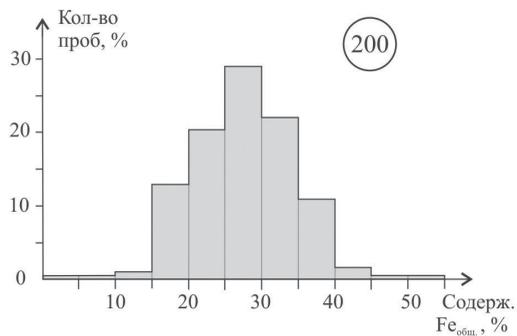
Апатит-магнетитовое ядро изучено бурением в 1974–79 гг. по сети 100×100 м (на редкометальных рудах – 50×100 м) до глубины 500 м. Три скважины пройдены до глубины 800–900 м и из руд не вышли. Карбонаты на флангах разбурены по сети 100×200 м до глубины 300 м. Всего пройдено 82 скважины (30 тыс. м). Минеральный состав руд такой же, как на Ковдоре: магнетит, апатит, кальцит, форстерит, флогопит, пирротин, бадделеит; в редкометальных рудах добавляется гатчеттолит. *В отличие от Ковдорского апатит-магнетитового месторождения циркелита в редкометальных рудах Тухта-вары практически нет.*

Запасы апатит-магнетитовых руд считались по бортовому содержанию P₂O₅ 3%, а редкометальных – по бортовому содержанию Ta₂O₅ – 0,006% (как и на Ковдоре для маложелезистых и редкометальных руд). Запасы карбонатитов подсчитаны в геологических границах (табл.27).

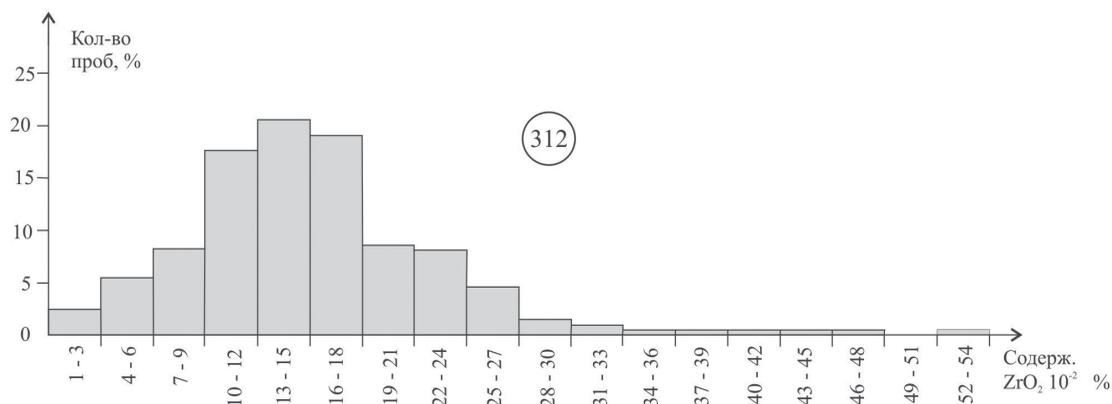
Магнетитовые руды с бадделеитом



Редкометалльные магнетитовые руды с гачеттолитом

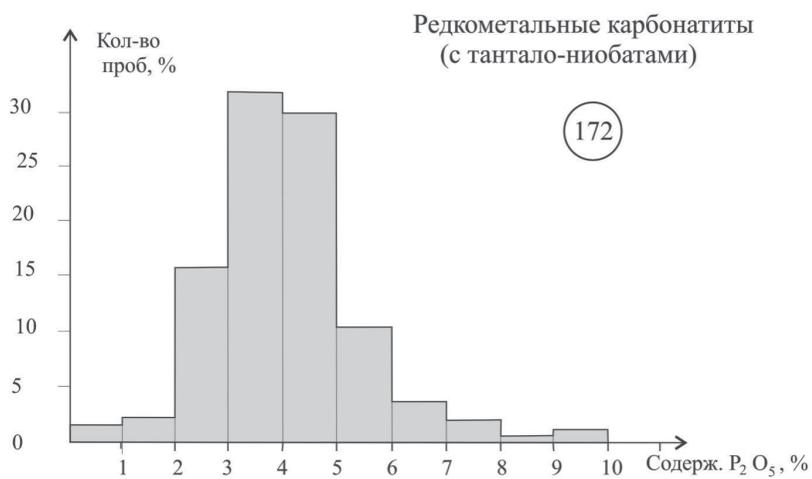
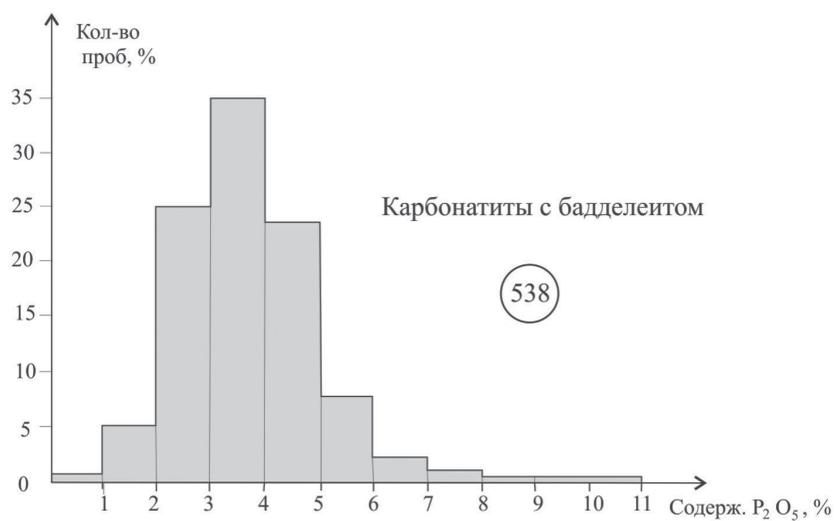
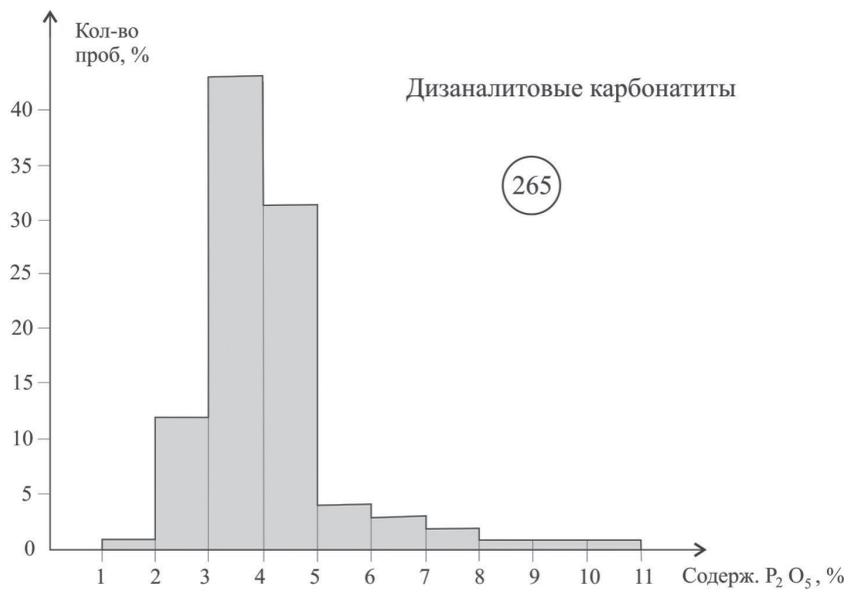


Магнетитовые руды обеих разновидностей



Цифры в кружках - количество проб.

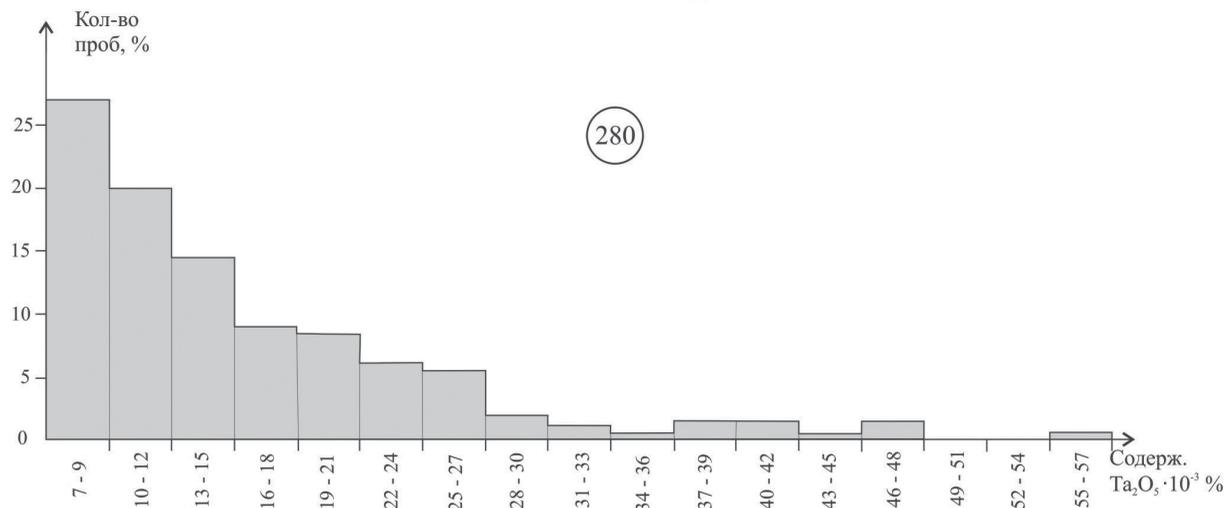
Рис. 29. Гистограммы распределения содержаний Fe, P и Zr в магнетитовых рудах месторождения Тухта-вара.



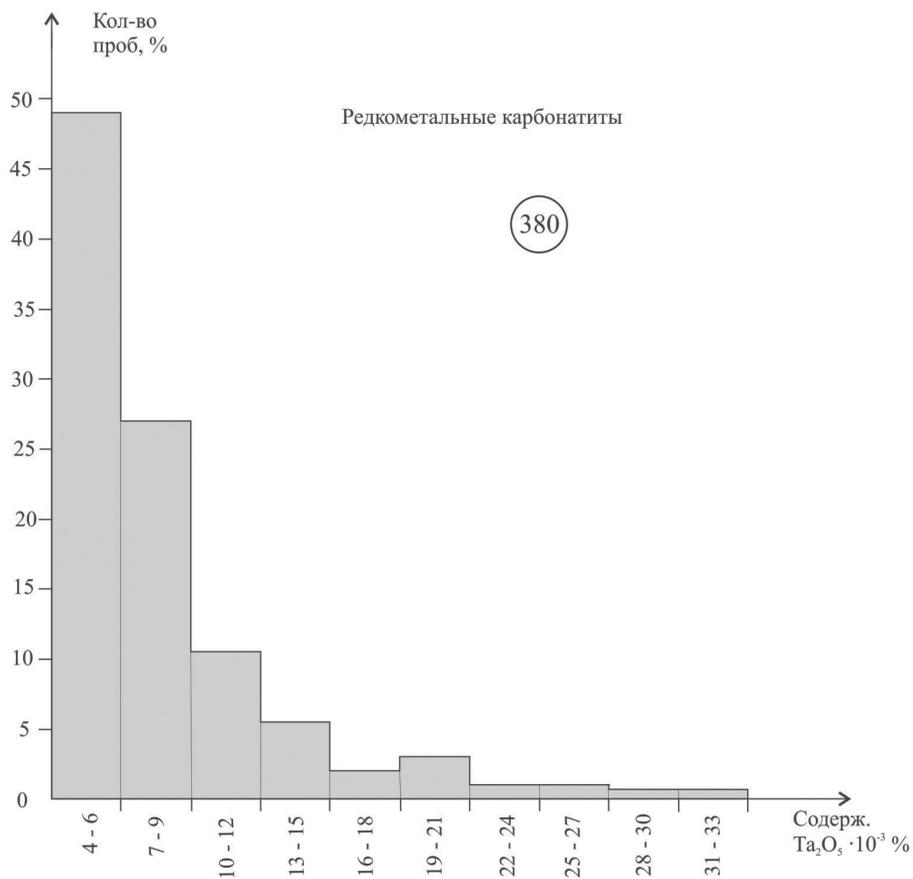
Цифры в кружках - количество проб.

Рис. 30. Гистограммы распределения содержаний фосфора в карбонатитах Тухта-вары.

Редкометалльные магнетитовые руды



Редкометалльные карбонаты



Цифры в кружках - количество проб.

Рис. 31. Гистограммы распределения тантала в редкометалльных магнетитовых рудах и карбонатах Тухта-вары.

Таблица 27. Запасы и качество рудно-карбонатных пород Тухта-вары по категориям C₁+C₂

Типы руд	Средние содержания, %						Глубина подсчёта, м	Запасы млн. т
	Fe _{общ.}	P ₂ O ₅	S	ZrO ₂	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅		
Апатит-форстерит-магнетитовые	20,1	5,6	1,12	0,13			850	193,5
Редкометалльные (гагчеттолитовые)	19,8	5,5	1,63	0,10	0,0135	0,054	850	65,1
Карбонатиты (C ₂)	6,5	3,6	0,63	0,06			400–850	466,2

В контурах апатит-форстерит магнетитовых руд статистически подсчитаны запасы некондиционных (по мощности) редкометалльных участков, которые можно селективно обработать с помощью посамосвальнoй радиометрической сепарации. Количество таких руд составило 12,5 млн. т при средних содержаниях (%):

Ta₂O₅ – 0,015; Nb₂O₅ – 0,067; Fe_{общ.} – 15,8; P₂O₅ – 5,2.

Лабораторными технологическими исследованиями, проведёнными в 1976–1984 гг. (Механобр, ГИГХС, Горный институт КФАН СССР, Гиредмет, ВИМС, ИМП), охвачены все типы руд и карбонатитов Тухта-вары. Механобром (Сорокина, 1976–78 гг.) по схемам, близким к ковдорским, из руд и карбонатитов получены апатитовые и магнетитовые концентраты (а из руд к тому же и бадделитовые). Содержание P₂O₅ в апатитовом концентрате составило 36% при извлечении 59% и выходе 10,4–10,8%. В карбонатитах извлечение падало до 50% при том же качестве. Выход магнетитового концентрата из руд составлял 33–35% при качестве (%):

Fe_{общ.} – 63,1–63,6

TiO₂ – 2,3–2,5

P₂O₅ – 0,23–0,29

S – 1,74–2,06.

Высокие содержания серы связаны с магнитным пирротинoм. Освободиться от него можно только с помощью флотации.

Весьма неожиданными оказались результаты последних лабораторных исследований обогатимости карбонатитов кeрнoвoй пробы № 15 весом 1 т, проведённых в ИМП'е (Тихонов и др., 1984): содержание P₂O₅ в апатитовом концентрате составило 39% при извлечении 89%, т. е. намного выше, чем из апатит-магнетитовых или апатит-силикатных руд щёлочно-ультраосновных массивов. Технологи ИМП'а объясняют это относительно простым минеральным составом карбонатитов. Поэтому главной задачей при разработке схемы обогащения карбонатитов являлся *подбор эффективных реагентов, надёжно разделяющих карбонаты и апатит*, что и было сделано. Содержание компонентов в апатитовом концентрате (%): CaO – 54,5; MgO – 0,5; CO₂ – 2,19; SrO – 0,15; F – 0,29; TR₂O₃ – 0,71. Выход концентрата 8,6%. Попутно получены:

- карбонатный продукт с выходом 53,7% при качестве (%): CaO – 49,3; CO₂ – 39,2; MgO – 2,4; Fe₂O₃ – 0,55; FeO – 1,53; SiO₂ – 3,40; P₂O₅ – 0,45;
- магнетитовый концентрат с выходом 5,3% при качестве (%): Fe_{общ.} – 66,1; TiO₂ – 1,24; MnO – 0,93; MgO – 1,48; P₂O₅ – 0,07; S – 0,4; Nb₂O₅ – 0,011;
- флогопитовый концентрат с выходом 8,7% при содержании слюды в продукте 99%.

Из редкометалльных руд Гиредмет в 1977 г. на первой же пробе получил концентрат с содержанием Ta₂O₅ 1,18% при извлечении 40%, т. е. почти такой же (чуть лучше), нежели из руд «Аномальной зоны» Ковдора. В 1980 г. из пробы продукта покусковой радиометрической сепарации, наработанного ВИМС'ом в 1979 г., Гиредмет получил концентрат с содержанием Ta₂O₅ 3,59% и Nb₂O₅ 10,0% при извлечении тантала 32,3%. Наконец, в 1982 г. содержание Ta₂O₅ повышено до 5,0%. Это сделано при разделении коллективного редкометалльного концентрата на гагчеттолитовый и бадделитовый.

Состав гатчеттолитового концентрата (%):

Ta ₂ O ₅ – 5,0;	CaO – 23,0;	Th – 0,55;
Nb ₂ O ₅ – 24,25;	TiO ₂ – 14,0;	уран – 3,91;
ZrO ₂ – 1,0;	P ₂ O ₅ – 1,0;	Th _{экв.} – 14,22.

Состав бадделеитового концентрата (%): ZrO₂ – 95,0; Nb₂O₅ – 0,84; Ta₂O₅ – 0,24%; Th_{экв.} – 0,2. Радиоактивные примеси связаны, в основном, с гатчеттолитом. После ультразвуковой обработки, отмывки от шламов и элетромагнитной перерешетки радиоактивность удалось снизить до 0,11% Th_{экв.} при выходе очищенного продукта 95,5% от исходного. По мнению Гиредмета, возможно дальнейшее снижение радиоактивности бадделеитового продукта. В последних технологических исследованиях участвовал и Горный институт КФАН СССР (Зиновьев, 1982), передавший Гиредмету черновые редкометалльные продукты. К сожалению, при их наработке руда была недопустимо переизмельчена технологами ГоИ (черновой продукт содержал 0,03% Ta₂O₅ при извлечении всего 26,6%, что по сути является браком), поэтому сквозное извлечение редких металлов оказалось низким и его нельзя принимать в расчёт. Положительные моменты последних исследований состоят лишь в том, что они доказали возможность получения из редкометалльных руд Тухта-вары высококачественных гатчеттолитовых и бадделеитовых концентратов. Для руд такого типа Гиредметом это было сделано впервые. Извлечение от чернового продукта составило 50,5% по танталу и 61,9% по цирконии. Покусковая радиометрическая сепарация при последних исследованиях не применялась. Это ещё один отрицательный момент данной работы.

Лабораторные технологические исследования завершились сквозными испытаниями (от покусковой сепарации до металлургического передела), проведёнными ВИМС'ом на пробе № 18 (Гусев и др., 1989). Своей основной задачей ВИМС считал достижение максимального извлечения тантала, а не максимального содержания тантала в концентрате (как Гиредмет).

Состав концентрата редких металлов (%):

Ta ₂ O ₅ – 1,034	TiO ₂ – 13,2	P ₂ O ₅ – 7,5
Nb ₂ O ₅ – 5,36	CaO – 22,2	уран – 0,62
ZrO ₂ – 5,32	MgO – 9,23	торий – 0,28.
Fe _{общ.} – 6,2	SiO ₂ – 13,9	

Извлечение от руды (%): Ta₂O₅ – 46,4; Nb₂O₅ – 45,6; ZrO₂ – 26,14. Параллельно получен и бадделеитовый концентрат с содержанием ZrO₂ 95,4% при извлечении 24,9%. При гидрометаллургическом переделе гатчеттолитового концентрата получены товарные продукты ниобия, тантала и урана при извлечении от концентрата 95,0; 92,6 и 99,0% соответственно.

В будущем технико-экономическими расчётами необходимо определить оптимальную глубину механического обогащения. Извлечения, достигнутые ВИМС'ом на пробе 18, можно считать удовлетворительными, но вот качество концентрата немногим лучше лопаритового, что резко увеличивает затраты при гидрометаллургическом переделе.

Если суммировать результаты всех исследований обогатимости комплексных руд и карбонатитов Тухта-вары и учесть опыт полупромышленных испытаний руд «Аномальной зоны» Ковдорского апатит-магнетитового месторождения, то основные звенья схемы обогащения представляются следующими (при валовой добыче рудно-карбонатных пород):

1. Посамосвальная сепарация на радиометрической контрольной станции (РКС), позволяющей отделить редкометалльные руды и карбонатиты от обычных.

2. Покусковая радиометрическая сепарация (ПРС), при которой происходит предварительное обогащение редкометалльных руд с выделением отвальных (по редким металлам) хвостов. Содержание Ta₂O₅ в обогащённом продукте повышается до 0,019 – 0,021% (Гусев и др., 1979, 1989), а количество рудной массы сокращается как минимум на одну треть.

3. Сухая магнитная сепарация (СМС) нерадиоактивных руд и карбонатитов, включая хвосты ПРС.

4. Глубокое обогащение по трём ниткам:

а) редкометалльные руды – по схеме Гиредмета;

- б) магнетитовый промпродукт – по схеме, близкой к ковдорской, т. е. с попутным получением апатитового и бадделеитового концентратов¹;
- в) апатит-карбонатный продукт – по схеме ИМР’а.
5. Гидрометаллургический передел гатчеттолитового концентрата с получением товарных продуктов тантала, ниобия, урана по схемам ВИМС’а.

14.5. Рудно-карбонатные породы Турьего полуострова

Породы карбонатитового этапа слагают в ядре Центрального массива воронкообразную залежь площадью 0,4 кв. км (рис. 32), состоящую из эгирин-биотит-кальцитовых брекчий I стадии с большим количеством красных (гидронезелинизированных) обломков ийолитов; флогопит-диопсид-кальцитовых карбонатитов с мелкими линзами апатит-диопсид-магнетитовых руд; актинолит-кальцитовых карбонатитов с тетраферрифлогопитом. В небольшом количестве присутствуют жилы доломитовых и ещё более поздних хлорит-кальцитовых карбонатитов с цеолитами. Преобладание ранних карбонатитовых брекчий, почти лишённых полезных компонентов, и небольшие размеры ядра обусловили формирование лишь мелких рудопроявлений железа, фосфора, редких металлов. Прогнозные ресурсы карбонатитов ядра вместе с линзами магнетитовых руд, но за исключением «пустых» по Fe и P_2O_5 эгирин-биотит-кальцитовых брекчий, составляют 93 млн. т до глубины 300 м при содержании $Fe_{\text{общ.}}$ 7,3% и P_2O_5 3,1%. Доля железных руд не превышает 8% этой массы при содержании $Fe_{\text{общ.}}$ 26,8% и P_2O_5 5,45%. Запасы рудно-карбонатных пород так называемой «I рудной зоны», расположенной чуть южнее ядра, составляют 23 млн.т при содержании $Fe_{\text{общ.}}$ 19,7% и P_2O_5 4,6%. Около 60% их сложено магнетитовыми рудами с содержанием $Fe_{\text{общ.}}$ 26,8% и P_2O_5 5,1%. Зона вскрыта скважинами №№ 14, 75, 76, 77, т. е. запасы можно квалифицировать по категории C_2 . Подсчёт запасов магнетитовых руд проведён до глубины 300 м при бортовом содержании $Fe_{\text{общ.}}$ 15%.

В карбонатитах встречаются небольшие интервалы с кондиционными содержаниями тантала и ниобия, но они не геометризуются.

14.6. Ковдорское месторождение карбонатитов

Крупные залежи форстерит-кальцитовых карбонатитов полукольцом охватывают железорудное месторождение с юго-запада, располагаясь в фенитовом ореоле (рис. 2 и 33). Общая длина карбонатитового поля около 2,5 км. Внутри него наблюдаются блоки фенитов. В зоне контакта с карбонатитами в фенитах отмечаются штокверки мелких карбонатных жил, а в непосредственном контакте по фенитам развивается слюдитовая оторочка. Падение тел крутое (70–80°) в сторону железорудного месторождения.

На карбонатитах залегают апатит-штаффелитовые коры выветривания, образующие самостоятельное месторождение фосфатных руд. Оба месторождения, тесно сопряжённые в пространстве, часто именуют как единое «Ковдорское месторождение апатит-карбонатных и апатит-штаффелитовых руд».

Апатит-штаффелитовые коры выветривания оценены и детально разведаны в 1972–1977 гг. (см. раздел 16.2). На кальцитовых карбонатитах (или апатит-карбонатных рудах), залегающих под ними, предварительная разведка проведена в 1976–1983 гг. С целью предварительной разведки карбонатитов пробурено 78 скважин (30,8 тыс. пог. м), пройдено 4 тыс. куб. м канав.

При подсчёте запасов карбонатиты разделены на два типа: апатит-кальцитовые (P_2O_5 свыше 3%) и кальцитовые (все остальные), поскольку карбонатиты с содержанием P_2O_5 ниже 3% обогащать нецелесообразно. На геологическом разрезе (рис. 34) эти типы не выделены, но участки их отчётливо видны по результатам опробования. Минеральный состав апатит-кальцитовых карбонатитов: кальцит (75%), апатит (11%), магнетит(4%), форстерит, пироксен, флогопит, пирротин, халькопирит, бадделеит. Очень редко и на небольших участках появляются гатчеттолит и пирохлор в ассоциации с тетраферрифлогопитом. Средний химический состав(%):

¹ Но в этой нитке следует отработать шадящую схему измельчения. В лабораторных исследованиях извлечение бадделеита достигало 60%, а в промышленных условиях – в несколько раз меньше. Причина – переизмельчение бадделеита в шаровых мельницах.

Fe _{общ.} – 3,39	P ₂ O ₅ – 4,55	K ₂ O – 0,45
CaO – 47,62	TiO ₂ – 0,10	Na ₂ O – 0,30
MgO – 3,14	MnO – 0,10	ZrO ₂ – 0,02
SiO ₂ – 4,15	S – 0,33	TR ₂ O ₃ – 0,02
Al ₂ O ₃ – 1,34	CO ₂ – 33,36	

В кальцитовом типе среднее содержание P₂O₅ падает до 1,7%, а CaO и CO₂ возрастает до 48,19% и 35,23%, соответственно. Содержания остальных компонентов очень близки. Количество кальцита увеличивается до 79%, а апатита падает до 4%. Никакого геологического смысла разделение на два типа не несёт. Внешне это одинаковые породы, различающиеся лишь по результатам опробования. Химический состав апатита (%):

P ₂ O ₅ – 41,3	SrO – 0,17	F – 1,0
CaO – 54,96	TR ₂ O ₃ – 0,04	H ₂ O – 0,6

По флотационно-магнитной схеме (Механобр, ГИГХС) из апатит-кальцитовых карбонатитов получены:

1. Апатитовый концентрат: P₂O₅ – 35%, извлечение – 51,6%, выход – 6,27%;
2. Магнетитовый концентрат: Fe – 65%, извлечение – 70%;
3. Карбонатный продукт: выход – 62,8%. Его химический состав (%):

CaO – 52,5	P ₂ O ₅ – 1,92
CO ₂ – 39,16	Fe _{общ.} – 0,7
MgO – 2,45	SiO ₂ – 1,38
S – 0,15;	Al ₂ O ₃ – 0,45

Карбонатный продукт из кальцитовых карбонатитов, полученный по магнитной схеме, по качеству оказался несколько хуже. Содержание CaO в нём упало до 50,48%, а SiO₂ и Al₂O₃ примерно втрое больше. Выше и содержание MgO (3,45%), а содержание P₂O₅ уменьшилось до 1,39%.

Карбонатные продукты намечено применять в двух направлениях: для получения глинозёма (в смеси с хибинским нефелиновым концентратом) с попутным получением соды, поташа и др., а также в качестве известкового удобрения для нейтрализации кислых почв.

Запасы в контуре проектного карьера по категориям C₁+C₂ составляют:

- апатит-карбонатные руды – 286,8 млн. т (P₂O₅ – 4,55%);
- кальцитовые карбонатиты – 53,3 млн. т (P₂O₅ – 1,70%).

Общие геологические запасы карбонатитов обоих типов до горизонта минус 350 м составляют 1,13 млрд. т.

Разработка месторождения не начата, если не считать небольшого известкового карьера с производительностью 60–80 тыс. т карбонатитов в год. Сырьё направляется без обогащения в г. Оленегорск, где из него при обжиге получают известь, предназначенную для производства силикатного кирпича.

14.7. Карбонатиты зоны сочленения участков Тухта-вара и Неске-вара (Вуориярви)

Чуть севернее месторождения Тухта-вара поисковыми работами выявлены залежи карбонатитов субширотного простирания длиной до 600 м при ширине в плане до 100 м. Общая площадь, занятая ими, составляет 0,25 кв. км. Локализованы они в восточной части участка Неске-вара. На карте (рис. 35) к ним относятся тела карбонатитов, закрашенные светло-зелёным цветом. Преобладают флогопит-диопсид-кальцитовые карбонатиты, перемежающиеся с поздними лейкократовыми разновидностями актинолит-кальцитового состава с низким содержанием апатита, местами с убогой пироксеновой минерализацией. Запасы карбонатитов в геологических границах до глубины 300 м составляют 202 млн. т при средних содержаниях (%): Fe_{общ.} – 4,8; P₂O₅ – 3,2; CaO – 42,5; CO₂ – 31,6; S – 0,7. При бортовом содержании P₂O₅ 3% запасы сокращаются до 71 млн. т, (почти втрое), а среднее содержание P₂O₅ поднимается лишь до 4,3%. В северной половине данного участка на

карбонатитах обнаружены дресвянистые коры выветривания мощностью до 160 м. Возникли они в результате сноса дресвы со всего массива в глубокий жёлоб (ущелье), длина которого 700 м при ширине 200–250 м (см. главу 9). В пределах развития этих кор пройдено 9 скважин №№ 4, 56, 233, 234, 246, 248, 249, 265, 266 (1182 пог.м). Объём дресвы составляет 12,5млн.куб. м. Часть её содержит повышенное количество апатита. По результатам статистического подсчёта ресурсы апатитоносных кор составляют 15 млн. т со средним содержанием P_2O_5 12,5%. Дресвянистые коры перекрыты крупновалунной мореной мощностью 5–34 м.

14.8. Редкометалльные карбонатиты и апатит-магнетитовые руды участка Неске-вара

Месторождение Неске-вара является сложнейшим геологическим объектом из всех месторождений щёлочно-ультраосновных массивов Кольского п-ова. Редкометалльное оруденение приурочено к карбонатитам и апатит-магнетитовым рудам, образующим множество крутопадающих линейно вытянутых жил, часто ветвящихся. Известны и трубчатые тела с вертикальным залеганием, а также воронкообразные залежи и, наконец, пологопадающие тела трубчатой формы. Здесь отмечаются все типы редкометалльных руд, присущие карбонатитовому этапу: гатчеттолитовые, пироксоловые, циркелит-пироксоловые, а также смешанные типы. Установлено достаточно широкое развитие практически нерадиоактивных пироксоловых карбонатитов, при этом некоторые рудные тела с глубиной резко увеличиваются по мощности. Морфология тел таких карбонатитов ещё не выяснена, а масштабы ниобиевого оруденения данного типа, тяготеющего к флангам месторождения, так окончательно и не установлены.

Размер участка Неске-вара – 2,4×1,8 км, площадь – 2,9 кв. км, в том числе занятая породами карбонатитового этапа (рудными и безрудными) – 1,3 кв. км. По степени изученности и характеру оруденения (масштабам, морфологии и размерам рудных тел, соотношению различных типов руд) весь участок весьма условно разделён на 4 зоны: А, Б, В и Г, площадью, соответственно, 0,5; 0,4; 1,0 и 1,0 кв. км (рис. 35 – геолкарта; рис. 36–39 – геолразрезы).

Первые работы на участке Неске-вара начались в 1949 году с поисков радиоактивных элементов. До 1974 г. все геологические исследования участка носили локальный характер и потенциальные возможности Неске-вары с точки зрения тантало-ниобиевого оруденения так и оставались невыясненными. В 1974–1980 гг. Мурманская ГРЭ провела поисковые работы почти на всей площади участка (параллельно с предварительной разведкой месторождения Тухта-вара). В 1985–1986 гг. на четырёх небольших, но относительно богатых ниобиевых телах магнетитовых руд, проведена предварительная разведка (см. следующий раздел), а в 1986–1989 гг. – поисково-оценочные работы на всём месторождении. В итоге месторождение оценено бурением до глубины 300 м по сети примерно 50×100 м. Всего на Неске-варе пробурено 254 скважины (51 тыс.пог.м), а по рудным телам – 162 скважины (включая объёмы бурения по предварительной разведке богатых тел).

Минеральный состав руд: кальцит, доломит, магнетит, апатит, флогопит, форстерит, гумит, серпентин, хлорит, пирротин, пирит, халькопирит, пироксоло, гатчеттолит, циркелит, циркон, бадделеит, ильменит.

Зоны А и Б приурочены к субширотному разлому, рассекающему массив Вуориярви по длинной оси. Здесь главную роль играют линейно вытянутые жилы карбонатитов и магнетитовых руд. До изученных глубин заметных изменений в масштабах и качестве редкометалльного оруденения незаметно. Лишь размеры тел неактивных пироксоловых карбонатитов с глубиной значительно возрастают. Зона В располагается на стыке субширотного разлома и трубообразной рудно-карбонатной залежи Тухта-вара. В этой зоне сосредоточено большинство трубчатых тел магнетитовых руд, а также пологопадающие и воронкообразные тела карбонатитов, хотя есть и жильные карбонатиты. Зона Г выделена в северной части участка Неске-вара. Магнетитовых руд здесь нет, а карбонатиты несут бедное ниобиевое оруденение.

Особенности строения месторождения Неске-вара связаны с двумя главнейшими структурными элементами, которые в масштабе массива Вуориярви следует отнести к элементам первого порядка: субширотной зоной разлома и концентрически-зональной залежью Тухта-вара. В зоне разлома вначале формировались рудные пироксениты II фазы, затем крупные дайки ийолитов и, наконец, линейные тела магнетитовых руд и карбонатитов. К элементам второго порядка относятся оперяю-

щие трещины, располагающиеся преимущественно под углом 45° к основному направлению разлома и под углом 90° друг к другу. Развиты они на южных флангах зон А и Б. К оперяющим трещинам приурочены тела ниобиевых карбонатитов с неактивным пирохлором. К элементам второго порядка, но сопряжённым с залежью Тухта-вара, относится и серия мелких трубчатых тел-сателлитов в обрамлении залежи (зона В). Пока что обнаружено 6 таких трубок. Это рудные тела №№ 17, 22 и 23, сложенные карбонатитами, и рудные тела №№ 32 (или IV), 33 и 36, где преобладают магнетитовые руды. Чем дальше отстоят трубки от залежи Тухта-вара, тем они под более пологими углами наклонены по направлению к ней. Формы ветвистых карбонатитовых жил на восточном фланге зоны В также связаны с элементами второго порядка. Открытые полости формировались здесь как по радиальным ослабленным зонам в обрамлении Тухта-вары, так и по субширотным направлениям, связанным с основным разломом. Отсюда и резкая изменчивость в направлениях простираний жил в зоне В (от субширотных до субмеридиональных).

Основные разновидности рудно-карбонатных пород участка Неске-вара (от древних к молодым):

1. Кальцит-апатит-форстерит-магнетитовые руды с зелёным флогопитом и бадделеитом (такие же, как на Тухта-варе).
2. Те же руды, но с тетраферрифлогопитом, гатчеттолитом, пирохлором, бадделеитом и циркелитом. Неожиданно много циркелита встретилось лишь в магнетитовых рудах I-го тела (см. следующий раздел).
3. Флогопит-диопсид-кальцитовые карбонатиты с форстеритом, дизаналитом, шорломитом.
4. Форстерит-кальцитовые карбонатиты с зелёным флогопитом, бадделеитом.
5. Тетраферрифлогопит-кальцитовые карбонатиты с игольчатым актинолитом, гатчеттолитом, радиоактивным пирохлором, циркелитом (последний минерал редок).
6. Актинолит-кальцитовые карбонатиты с рубиново-красным тетраферрифлогопитом, неактивным пирохлором, ильменитом, местами с гумитом. Актинолит в отличие от предыдущих карбонатитов волокнистый.
7. Лейкократовые кальцитовые карбонатиты, анхимономинеральные, с дендритами пирротина, редкими зёрнами неактивного пирохлора (всегда мелкие жилы).
8. Лейкократовые доломитовые карбонатиты, анхимономинеральные, белые, сахаровидные.
9. Доломитовые карбонатиты кавернозные с анкилитом, бербанкитом, галенитом, сфалеритом, пирротинном, пиритом, франколитом (редкоземельные).

Из перечисления следует, что магнетитовые руды сформировались в две стадии. Впоследствии же в различные стадии карбонатитового этапа они подверглись многократной переработке, что привело к появлению пёстрой гаммы петрографических разновидностей. Основными из них являются:

1. Исходные магнетитовые руды, указанные выше в п. 1. На Неске-варе их сохранилось очень мало. В частности, встречены они в рудных телах №№ 2 и 36.
2. Кальцит-апатит-магнетитовые руды с тетраферрифлогопитом и гатчеттолитом. Их также немного (рудное тело № 33, в ограниченном объёме в рудном теле № 36).
3. Кальцит-тетраферрифлогопит-магнетитовые руды с пирохлором, гатчеттолитом, циркелитом (основная масса).
4. Сульфидно-апатит-магнетитовые руды с пирохлором (богатые руды тела № III).
5. Актинолит-апатит-магнетитовые руды с двумя генерациями пирохлора (радиоактивного и неактивного). Встречаются относительно редко.
6. Доломитизированные серпентин-апатит-магнетитовые руды.

Длина наиболее крупных тел магнетитовых руд достигает 150–340 м при мощности 20–30 м. Известно около десятка таких тел и множество мелких, выделенных по данным магнитной съёмки. Размеры трубчатых тел магнетитовых руд:

- рудное тело № 32 (оно же является богатым телом ниобиевых руд № IV) – 120×50 м;
- рудное тело № 33 – 80×40 м;
- рудное тело № 36 – 200×100 м.

Среди карбонатитов преобладают тетраферрифлогопит-кальцитовые разновидности, значительная часть которых является кондиционной редкометальной рудой. Размеры рудных тел варьируют в широких пределах. Так, суммарная длина рудных тел №№ 1, 10, 15, имеющих общие границы и протягивающихся через всё месторождение в виде узкой ломаной ленты, составляет 1800 м при мощности 10–20 м¹. Минимальная мощность карбонатитовых жилок с пироксолом и гатчеттолитом не превышает долей сантиметра. Какой-либо зависимости содержаний тантала и ниобия или размеров зёрен редкометальных минералов от параметров жил нет. В мелких жилках можно встретить зёрна пироксолов, соразмерные с их мощностью (до 1–1,5 см).

Известны и трубчатые тела карбонатитов (рудные тела №№ 17, 22, 23). Размеры наиболее крупной воронкообразной трубки составляют в плане 320×160 м (р. т. № 22).

Гистограммы распределения содержаний ниобия в гатчеттолит-пироксоловых рудах Нескевары приведены на рис. 40. Из них следует, что 84% проб содержит Nb₂O₅ в количестве до 0,3%, в том числе 17% – ниже 0,1%. Максимальные содержания достигают 1,5–2%, но такие пробы единичны. В неактивных пироксоловых карбонатитах (тот же рисунок) картина почти аналогичная, лишь максимальные содержания здесь не превышают 1%.

подавляющая часть тантала и ниобия связана с гатчеттолитом и пироксолом. Циркелит в рядовых рудах роли не играет.

Всего на месторождении Неске-вара выделено 45 рудных тел и 105 подсчётных блоков.

Суммарные запасы редкометальных руд при бортовом содержании Nb₂O₅ 0,1% и минимальной мощности рудных тел 3 м составляют до глубины 300–500 м по категориям C₂+P₁ 208 млн. т со средним содержанием Nb₂O₅ 0,216% (или 450 тыс. т Nb₂O₅), в том числе по категории C₂ (т. е. до глубины 300 м, точнее до горизонта минус 100 м) – 95,6 млн. т (0,221% Nb₂O₅). Необходимо отметить, что суммарные запасы при борте 0,1% считались вместе с богатыми рудами. Количество их составляет 2,3 млн. т (по категории C₁ при том же борте) со средними содержаниями Nb₂O₅ 0,371% и Ta₂O₅ 0,015%. При подсчёте они вошли в категорию C₂ общих запасов участка Неске-вара.

Запасы редкометальных руд только до глубины 300 м и только по зонам А+Б+В (т. е. за исключением зоны Г, где преобладают мелкие разрозненные тела) составляют по категориям C₂+P₁:

а) гатчеттолит-пироксоловые руды – 109,9 млн. т (Nb₂O₅ – 0,22%; Ta₂O₅ – 0,008%; Fe_{общ.} – 9,7%; P₂O₅ – 3,1%);

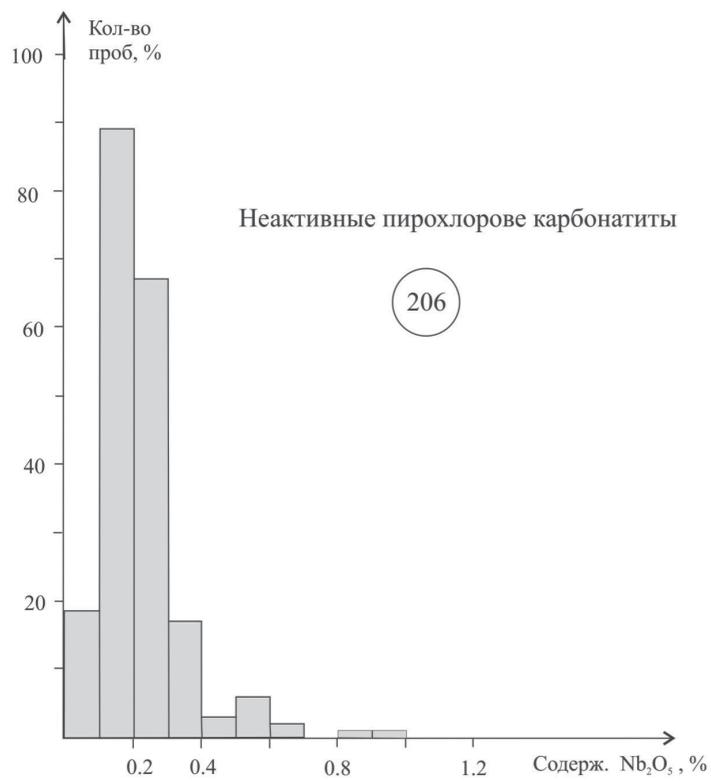
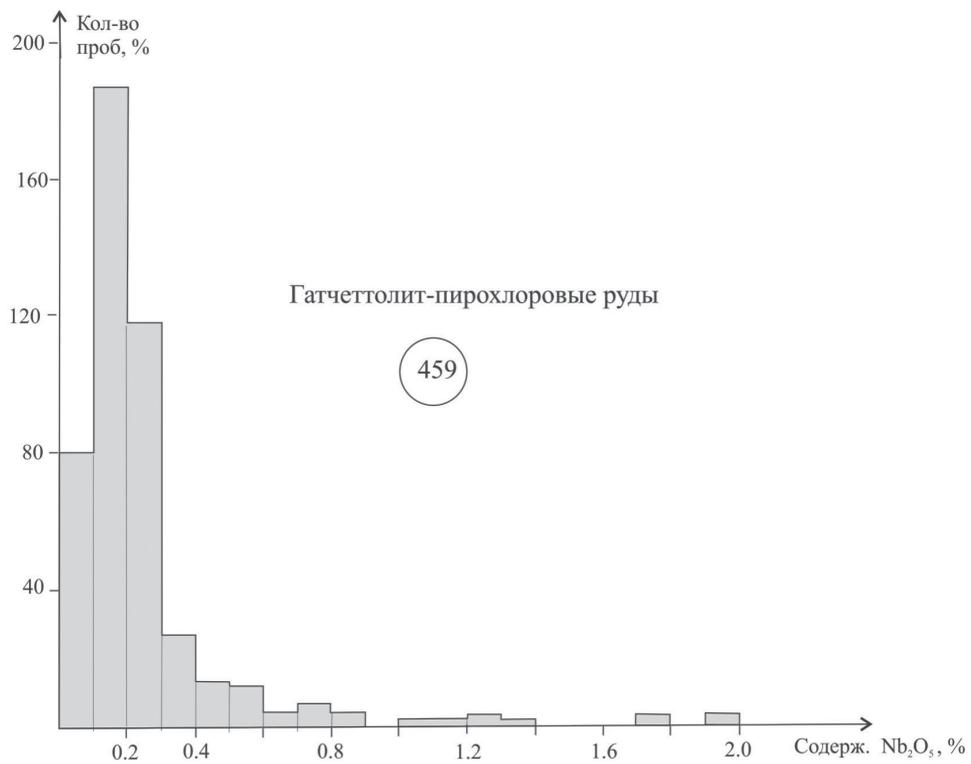
б) неактивные пироксоловые карбонатиты – 26,8 млн. т (Nb₂O₅ – 0,2%; Fe_{общ.} – 4,7%; P₂O₅ – 2,4%).

Запасы редкометальных апатит-магнетитовых руд, статистически подсчитанные внутри блоков гатчеттолит-пироксоловых руд, составляют до глубины 300 м по тем же категориям 29 млн. т при средних содержаниях Nb₂O₅ 0,325% и Ta₂O₅ 0,012%. С этим типом руд связано 32% ниобия и 42% тантала от общих запасов этих металлов в зонах А+Б+В.

В блоках редкометальных руд подсчитаны запасы и «пустых» кальцитовых карбонатитов, количество которых в тех же зонах до глубины 300 м составляет 74,4 млн. т со средними содержаниями (%): P₂O₅ – 3,4; Fe_{общ.} – 6,8; CO₂ – 27,3; S – 0,8; Nb₂O₅ – 0,044. Следует сказать, что принятая минимальная мощность рудных тел, равная 3 м, всё-таки великовата для редкометальных руд, тем более что руды Неске-вары можно предварительно обогащать с помощью покусковой сепарации. Снижение мощности до 2 м позволило бы увеличить запасы руд на 15%. В будущем к этому вопросу необходимо вернуться и тщательно обосновать этот параметр.

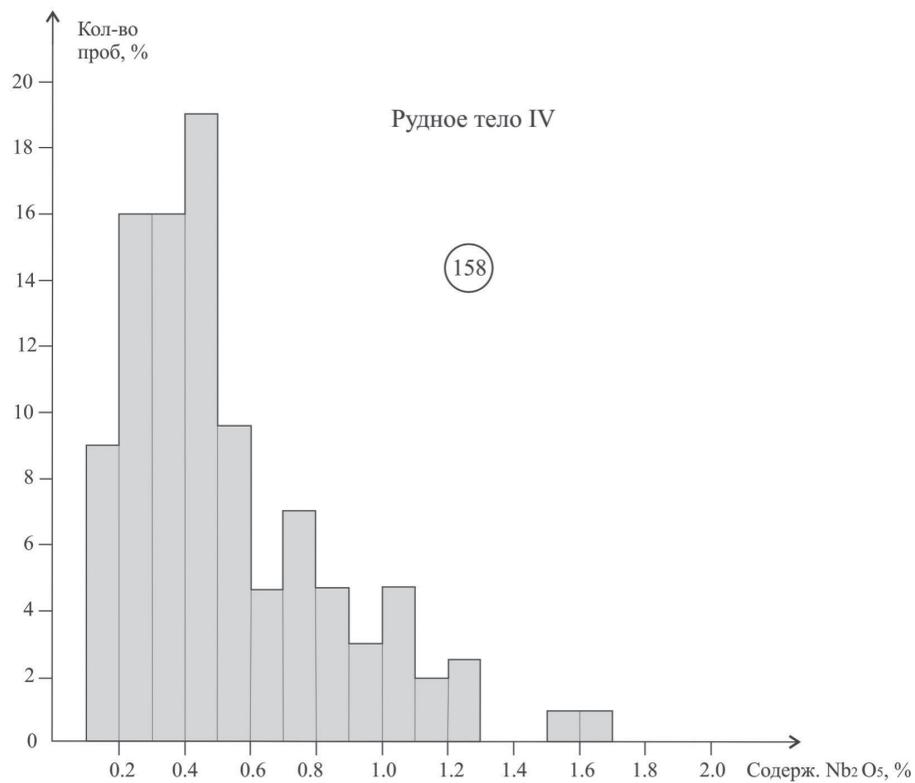
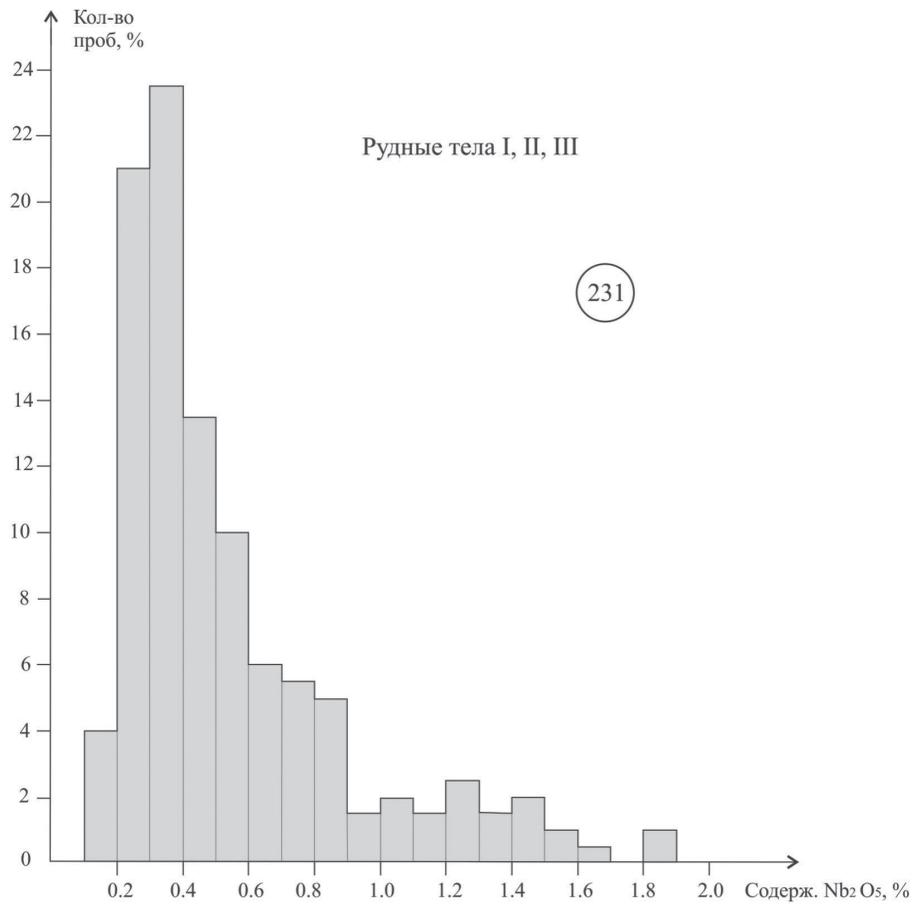
Для лабораторных технологических исследований в 1981 г. из керна скважин была отобрана представительная проба № 13 общим весом 4,6 т, в том числе 3 т представлены гатчеттолит-пироксоловыми рудами. С помощью покусковой сепарации в спектрорадиометрическом варианте проба была разделена ВИМС'ом на пироксоловую и гатчеттолитовую составляющие (т. е. пироксоловый продукт выделен по торью, а гатчеттолитовый – по урану). Глубокое обогащение пироксолового продукта проведено Гиредметом в 1984 г., изучить же гатчеттолитовый продукт у Гиредмета в тот период не было возможности и обогащение его проведено в ВИМС'е лишь в 1989 г.

¹ На рис. 35 видно, что в контакте с «лентой» находятся богатые тела апатит-магнетитовых руд №№ I и II. Западный фланг «ленты» остался за рамкой карты.



Цифры в кружках - количество проб

Рис. 40. Гистограммы распределения содержаний ниобия в рядовых редкометальных рудах месторождения Неске-вара.



Цифры в кружках - количество проб.

Рис. 41. Гистограммы распределения содержаний ниобия в богатых редкометалльных рудах месторождения Неске-вара (при борт. содерж. Nb₂O₅ 0.2 %).

Состав продуктов сепарации пробы №13 (данные ХТЛ Мурманской ГРЭ)

Наименование продукта	Содержание, %				Выход, %
	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	Уран	Торий	
Пироклоровый	0,460	0,014	0,006	0,035	45,0
Гатчеттолитовый	0,093	0,0115	0,0118	0,0056	21,9
Хвосты	0,070	0,0025	0,0007	0,0031	33,1
Исходная руда	0,250	0,0096	0,0055	0,018	100,0

Потери с хвостами составили (%): Nb₂O₅ – 9,2; Ta₂O₅ – 8,6.

При изучении продуктов сепарации специалистов Гиредмета насторожило присутствие ощутимых количеств пироклора, который, как выяснилось, менее радиоактивен и принадлежит к поздним генерациям. По данным Гиредмета пироклор из хвостов содержит в среднем 1,35% ThO₂ и 0,11% UO₂ тогда как в обычных гатчеттолит-пироклоровых рудах содержание тория в пироклоре вдвое выше, а урана – втрое. По этой причине Гиредмет не считает данные хвосты отвальными по ниобию. В реальных технологических схемах возможно понадобится дополнительная пересортировка хвостов уже с помощью рентгенрадиометрического сепаратора.

Неактивные пироклоровые карбонатиты также обогащаются с помощью покусковой сепарации, но уже в рентгенрадиометрическом варианте. Продукты сепарации при разных режимах обогащения содержит 0,29–0,59% Nb₂O₅ при выходе 79–24% и извлечении ниобия 92,6–63% (содержание Nb₂O₅ в хвостах 0,059–0,11%). На глубокое обогащение в Гиредмет в 1989 году был направлен обогащённый подукт, содержащий (%): Nb₂O₅ – 0,29; Ta₂O₅ – 0,004; CaO – 34,0; CO₂ – 27,1; SiO₂ – 7,4; Th_{экв} – 0,017 (анализ Гиредмета). Выход продукта от руды – 71,9%; извлечение ниобия – 92,6%; содержание Nb₂O₅ – в исходной керновой пробе – 0,225%.

При глубоком обогащении из перечисленных продуктов получены следующие концентраты:

Содержание, %	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	ThO ₂	UO ₂	Извлечение ниобия, %
Пироклоровый	1,2	45,0	3,4	0,9	
Гатчеттолитовый	1,25	7,25	0,4	1,4	
Слабо радиоактивный пироклоровый	0,21	42,4	0,596 (Th _{экв})		53,3

При гидрометаллургическом переделе первых двух продуктов получены фтортанталат калия и технический оксид ниобия. Сквозное извлечение тантала – 42%, ниобия – 48%.

14.9 Богатые ниобиевые руды участка Неске-вара

Предварительная разведка богатых ниобиевых руд проведена в 1985 г. в соответствии с совместным протоколом Минцветмета и Мингео СССР № 32 от 08. 10. 1984 г. «О перспективах быстрой организации добычи богатых редкометальных руд на месторождениях Кольского п-ова»¹. Запасы богатых ниобиевых руд утверждены в авторских цифрах в декабре 1986 года на совместном заседании ЦКЗ Минцветмета и Мингео СССР.

Относительно высокие содержания ниобия приурочены только к телам апатит-магнетитовых руд. Разведано 4 таких тела (№№ I, II, III, IV, см. рис 35 в предыдущем разделе), имеется несколько богатых неразведанных проявлений с содержанием Nb₂O₅ 0,7– 1,5%. Богатые тела разведаны скважинами по сети 25×25 м до глубины 100 м (52 скважины; 4,7 тыс. метров бурения). Рудное тело IV ещё в 1978 г. изучено двумя скважинами глубиной 300–400 м. Кроме того, при подсчёте запасов использованы 18 скважин 1956–58 гг. и 5 скважин 1975–80 гг. Размеры тел в плане: I – 10×220 м; II – 7×130 м; III – 4×70 м; IV – 55×120 м (трубка). Рудные тела I–III расположены в зонах А и Б, а рудное тело IV – в зоне В на северо-западных флангах месторождения Тухта-вара. Минеральный состав богатых руд такой же, как и рядовых. Тела I и II сложены апатит-форстерит-кальцит-магнетитовыми рудами, тело III сульфидно-apatит-кальцит-магнетитовыми, тело IV – апатит-кальцит-магнетитовыми.

¹ В итоге добыча богатых руд на Кольском п-ове (а имелись в виду руды тантала и ниобия) так нигде и не была начата.

Средние содержания основных компонентов, %

№№ Рудн. тел	Ta ₂ O ₅	Nb ₂ O ₅	ZrO ₂	Уран	Торий	Fe	P ₂ O ₅	S	CO ₂
I	0,014	0,490	0,17	0,011	0,054	19,1	4,6	2,3	15,8
II	0,015	0,542	0,22	0,018	0,050	17,4	4,6	1,4	18,8
III	0,022	0,953	0,19	0,007	0,061	24,3	5,3	5,7	14,3
IV	0,020	0,517	0,03	0,003	0,046	17,7	4,3	1,1	22,0

Гистограммы распределения содержаний ниобия в богатых рудах приведены на рис. 41. Из гистограмм следует, что 68% проб рудных тел I– III содержат Nb₂O₅ в количестве 0,2–0,6%. По рудному телу IV это цифра чуть меньше (61,5%).

Баланс распределения редких металлов изучен лишь на одной керновой пробе № 16, отобранной из рудных тел I и II. Он оказался весьма неблагоприятным из-за высокого содержания в рудах циркелита:

Минералы	Содержание в руде (%)	Распределение, относит. (%)	
		ниобий	тантал
Пирохлор	0,47	56,1	17,3
Циркелит	0,77	34,2	45,2
Гатчеттолит	0,03	2,5	21,1
Итого:		92,8	83,6
Магнетит		3,5	4,4

Временные кондиции были разработаны Гиредметом (1985 г.). Основные параметры кондиций: бортовое содержание Nb₂O₅ – 0,2%; минимальная мощность рудных тел – 4 м; максимальная глубина отработки карьером – 100 м для рудных тел I, IV и 50 м для рудных тел II и III. Для столь небольших тел величина минимальной мощности, равная 4 м, оказалась неприемлемой и в подсчёте запасов она была уменьшена до 2 м. Запасы в ЦКЗ утверждены на основе последней цифры.

Суммарные запасы богатых руд при бортовом содержании Nb₂O₅ 0,2% составили по категориям C₁+C₂ 1,6 млн. т со средними содержаниями Nb₂O₅ 0,532% и Ta₂O₅ 0,017% (в том числе 0,7 млн. т по рудному телу IV). При борте 0,1% запасы по тем же категориям равны 3,3 млн. т (в том числе C₁ – 2,3 млн. т) со средними содержаниями Nb₂O₅ 0,340% и Ta₂O₅ 0,014%. Из них на рудное тело IV приходится 1,3 млн. т (Nb₂O₅ – 0,357%; Ta₂O₅ – 0,016%).

Лабораторные технологические исследования проведены на материале керновой пробы № 16, отобранной из руд I и II тел. Точнее, отобраны две одинаковые пробы весом по 0,5 т для ВИМС'а и Гиредмета. Покусковая сепарация (ВИМС) и глубокое обогащение (Гиредмет) из-за крайне сжатых сроков разведки проводились параллельно. Наличие в богатых рудах большого количества циркелита обусловило в итоге низкое качество редкометалльных концентратов, содержащих всего 0,3% Ta₂O₅ и 13,94% Nb₂O₅ при извлечении от руд 47,6 и 58,8%, соответственно. Попутные продукты: магнетитовый (65% Fe_{общ}) и апатитовый (37% P₂O₅) концентраты. При гидрометаллургическом переделе из редкометалльного концентрата получены технический оксид ниобия (99,8% Nb₂O₅ при извлечении 95% от концентрата), товарный фтортанталат калия (46,14% Ta₂O₅ при извлечении 90%) и урановый химконцентрат (76% U₃O₈ при извлечении 96,5%).

В ТЭО показатели обогащения скорректированы с учётом того, что при покусковой радиометрической сепарации 20% «пустой» породы будет сброшено в хвосты, а в обогащённом продукте содержание ниобия увеличится в 1,18 раза.

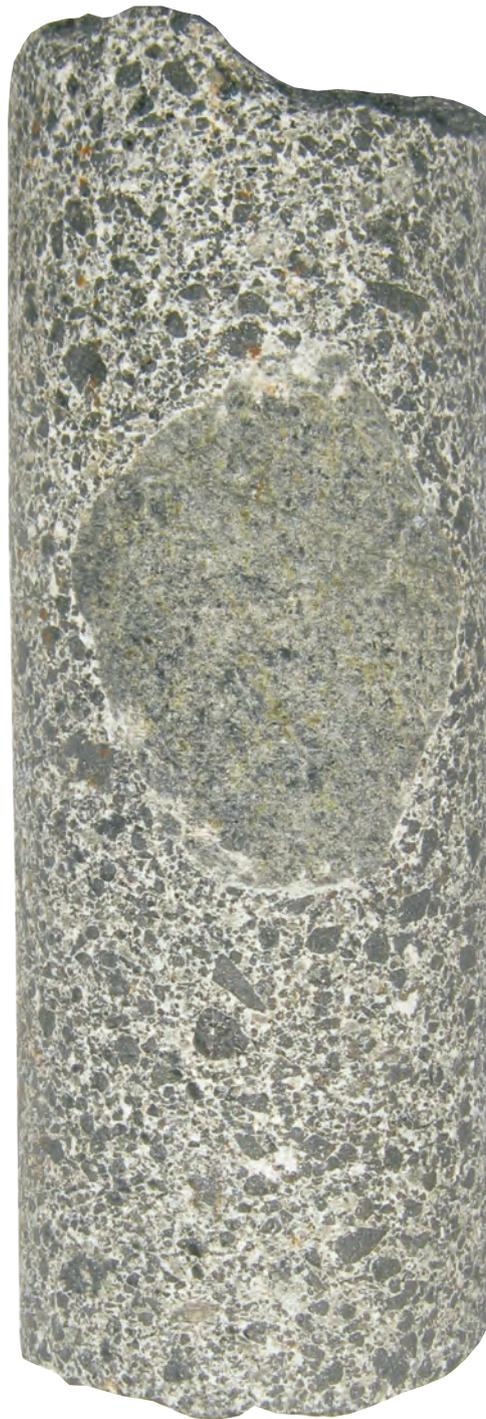
Несколько слов о рудном теле IV (рис. 42, 43). Об особенностях его строения и минерального состава упоминалось в разных местах части II. Коротко следует повторить эти особенности:

1. В отличие от остальных тел богатых ниобиевых руд форма его не линейная (жильная), а трубчатая.

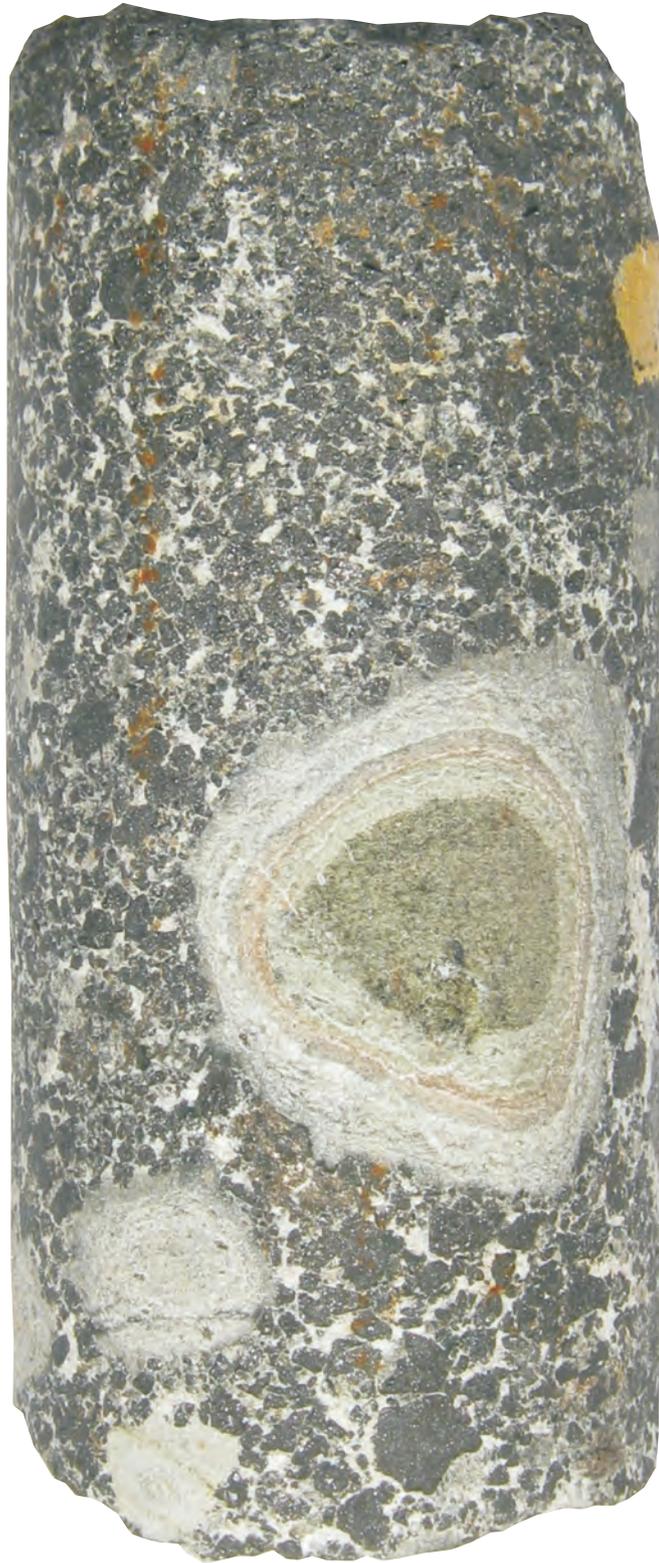
2. Руды содержат много кальцита (22% CO₂), что связано с поздней карбонатизацией апатит-магнетитовых руд, сопровождавшейся интенсивной перекристаллизацией их с образованием пегматоидных структур, крупных октаэдрических кристаллов магнетита и зёрен пирохлора размером до 1 см в поперечнике.



Óí òí 1. Êñáí î èè ò í à à ì à ò í è à í î é ò í ð ñ ò à ð è ò - ì à à í à ò è ò í à í é ð ó à ú á à ì à ò è ò - ò í ð ñ ò à ð è ò - ì à à í à ò è ò í à í é ð ó à á ñ è à è ú ò è ò í . Ê î à à í ð . Æ è è à ç í ð ó à í î à ì - í è à . Ñ ê à . 7 ñ ò ð , ã è . 1292,5 ì . Ø è à ð í à 57 ì ì .



Ôî ðî 2. Í êðóæû é êñáí î èèò î èèâéí èòà á àí àòèò-òî ðñòáðèò-
ì àáí àðèòí âí é ðóáá ñ èàèüòèòí . Í àáí àðèòí áú ÷í î á í áéíì èàð.
Êî àáí ð. Æâèâçí ðóáí î á ì -í èá. Ñéâ. 122ⁿ, Ø èâðí à 70 ì ì .



Ôî õî 3. Í áëîî èè î èðî êñáí èòà á àî àòèð-òî ðñòáðèð-ì àáí áðèðîí áî é ðóáá ñ èàèüòèðîî . Ì áëèèá î áëîî èè èçî áí áí ù («î áðááðáí ù») í àöáëî .
Ëî ááí ð. Æèèçî ðóáí î á î -í èá. Ñêá. 122^ñ, øèáðî à 72 ì î .



Óí òí 5. Éàèüöèò-òí ðñòáðèò-ì àáí àdèòí àáy ðóàà ñ ààò-áòòí èèòí ì ,
 ì ðí ðáàí í ày ààééí é ì àééí çàðí èñòí àí ì áðèáí dèdà. Á àáðòí áé
 ð-àñdè ø dóó à - ó ðàáí áí ò ñáéóú áé æèéú èàèüöèòí áí àí èàðáí -
 í àdèdà. Ñí àáðæáí èá Ta_2O_5 á ðóáá 0,019%; Nb_2O_5 - 0,112%.
 Áóí dèyðàè. Óóòà-ààðà. Ñéá.130, ãè. 161,5 ì , ø èáðí à 72 ì ì .



Óí óí 6. Ààééà ì àééí çãdí èñdí ãí
 ì áðèáí òè òà á èàèüòèò-òí ðñòáðèò-
 ì àáí àòèòí áí é ðóáá. Áóí ðè ÿðàè.
 Óóòà-ààðà. Ñéá. 20, æ. 250 ì ,
 ø éãdí à 57 ì ì .



Óí óí 7. Èàèüòèò-òí ðñòáðèò-
 ì àáí àòèòí ààÿ ðóáà ñ àí àòèòí ì ,
 çãè, í ú ì ô èí ãí ì èòí ì , ààò-àòòí -
 èèòí ì . Áóí ðè ÿðàè. Óóòà-ààðà.
 Ñéá. 146, æ. 263 ì , ø éãdí à 57 ì ì .



Óí òí 8. Óëí ãí ì èð-èàèüöèð-ì ãáí àðèòí àày ðóàà. Áãððè-èàèü-
í ày æèèà à í èæí áé ÷ãñðè - òëí ðèð-áí èí ì èòí àày. Óóðéé ì -í á.
Óáí ððàèüí ù é ì àññèá. Ñéá. 22, ãé. 36,7 ì , ø éáðí à 109 ì ì .



Ôî òí 9. Æèèà áí ààòí é èàèüòèð-òèí ãí ì èð-ì àáí àðèòí áí é ðóáú
á ì èèàèí èðà. Êí àáí ð. Ôáí òðàèúí àý ì àáí èòí àý áí ì ì àèèý.
Ñéá. 600, æ. 14 ì , ø éáðí à 72 ì ì .



Фото 10. Дайка ювигов в апатит-форстерит-магнетитовой руде. Видны оторочки мелкошешуйчатого слюдита по силикатной части руды. Ковдор. Железородное м-ние. Скв. 42°, Ø керна 88 мм.



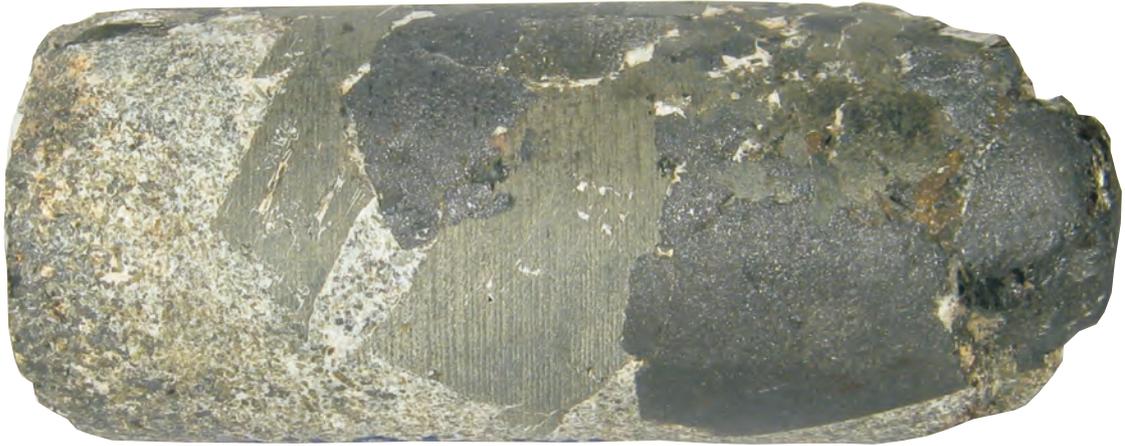
Óí òí 11. Àè ààí í àèúí ù á ààéèè þ àè òí á ðàññáèàþ ò í èè àè í è ò ñ ñóá-
 áàððèèè àèúí í é æè è í é á í àà ò í é ò è í àí í è ò-í àáí á ðè ò í àí é ð ó á ú . Á è í í -
 ò à è ò á ñ í è è à è í è ò í à è á í à í í í àí ñ è í é í à ý í ò í ò í -è à : ç à è , í ú é ñ è þ -
 à è ò ñ è þ à è ò è ç ò í ç í àí àí ò à ò ð á ò á ð ð è ò è í àí í è ò à à è í í ñ è á í à à ý í ò í -
 ò í -è à . Í à è è à ý à à è è à á í è ç ó í ð è í á ð á ñ á -á í è è í è è à è í è ò à ò à è è è í í
 ñ è í æ á í à í é í á ð à è à ì è í ò í ò í -è è . È í á á í ð . Ó á í ò ð à è ú í à ý í à á í è ò í à ý
 á í í ì à è è ý . Ñ è á . 600 , æ . 18 í , ø è á ð í à 72 í ì .



Óí óí 12. Óéí áí í èð-àí àðè óí ááy
ðóáà ñ àèí í ñè áí ì , ì ááí áðè óí ì ,
áèðáí é áí í í ñòùþ ñóé úð è áí á.
Ñááéúýáð. Ñéá. 372, æ. 243 ì ,
ø é áðí à 55 ì ì .



Óí óí 13. Áí àðè ò-ó é í áí í è ò-ì ááí áðè óí ááy
ðóáà ñ àèí í ñè áí ì á é í í òàè òá ñ í áðí áñéè-
òè òáí í ì ááí áðè óí áí é ðóáí é. Ñááéúýáð.
Ñéá. 364, æ. 489 ì , ø é áðí à 58 ì ì .



Ôî òí 14. Ðáèèèò ì áâì àòí èáí í é ó èí ãí ì èò-ì àáí áðè òí áí é ðóáú á èàèüöèò-àèí ì nè-á-áí àðè òí áí é ðóáá. Nǎáèüýáð. Nêá. 341, æ. 461 ì , ø èáðí à 57 ì ì .



Ôî òí 15. Êí í òàèò àèðèí í èèò-ò èí ãí ì èò-áí àðè òí áí é ðóáú ñí ñèþ äýí í - ì èðí èñáí í áí é ì ì òí áí é. Í à èí í òàèòá - ì áèè çáðí è ñòàý àèðèí í èè òí áàý í òí òí -èà ì ì ì èðí èñáí èòó. Nǎáèüýáð. Nêá. 359, æ. 147 ì , ø èáðí à 57 ì ì .



Óí óí 16. Áacéà p àeóí á â í áãì àòí èáí í é àèí í ñèä-í èèàèí -òéí ãí í èòí áí é
 í í ðí áá. Í í í èèàéí ó - òà æá ì í í ãí ñéí éí ày í ðí ðí -èà, -óí è á í áð. Óí óí 11.
 Á ááðóí àí òí ðöá - èðèñòàèè òéí ãí í èòà. × àñòù áãí í òù áí èáí à ðàñí èàáí ì ,
 í í èí ì àí à è ðàçèèñòí ááí à í í ñí àéí í ñèè. Èí ááí ð. Óéí ãí í èòí áí á ì -í èá.
 Ñéá. 567, øéáðí à 72 ì ì .



Ôî ôî 17. Âî àðè ôî âây î î ðî àà ñ êî ððî àè ðî ààí í ù î è ðàèè èðàî è î ààí àðè òà è ò êî ãî î è òà («æàè ôî ê» Æèàáí í é çàèàæè). Êî ààí ð. Ôèî ãî î è òî àí à î àñòî - ðî æàáí è. Í áð. èç ðàççàááí ÷í í é ø àòòù . Áù ñî òà ø òóà - 13 ñî .



Ôî õî 18. Āî ēî ì èõî āāy æèèā ñ āî ēüø èì ēî èè-āñdāî ì
î èððî ðè í à, ðāóù āy î î ēî ñ-àòù é àèðè í èè-èāēüèèòî -
āû é èāðāî í àèè. Āóî ðèyðāè. Í āñèā-āàðā. Ñèā.224, æ. 75î ,
ø èāðî à 72 î ì .



Ôi ôi 19. Ī ī ēi ñ-àòú é ài ēiì èòī àú é èàðáí í àèè ñ ààéēí é èèì ááð
èèòī -ī ī àí áí í é ī ī ðī àú. Èááú é ēī í òàèò ààéèè ñī ðááí ī ðè áóðáí èè.
Ñááēyāð. Ñéa.358, æ. 288 ì , Ø èáðí à 57 ì ì .



Óí óí 20. Ääéèà èéí èèðà ñø í ðéíí èòíí á í èè àéí èðá. Á çäéúáí ääð - ääóðñéí éí äýí äééí çäðí è ñðäý í ðí ðí ÷èà è ç ò éí áí í èðà è í èðí èñáí à (í í í èè àéí èðó). Áóí ðè ýðäè. Çáí äáí ú é ó÷ànóí è. Ñèá. 258, æ. 209 í , ø éäðí à 57 í í .



Óí óí 21. Èéí èèð í ääí äòí èáí ú é ñí äáí äèòíí , ø í ðéíí èòíí , ðí çí áúí (èçí áí , í í úí) í äó äééí íí , ñí äéèè è í ýòí àí è ááéí áí í äðäè ÷í í áí èäèúèèðà. Áèáí à í äðäèðè ñòäèèèçàðèý äéí í ñè ää áí óððè í ýðáí . Ñäèèáí èàðäà. Ñèá. 57, æ. 159 í , ø éäðí à 72 í í .



Ôi ðí 22. Ôeí ãí ì èð-èàeüòè òí ààý áðàe-èý, ó ðáí êí èèðèçè ðí ààí í àý
(ñ ñ òðáí áí è àì àñáò ñððóèððóðí í -ðàèñðóðí ù ò í ñ ááí í í ñòáé è ñòí áí í é
í í ðí áú). Ááá ñòí ðí í ú í áí í ãí í áðàçòà. Ñàèèáí èàðàà. Ñèá. 17, æ. 285 ì ,
ø èáðí à 58 ì ì .



Óí òí 23. Áðáé:-èÿ ñ í áéí ì èàì è ò éí ãí ì èð-èàéüöèðí áú ò è áí éí ì èðí áú ò èáðáí í àðè òí á. Öài áí ò: òéí ðèð-èáðáí í àðí ú é. Ñàèèáí èàðàà. Ñéà. 36, ãé. 201 ì , ø èáðí à 70 ì ì .



Óí òí 24. Ýéñí éí çèáí àÿ áðáé:-èÿ ñ í áéí ì èàì è èáðáí í àðè òí á ðàçí ú ò ñòà-àèé, à òàèæà èçí áí , í í ú ò ì èðí éñáí èðí á. Öài áí ò: èàéüöèð, áóðú é ò éí ãí-ì èð, ì ááí áðèð, ì èðèð. Ñàèèáí èàðàà. Ñéà. 55, ãé. 286 ì , ø èáðí à 72 ì ì .



Ôi ði 25. Ñóí ãœèð (êí ëúñéèð) ñ çãðèæèì è ñêí ëüæáí èý èç æèëú â íèèæèí èðàð. Êí ááí ð. Öáí ððæúí àý ì ááí èðí àý àí ì ì æèý. Ñêá. 602, Øéáðí à 98 ì ì .

3. Циркелит в этих рудах отсутствует, да и валовое содержание ZrO_2 во много раз меньше, чем в магнетитовых рудах любых других типов. Такие содержания циркония свойственны лишь карбонатитам.

4. Трубка окружена сплошным ореолом кальцит-тетраферрифлогопит-гумитовых пород и буро-красных мелкочешуйчатых слюдитов, возникших в процессе переработки вмещающих пироксенитов и оливинитов.

5. Богатые пирохлоровые руды слагают лишь внутреннюю часть трубки, тогда как краевые её части – это рядовые гатчеттолитовые руды, представленные магнетитовыми, карбонатитовыми и силикатными разновидностями.

Глубокие горизонты трубки изучены двумя наклонными скважинами: № 229 глубиной 277 м и № 287 глубиной 384 м (см. рис 35). Первая вскрыла богатые пирохлоровые руды до глубины 160 м, затем метров около 20 прошла по гатчеттолитовым рудам и вышла во вмещающие породы. Вторая вошла в трубку на глубине 235 м, но, скорее всего, несколько отклонилась от заданного направления и вскрыла, главным образом, гатчеттолитовые руды, в которых и остановлена¹.

Химический состав пирохлора из богатых руд тела IV (%):

Nb_2O_5 – 61,59	TiO_2 – 2,96	TR_2O_3 – 2,32
Ta_2O_5 – 0,60	ThO_2 – 5,16	CaO – 14,79
ZrO_2 – 2,00	Уран – нет	Na_2O – 5,91

(из материалов Ю. А. Багдасарова, ИМГРЭ, 1978 г.)

Часть проявлений богатых руд осталась в 1985 году неизученной. Кроме того, в период поисково-оценочных работ 1986–1989 годах выявлены и новые проявления. Их общий перечень:

№№ п.п.	№№ проф.	№№ скв.	Интервалы, м			Средние содерж. %		Примечание
			от	до	Длина по стволу скв.	Nb_2O_5	Ta_2O_5	
1	14	384	240,8	260,6	19,8	0,67	0,007	Серия рудных жил
2	–”–	443	122,6	129,0	6,4	1,5	0,056	Слюдиты
3	20	219	64,0	75,0	11,0	0,47	0,010	
	–”–	–”–	107,2	116,0	8,8	0,74	0,012	
4	21	235	189,0	198,4	9,4	0,41	0,025	
5	29	222	193,0	218,6	25,6	0,70	0,011	См. рис. 37
6	–”–	447	158,6	192,7	34,1	1,2	0,012	См. рис. 37
7	40	241	147,0	154,4	7,4	0,77	0,031	

Слепое тело, указанное в предпоследней строчке, возможно, выходит под морену между профилями 29 и 31; где известна магнитная аномалия интенсивностью до 100 мЭ.

14.10. Ниобиевые карбонатиты Салланлатвы

Массив Салланлатва сложен ийолитами и карбонатитами. Площадь карбонатитового ядра, с которым связаны проявления различных полезных ископаемых, составляет 0,67 кв. км (рис. 44).

Карбонатиты образуют трубообразную залежь с крутым падением, прослеженную бурением на глубину около 500 м. Барит-сидеритовые и барит-анкеритовые карбонатиты залегают в центральной части ядра и окаймлены кальцитовыми карбонатитами. Коренные породы ядра перекрыты корами выветривания средней мощностью 14,2 м. На кальцитовых карбонатитах они представлены дресвой с вермулитом, магнетитом и редкометалльными минералами, на анкеритовых и сидеритовых – барит-лимонитовыми охрами («железной шляпой»). Коры выветривания, в свою очередь, закрыты сплошным чехлом четвертичных отложений (морена, пески) мощностью 2–7 м.

Карбонатиты Салланлатвы расположены на пологой возвышенности с абс. отг. 300–330 м и относительными превышениями 30–50 м.

¹ Замеры искривления скважины не проводились из-за отсутствия в тот период гироскопического инклинометра.

Первые поисковые работы на массиве проведены в 1957–1962 гг. (Серба и др., 1959; 1962) В этот период пройдены 132 канавы, 82 шурфа и 12 мелких скважин в карбонатитах и вблизи них, выявлены проявления вермикулита, ниобия, барита и минеральных красок. В 1978–1980 гг. Мурманской ГРЭ пробурены 24 скважины (№№ 13–35, 18^а) общим объёмом 4,4 тыс. пог.м на двух крестообразно расположенных профилях, а в 1984–1988 гг. проведены поисково-оценочные работы на ниобий и барит до глубины 300–500 м. Это ещё 32 скважины (№№ 36–67¹ объёмом 9,9 тыс. пог.м) только в пределах ядра. Горные работы в период с 1978 года не велись.

Ниобиевые карбонатиты слагают подковообразную неполнокольцевую зону в северной половине ядра массива Салланлатва длиной 1,5 км при мощности в плане 40–100 м (рис. 44). Падение зоны крутое (60–80°) к центру массива (рис. 45–46). Общая площадь рудной зоны – 0,11 кв. км (15% всей площади карбонатитового ядра).

Основные разновидности существенно карбонатных пород:

1. Флогопит-кальцитовые брекчии с большим количеством обломков изменённых ийолитов (до 40–50%).
2. Полосчатые флогопит-кальцитовые карбонатиты такого же состава. Обломки ийолитов в них тоже встречаются, но их очень мало.
3. Лейкократовые кальцитовые карбонатиты без обломков вмещающих пород. Они располагаются во внешней зоне карбонатитового ядра.
4. Кальцит-флогопит-магнетитовые породы, слагающие мелкие участки среди флогопит-кальцитовых карбонатитов. По составу являются меланократовыми аналогами карбонатитов.
5. Кальцит-флогопитовые породы (или бурые слюдиты с кальцитом). Тяготеют к контактам карбонатитового ядра с ийолитами.
6. Доломитизированные разновидности всех перечисленных выше пород.

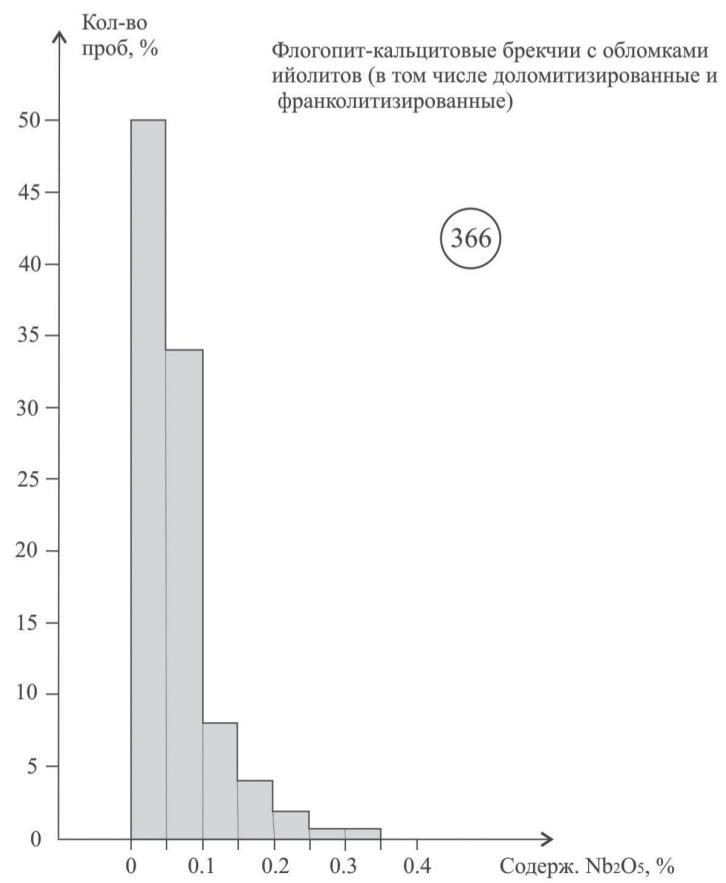
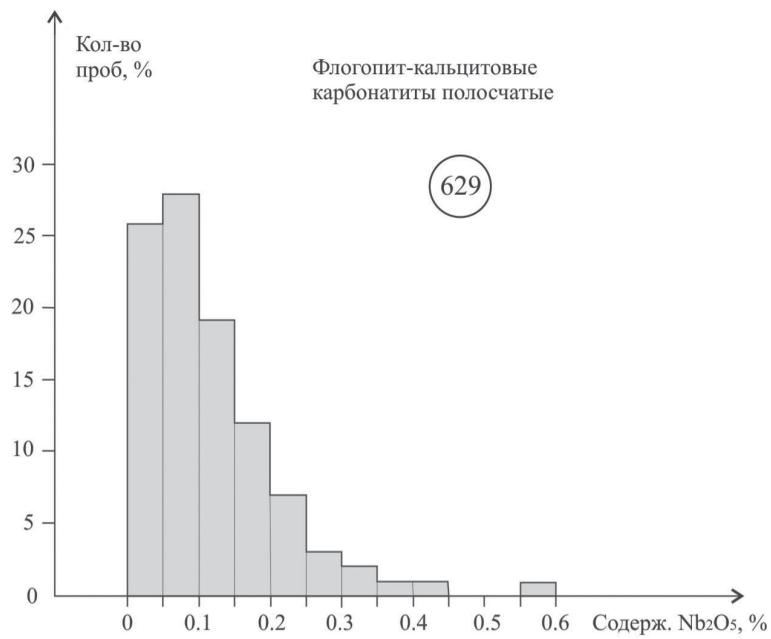
Переходы между первыми пятью разновидностями относительно резкие, но о возрастных соотношениях однозначного ответа нет. Похоже, что флогопит-кальцитовые брекчии являются самыми древними, карбонатиты второй и третьей разновидности – это фациальные аналоги. Обогащённые магнетитом породы относятся к продуктам дробной кристаллизации карбонатитовых жидкостей, а слюдиты возникли в результате глубокой метасоматической переработки (кальцитизации) вмещающих ийолитов.

Основная масса ниобия сосредоточена в полосчатых флогопит-кальцитовых карбонатитах. Небольшие линейные зоны есть и в брекчиевых разновидностях (с обломками ийолитов), но они всегда беднее полосчатых. Это хорошо видно на гистограммах (рис. 47), из которых следует, что 85% проб флогопит-кальцитовых брекчий содержит ниобий в количестве до 0,1%. В целом оруденение бедное, т. к. и в полосчатых карбонатитах лишь 46% проб содержит ниобий от 0,1% и выше. Внутри зоны отмечаются полосы «пустых» карбонатитов, а также жилообразные зоны франколитовых (фосфатных) пород более позднего возраста, часть из которых является одновременно и ниобиевыми рудами. Оруденение обычно устойчиво с глубиной как по масштабам, так и по качеству. На отдельных разрезах книзу наблюдается либо уменьшение, либо увеличение мощности залежи.

Ниобий связан с луешитом и пироксолом. Луешит (NaNbO_3) в промышленных количествах более нигде не встречен и в этом смысле Салланлатвинское месторождение является уникальным. Он образует кубические кристаллы чёрного, серого, тёмно-сиреневого цвета размером в ребре 0,02–1 мм. Среднее содержание Nb_2O_5 в луешите составляет 73,5% при колебании в отдельных анализах от 71,0 до 77,4%. Элементы–примеси представлены оксидами титана (3%), тантала (0,15%), тория (0,2%, т. е. минерал слабо радиоактивен). Пироксолом присутствует совместно с луешитом в соотношении примерно 1:3. Содержание Nb_2O_5 в пироксолом также стабильное и высокое: в среднем около 69%. Радиоактивность пироксолома примерно такая же как и у луешита.

Химический и минеральный состав ниобиевых карбонатитов приведён в табл. 28. Из неё видно, что карбонаты составляют свыше половины породы. Представлены они, главным образом, кальцитом. Доломит в ощутимых количествах (до 20% и более) появляется близ контакта редкометальной залежи с поздними карбонатитами. Луешит и пироксолом устойчивы при франколитизации и анкеритизации, а в последнем случае могут появиться и новые генерации тонковкрапленного пироксолома. В шлифах отмечается много пылевидного пироксолома (размер зёрен меньше 0,02 мм) и на

¹ Нумерация скважин сквозная, начиная с 1957 г.



Цифры в кружках - количество проб

Рис. 47. Гистограммы распределения содержаний ниобия в ранних карбонатах Салланлатвы.

первый взгляд складывается впечатление, что мелкая фракция преобладает. Однако подсчёты показали, что с пироклоровой пылью связано не более 1–2% всего ниобия. Здесь сказывается кубическая зависимость между линейными размерами зёрен и их объёмом.

Попутными компонентами, которые теоретически можно извлечь из редкометалльных руд, являются магнетит, барит, фосфаты (апатит и франколит), кальцит (как сырьё для извести).

Запасы ниобиевых карбонатитов при бортовом содержании Nb_2O_5 0,1% составляют до глубины 300 м от поверхности (горизонт 0) 79,1 млн. т (151,3 тыс. т Nb_2O_5) по категории C_2 . Средние содержания компонентов приведены в табл. 28. Подсчёт запасов базировался на 16 скважинных пересечениях. Для поисково-оценочной стадии морфология рудных зон изучена достаточно надёжно, есть и перекрытые геолразрезы.

Запасы дресвянистых кор выветривания, залегающих на ниобиевых карбонатитах, не считались, да и сами коры изучены слабо.

Таблица 28. Химический и минеральный состав ниобиевых руд Салланлатвы

Компоненты	Содержание, %		Минералы	Содержание, % (технолог. проба №7)
	технологическая проба №7	по результатам подсчёта запасов		
SiO_2	8,54		Луешит, пироклор	0,25
TiO_2	0,38		Магнетит	6,6–7,0
Al_2O_3	4,31		Пирит, пирротин	3,0–3,5
Fe_2O_3	8,17		Барит	2,5–2,7
FeO	6,26	11,1 ($Fe_{общ.}$)	Франколит (апатит)	5,5–6,5
MnO	0,62		Анкилит	1,5–2,0
CaO	30,74		Ильменит	0,3–0,5
MgO	6,85		Гематит, гётит	1,0–1,5
K_2O	1,30		Хлорит	12,0–13,0
Na_2O	0,24		Флогопит	10,0–12,0
SO_3	3,75	1,9 ($S_{общ.}$)	Карбонаты	54–56
P_2O_5	2,67	3,0		
Ta_2O_5	0,002			
Nb_2O_5	0,172	0,191		
BaO	1,64	1,94		
п.п.п.	24,00			
Сумма	99,64			
CO_2	22,66	23,5		

Лабораторные технологические исследования проведены на материале ядерной пробы № 7 весом 2,2 т в Горном институте КФАН СССР в 1986 г. (получение черновых концентратов) и в Гиредмете в 1988 г. (доводка черновых концентратов). Черновой концентрат с содержанием Nb_2O_5 0,85% (анализ Гиредмета) получен по магнитно-гравитационной, т. е. безреагентной схеме. При этом выяснилось, что потери ниобия со шламами из руд Салланлатвы составили всего 5,5%. Для сравнения: из рядовых руд Неске-вары они равны 8%, из богатых – 11%, а из гатчеттолитовых руд Тухта-вары – 17–20%. Однако совершенно недопустимыми оказались потери ниобия с хвостами, составившие 27%. При изучении хвостов технологи и минералоги КФАН пришли к единому мнению, что начальная крупность дробления (0,63 мм) недостаточна и много луешита потерялось со сростками. При доводке черновых концентратов по магнитно-флотационной схеме Гиредметом получен продукт с содержанием Nb_2O_5 39,8% при извлечении 41,2% от исходной руды. В качестве примесей присутствуют (%):

SiO_2 – 8,0; $Fe_2O_{3общ.}$ – 2,1; CaO – 9,8; Ta_2O_5 – 0,26; $Th_{экр.}$ – 0,19.

Минеральный состав (%): луешит – 40,8; пирохлор – 26,7; апатит с франколитом – 3,1; карбонаты – 21,2; силикаты – 7,1; сульфиды – 0,3; прочие – 0,8 (итого 100,0).

Кроме того, ВИМС'ом в 1987 г. были проведены поисковые исследования по предварительному обогащению (покусковой сепарации) луешитовых руд в рентгенрадиометрическом варианте. Руды Салланлатвы оказались достаточно контрастными, как и все типы редкометалльных руд карбонатитового этапа. Максимальные показатели сепарации, т. е. без учёта присоединения отсева к обогащённому продукту, следующие:

Варианты (режимы)	Продукты сепарации				
	Выход, %	Концентрат		Хвосты	
		Содерж. Nb ₂ O ₅ , %	Извлечение, %	Выход, %	Содерж. Nb ₂ O ₅ , %
1	80,8	0,29	96,1	19,2	0,05
2	66,7	0,32	88,9	33,3	0,08
3	50,6	0,39	81,6	49,4	0,09
4	40,7	0,45	75,5	59,3	0,10

Исследования были проведены на технологической пробе № 8 с содержанием Nb₂O₅ 0,172%, отобранной из керна скважин №№ 41, 45, 50. Из приведённых результатов видно, что покусковая сепарация должна быть обязательным звеном в схеме обогащения, а оптимальные режимы её необходимо определить при дальнейших исследованиях. На глубокое обогащение продукты сепарации не направлялись.

14.11. Барит-сидеритовые руды Салланлатвы

Общие сведения о карбонатитах Салланлатвинского массива и объёмах проведённых работ даны в начале предыдущего раздела, а краткое описание основных разновидностей поздних карбонатитов – в разделе 7.4.

Баритовые руды слагают центральную часть карбонатитового штока, образуя компактную залежь размером в плане 650×350 м с крутым, близким к вертикальному, падением. Представлены они несколькими разновидностями поздних карбонатитов, из которых основными являются барит-анкеритовые с мелкокрапленным магнетитом и барит-анкерит-сидеритовые (или упрощённо, «барит-сидеритовые») карбонатиты, возникшие в заключительные стадии карбонатитового этапа. В небольшом количестве в северной части залежи баритовых руд известны лейкократовые брейнерит-доломитовые карбонатиты с небольшой примесью барита.

Кроме карбонатов и барита, в поздних карбонатитах присутствуют хлорит, серпентин, магнетит, анкилит, бербанкит, пирит, сфалерит, галенит, стронцианит, пылевидный пирохлор.

По данным Механобра (1983) содержание барита в рудах технологической пробы С-4 составило 12,2%; сидерита – 32%; магнетита – 7,5% пирита – 2%. Остальная часть представлена, главным образом, силикатами и лёгкими карбонатами (доломит, кальцит и др.). В барите содержится 62,5% BaO; 31,7% SO₃; 0,8% Fe_{общ.}; 0,3% SrO (ХТЛ Мурманской ГРЭ, 1981 г.). По единичным данным микрозондовых определений (Геологический ин-т КНЦ РАН) содержание BaO в барите – 65,7–66,8%, а количество SrO колеблется от сотых долей процента до 2,4%. Но надо сказать, что данных о химсоставе барита (как и остальных минералов баритовых руд, в том числе анкилита, сульфидов, магнетита, сидерита и др.) крайне мало либо нет вообще и недостаточно даже для уровня поисковых работ. В частности, не выяснено, с чем связаны примеси радиоактивных элементов в баритовых рудах. В отчёте 1988 г. упоминается ряд подозреваемых минералов, но достоверных данных нет. По результатам гамма-каротажа установлено:

- природа радиоактивности преимущественно ториевая;
- никакой связи между содержаниями ниобия и тория нет.

Всего выявлено 40 аномалий в 4 скважинах (№№ 50, 53, 54, 60) интенсивностью 210–800 мкр/час при фоне 80 мкр/час и мощностью 1.6–12,2 м по стволам скважин. Из них 23 аномалии обнаружены в скв. № 54 глубиной 340 м, которая на всём протяжении вскрыла анкерит-баритовые руды. Суммарная

мощность аномалий по всем скважинам составляет примерно 12% от общего метража, пройденного по обоим типам баритовых руд. Этого оказалось вполне достаточно, чтобы ощутимый фон перешёл по наследству и в железоокисные охры (см. главу 16, раздел 16.4).

Гистограммы распределения содержаний железа и бария в поздних карбонатитах приведены на рис. 48 и 49. По характеру распределения железа все гистограммы близки к симметричным. Такие же они и для барита, за исключением доломитовых карбонатитов, гистограмма которых гиперболическая. Согласно выводам, вытекающим из анализа гистограмм по Тухта-варе (см. раздел 14.4) все три разновидности карбонатитов образовались, вероятнее всего, путём выполнения полостей. Барит же в доломитовых карбонатитах (наиболее древних из рассматриваемых разновидностей) является, в основном, наложенным, да и содержания его в целом заметно ниже, нежели в самых молодых карбонатитах (т. е. баритовых рудах).

Запасы баритовых карбонатитов (руд) считались в геологических границах методом блоков. В барит-сидеритовых карбонатитах выделено три блока (А, Б и В), в анкерит-баритовых – два (I и II), показанных на рис. 44. По баритовым карбонатитам пройдено полностью или частично 12 скважин. В целом они изучены хуже, нежели ниобиевые карбонатиты. Так, по наиболее крупному блоку А пройдена всего одна скважина № 50. Средние содержания компонентов и запасы руд приведены в таблице 29.

В 1983 г. Механобром из карбонатитов пробы С–4 весом 0,6 т в лабораторных условиях по магнитно-флотационной схеме получен баритовый концентрат, а также комбинированные сидерит-баритовые утяжелители для буровых растворов.

Результаты исследований: а) Концентрат баритовый, сорт КБ–6:

	Выход, %	Содержание барита, %	Извлечение %	Удельный вес
Концентрат	12,0	82,33	82,2	4,2
Хвосты	88,0	2,43	17,8	
Исх. проба	100,0	12,01	100,0	

Основными минералами в концентрате, помимо барита, являются сидерит (7%) и доломит (6%).

б) Комбинированные барит-сидеритовые концентраты. Получено несколько различных продуктов:

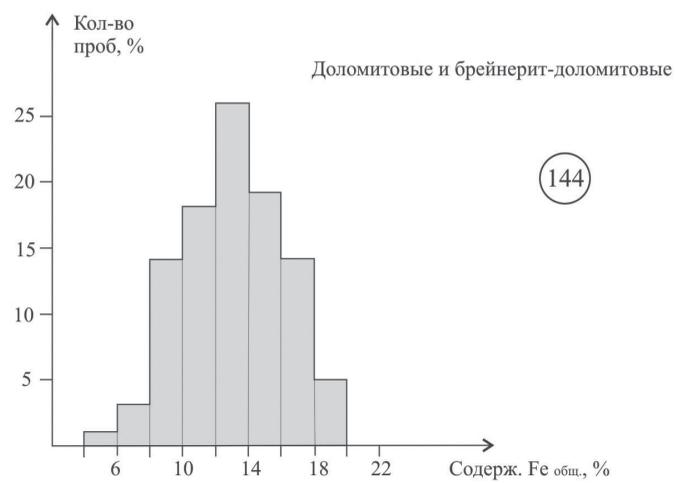
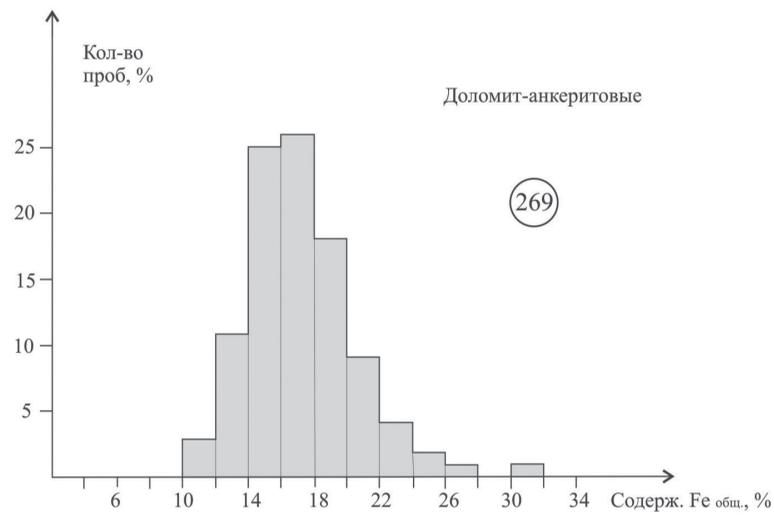
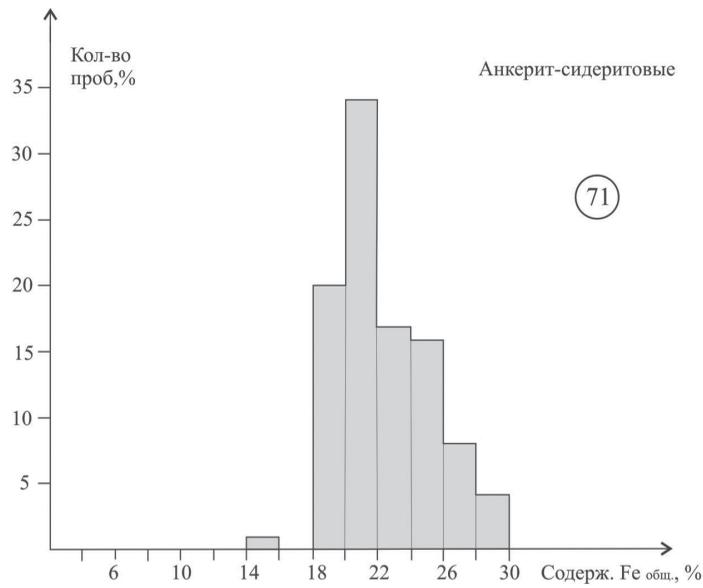
Концентраты	Выход %	Содержание, %			Удельный вес
		Барит	Сидерит	Доломит	
I	13,9	73,9	10,1	8,5	3,65
II	15,0	68,15	12,2	10,9	3,50
III	30,0	35,2	31,2	17,64	3,33

Таким образом, из подобных руд можно получать концентраты в диапазоне удельных весов от 4,2 до 3,3. По заключению треста «Арктикморнефтегазразведка» баритовые и комбинированные утяжелители Салланлатвы по качеству не уступают импортным.

14.12. Редкоземельные доломитовые жилы участка Петяйян-вара (массив Вуориярви)

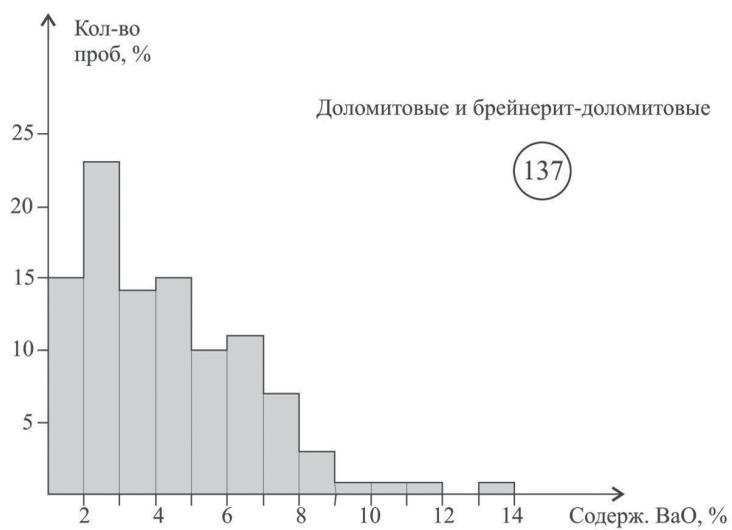
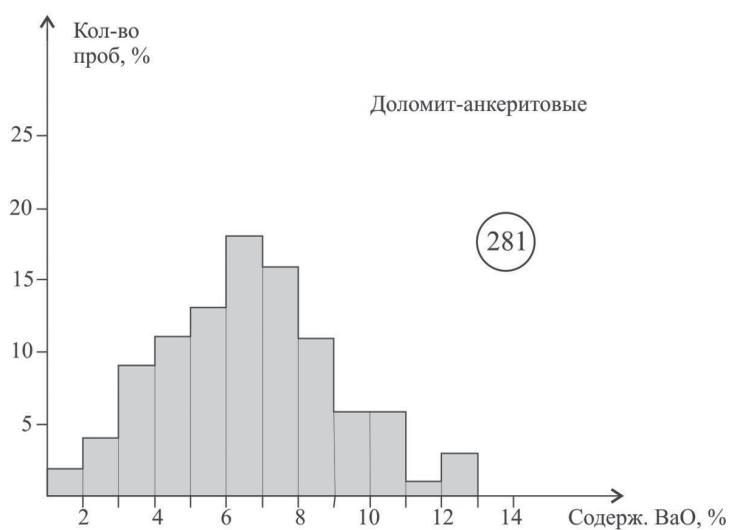
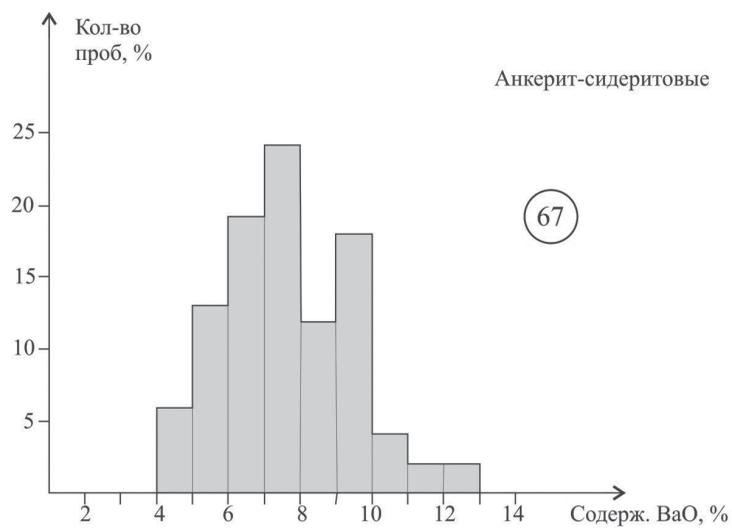
В период поисковых работ на флогопит в 1962–64 годах на участке Петяйян-вара выявлена серия доломитовых жил протяжённостью до 320 м при мощности от долей метра до 20 м (рис. 15)¹. Часть жил опробована на редкие земли. Всего отобрано 222 пробы, в том числе по канавам – 68 проб. Длина проб варьировала от 0,2 до 13 м в зависимости от мощности жил. В 103 пробах содержание редких земель составляет выше 1% (от 1 до 10%). Представлены редкие земли церием и лантаном (в сумме 80–84 относительных %), празеодимом и неодимом (в сумме 15–18%). Сумма всех четырёх перечисленных элементов весьма стабильна: 98±1%. Обращают внимание весьма значительные количества ZrO₂ в пробах с высоким содержанием TR₂O₃ с соотношением, близким 1:1, местами оно меняется до 1:3 в пользу редких земель. Так, в пробе № 107 из скв. 7 мощностью 0,3 м содержание

¹ На рисунке показаны только жилы, выявленные в пределах флогопитового месторождения. Остальные расположены за восточной рамкой карты в пироксеновых породах и ийолитах краевых зон массива.



Цифры в кружках - количество проб.

Рис. 48. Гистограммы распределения содержаний Fe_{общ.} в поздних карбонатах Салланлатвы.



Цифры в кружках - количество проб.

Рис. 49. Гистограммы распределения бария в поздних карбонатах Салланлатвы.

Таблица 29. Запасы баритовых руд Салланлавиинского месторождения до глубины 500 м (С₂+Р₁)

№№ (индексы) блоков	Средние содержания компонентов, %											Запасы (млн. т)	
	Nb ₂ O ₅	BaO	Fe _{общ.}	P ₂ O ₅	TR ₂ O ₃	CaO	MgO	CO ₂	BaSO ₄ (BaO×1,6)	Руда	Барит		
Барит-сидеритовые руды													
А	0,074	9,02	22,34	0,78	0,59	12,72	7,8	25,56	14,4	35,1	5,1		
Б	0,093	9,02	25,37	0,67	0,32	8,67	7,09	25,43	14,4	34,6	5,0		
В	0,057	6,52	22,39	1,01	0,25	14,96	7,94	25,38	10,4	15,3	1,6		
Итого	0,078	8,57	23,58	0,78	0,42	11,47	7,54	25,48	13,8	85,0	11,7		
Барит-анкеритовые руды													
I	0,087	7,29	17,33	0,71	0,43	15,0	10,05	25,58	11,7	103,2	12,0		
II	0,067	5,59	18,27	1,12	0,41	17,08	9,78	24,82	8,9	56,3	5,0		
Итого	0,080	6,69	17,66	0,85	0,42	15,73	9,95	25,31	10,8	159,5	17,0		

редких земель – 6,03%, а ZrO_2 – 6,8%; в канаве № 5 в пробе длиной 3.2 м – 2,92 и 0,96%, соответственно; в канаве № 2, пройденной по самой восточной жиле на всю её мощность – 5,33 и 2,20%. Минеральный состав описан очень плохо, явно по чужим данным¹, о цирконе упоминается вскользь (см. раздел 7.4). Столь высокие содержания циркония в породах карбонатитового этапа более нигде не встречались.

15. ПОДЕЛОЧНЫЕ КАМНИ, КВАРЦ

Проявления поделочного камня известны на Салланлатве и Вуорияври (участок Неске-вара) и в обоих случаях связаны с дайками изменённых ийолитов и уртитов. На Салланлатве образцы пегматоидных уртитов были отобраны из скв. № 16. Основной фон полировок – кирпично-красный. Дайки подобных уртитов отмечались не только в скважинах, но и в канавах ранних поисковых работ. По заключению НПО «Северкварцсамоцветы» эти уртиты пригодны для изготовления подставок, пепельниц, ваз, письменных приборов и т. д. (Афанасьев и др., Отчёт о поисковых работах на массиве Салланлатва, 1981 г., текст. прил. 5).

На участке Неске-вара дайки гидронефелиновых уртитов и ийолитов отмечены только в скважинах, а с поверхности не изучались. Два типичных образца даек из скв. 289 также были направлены в НПО «Северкварцсамоцветы», где им дано подобное же заключение. Окраска даек пёстрая, основной фон полировок розовый и светло-зелёный (Афанасьев и др., Отчёт о поисковых работах на массиве Вуорияври, 1981 г., текст. прил. 4)

На участке Нама-вара в нескольких точках эндоконтактов карбонатитовых тел (рис. 50) обнаружены кристаллы кварца размером до 25–30 см. Участок Нама-вара является одним из 8 перспективных кварцево-жильных полей Кольского п-ова, выделенных НПО «Северкварцсамоцветы» (Ю.О. Липовский. Отчёт: «Перспективная оценка кварцево-жильных полей Мурманской области на сырьё для плавки кварцевого стекла», 1991 г., Фонды СЗ РГЦ). В точках, выявленных Западно-Кольской ГРП (Мурманская ГРЭ), НПО в 80-х годах в очень ограниченном объёме вело добычу кварца для плавки. Проявления кварца быстро иссякли, а работы по выявлению новых зон НПО «Северкварцсамоцветы» не проводило.

16. МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЭКЗОГЕННОГО ЭТАПА

О вермикулитовых корках выветривания участка Петяйян-вара и дресвянистых существенно карбонатных корках зоны сочленения участков Тухта-вара и Неске-вара (массив Вуорияври), о которых мало данных упомянуто в, разделах 13.6 и 14.7, соответственно.

16.1. Ковдорское вермикулитовое месторождение

Расположено в непосредственной близости от г. Ковдора и приурочено к коре выветривания флогопит-диопсид-оливиновых пород. Открыто в 1954 г. Под месторождением вермикулита разведано крупнейшее в мире флогопитовое месторождение. Вермикулитовые коры слагают полукольцевую зону длиной 6 км при ширине 0,2–1,2 км, охватывающую г. Ковдор с севера. Внешние границы вермикулитового месторождения примерно совпадают с контурами флогопит-диопсидовых пород, закрашенных на карте Ковдорского массива (рис. 2) зелёным цветом. Мощность коры выветривания 20–100 м, в среднем около 40 м. Содержание вермикулита колеблется от 5 до 30%. Богатые коры слагают полосу шириной до 100 м в осевой части зоны, протягивающуюся практически через всё месторождение. Кора выветривания имеет отчётливую горизонтальную зональность. Выделяются следующие зоны (сверху вниз): сунгулитовая, вермикулитовая, гидрофлогопитовая и зона дезинтеграции. С зональностью напрямую связаны и геолого-промышленные типы кор: сунгулит-вермикулитовый, вермикулитовый, гидрофлогопитовый. Мощность четвертичных отложений (морены), перекрывающих кору выветривания, колеблется от 1 до 30 м (обычно до 5 м). Общее представление о характере залегания вермикулитовых кор и зональности их даёт геологический разрез по проф. IV

¹ В.Н. Плиев (1965) многократно ссылается на работу А.С. Кириллова, но в списке литературы её нет. Что это за работа, установить не удалось, возможно, один из тематических отчётов Ленинградского университета. В 1968 г. А.С. Кирилловым написана диссертация «Карбонатиты Карело-Кольской щелочной провинции».

(рис. 23). Наиболее высококачественные коры (с низким объёмным весом обожжённого вермикулита) связаны с вермикулитовой зоной. В сунгулитизированных корах вермикулит, пропитанный сунгулитом, вспучивается хуже. Объёмный вес напрямую связан и со степенью гидратации слюд, соответственно, качество гидрослюд постепенно ухудшается от верхних к нижним горизонтам коры выветривания. Кроме того, объёмный вес зависит от фракционного состава вермикулитового концентрата. Так, средний объёмный вес обожжённого вермикулита по фракциям составляет: крупнее 10 мм – 101 кг/куб. м; от 10 до 3 мм – 113; от 3 до 1 мм – 135; от 1 до 0,5 мм – 167; а фракция менее 0,5 мм – 218 кг/куб. м. Для гидрофлогопита нижней зоны эти цифры таковы (соответственно): 112, 135, 157, 183, 218.

Обогащение кор ведётся гравитационным методом в водной среде. Запасы вермикулита (в данном случае имеются в виду гидрослюды всех зон коры выветривания) утверждены ГКЗ протоколом № 3581 в 1962 г. и составляли по категориям В+С₁ 22,9 млн. т (или 268 млн. т руды), а по категории С₂ – 21,9 млн. т (220 млн. т руды). Среднее содержание гидрослюд фракции +0,5 мм в рудах категорий В+С₁ составляет 8,54% при колебаниях в отдельных блоках от 5,2 до 17,8%.

В утверждённых запасах выделены 2 сорта вермикулита:

1-й сорт – крупность слюды не менее 1 мм, объёмная масса после обжига не более 200 кг/куб. м;

2-й сорт – крупность слюды не менее 0,5 мм с объёмной массой не более 400 кг/куб. м.

Выход 1-го сорта составляет в среднем по месторождению 63%. Кроме того, выделяется 3-й сорт крупностью менее 0,5 мм, не учитываемый балансом (это ещё 30,2 млн. т вермикулита).

С целью оконтуривания богатых кор с содержанием гидрослюд фракции +0,5 мм свыше 10% в 1964–1965 гг. проведена доразведка Северо-западного участка месторождения, а в 1969 г. – Северо-восточного. Запасы на обоих участках по результатам доразведки составляют (млн. т):

	СЗ – участок (блоки 1–11)		СВ – участок (блоки I–XIII)	
	руда	вермикулит	руда	вермикулит
ВСЕГО:	38,8	4,5	25,9	2,6
В том числе фракция +0,5 мм в целом;	38,8	3,5	25,9	2,4
Фракция +0,5 мм свыше 10%	14,5	1,87	11,6	1,5
	(блоки 1, 3, 4, 5)		(блоки I–IV, IX–XI)	

В ГКЗ запасы в обоих случаях не переутверждались.

Добыча руды ведётся с 1960 г. открытым способом. Всего до 1991 г. добыто из недр 19,2 млн. т руды, содержащей 2 млн. т вермикулита. Около 13 млн. т заскладированно (это, главным образом, кора выветривания над флогопитовым месторождением, т. е. СЗ-участок). В 1991–92 гг. на обогатительной фабрике перерабатывалась руда со складов, а также из Северо-западного карьера. В 1991 г. выпущено 40,4 тыс. т вермикулитового концентрата, а в 1992 г. – 21,8 тыс. т при мощности фабрики – 50 тыс. т. Извлечение вермикулита – 61,3%. В 1991 г. вермикулит отправлялся 38 потребителям, в том числе в Финляндию и Австралию.

Отработка Ковдорского вермикулит-флогопитового месторождения ведётся по единому проекту, составленному институтом Гипронинеметаллоруд в 1989 г. Производительность вермикулитовой обогатительной фабрики (ВОФ) после реконструкции составляет 102 тыс. т вермикулитового концентрата в год или 1,1 млн. т по сухой руде с содержанием вермикулита более 10%. Срок существования СЗ-карьера – 7 лет (считая с 1988 г.), ещё 4 года руда будет отгружаться со складов, после чего вводится в эксплуатацию СВ-карьер, где запасов хватит на 11 лет. По результатам переоценки месторождения будут определены новые участки для дальнейшей эксплуатации.

16.2. Ковдорское апатит-штаффелитовое месторождение

Располагается близ юго-западных границ Ковдорского массива на кальцитовых карбонатах (рис. 2).

Фосфатные коры выветривания, развившиеся по карбонатам, не являются сплошными и перемежаются с некондиционными участками вмещающих фенитов, нередко штаффелитизированных

в различной степени. Контуры отдельных тел штаффелитовых руд унаследуют границы карбонатитовых жил, по которым они сформировались в процессе интенсивного выщелачивания кальцита. Максимальная глубина распространения штаффелитовых кор достигает 130–160 м от поверхности, после чего они сменяются невыветрелыми карбонатитами (рис. 51).

На месторождении выделяются руды существенно апатит-штаффелитового состава (богатые) с содержанием фосфатов свыше 50% (т. е. выше 18% P_2O_5) и рядовые руды преимущественно апатит-штаффелит-гидрослюдитового состава в соотношении 1:2. В процессе оценки и разведки (1972–1977 гг.) на месторождении пробурено 7 тыс. пог. м картировочных скважин, около 40 тыс. пог. м разведочных скважин, пройдено 1008 пог. м шурфов, 49 тыс. куб. м канав, отобрано 10 тыс. борздовых и керновых проб.

Средний минеральный состав богатых руд (%): апатит – 29, штаффелит – 30, магнетит – 19, гидроокислы железа – 8, вермикулит и гидрофлогопит – 7,3, кальцит – 1,2. Минералы-примеси: форстерит, пироксен, амфибол, полевой шпат, сфен, бадделейт, цеолиты. Средний химический состав (%):

SiO_2 – 8,11	FeO – 1,18	K_2O – 0,13	H_2O – 0,54	
TiO_2 – 0,26	MnO – 0,44	Na_2O – 0,25	ZrO_2 – 0,08	
Al_2O_3 – 3,78	CaO – 38,44	P_2O_5 – 26,48	TR_2O_3 – 0,11	
Fe_2O_3 – 9,84	MgO – 3,31	CO_2 – 3,35	F – 1,40	Сумма 97,70

В штаффелит-гидрослюдитых рудах количество P_2O_5 падает до 10–17%, в штаффелитизированных фенитах – до 7%. По флотационно-магнитной схеме из разных типов руд получены фосфатные концентраты с содержанием P_2O_5 34–38% при извлечении 65,2–89,7%, а также магнетитовые концентраты с содержанием Fe 65–66%, но с повышенной примесью P_2O_5 (0,35–0,6%).

Запасы апатит-штаффелитовых руд по категориям В+С₁ составляют 49 млн. т со средним содержанием P_2O_5 16,5%, из которых 7,7 млн. т попадают в контур действующего железорудного карьера (протокол ГКЗ № 7996 от 28. 12 1977 г.). В процессе разработки железорудного месторождения на 01. 01. 1994 г. заскладировано 9,8 млн. т руды с содержанием P_2O_5 13,92%. Объёмный вес сухой руды – 2,4 т/куб. м; средняя влажность – 10,2%.

16.3. Апатит-вермикулитовые коры выветривания Центральной зоны Себляврского массива

Дресвянистые коры выветривания в пределах Центральной зоны обнаруживаются почти повсеместно сразу под мореной, но мощность их, как правило, невелика (от первых метров до 12 м, редко больше). По содержанию P_2O_5 это бедные руды, не претерпевшие заметных изменений в вещественном составе. В подсчёт запасов они не включались. Однако в западной части Центральной зоны между разведочными профилями №№ 24 и 28,5 выявлены мощные песчано-глинистые коры выветривания, заполняющие жёлоб в коренных породах глубиной до 200 м при длине около 750 м (см. главу 9). Внешние границы и изогипсы этих кор показаны на плане подсчёта запасов (рис. 20), а геологический разрез по проф. 25 приведён на рис. 19. Общая площадь их развития (на поверхности) – 142 тыс. кв. м. Во влажном состоянии это пластичные жёлто-бурые и жёлто-зелёные породы. Выход глинистой фракции с размером частиц менее 0,01 мм составляет 26%, а менее 0,02 мм – около 50%. Песковая фракция представлена вермикулитом (42%), апатитом и франколитом (26%), магнетитом (12%), амфиболом (10%). Средние содержания в корках выветривания (%): $Fe_{общ.}$ – 24,3; P_2O_5 – 9,5; CO_2 – 1,2; S – нет (т. е. карбонаты и сульфиды разложены). Есть и примеси редких металлов (%): Ta_2O_5 – 0,009; Nb_2O_5 – 0,2; ZrO_2 – 0,23, но тантало-ниобаты разрушены до землистых масс. Запасы кор выветривания в геологических границах по категориям С₁+С₂ – 29,3 млн. т.

Лабораторные исследования обогатимости кор проведены в Горном институте КФАН (Зиновьев и др., 1983 г.) на пробе весом 614 кг, отобранной из скв. 335 и 365. При лабораторных исследованиях из песковой фракции получены концентраты: вермикулитовый (содержание гидрослюды 87%, объёмный вес после обжига 148 кг/куб. м), фосфатный (35,5% P_2O_5 , выход от исходной пробы 14,4%, извлечение 63,2%) и магнетитовый (64,4% Fe).

Химический состав глинистой фракции (т. е. шлама),%:

SiO ₂ – 22,10	MnO – 0,56	SO ₃ – 0,22	ZrO ₂ – 0,261
TiO ₂ – 3,25	CaO – 13,93	P ₂ O ₅ – 8,37	SrO – 0,311
Al ₂ O ₃ – 8,85	MgO – 8,10	BaO – 0,50	п.п.п. – 7,86
Fe ₂ O ₃ – 20,80	K ₂ O – 0,85	TR ₂ O ₃ – 0,17	сумма – 100,18
FeO – 2,88	Na ₂ O – 0,93	Nb ₂ O ₅ – 0,237	H ₂ O – 1,77

Анализы выполнены в ХТЛ Мурманской ГРЭ (1983 г.). Содержание скандия по данным количественного спектрального анализа той же лаборатории составляет 0,0047%, а по данным лаборатории Кольского филиала АН – 0,007%.

16.4. «Железная шляпа» Салланлатвы (барит-лимонитовые руды)

Карбонатитовое ядро Салланлатвинского массива почти целиком покрыто продуктами выветривания карбонатитов. На кальцитовых карбонатитах коры представлены дресвой с вермикулитом, магнетитом и редкометальными минералами, на анкеритовых и сидеритовых – барит-лимонитовыми охрами («железной шляпой»). Коры выветривания, в свою очередь, закрыты сплошным чехлом четвертичных отложений (морена, пески) мощностью 2–7 м.

Железоокисные охры разбурены наклонными скважинами попутно при оценке коренных карбонатитов. Внешние контуры распространения охр показаны на карте карбонатитового ядра (рис. 44). Общая площадь «железной шляпы» составляет 264 тыс. кв. м. Внутри этой площади пройдено 20 скважин. Все они (кроме скв. 24 на проф. 20) вскрыли охры, мощность которых колеблется от первых метров до 35 м (при средней – 14,2 м). В скв. 24 кор вообще не оказалось. Наиболее мощные и богатые баритом охры (до 20% и более) отмечены в скв. №№ 18 и 18^а на проф. 20 и в скв. №№ 52–55 на проф. 8. Естественно, что и коренные карбонатиты под корами выветривания также отличаются повышенными содержаниями барита.

Минеральный состав «железной шляпы»: лимонит и гётит (41%), барит (23,8%), гематит, магнетит (4,6%), псиломелан, пиролюзит, гидрослюда, хлорит, карбонаты. Цифры в скобках взяты из отчёта Механобра (1983 г.) по данным минералогического анализа технологической пробы С–5 весом 0,6 т.

Полный химический состав охр приведён в табл. 30. Анализы отражают состав кор как раз в наиболее мощной и богатой баритом части выветрелого чехла. Обращают внимание относительно высокие содержания марганца в охрах (2,7–3,6% MnO). Гипергенные образования с такими содержаниями на щёлочно-ультраосновных массивах более нигде не встречались. В ощутимых количествах в охрах отмечается и ниобий:

- в половине скважин – от 0,02 до 0,08% Nb₂O₅;
- в трёх скважинах (№№ 44, 50, 54) – 0,16–0,18%;
- в шести (№№ 18^а, 33, 35, 36, 42, 53) – 0,22–0,28%.

Как отмечалось в главе 9, редкометальные минералы в них не обнаружены и, скорее всего, разложены до землистых масс.

Запасы барит-лимонитовых охр подсчитаны по категории С₂ в геологических границах, т. е. в пределах внешнего контура, показанного на рис. 44 и проведённого по данным бурения 1978–1988 гг. Расчётный объёмный вес принят равным 3,4 (прямые определения объёмного веса Механобра на пробе С–5 дали цифру 3,73, но в этой пробе содержание барита заметно выше среднего). Запасы барит-лимонитовых охр составляют 3,8 млн. куб. м или 12,9 млн. т при средних содержаниях (%): ВаО – 8,01 (барита – 13,0); Fe_{общ.} – 23,0; Nb₂O₅ – 0,143. В охрах сосредоточено 1,7 млн. т барита.

Карбонатиты Салланлатвы расположены на пологой возвышенности с относительным превышением 30–50 м. Водотоки и водоёмы на участке отсутствуют. Подземные воды отмечаются на глубинах 20–30 м, т. е. коры выветривания «сухие». Разработка их открытым способом вплоть до скальных карбонатитов трудностей не представит.

В 1983 г. Механобром в лабораторных условиях по магнитно-флотационной схеме, разработанной для неветрелых барит-сидеритовых руд, но с предварительной отмывкой шламов (коли-

чество их – 40% от исходной руды), получен концентрат сорта КБ–3 с содержанием барита 91,13% при извлечении от песковой фракции 89,8% и удельным весом 4,29. Выход концентрата от песковой фракции – 20%, от руды – 12%. Химический состав концентрата приведён в таблице 31. Остаток на сетке 009К (по ГОСТ 3584–73) составляет 0,4% (при норме для сорта КБ–3 не более 4%); содержание фракции 5 мкм – 6,6% (при норме не более 10%). Водорастворимых солей магния, кальция, стронция не обнаружено. В зависимости от назначения баритовый концентрат всех сортов делится на классы А (химическая, лакокрасочная, строительная и асботехнические отрасли) и Б (утяжелители буровых растворов для нефте- и газодобывающих скважин). Классу Б сорт КБ–3 удовлетворяет полностью, а для класса А не подходит лишь по содержанию железа, которого в данном концентрате вдвое больше нормы. Эта примесь обусловлена, главным образом, сидеритом, что для конкретных областей применения может оказаться и вполне допустимым.

Таблица 30. Химический состав железистоокисных охр («железной шляпы») массива Салланлатва (вес. %)

Компоненты	Скважина 18, инт. 4,0–37,8 м	Скважина 18 ^а , инт. 5,0–39,6 м
SiO ₂	3,60	4,34
TiO ₂	0,75	1,28
Al ₂ O ₃	1,65	2,56
Fe ₂ O ₃	36,35	54,55
FeO	0,36	0,54
MnO	3,55	2,68
CaO	7,58	2,57
MgO	3,43	0,58
K ₂ O	0,06	0,22
Na ₂ O	0,18	0,18
SO ₃	8,15	6,20
P ₂ O ₅	0,48	0,87
BaO	17,06	13,01
Ta ₂ O ₅	0,002	0,003
Nb ₂ O ₅	0,068	0,154
TR ₂ O ₃	1,49	0,72
SrO	0,626	0,067
п.п.п.	16,34	10,54
Сумма	101,73	101,06
H ₂ O	1,62	1,41
CO ₂	9,35	1,54
F	0,08	0,20

Примечание:

1. Анализы выполнены в ХТЛ Мурманской ГРЭ, 1980 г.
2. Пробы составлены из лабораторных остатков нескольких групповых проб.

В той же таблице 31 приведены химические анализы исходных барит-лимонитовых руд, песковой фракции, шламов отмывки (т. е. пигмента) и хвостов флотации. При расчёте баланса по разным элементам без труда улавливаются погрешности химлабораторий. Так, не сбиваются результаты по кальцию и магнию (в исходной пробе этих элементов несколько больше, нежели в песковой фракции и шламах). Кроме того, Механобром завышены содержания редких земель и ниобия. Необходимо отметить, что навеска песковой фракции для флотации содержала (по данным того же Механобра) 20,5% барита, а не 23,9%, как в навеске для химанализа, отсюда и некоторая несбивка баланса барита. В целом же таблица наглядно показывает распределение барита и железа в продуктах обогащения.

Все барит-лимонитовые охры в различной степени радиоактивны, что связано с примесями тория в количестве 0,011–0,031% (активность 17–48 пКи/г). В единичных участках количество тория увеличивается до 0,047%, а в скв. 50 вскрыты охры с содержанием 0,078% (120 пКи/г). Торий унаследован при выветривании коренных карбонатитов.

Шламы отмывки барит-лимонитовых охр ещё в 50-х годах изучались как сырьё для производства красящего пигмента. Краски были вскрыты 14 шурфами, из которых отобрано 23 пробы на пигменты. Содержание пигмента в пробах колеблется в пределах 28–40%, составляя в среднем 36,4%. Красящее вещество относится по цвету к «Марсу коричневому» и «Архангельской коричневой». Укрывистость красок средняя (35–52 г/кв. м), маслоёмкость небольшая. К отчёту Б.И. Сербы (1958 г.) приложены выкраски на водных связующих, иллюстрирующие всю гамму цветов природных пигментов Салланлатвы. Содержание $Fe_2O_{3\text{общ}}$ в пробах пигмента составляет 31–60%. Полных химанализов нет. Отсутствуют и сведения о содержании радионуклидов в красках. По заключению Завода художественных красок (г. Ленинград): «...красящее вещество испытанных проб представляет интерес для производства художественных и малярных коричневых красок вследствие средней укрывистости, небольшой маслоёмкости, тонкой дисперсности пигмента».

Таблица 31. Химический состав барит-лимонитовых руд и продуктов обогащения (вес. %)

Компоненты	Исходная проба С-5 (0,6 т)	Песковая фракция пробы С-5 (60%)	Шламы отмывки пробы С-5 (40%)	Баритовый концентрат	Хвосты флотации
1	2	3	4	5	6
SiO ₂		5,52	8,84	0,56	6,32
TiO ₂		0,85			
Al ₂ O ₃		1,48			
CaO	5,62	4,68	4,33	0,47	6,37
MgO	3,65	2,16	3,04	0,27	2,94
FeO		2,28	нет	0,38	3,68
MnO		2,18			
SrO	0,405	0,87	0,32		
BaO	12,69				
Na ₂ O		0,14			
K ₂ O		0,16			
P ₂ O ₅	0,67	0,54			
Nb ₂ O ₅	0,130	0,13	0,22		
TR ₂ O ₃	0,92	0,95	1,20	0,09	0,83
п. п. п.		12,26			
CO ₂	5,86	6,51		1,20	7,85
Fe _{общ.}	30,73	30,40	30,62	2,90	40,14
S _{общ.}	2,72	3,63			
BaSO ₄	18,01 ¹	23,94	14,98	91,13	2,63

Анализ 2 – данные Мурманской ГРЭ; 3–6 – данные Механобра

¹ BaSO₄ – 18,01 (Исходная проба С-5 (0,6 т))

Шламы отмывки были направлены Механобром в ПО «Пигмент» в 1983 г., но никакого официального заключения по поводу пригодности шламов для изготовления минеральных красок объединение не дало, а точнее, не проявило интереса к детальным исследованиям сырья, поскольку оно не являлось дефицитом. Действительно, на территории России известна серия месторождений охр. Отличием пигментов Салланлатвы от аналогичного сырья известных месторождений является присутствие в них значительной примеси барита.

¹ Расчёт по BaO.

В 1993 г. несколько проб охр для получения пигмента были отобраны МПП «Зареки» совместно с Кандалакшским авторемонтным заводом. Положительные параметры пигментов подтверждены, однако по содержанию радионуклидов краски не уложились в 1-й класс строительных материалов (т. е. строительство жилых и общественных зданий без ограничений). Необходима доработка данного вопроса по нескольким направлениям (в частности, выбор участков кор выветривания с наименьшей гамма-активностью; доводка пигментов химическими или механическими методами; поиск иных путей промышленного использования и др.).

16.5. Дресвянистые коры выветривания Салланлатвы с вермикулитом, луешитом

Раздел написан, в основном, по данным горных работ 1957–1960 гг. (Серба, 1958, 1962) с учётом материалов поздних лет, полученных при оценке карбонатитов с помощью бурения.

Вермикулит

Отчёт 1958 г. Вермикулитовые коры выветривания приурочены к зоне контакта карбонатитов с ийолитами и вскрыты канавам и шурфами лишь в западном обрамлении карбонатитового ядра. Площадь вермикулитовых кор составила 74,8 тыс. кв. м, нижняя граница – 20 м от поверхности, запасы горной массы – 3,3 млн. т, а вермикулита – 381 тыс. т фракции +0,5 мм со средним содержанием 11,4%. Итоги расчётов некорректны по следующим причинам:

Подсчёт базируется на данных всего 28 канав и шурфов. По неуказанным причинам почти половина горных выработок не опробована, нет сплошных пересечений слюдоносных зон. В частности, в приконтактной зоне не опробованы канавы №№ 4, 79, 189, 204, 213–215, 217, 220, 235 (рис. 52).

Средние содержания, вычисленные всего по 34 пробам, завышены, т. к. по двум шурфам с богатым вермикулитом содержания не усреднены, а по одной из канав без поправочного коэффициента использована ураганная проба (46,5% вермикулита).

В пробах определялась фракция +0,5 мм, а надо было +1,0 мм, т. к. фракция 0,5–1,0 мм относится уже ко второму сорту. Доля этой фракции составляет на Салланлатве около 40%.

Технологических исследований не было, объёмный вес обожжённого вермикулита по разным фракциям (10–5; 5–3; 3–1; 1–0,5 мм) составлял 94 – 296 кг/куб. м. Данных по концентрату в целом нет. Примерный (расчётный) вес обожжённого концентрата будет около 170 кг/куб. м.

Отчёт 1962 года. К этому времени (точнее, в 1960 г.) пройдено три магистральных канавы, которые пересекали всю вермикулитовую зону с надёжным выходом в ийолиты на западе и «пустые» карбонатиты на востоке (рис. 52). Опробование канав сплошное. Длина проб – 10 м. Правда, канавы 1959 г. так и остались недоопробованными. Оконтуривание вермикулитовых зон проведено по ковдорским кондициям: бортовое содержание вермикулита – 1%, минимальное промышленное – 2,2%. Эти кондиции, являвшиеся для вермикулитовых месторождений первыми в стране, оказались нежизнеспособными. Буквально через 2 года после утверждения запасов Ковдорского месторождения в ГКЗ началась его доразведка с выделением участков со средним содержанием гидрослюд не менее 10%. На Салланлатве же пересчёт запасов по ковдорским кондициям привёл к абсурду: средние содержания вермикулита фракции более 1 мм составили по корам на изменённых ийолитах 3,8%, а на карбонатитах – 3,7%, т. е. в целом резко упали. Подсчёт запасов столь бедного сырья потерял смысл, при этом общая площадь гидрослюдистых зон возросла вдвое по сравнению с предыдущим отчётом. Эти цифры довольно долго убеждали в том, что вермикулит на Салланлатве промышленного интереса не представляет.

Анализ всех имеющихся материалов позволяет сделать следующие выводы:

1. Богатая вермикулитовая минерализация приурочена к узкой зоне эндо- и экзоконтакта кальцитовых карбонатитов с ийолитами. Мощность зоны по полным (но пока единичным) пересечениям не превышает 12 м. По простиранию зона весьма устойчива и прослежена на протяжении свыше 1 км.
2. Содержание гидрослюд всех фракций по зоне колеблется в пределах 10–37% и лишь в канаве КМ–1 оно упало до 6,7% (на прилагаемом рисунке этот интервал не показан).
3. Распределение слюды чрезвычайно контрастное и в смежных пробах, примыкающих к богатым, содержание слюды резко падает до непромышленных (от долей % до первых %).

4. Во вмещающих ийолитах выявлены маломощные протяжённые слюдяно-карбонатные жилы, сопровождающиеся оторочками слюдитов и ослюденелых ийолитов с содержанием вермикулита 14–46% (канавы №№ 49, 100, 212, 216).

5. В 1957–60 гг. опробована примерно половина перспективной на вермикулит площади (западная её часть), доступная для изучения с помощью канав и шурфов. Наверняка обогащённые вермикулитом зоны должны быть и в восточном контакте карбонатитового ядра с ийолитами вплоть до профиля 8 (рис. 44)¹. Мощность четвертичных отложений в неизученной части заметно выше, но и мощность дресвянистых кор также больше (см. табл. 32).

Пробуренные в 1960 г. скважины богатых зон не вскрыли (да и задачи такой не стояло). Дресва скважин №№ 4, 7–9, 11 опробована на вермикулит, но содержания его везде низкие и лишь в единичных пробах достигают 2–4%. Скважины поздних лет на вермикулит не опробовались.

Для оценки запасов и качества вермикулита пока слишком мало данных. Необходимы дополнительные работы по выявлению богатых зон и их оконтуриванию. Однако и сейчас ясно, что запасы будут несравненно меньше, чем на Ковдоре, и вермикулит Салланлатвы скорее всего будет представлять интерес лишь как попутный компонент при разработке других месторождений карбонатитового ядра.

Таблица 32. Мощность дресвянистых кор выветривания краевых зон карбонатитового ядра Салланлатвы

№№ скв.	Мощность четвертичных отложений, (м)	Интервалы дресвянистых кор, (м)			Примечание
		от	до	Истинная мощность, м	
4	1,3	1,3	13,2	11,9	
5	2,3	2,3	30,3	28,0	
6	1,3	1,3	2,6	1,3	
11	18,2	18,2	29,4	11,2*	
12	15,2	15,2	48,3	33,1*	Остановлена в дресве
16	2,0	2,0	30,0	26,0	Пр. 20, рис. 44
36	1,2	1,2	20,0	18,0	В основном охры
39	2,0	2,0	20,4	17,0	Пр. 4, рис. 45
40	6,7	6,7	30,6	21,0	–"– –"–
43	3,0	3,0	20,6	16,0	Пр. 21.5, рис. 44
45	4,6	4,6	26,4	19,0	Пр. 23, –"–
46	2,0	2,0	16,6	12,0	Пр. 6, рис. 46
56	11,5	11,5	32,4	19,0	Пр. 8, рис. 44
57	19,8	19,8	71,0	45,0	–"– –"–

* Мощность дана по стволу скважины. Восточная часть эндоконтакта между проф. 6 и 8 (рис. 44).

Ниобий

При документации канав 1957–60 гг. луешит был диагностирован как перовскит. Химических анализов минерала, естественно, не было, а весь ниобий связывался с пироклором. В протолочках из горных выработок этот минерал «... составлял местами до 50% тяжёлой неэлектромагнитной фракции...». Участки его локализации определены правильно: эндоконтактовые части карбонатитового штока, причём там же, где отмечались повышенные количества пироклора (т. е. в редкометальных рудах). Наличие ощутимых количеств луешита в протолочках говорит о хорошей сохранности его в дресвянистых корах. Усреднённые результаты опробования на ниобий (но только при содержаниях от 0,1% Nb₂O₅ и выше) вынесены на рис. 52. Восточные концы некоторых канав (в том числе магистральных) «зависли» в морене. В поздних карбонатитах также могут отмечаться повышенные содержания ниобия (к примеру, в канавах №№ 20, 75, 112, 202). В канаве № 243 проведено пунктирное опробование на всю длину, причём западная часть её прошла по сидеритовым карбонатитам. В половине вынесенных на план интервалов средние содержания ниобия заметно выше, нежели в невыверелых рудах (0,3–0,66%), что, несомненно, связано с обогащением кор тяжёлыми минералами при выщелачивании кальцита.

Имеющийся материал свидетельствует о необходимости изучения дресвянистых кор Салланлатвы на всю мощность как самостоятельного редкометального объекта (в комплексе с поис-

¹ На профилях 10 и 12, т. е. на южном фланге ядра коры выветривания смыты.

ками и оконтуриванием богатых вермикулитовых зон). Восточная часть карбонатитового ядра, недоступная для лёгких горных работ, не менее перспективна с точки зрения поисков луешита в дресве, т. к. коры здесь мощнее (см. табл. 32), а наличие ниобиевого оруденения в коренных кальцитовых карбонатитах доказано бурением на профилях 4, 6, 8 и 23. На профиле 10 и южнее уже нет ни кор выветривания, ни редкометальных карбонатитов, а мощность четвертичных отложений возрастает до 40–70 м.

При поисково-оценочных работах на ниобий 1984–88 гг. наклонные скважины задавались во внутренних частях карбонатитового ядра и бурились наружу, т. е. по направлению к контактам с ийолитами. Поэтому многие из них вскрыли в верхних частях либо лимонитовые охры, либо дресву бедных ниобиевых карбонатитов. Удачных пересечений дресвянистого чехла над редкометальными карбонатитами всего несколько: это скв. №№ 39, 40, 43, 45, 46. Во всех есть пробы с содержанием Nb_2O_5 в дресве выше 0,1%. В последних трёх скважинах все пробы дресвы содержат Nb_2O_5 в количестве выше 0,1%, а средние содержания равны, соответственно, 0,12; 0,27; 0,14%. В скважинах №№ 40 и 56 (последняя вскрыла дресву над безрудными карбонатитами) в верхних горизонтах содержание Nb_2O_5 составляет 0,07–0,08%, а книзу постепенно увеличивается до 0,16–0,30%. Средние содержания на всю мощность выветрелого чехла также выше 0,1% (0,13 и 0,12%).

Оценка дресвянистых кор на ниобий и вермикулит должна проводиться канавами, шурфами и мелкими вертикальными скважинами возможно большего диаметра по профилям через 100 м. На этой же стадии работ необходимо провести лабораторные технологические исследования обогатимости.

Часть IV. ВЫВОДЫ ИЗ ТЭО И ТЭС, НАПРАВЛЕНИЕ ДАЛЬНЕЙШИХ РАБОТ

Проявления различных полезных ископаемых на массивах Турьего п-ва, Озёрной вараке и Песочном промышленного интереса не представляют, поэтому возобновление геологоразведочных работ на этих объектах нецелесообразно. Поисковые работы на Салмагорском массиве завершены в 1996 г. Не исключено, что для оценки проявлений апатита и меди в центральной части массива придётся возвращаться.

На базе месторождений Ковдорского массива создан крупный горно-рудный узел и геологоразведочные работы, которые здесь ведутся уже несколько десятилетий, направлены на расширение сырьевой базы действующих комбинатов.

В данной главе коротко рассмотрены вопросы доизучения остальных массивов, месторождения которых могут представить интерес в обозримом будущем, а именно: Лесной варакы, Африканды, Себлявра, Вуориярви и Салланлатвы.

17. ЛЕСНАЯ ВАРАКА

На сегодня это один из наименее изученных массивов. Представленная геолкарта (рис. 9) схематична даже для масштаба 1:25 000. При сопоставлении ее с картой ΔZ того же масштаба сразу бросается в глаза несоответствие внутреннего строения массива с данными магнитной съёмки. На карте ΔZ отчётливо видна кольцевая магнитная аномалия. Мощный раздув её на юге и ряд мелких интенсивных аномалий на севере явно связаны с рудными оливинитами, а вот чем сложена восточная часть кольца, неясно. Не исключено, что при доизучении площадь безрудных оливинитов на востоке заметно сократится, но выявятся новые участки их в центральной и западной частях. О степени изменённости (сунгулитизации) безрудных оливинитов в других частях массива нет никаких данных. Общие поиски должны быть направлены на выявление слабо изменённых и неизменённых безрудных оливинитов, т. е. более высококачественного сырья для магнезиальных огнеупоров, которые, помимо того, могут представлять интерес и как облицовочный камень тёмных расцветок. Рудные оливиниты изучены только с поверхности. Бурения не было. Вопрос о наличии платиноидов в гипербазитах Лесной варакы так и остался нерешённым. При оценке рудных оливинитов уже на ранних стадиях необходимо предусмотреть проведение металлургических лабораторных исследований титаномагнетитовых концентратов с целью получения из них ферроникеля и ферротитана. Ничтожные содержания в рудах серы и фосфора благоприятствуют использованию подобных концентратов в электрометаллургии.

18. АФРИКАНДА

В 1991 г. институтами Механобр и ЦНИИЧерМет составлен технико-экономический расчёт строительства на месте цеха по получению ферротитана из коллективного перовскит-титаномагнетитового концентрата производительностью 20 тыс. т в год (или 100 тыс. т по руде). В ценах 1991 г. окупаемость капвложений составляла не более 3 лет. При плавке примеси тория в перовските переходят в нерастворимый шлак и складываются на месте с соблюдением норм радиационной безопасности (НРБ). Этому предшествовали многочисленные совещания с участием разных институтов и предприятий, в том числе и Ключевского завода ферросплавов, хорошо знакомого с перовскитовыми концентратами. На всех уровнях данное направление признано перспективным.

А окончательное решение, также положительное, было принято в декабре 1990 г. Министерством чёрной металлургии СССР с рекомендациями кому, что и в какие сроки делать. С началом перестройки все эти планы рухнули.

Тщательное изучение радиоактивности отдельных генераций перовскита (да и выделение самих генераций) на месторождении не проводилось. Следовательно, управлять содержанием тория в концентрате в процессе разработки месторождения было невозможно, хотя повышенная радиоактивность перовскитов Африканды являлась одной из причин, тормозящих его широкое применение в промышленности (особенно в такой перспективной отрасли как изготовление сварочных электродов). Второй отрицательный момент – высокое содержание в концентратах кремнекислоты (т. е. силикатов), сильно осложняющее применение их в производстве ферросплавов. Это явный недостаток схемы обогащения, но Горный институт КФАН даёт собственной схеме высокую оценку. Наконец, третий минус – тонкодисперсность концентрата (70% класса менее 0,074 мм), что приводит в процессе производства ферросплавов к большому количеству пыльных выбросов (да ещё с повышенной радиоактивностью). Не исключено, что в будущем перовскитовые концентраты придётся гранулировать до размеров «горох-боб». Все перечисленные отрицательные моменты вполне разрешимы, однако этими проблемами никто не занимался, что и привело в конечном счёте к закрытию обогатительной фабрики, на восстановление которой теперь уже потребуются значительные капитальные вложения.

Очередной этап следует начать с изучения вещественного состава перовскитовых руд, точнее, всех генераций перовскита с точки зрения примесей тория, ниобия, редких земель. Если выявятся участки с минимальной (и удовлетворяющей требованиям промышленности) радиоактивностью, тогда, возможно, потребуются дополнительные геологоразведочные работы для их оконтуривания, совершенствование схем обогащения и пересчёт запасов.

19. СЕБЛЬЯВР

ТЭО временных кондиций было составлено впервые Гипорудой в 1984 г. При вариантах бортовых содержаний P_2O_5 2; 3 и 4% производительность карьера на Центральной зоне составляла по руде 57; 35 и 18 млн. т, а по горной массе – 142; 135 и 120 млн. т в год, соответственно. В 1990 г. ТЭО было откорректировано (Гипроруда, Механобр, Гиредмет, Гипроникель) по новым данным лабораторных исследований обогатимости Института минеральных ресурсов и ВИМС'а, проведённых в 1989 г. Кроме предыдущих вариантов с той же годовой производительностью, по предложению Мурманской ГРЭ рассмотрен вариант «малого карьера», предусматривающий отработку лишь западной части Центральной зоны на базе примерно половины её запасов (точнее, 55–60%) с целью максимального удаления открытых работ от русла р. Туломы. При этом оставшиеся запасы сохраняются в целике по экологическим соображениям. При бортовых содержаниях P_2O_5 3 и 2% производительность «малого карьера» по руде составляет 19,5 и 30,0 млн. т, соответственно, а по горной массе она одинакова для обоих вариантов (58 млн. т). Добыча руды валовая. Для выделения редкометалльных разновидностей предусматривается посамосвальная радиометрическая сепарация. Коры выветривания (при любом содержании тантала и ниобия) направляется на обогащение вместе с обычными апатит-силикатными и апатит-магнетитовыми рудами, а скальные редкометалльные руды обогащаются на спецфабрике. Годовой объём редкометалльных руд при бортовом содержании P_2O_5 3% составляет 1,5 млн. т, а при борте 2% – 2,5 млн. т.

Лабораторные исследования по получению товарных циркониевых продуктов до конца не доведены, поэтому при расчёте рентабельности эти продукты не учтены. Выход первых шести продуктов дан только из апатит-силикатных и апатит-магнетитовых руд. Из редкометалльных руд также попутно получают апатитовый, магнетитовый и сульфидный концентраты, но доля их в общем балансе стоимости невелика. При переработке только редкометалльных руд 56% стоимости суммарной продукции приходится на тантал, 27% – на ниобий, а оставшиеся 17% – на апатитовый, магнетитовый, сульфидный, медный и урановый концентраты. Под сульфидным концентратом имеется в виду пирит-пирротинный продукт с содержанием $Fe_{общ.}$ 61,3% и серы 30%; под медным концентратом – пирит-пирротин-халькопиритовый продукт с содержанием меди 10%; $Fe_{общ.}$ 38,1% и серы 42%.

Таблица 33. Объёмы продукции при разработке Центральной зоны «малым карьером»

№№ п.п.	Концентраты и продукты	Бортовое содержание P_2O_5		Выход, %	
		3%	2%	При борте 3%	При борте 2%
1	Апатитовый, млн. т	1,64	2,03	9,1	7,35
2	Магнетитовый, —"—	2,04	2,85	11,3	10,3
3	Карбонатный, —"—	4,0	6,8	22,0	24,5
4	Флогопитовый, —"—	3,0	4,7	16,5	17,0
5	Сульфидный, тыс. т	144,2	221,4	0,8	0,8
6	Медный, —"—	16,2	24,9	0,09	0,09
7	Тантал, т	60,3	100,3	Выход редкометалльных концентратов – 0,85% от апатит-редкометалльных руд.	
8	Оксид ниобия, т	920	1406		
9	Уран, т	71,3	105,8		

*) Выход редкометалльных концентратов – 0,85% от апатит-редкометалльных руд.

Изучение проблем спроса на перечисленные выше продукты показало, что на момент корректировки ТЭО лишь апатитовые и медные концентраты можно реализовать полностью (табл. 33). По заключению Ленгипромеза высокое содержание оксида титана в магнетитовом концентрате «...делает невозможным использование его в качестве сырья для аглодоменного передела на Череповецком меткомбинате в сколь-нибудь значительном объёме». Потребности в карбонатном и флогопитовом продуктах Гипроруде установить не удалось. Сульфидный концентрат по заключению Гипроникеля пригоден для получения серной кислоты, но для полной его реализации необходимо расширение мощностей комбината «Североникель», что приводит к нерентабельности производства. Спрос на тантал и ниобий по данным Гиредмета отсутствует. При таком раскладе Гипроруда провела расчёт рентабельности по двум вариантам:

- 1) исходя из потребностей народного хозяйства, т. е. только при производстве апатитового и медного концентратов;
- 2) при производстве годных для использования концентратов, т. е. апатитового, медного, карбонатного и редкометалльного, но без магнетитового, флогопитового и сульфидного.

Рентабельность производства в первом варианте составила 0,2 и 0,9% при бортовых содержаниях P_2O_5 3 и 2%, соответственно; во втором варианте – 4,8 и 7,3%.

В итоге Гипроруда рекомендует открытую разработку Центральной зоны «малым карьером» при бортовом содержании P_2O_5 2%.

Недостатки ТЭО:

1. Излишне говорить, что расчёт по апатитовому и медному концентрату не стоило и проводить, поскольку реализуется лишь малая часть полезных компонентов, а самые ценные компоненты выбрасываются в хвосты. Отсюда и нулевая рентабельность производства.

2. Приведённые в ТЭО письма различных ведомств свидетельствуют о том, что часть магнетитового и флогопитового продуктов всё же можно было использовать и по состоянию на 1990 г., не говоря уже о будущем. Особенно интересным является направление использования молотой флогопитовой чешуйки при производстве комплексных удобрений.

3. Позицию Гиредмета стоит привести дословно:

«Результурующие экономические показатели свидетельствуют о достаточно высокой эффективности производства танталового и ниобиевого продуктов, а также уранового концентрата на стадии обогащения и химико-металлургического передела» (т. III, кн. 1, с. 5).

«Технико-экономические показатели освоения месторождения Себлявр определились на уровне намечаемого к освоению Катугинского месторождения и несколько лучше действующего Ловозёрского ГОК'а. Однако в настоящее время в связи с конверсией сократилась потребность в редкометалльной продукции и ни одно из прогнозируемых месторождений (в частности, Катугинское) осваиваться не будут».

Формально всё вроде бы верно. Но говорить об отсутствии потребности в тантале и ниобии в будущем, значит утверждать, что эти металлы нигде, кроме оборонной промышленности, не нужны¹. Между тем в развитых странах в потребности ниобия «...решающую роль играет чёрная металлургия, использующая ниобий для легирования разнообразных марок стали и чугуна, а также в виде присадочного сварочного материала. Большим событием явилось создание низколегированной высокопрочной стали с добавками ниобия. Она быстро завоевала признание в изготовлении тяжёлого оборудования, машин, структурных элементов зданий и мостов, архитектурной арматуры, железнодорожного оборудования, в судостроении, производстве комбайнов, молотилок, тракторов, экскаваторов, автопогрузчиков, бульдозеров и горного оборудования. Она способствует облегчению веса и удлинению сроков службы оборудования, мостов и конструкций, обеспечивает придание жёсткости и ударостойкости роторным врубовым машинам и деталям тяжёлого оборудования и станков. Совершенно особое значение приобрели стали, легированные ниобием, ванадием (врозь или совместно), отчасти редкими землями, цирконием, для нефте- и газопроводных труб большого диаметра, предназначенных для работы под большим давлением в тяжёлых условиях Арктики». (Б.И. Коган, 1979, с. 203). И далее на с. 226–229 подробно говорится о тантале, без которого не может существовать современная электроника.

Таким образом, прогнозировать ненужность тантала и ниобия просто нелепо.

4. Сульфидный концентрат вначале признан годным для получения только серной кислоты, а затем и вовсе исключён как полезный продукт из-за отсутствия свободных мощностей для переработки на комбинате «Североникель». Между тем, по данным Гипроникеля (1990) в сульфидном концентрате содержится золото (10 г/т) и кобальт (1,5 кг/т). Медный концентрат, рассчитанный в ТЭО по оптовым ценам именно такого продукта, содержит серебро (100 г/т), кобальт (7 кг/т), примеси никеля. Золото, медь и кобальт есть также в сульфидном концентрате, попутно получаемом из редкометалльных руд, который вообще не учтён в балансе товарной продукции. Технология извлечения перечисленных металлов из сульфидных и медных концентратов имеется, а показатели извлечения достаточно высокие. Однако и золото, и серебро, и кобальт из расчётов технико-экономических показателей выпали. Кстати, спустя 4 года после корректировки ТЭО, на комбинате «Североникель» появились и свободные мощности по переделу таких продуктов, так что расширение производства мощностей уже не требуется.

Песчано-глинистые вермикулит-апатитовые коры выветривания не должны обогащаться совместно со скальными рудами. Это совершенно самостоятельное месторождение и необходимо предусматривать отдельную переработку данного типа руд на апатит и вермикулит.

Следует иметь в виду, что карьер на западной части Центральной зоны, хотя и именуется «малым», производительность его по руде при борте 2% P_2O_5 все же вдвое больше карьера на Ковдорском апатит-магнетитовом месторождении, т. е. нагрузка на природу может оказаться непомерно большой и мощность карьера придётся уменьшать ещё раз.

При очередной корректировке ТЭО целесообразно рассчитать вариант переработки апатит-магнетитовых руд (может быть даже и редкометалльных) на Ковдорском ГОК'е. В этом случае можно использовать не только весь магнетитовый концентрат, в котором содержание TiO_2 не должно быть выше 3% (правда, данных на этот счёт пока мало), но и попутно получать бадделеитовый концентрат, производство которого на Ковдоре налажено.

При технологическом доизучении комплексных апатит-силикатных руд Себлявра надо, наконец, решить проблему получения товарных циркониевых продуктов из них и найти им применение. Всё же валовое содержание циркония в этих рудах находится на уровне ковдорских апатит-магнетитовых руд, а основной минерал (кальцитрит) должен обогащаться лучше бадделеитом хотя бы из-за более благоприятных форм и размера зёрен.

В заключение необходимо отметить, что предварительная разведка Центральной зоны выполнялась по отрасли «Апатит» и плотность разведочной сети отвечает данной стадии работ только для апатитовых руд. Перспективы редкометального оруденения в начальные этапы работ были ещё неясны. Объёмы для сгущения разведочной сети на разрозненных телах редкометалльных руд проектом не предусматривались. Поэтому запасы редкометалльных руд, подсчитанные статистическим методом, следует квалифицировать по категории C_2 (не выше). В 1987 г. встал вопрос о предварительной раз-

¹ В СССР примерно так и было с той поправкой, что гражданская промышленность эти металлы попросту не получала.

ведке комплексных тантало-ниобиевых апатитовых руд, но поскольку ассигнований на эти цели так и не нашлось, проект не составлялся. Ориентировочные объёмы бурения – 49 наклонных скважин (14 тыс. пог. м). Проектные скважины размещались на отрезках разведочных профилей для детализации уже известных рудных пересечений с доведением плотности разведочной сети до 50×50 м по поверхности. Бурение намечалось на профилях №№ 21; 21,5; 22,5; 23,5; 25; 25,5; 26,5; 27; 27,5; 28; 28,5; 29–33 под рудные тела, вскрытые (в частности) скважинами №№ 125, 127–129, 166, 301, 305, 311, 315, 335, 336, 339, 340, 349, 357, 359, 362. Приведённые объёмы рассчитаны для разведки редкометальных руд в пределах всей Центральной зоны. Если же ограничиться контурами «малого карьера», то количество скважин заметно сократится.

20. ВУОРИЯРВИ

Тухта-вара

Варианты открытой отработки месторождения и обогащения комплексных руд рассмотрены в ТЭД'е Гипроруды в 1979 г. и откорректированы Гипрорудой, Механобром и Гиредметом в 1990 г. Первоначально месторождение Тухта-вара рассматривалось только как дополнительная сырьевая база Ковдорского ГОК'а за 2000 годом и в связи с этим комбинат рекомендовал «... разработать и утвердить в качестве первоочередного проект детальной разведки апатит-магнетитового месторождения Тухта-вара» (письмо за подписью директора ГОК'а А.И. Сухачева было направлено в сентябре 1979 г. в Минчермет). Комбинат не смутило повышенное количество пирротина в рудах и привлекало постоянство содержаний железа в магнетитах. При этом редкометальные разновидности руд предполагалось перерабатывать на месте, а апатит-магнетитовые руды с бадделеитом транспортировать в Ковдор. Годовая производительность по апатит-магнетитовым рудам составляла согласно ТЭД'у 2,5 млн. т, а по редкометальным – 1,3 млн. т (плюс 6,1 млн. т карбонатитов, которые в ТЭД'е Гипроруды были отнесены к вскрыше). Эксплуатационные запасы в контуре карьера составили 78,6 млн. т апатит-магнетитовых руд и 31,8 млн. т редкометальных. Со временем интерес Ковдорского ГОК'а к Тухта-варе стал угасать, а затем (в связи с идеей создания на Ковдоре суперкарьера) пропал совсем. При корректировке ТЭО в 1990 г. Гипроруда основывалась на том, что при создании суперкарьера дополнительная сырьевая база потребуется Ковдорскому ГОК'у не ранее 2030 г., и для Тухта-вары был принят вариант отработки лишь редкометальных руд с попутной добычей части апатит-магнетитовых руд, являющихся в данном случае вскрышей. Карбонатиты и в этом случае не рассматривались как полезное ископаемое. Годовая производительность карьера в таком варианте составляла 0,8 млн. т по редкометальным рудам и 1,1 млн. т по апатит-магнетитовым, при этом (как и в ТЭД'е 1979 г.) первые обогащались на месте, а последние вывозились на Ковдорский ГОК. Общая рентабельность производства составила 8,7%, но транспортировка и переработка апатит-магнетитовых руд на Ковдоре оказалась убыточной. Если рассматривать только редкометальное производство, то его рентабельность равна 12%. Товарной продукцией обогатительной фабрики являются гатчеттолитовые, бадделеитовые, апатитовые и магнетитовые концентраты. При гидрометаллургическом переделе гатчеттолитового концентрата годовая продукция составит: 36,4 т тантала (во фтортанталате калия), 187 т оксида ниобия, 50 т урана. Ежегодная производительность по остальным продуктам: бадделеитовый концентрат – 240 т, магнетитовый и апатитовый концентраты – 184 тыс. т и 67 тыс. т, соответственно. Поскольку по заключению Гиредмета тантал и ниобий в перспективе не нужны (см. предыдущий раздел), Гипроруда не рекомендовала детальную разведку Тухта-вары.

Несомненно, что в плане тантала Тухта-вара является одним из самых перспективных объектов карбонатитовых массивов Кольского п-ова. Однако следует помнить, что месторождение расположено на берегу оз. Вуориярви и варианты открытой его отработки (с отводом части озера) могут быть отвергнуты по экологическим соображениям.

Изученность месторождения вполне достаточна, чтобы на базе имеющихся данных утверждать запасы редкометальных руд по категориям C_1+C_2 и составлять любые варианты ТЭО отработки. Месторождение полностью околонтурено, разведочная сеть на редкометальных рудах сгущена. При необходимости проведения полупромышленных исследований возможен отбор представительных проб любых типов руд и карбонатитов с поверхности.

Неске-вара (рядовые редкометалльные руды)

По участку Неске-вара было несколько вариантов технико-экономических расчётов (в плане перехода к предварительной разведке). Все они сегодня по существу не имеют смысла. Ранние варианты, начиная с расчётов Гипроруды (1979 г.), базировались на неполных данных о запасах руд, которые к 1989 г. возросли в 2,5 раза. Самые последние (Молчанова и др., ИЭП КНЦ, 1989 г.) основаны на открытой разработке всего месторождения оптом с годовой производительностью 4,6 млн. т руды, что сегодня нереально, да и не нужно, для начальных стадий освоения. Кстати, объём конечной продукции по последнему варианту составлял 110 т тантала и 4570 т оксида ниобия при попутном получении апатитового и магнетитового концентратов. Стоимость годовой продукции проектируемого предприятия (131,4 млн. руб. в ценах 1989 г.) была бы при этом даже несколько выше, чем на Ковдорском ГОК'е, рентабельность 9,1%.

Переход к рынку с тотальным и непропорциональным изменением цен, перевод промышленности на гражданские рельсы потребуют в скором времени новых расчётов. Поэтому приводить сейчас выводы из ТЭС'ов и ТЭР'ов прежних лет вряд ли уместно. Необходимо отметить лишь несколько моментов:

- во всём мире уже давно основными промышленными ниобиевыми объектами стали пироклоровые месторождения карбонатитовых массивов;
- близким геологическим аналогом Неске-вары в России является лишь Белозиминское месторождение (Иркутская область), находящееся в сложных географо-экономических условиях;
- расчёты новых вариантов должны базироваться на конкретных потребностях в редких металлах, откуда сразу определяются объёмы годовой добычи; при этом надо учесть, что на Неске-варе можно добывать разные типы руд порознь или совместно: гатчеттолитовые с пироклором (т. е. преимущественно танталовые), богатые пироклоровые (т. е. ниобиевые с танталом) и, наконец, нерадиоактивные пироклоровые карбонатиты.

Неске-вара (богатые редкометалльные руды)

Согласно ТЭО временных кондиций (Гиредмет, 1985 г.) годовая производительность карьеров по богатым рудам при бортовом содержании Nb_2O_5 0,2% составляет 120 тыс. т. Переработка руды и гидрометаллургический передел черновых концентратов предусматривался на модернизированной Африкандовской фабрике. Стоимость годовой продукции – 8,5 млн. руб. (в ценах 1985 г.), а годовые эксплуатационные расходы – 9,4 млн. руб., т. е. производство в целом убыточное. Однако в расходы включены отчисления в бюджет на геолработы, ставки которых только что были разработаны Гиредметом. Методика расчёта ставок оказалась неверной и самим же Гиредметом в этот период пересматривалась. Для ниобиевых месторождений (в том числе для Неске-вары) они получились чрезмерно большими: из 9,4 млн. руб. размер отчислений составил 2,1 млн. руб. Гораздо привлекательней оказался вариант отработки рудных тел при бортовом содержании Nb_2O_5 0,1%, но с применением покусковой радиометрической сепарации (при борте 0,2% покусковая сепарация ощутимого эффекта не давала). Производительность по руде в этом случае увеличивалась до 230 тыс. т (при неизменном объёме по горной массе в обоих случаях), стоимость товарной продукции – до 12,7 млн. руб. (главным образом, за счёт роста доли тантала), эксплуатационные расходы – 8,0 млн. руб., без учёта отчислений на геолработы. С таким допущением прибыль составила 4,7 млн. руб., а рентабельность – 15,2%. По второму варианту Африкандовская фабрика выпускала бы ежегодно 391 т технического оксида ниобия, 10,5 т тантала во фтортанталате калия и около 5 т урана в химконцентрате. При этом доля ниобия составляла 58,9% от общей стоимости годовой продукции, а тантала – 34,4%

В заключение следует отметить, что предварительная разведка богатых ниобиевых руд из-за ненужной спешки была прекращена преждевременно. Идея организации небольшого редкометалльного производства на базе богатых руд весьма заманчива. Именно с этого логично начать освоение участка Неске-вара (и массива Вуориярви в целом). Руды I-го тела, выбранного только по той причине, что оно по густой сети скважин было разведано ещё в 1956–58 гг., оказались труднообогатимыми; руды IV тела не изучены технологами, несколько перспективных проявлений не оценено. С этих недоделок и следует начать новый этап геологоразведочных работ. Не исключено, что выявится

ещё одно тело богатых руд (№ V, размеры магнитной аномалии 120×130 м) между профилями 29 и 31 с хорошими (выше 1%) содержаниями Nb₂O₅. Тогда имеет смысл составить ТЭО подземной (или комбинированной) отработки рудных тел II–V с проектированием шахты в районе скважины № 301 на профиле 34 (рис. 35). При необходимости параллельно можно вовлечь в отработку и бадделейт-гачеттолитовые апатит-магнетитовые руды северных флангов Тухта-вары, из которых Гиредметом получены высококачественные танталовые и циркониевые концентраты.

Обогащение руд и гидрометаллургический передел концентратов до товарной продукции должны вестись на месте, а вариант с Африкандой следует забыть как нерациональный и заведомо убыточный.

Петяйян-вара

В конце 70-х годов были попытки возобновить геологоразведочные работы на Петяйян-варе и даже составлено геологическое задание на поисково-оценочные работы, но до рассмотрения и утверждения его дело не дошло. В то время Петяйян-вара никак не могла конкурировать с Ковдорским флогопитовым месторождением. Теперь же, когда крупноразмерная слюда не в моде, преимущество вуориярвинского флогопита в термостойкости по сравнению с ковдорской слюдой может сыграть решающую роль в возобновлении работ.

Геологическим заданием предусматривалось бурение вертикальных скважин диаметром не менее 110 мм на двух основных профилях, отстоящих через 100 м один от другого и проходящих почти вкрест простирания слюдоносных зон, а также на двух дополнительных, располагающихся в краевых частях зон через 70 м от основных профилей. Учитывая гнездовый характер ослюденения и крайне неравномерное распределение флогопита, целесообразно разбурить не только зоны, вскрытые канавами, но и бесслюдные (на поверхности) перемычки между ними. Глубина скважин в перемычках составляет 200 м, а внутри слюдоносных зон – 300 м. Кроме того, планировалось бурение нескольких поисковых скважин на южных флангах месторождения, где высокие содержания флогопита отмечены в канаве № 28 и шурфе № 36, а значительная мощность морены не позволила оконтурить зоны с поверхности.

На профилях скважины проектировались через 50 м одна от другой. Общее количество их – 26, в том числе 15 скважин глубиной 200 м, остальные – 300 м (всего 6300 пог. м). Кроме того, следуют пробурить 3–4 скважины диаметром 200 мм глубиной 200–300 м на заключительных стадиях оценки для отбора представительных проб флогопита с целью изучения группового состава и качества слюды.

21. САЛЛАНЛАТВА

ТЭС'ы по Салланлатве составлялись Институтом экономических проблем КФАН в 1987 г. (Е.П. Башмакова и др.) и в 1989 г. (В.Н. Молчанова и др.). Годовая производительность карьера в обоих случаях была одинаковой: 2,0 млн. т по баритовым рудам и 3,0 млн. т по ниобиевым карбонатитам. Варианты переработки руд также совпадали: редкометальные руды предусматривалось обогащать на фабрике, построенной на Вуориярви для трёх месторождений (Тухта-вара, Неске-вара, Салланлатва), а баритовые руды намечалось перерабатывать на месте, т. е. на Салланлатве. Предусмотрено также восстановление железной дороги Алакүртти–Кайлары (45 км) и строительство новой ветки до Салланлатвы. Объёмы годовой продукции по последнему варианту составляли:

- баритовый концентрат – 200 тыс. т;
- редкометальный концентрат – 5,25 тыс. т (2030 т оксида ниобия);
- попутный магнетитовый концентрат – 200 тыс. т.

Рентабельность общего производства (вместе с рудами Вуориярви) составила 7,6% без учёта погашения затрат на геоработы.

Варианты раздельной добычи луешитовых и баритовых руд с автономной их переработкой на месте не считались. Судя по показателям освоения Тухта-вары и Неске-вары, для луешитовых руд они почти наверняка окажутся убыточными. Всё-таки в продукции из редкометальных руд Вуориярви заметную роль играет дорогостоящий тантал, благодаря которому технико-экономические показатели выглядели относительно благополучными. На Салланлатве же тантала нет вовсе. Для до-

стижения показателей, соразмерных с вуориярвинскими, ниобия в луешитовых рудах должно быть как минимум в 1,5 раза больше.

Освоение Салланлатвы, очевидно, надо начинать с организации небольшого баритового производства (см. раздел 16.4), постоянно наращивая его, и со временем подключать к разработке ниобиевое месторождение (опять же начиная с дресвянистых кор выветривания, которые ещё надо вначале оценить, см. раздел 16.5, предусмотрев при этом и технологические исследования). Кстати, схемы обогащения всех типов руд требуют серьёзной доработки, после которой технико-экономические показатели заметно изменятся.

Для организации небольшого предприятия мощностью 50 тыс. т барит-лимонитовой руды в год наиболее подходит участок кор выветривания в центре месторождения (со скважинами №№ 18, 18^a, 55) размером в плане 200×100 м, где средняя мощность коры выветривания составляет 20 м, ориентировочные запасы барит-лимонитовых руд – 1,0 млн. т при среднем содержании барита 20%. Мощность вскрыши (морены) – 4,6 м. Для надёжного подтверждения запасов, отбора представительной пробы и проведения технологических исследований с целью получения баритовых концентратов и изучения хвостов как сырья для минеральных красок целесообразно пробурить на этом участке 10–15 скважин глубиной 35–40 м или пройти 7–8 шурфов с креплением глубиной 10–12 м (т. е. 600 пог. м бурения или 100 пог. м шурфов). Разведка шурфами предпочтительней бурения (выше достоверность, больше материала для технологических проб).

Опытную обогатительную фабрику следует проектировать на ийолитовом склоне в 0,8–1,0 км к ЮЗ от участка добычи, а хвостохранилище – в 1,5–2,0 км от карьера в том же направлении в верховьях одного из мелких притоков речки Калккихара. Участок хвостохранилища представляет собой заболоченную низину размером 0,7×1,0 км с абс. отм. 290–295 м, ограниченную с востока крутыми склонами сопки с абс. отметками вершин 344–360 м. Устье притока перед впадением в р. Калккихара перекрывается дамбой длиной около 300 м, обеспечивающей регулируемый сток поверхностных вод. На строительство дамбы используются морена и пески вскрыши. По мере накопления хвостов дамба расширяется. От пос. Кайлары к участку подводится ЛЭП (20–23 км). Железнодорожная ветка при таких небольших объёмах добычи не нужна. Грунтовая дорога улучшается от Салланлатвы до пос. Кайлары, а далее до ж. д. ст. Алакургти улучшение не требуется. Готовая продукция (а пока речь идёт только о баритовом концентрате) вывозится автотранспортом до пос. Алакургти, а далее по железной дороге – потребителю. Работа на участке ведётся круглогодично вахтовым методом.

Технико-экономические показатели такого производства в ценах на 01. 04. 1992 г., рассчитанные совместно с экономистом Механобра А.И. Топоровским, следующие:

Годовая добыча барит-лимонитовых руд – 50 тыс. т.

Выход баритового концентрата (12%) – 6 000 т.

Капитальные вложения, млн. руб – 91, в том числе:

- карьер – 15;
- обогатительная фабрика – 30;
- ЛЭП – 16;
- хвостохранилище, вспомогательные сооружения – 30.

Эксплуатационные расходы (млн. руб.):

- добыча руды – 6,5;
- обогащение – 19;
- транспортировка до ст. Алакургти – 1,5

Итого: 27 млн. руб.

Производственные фонды (млн. руб):

а) основные: 91–16 (ЛЭП) = 75;

б) оборотные: (20% себестоимости) = 5,4.

Итого: 80,4 млн. руб.

При рентабельности к производственным фондам, равной 15%, годовая прибыль должна быть не менее: $80,4 \times 15 : 100 = 12,1$ млн. руб., откуда стоимость товарной продукции составит: 27 (экспл. расходы) + 12,1 (прибыль) = 39,1 млн. руб. Следовательно, отпускная цена 1 т баритового концентрата должна быть не менее $39\,100\,000 : 6\,000 = 6\,500$ руб. Окупаемость: 91 (капвложения) : 12,1 (прибыль) = 7,5 лет.

При таком раскладе баритовый концентрат Салланлатвы по ценам на тот период оказался вполне конкурентоспособен, а организация добычи и переработки барит-лимонитовых руд выглядела целесообразной. Вопрос с попутным получением минеральных красок необходимо решить в процессе доизучения объекта и на первой стадии его разработки.

На новом этапе технологических исследований следует рассмотреть варианты безреагентных схем обогащения (на гравитационной основе). Применение подобных схем не только заметно удешевит стоимость баритового концентрата, но и значительно улучшит экологическую ситуацию при отработке барит-лимонитового месторождения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В основе монографии лежит тематический отчёт автора (Афанасьев, 1995). Необходимость подобной работы изложена во «ВВЕДЕНИИ». В постановляющей части протокола НТС Мурмангеолокома от 13. 12. 1995 г., в частности, отмечено: «С участием заинтересованных организаций рассмотреть вопрос о возможности опубликования материалов отчёта в открытой печати». Переделка отчёта в книгу – серьёзная и трудоёмкая работа. Время для этой цели удалось выкроить лишь спустя 15 лет, т. е. уже в следующем веке.

В монографии обобщены сведения о геологической и технологической изученности 32 проявлений и месторождений. Из них 16 объектов следует считать изученными лишь на поисковой стадии, на 4-х проведены поиско-оценочные работы, 12 месторождений разведаны предварительно и детально, при этом половина из последних находится на Ковдорском массиве.

Для объектов, которые могут представить интерес в ближайшем будущем, дано направление работ (а для некоторых – и ориентировочные объёмы работ).

С магматическими этапами формирования массивов (гипербазитовым и щелочным) связаны 14 проявлений и месторождений (титаномагнетитовые оливиниты, сырьё для магнезиальных огнеупоров, залежи перовскитовых руд, слюда-флогопит, бедные апатит-силикатные руды и др.); с карбонатитовым этапом – 13 (комплексные апатит-силикатные и апатит-магнетитовые руды, месторождения тантала и ниобия, слюда-флогопит, барит и др.); с экзогенным этапом – 5 (вермикулит, фосфатное сырьё, барит и др.).

Наибольшую ценность представляют месторождения карбонатитового этапа, приуроченные к массивам Себлявр, Вуориярви и Салланлатва (без учёта Ковдора, где все выявленные месторождения разведаны предварительно и детально). На этих трёх массивах сосредоточены практически все запасы тантала и ниобия, связанные с пироклоровыми карбонатитами и редкометальными апатит-магнетитовыми рудами. На упомянутые три массива приходится 18 проявлений и месторождений из 32 (вместе с месторождениями магматических и экзогенного этапов), в том числе 13 объектов располагаются на Вуориярви и Салланлатве. Среди них и крупнейшее на Кольском п-ове месторождение тантало-ниобиевых рудно-карбонатных пород. Сырьевая база обоих массивов достаточна для создания на юго-западе Кольского п-ова мощного самостоятельного горно-рудного узла. Освоение этих массивов следует начинать с организации добычи редкометальных апатит-магнетитовых руд на Вуориярви и открытой разработки барит-лимонитовых кор выветривания на Салланлатве (с обогащением комплексных руд до товарных концентратов на месте). Не исключено, что с началом освоения Вуориярви проявится интерес и к перовскитовым рудам Западного участка, заметно менее радиоактивным по сравнению с аналогичными рудами Африканды. Запасы их на Вуориярви вполне достаточны для удовлетворения спроса на титановое сырьё всех отраслей промышленности России. Горно-геологические условия благоприятны для открытой разработки. А на Салланлатве параллельно с добычей необходимо оценить бурением дресвянистые коры выветривания над луешит-кальцитовыми карбонатитами, включая неизученный восточный фланг.

Б.В. Афанасьев

Апатиты, Мончегорск, Петрозаводск, 2009–2011 гг.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Опубликованная литература

Монографии

1. **Андреева Е.Д., Кононова В.А. и др.** Магматические горные породы. Щелочные породы. М., Наука, 1984; с. 36, 58.
2. **Бородин Л.С., Лапин А.В., Харченко А.Г.** Редкометальные камафориты. М., Наука, 1973.
3. **Геологический словарь.** М., Наука, 1973; т. 1, 2.
4. **Геология СССР. Мурманская область.** М., 1958, т. XXVII, часть II.
5. **Заварицкий А.Н.** Изверженные горные породы. М., АН СССР, 1956.
6. **Каждан А.Б.** Методологические основы разведки полезных ископаемых. М., Недра, 1974.
7. **Капустин Ю.Л.** Минералогия карбонатитов. М., Наука, 1971.
8. **Коган Б.И.** Редкие металлы. М., Наука, 1979, 354 с.
9. **Коган И.Д.** Подсчёт запасов и геолого-промышленная оценка рудных месторождений. М., Недра, 1974.
10. **Кухаренко А.А., Орлова М.П., Булах А.Г. и др.** Каледонский комплекс ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов Кольского п-ова и Северной Карелии. М., Недра, 1965, 768 с.
11. **Кухаренко А.А., Булах А.Г., Ильинский Г.А. и др.** Металлогенические особенности щелочных формаций восточной части Балтийского щита. Л., Недра, 1971.
12. **Милашев В.А.** Физико-химические условия образования кимберлитов. Л., Наука, 1972, 175 с.
13. **Милашев В.А.** Трубки взрыва. Л., Недра, 1984, 267 с.
14. **Найфонов Т.Б.** Флотация титановых минералов при обогащении комплексных титансодержащих руд. Л., Наука, 1979, 163 с.
15. **Невский В.А., Фролов А.А.** Структуры рудных месторождений кольцевого типа. М., Недра, 1985, 244 с.
16. **Самойлов В.С.** Карбонатиты (фации и условия образования). М., Наука, 1977.
17. **Самойлов В.С.** Геохимия карбонатитов. М., Наука, 1984.
18. **Сергеев А.С.** Фениты комплекса ультраосновных и щелочных пород. Л., ЛГУ, 1967.
19. **Солодов Н.А.** Минералогия редкометальных формаций. М., Недра, 1985, 219 с.
20. **Сомина М.Я.** Доломитовые и анкеритовые карбонатиты Восточной Сибири. М., Недра, 1975, 91 с.
21. **Терновой В.И., Афанасьев Б.В., Сулимов Б.И.** Геология и разведка Ковдорского вермикулит-флогопитового месторождения. Л., Недра, 1969, 286 с.
22. **Терновой В.И.** Карбонатитовые массивы и их полезные ископаемые. Л., ЛГУ, 1977.
23. **Толстихин К.И.** Природные пигменты Советского Союза. М., Госгеолтехиздат, 1963, 356 с.
24. **Францессон Е.В.** Петрология кимберлитов. М., Недра, 1968, 197 с.
25. **Фролов А.А.** Структура и оруденение карбонатитовых массивов. М., Недра, 1975.
26. **Чернышёва Л.В., Смелянская Г.А. и др.** Типоморфизм магнетита и его использование при поисках и оценке рудных месторождений. М., Недра, 1981.

Переводная литература

27. **Таттл О., Гиттинс Дж.** Карбонатиты. М., Мир, 1969, 485 с.

Статьи

28. **Алявдина И.Н.** Слюды массива Вуориярви. Сб. «Материалы по минералогии Кольского п-ова». ГИ КФАН, Наука, 1968, с. 251–257.
29. **Агаманов А.В., Максимов Н.И.** Фосфатонесные коры выветривания щелочных массивов. В кн. «Месторождения неметаллического сырья Кольского п-ова». Апатиты, изд. КФАН СССР, 1986, с. 51–56.
30. **Афанасьев В.А.** Оливиниты Хабозёрского района (юго-западная часть Кольского п-ова). Доклады АН СССР, т. 25, № 6, 1939, 4 с.
31. **Афанасьев В.А.** Щелочные породы Озёрной вараки, Хабозёрский р-н. Доклады АН СССР, т. 25, № 6, 1939, 4 с.
32. **Афанасьев Б.В., Сулимов Б.И., Терновой В.И.** Схема формирования Ковдорского массива ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов. Изв. Высших учеб. зав., № 11, 1970.
33. **Афанасьев Б.В., Терновой В.И., Сулимов Б.И., и др.** Геология и генезис месторождений полезных ископаемых на Ковдорском массиве. В сб. «Перспективы развития Ковдорского промыш. комплекса». Апатиты, 1972.
34. **Афанасьев Б.В., Подкопаев Ю.А., Михаэлис С.А.** Массивы щёлочно-ультраосновных формаций (Вуориярви, Салланлатва, Себляяр) и их роль в расширении сырьевой базы фосфатной промышленности Мурманской области. В сб. «Минерально-сырьевая база апатитовой промыш. Мурман. обл. и перспективы её развития до 2000 г.». Апатиты, изд. КФАН СССР, 1981, с. 60–67.
35. **Афанасьев Б.В., Бичук Н.И., Даин А.Д., Жабин С.В., Каменев Е.А.** Минерально-сырьевая база Мурманской области. Статья Мурмангеолкома в журнале «Минеральные ресурсы России. Экономика и управление». № 2, с. 17–21; № 3, с. 17–22, М., 1997.
36. **Багдасаров Э.А.** О структурных особенностях, элементном и фазовом составе титаномагнетитов щёлочно-ультраосновных пород Кольского п-ова. В кн. «Метасоматизм и рудообразование». М., Недра, 1975, с. 179–185.
37. **Багдасаров Ю.А.** Некоторые вопросы гетерогенности карбонатитов и оруденения в ультраосновных-щелочных и карбонатитовых комплексах. Записки ВМО, 1978, вып. 6.
38. **Бичук Н.И.** Комплексное апатит-магнетитовое месторождение Тухта-вара (массив Вуориярви). В кн. «Компл. изуч. м-ний мин. сырья и вопросы охраны недр СЗ РСФСР». М., Геолфонд РСФСР, Тр, 1981, с. 71–81.
39. **Бородин Л.С.** К петрографии и генезису массива Вуориярви. Тр. ИМГРЭ, вып. 9, 1962, с. 161–205.
40. **Булах А.Г.** Редкометалльные анкеритовые карбонатиты Себляярского массива (Кольский п-ов). М-лы ВСЕГЕИ, минер, сб. № 2, 1961.
41. **Булах А.Г.** К генезису карбонатитов Себляярского массива (Кольский п-ов). В сб. «Минералогия и геохимия». вып. II, ЛГУ, 1967.
42. **Булах А.Г., Губачёв Б.В. и др.** Флогопитоносность пироксенитов Себляярского массива на Кольском п-ове. В сб. «Минералогия и геохимия». вып. II, ЛГУ, 1967.
43. **Булах А.Г., Карпатенков В.Н., Анастасенко Г.Ф.** Акцессорные минералы карбонатитов Центрального массива Турьего п-ова. В сб. «Минералы и парагенезисы минералов горных пород». Наука, 1973, с. 7–17.
44. **Булах А.Г.** Геологическое строение и этапы формирования массивов щелочных пород и карбонатитов Турьего п-ова (Мурм. обл.). Вестник ЛГУ, геол. и геогр., 1974, вып. 4, № 24, с. 21–32.
45. **Булах А.Г.** Основные физико-химические особенности процессов формирования карбонатитов в массивах щёлочно-ультраосновной формации. Зап. ВМО, 1979, ч. СУШ, вып. 2, с. 154–164.
46. **Гинзбург А.И., Эпштейн Е.М.** Карбонатитовые месторождения. В кн. «Генезис эндогенных рудных м-ний». М., Недра, 1967, с. 152–219.
47. **Гинзбург А.И., Самойлов В.С.** К проблеме карбонатитов. Зап. ВМО, ч. СХП, вып. 2, 1983, с. 164–176.
48. **Гусев Е.Д., Шапошников В.А.** Разработка методики нейтронно-активационного определения P_2O_5 в комплексных апатит-магнетитовых рудах Ковдорского месторождения. В кн. «Методика изучения состава и свойств минералов и горных пород Кольского п-ова», 1980, с. 121–127.
49. **Дунаев В.А.** Структура Ковдорского месторождения. Геол. рудн. м-ний, 1982, № 3, с. 28–36.

50. **Егоров Л.С.** Зернистые мелилитовые породы севера Сибирской платформы. Тр. НИИГА, т. 136, 1963.
51. **Егоров Л.С., Сурина Н.П. и др.** Карбонатиты и щелочные породы севера Сибири. Сб. статей НИИГА, Л., 1970, 183 с.
52. **Ельянов А.А., Моралёв В.М.** Глубины формирования и эрозионного среза массивов ультраосновных и щелочных пород Алданского щита. Геол. рудн. м-ний, № 5, 1972, с. 32–40.
53. **Иванников В.В., Краснова Н.И. и др.** О проявлении платинометальной минерализации палаборского типа в карбонатитовых массивах Кольского п-ова. (машинописный экз. статьи, представленный в Докл. РАН 30. 12. 1994).
54. **Каллистов П.Л.** Методы экспериментального определения рациональных схем обработки проб. Советская геология, № 10, 1938.
55. **Капустин Ю.Л.** Структура карбонатитового комплекса Вуориярви. Советская геология, 1975, № 9, с. 79–90.
56. **Капустин Ю.Л.** О происхождении карбонатитов. Зап. ВМО, 1976, ч. СУ, вып. 3, с. 329–342.
57. **Кирнарский Ю.М., Афанасьев Б.В. и др.** Магнетиты массива Салланлатва. В сб. «Минер. критерии компл. оценки минер. сырья Кольского п-ова» Апатиты, КФАН СССР, 1982.
58. **Кирнарский Ю.М., Курбатова Г.С., Стрельникова Л.А.** К минералогии Салланлатвинского массива. Апатиты, КФАН СССР, 1980.
59. **Копылова Л.Н., Краснова Н.И. и др.** Типохимические особенности кальцита и бадделеита Ковдорского комплексного месторождения. В кн. «Щелочной магматизм и апатитоносность севера Сибири» Л., НИИГА, 1980, с. 124–138.
60. **Курбатова Г.С.** Некоторые особенности типохимизма щелочно-ультраосновных массивов Кольского п-ова. В кн. «Веществ. состав щел. интрузивных компл. Кольского п-ова» Апатиты, КФАН СССР, 1981, с. 68–73.
61. **Лапин А.В.** О скарноподобных образованиях в Ковдорском массиве. В кн. «Петрология и геохим. особ. комплекса ультрабазитов, щел. пород и карб.» М., 1965.
62. **Лапин А.В., Афанасьев Б.В.** Новые данные об апатито-магнетитовых породах Центрального массива ультраосновных-щелочных пород на Турьем п-ове. В сб. «Новые данные по геол., минералогии и геох. щелочных пород». М., Наука, 1973, с. 157–163.
63. **Лапин А.В.** Минеральные парагенезисы апатитовых руд и карбонатитов массива Себлявр. Геол. рудн. м-ний, 1977, № 4, с. 21–33.
64. **Лапин А.В.** О некоторых проблемах генезиса карбонатитов. Геол. рудн. м-ний, 1978, № 4, с. 33–45.
65. **Лапин А.В.** Проблема карбонатитов в свете современных экспериментальных данных. В кн. «Рудная геох. и гел. магматогенных м-ний». М., Недра, 1980, с. 62–79.
66. **Орлова М.П. и др.** К минералогии редкометальных карбонатитов Салланлатвинского массива (Сев. Карелия). Минер. сб., № 3, т. 96, Л., ВСЕГЕИ, 1963, с. 3–20.
67. **Панина Л.И., Шацкий В.С.** Включения расплавов в магнетит-apatитовых породах карбонатитовой интрузии Ессей. Докл. АН СССР, 1973, т. 209, № 2, с. 455–457.
68. **Панина Л.И., Подгорных Н.М.** Температурные условия формирования мелилитовых пород Турьего п-ова. Докл. АН СССР, 1974, т. 217, № 1, с. 198–201.
69. **Панина Л.И.** Температуры кристаллизации некоторых структурно-текстурных разновидностей щелочных пород Турьего мыса. Новосибирск, Наука, СО АН СССР, Геол и геоф., № 6, 1977, с. 45–51.
70. **Пожарицкая Л.К., Воробьёв Е.И., Самойлов В.С. и др.** Особенности петрологии, минералогии и геохимии карбонатитов Восточной Сибири. Сб. статей. М., Наука, 1966, 146 с.
71. **Римская-Корсакова О.М., Соколова Е.П.** О железисто-магнезиальных слюдах с обратной схемой абсорбции. Зап. ВМО, часть 93, 1964.
72. **Роненсон Б.М., Афанасьев Б.В., Левин В.Я.** Парагенезисы турьяитов Турьего п-ова. Изв. АН СССР, сер. геол., № 11, 1978, с. 15–25.
73. **Самойлов В.С., Развозжаева Э.Л.** О поведении редких элементов в процессе формирования редкометальных карбонатитов. Геол. рудн. м-ний, 1970, № 2, с. 38–49.

74. **Самойлов В.С., Багдасаров Ю.А.** Фации глубинности карбонатитов и генетически связанных с ними пород. Изв. АН СССР, сер. геол., 1975, № 10, с. 27–34.
75. **Самойлов В.С., Афанасьев Б.В.** Новые данные о карбонатитах щёлко-ультраосновного комплекса Турьего п-ова. Зап. ВМО, ч. 107, вып. 3, 1978, с. 291–304.
76. **Самойлов В.С., Смирнова Е.А.** Поведение редкоземельных элементов в процессе карбонатитообразования и некоторые аспекты генезиса карбонатитов. Геохимия, 1980, № 12, с. 1844–1858.
77. **Семилякин Ф.П.** Кимберлитоподобные породы Вуориярви. Зап. ВМО, вып. 5, 1967.
78. **Солопов Ю.А.** Типы апатитовой минерализации Себльярвского массива. В кн. «Новые исследования в геол.». Научн. тр. ЛГИ вып. 5, 1975.
79. **Солопов Ю.А.** О комплексном использовании оливинитов массива Лесная варака. Зап. ЛГИ, т. 72, вып. 2, 1977, с. 77–84.
80. **Солопов Ю.А.** Структура апатит-магнетитового месторождения массива Вуориярви. Зап. ЛГИ, т. 35, 1978, с. 34–36.
81. **Солопов Ю.А., Бичук Н.И.** К последовательности формирования карбонатитовых массивов Вуориярви. Межвузовский сб. «Геол., поиски и разв. нерудн. полезн. ископ.», вып. 4, 1978, с. 108–111.
82. **Стрельникова Л.А.** Акцессорные минералы группы пирохлора из карбонатитов некоторых щёлко-ультраосновных массивов. В кн. «Вещ. состав щелочн. интруз. компл. Кольского п-ова.» Апатиты, КФАН СССР, 1981, с. 68–73.
83. **Талапов В.А.** Изверженные карбонатиты в Низких Гималаях Непала. Изв. выс. уч. зав., геол. и разв., № 4, 1976, с. 53–61.
84. **Терновой В.И., Афанасьев Б.В., Сулимов Б.И.** Геологическое строение и условия образования Ковдорского месторождения флогопита. Сов. геол., № 2, 1967.
85. **Терновой В.И.** Генетические типы месторождений полезных ископаемых формации ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов Кольского п-ова. Зап. ЛГИ, т. XVII, вып. 2, Л., 1974, с. 111–126.
86. **Терновой В.И., Афанасьев Б.В., Сулимов Б.И.** Роль магматических и метасоматических процессов при формировании Ковдорского массива и связанных с ними полезных ископаемых. Сб. «Метасоматизм и рудообразование», М., Недра, 1975, с. 185–194.
87. **Харламов Е.С. и др.** О происхождении карбонатитов Ковдорского месторождения. Геол. рудн. м-ний, 1980, № 4, с. 3–20.
88. **Штеренберг Л.Е., Гречин В.И., Соловьёв А.А. и др.** К методике окрашивания карбонатных пород. Литология и полезн. ископ. 1972, № 5, с. 127–132.
89. **Эпштейн Е.М., Фейгин Я.М.** Расчленение пород карбонатитовых комплексов. Разв. и охр. недр, 1979, № 7, с. 13–18.
90. **Эпштейн Е.М., Кабаньков В.Я.** Глубины формирования и рудоносность массивов ультрамафитов, ийолитов и карбонатитов. Сов. геол., 1984, № 6, с. 85–95.

Фондовые материалы

Геологические отчёты

91. **Анзель В.В., Калинин М.М. и др.** Отчёт о поисковых геофизических работах, выполненных в пределах ультраосновных, щелочных интрузий центрального типа Кольского п-ова в 1972–1975 гг. Апатиты, 1975, 170 с.
92. **Антонов Л.В., Лазарева Л.Ф., Юрилин Ю.П. и др.** Отчёт о рекогносцировочно-поисковых работах на апатит по Салланлатвинскому, Салмагорскому и Песочному плутону 1967–1969 гг., Кировск, 1969, 204 с.
93. **Афанасьев Б.В., Хищенко И.Я.** Отчёт о результатах поисковых работ на Турьинском массиве щёлко-ультраосновных пород за 1971–1974 гг. Апатиты, 1974, 165 с.
94. **Афанасьев Б.В., и др.** Отчёт о поисково-разведочных работах на массиве Вуориярви за 1974–1976 гг. Апатиты, 1976.
95. **Афанасьев Б.В., Бичук Н.И., Глушенков А.А.** Геологическая записка с повариантным подсчётом запасов комплексных редкометалльно-apatит-магнетитовых руд месторождения Тухта-вара (массив Вуориярви). Апатиты, 1979.

96. **Афанасьев Б.В., Бичук Н.И., Глушенков А.А.** Отчёт о результатах геологоразведочных работ на массиве Вуориярви за 1974–1979 гг. с подсчётом запасов редкометалльно-апатит-магнетитовых руд и карбонатитов по состоянию на 01. 09. 79. Апатиты, 1979, т. I, 249 с.
97. **Афанасьев Б.В., Михаэлис С.А.** Отчёт о поисковых работах на массиве Салланлатва в 1978–1981 гг. Апатиты, 1981, т. I, 145 с.
98. **Афанасьев Б.В., Михаэлис С.А. и др.** Отчёт о проведённых в 1979–1981 гг. поисковых работах на массиве Вуориярви и его обрамлении. Апатиты, 1981, т. I, 122 с.
99. **Афанасьев Б.В., Гридина Г.Т., Михаэлис Н.Г. и др.** Геологическое обоснование к ТЭД'у временных кондиций для подсчёта запасов апатитовых руд Центральной зоны месторождения Себлявр по состоянию на 01. 10. 1983 г. Апатиты, 1983.
100. **Афанасьев Б.В., Гридина Г.Т., Михаэлис Н.Г. и др.** Отчёт о проведённой в 1980–1984 гг. предварительной разведке Центральной зоны апатитового месторождения Себлявр. Апатиты, 1984, т. I, 170 с.
101. **Афанасьев Б.В., Михаэлис С.А., Михаэлис Н.Г. и др.** Геологическое обоснование к ТЭД'у временных кондиций для подсчёта запасов богатых ниобиевых руд 4-х тел месторождения Неске-вара по состоянию на 01. 01. 1985 г. Апатиты, 1984.
102. **Афанасьев Б.В., Михаэлис С.А.** Отчёт о предварительной разведке 4-х богатых рудных тел месторождения Неске-вара за 1985–1986 гг. (по состоянию на 01. 06. 1985 г.). Апатиты, 1986, т. I, 183 с.
103. **Афанасьев Б.В., Михаэлис С.А.** Геологическая записка к ТЭС целесообразности предварительной разведки комплексных баритсодержащих и редкометалльных руд массива Салланлатва. Апатиты, 1987.
104. **Афанасьев Б.В., Субботин В.В., Субботина Г.Ф. и др.** Отчёт о результатах поисково-оценочных работ на редкометалльных карбонатитах массива Салланлатва. Апатиты, 1988, кн. I, 263 с.
105. **Афанасьев Б.В.** Геологическая записка к ТЭС предварительной разведки редкометалльных руд участка Неске-вара (массив Вуориярви). Апатиты, 1989.
106. **Афанасьев Б.В., Субботин В.В., Субботина Г.Ф. и др.** Отчёт о поисково-оценочных работах на редкометалльные руды участка Неске-вара за 1986–1989 гг. Апатиты, 1989, кн. I, 182 с.
107. **Афанасьев Б.В.** Обобщение и анализ материалов геологоразведочных и научно-исследовательских работ на щёлочно-ультраосновных массивах Кольского полуострова. Апатиты, 1995, 237 с.
108. **Афанасьев М.С., Роговенко Л.Е. и др.** Объяснительная записка к подсчёту запасов I очереди Африкандовского месторождения. Петрозаводск, 1949.
109. **Афанасьев М.С., Роговенко Л.Е.** Отчёт о геологоразведочных работах и подсчёт запасов Африкандовского месторождения титана, железа и редких элементов. Петрозаводск, 1950.
110. **Афанасьева Н.В., Голиков Н.Н.** Отчёт о результатах поисково-разведочных работ на флогопит, апатит, магнетит и редкие металлы в центральной, восточной и южной частях Ковдорского массива за 1962–1974 гг. Ковдор, 1974.
111. **Афанасьева Н.В. и др.** Отчёт о результатах поисковых работ в северной части Ковдорского массива в 1975–1980 гг. Ковдор, 1980.
112. **Богатырёв В.Л. и др.** Отчёт о результатах поисково-разведочных работ партии № 46 на Вуориярвинском массиве ультраосновных, щелочных и карбонатитовых пород. Л., 1959, т. I, 389 с.
113. **Богатырёв В.Л., Богатырёва М.Н.** Отчёт о поисково-разведочных работах на вермикулит, проведённых на Африкандовском массиве ультраосновных-щелочных пород в 1960–1961 гг. Апатиты, 1962, т. I, 228 с.
114. **Богачёв А.И.** Отчёт о поисковых работах на титан, проведённых в Кестеньгском р-не КФ ССР на западном участке Вуориярвинского перовскит-титаномагнетитового месторождения. Петрозаводск, 1955.
115. **Булах А.Г. др.** Петрография и минералогия Центрального и Южного массивов Турьего п-ова. Л., ЛГУ, 1972.
116. **Булах А.Г., Краснова Н.И. и др.** Окончательный отчёт по теме: «Минеральный состав апатитоносных формаций Кольского п-ова». Л., ЛГУ, 1975.

117. **Быкова Э.В., Римская-Корсакова О.М.** О содержании примесей в ковдорском и оленегорском железорудных концентратах и продуктах их переработки на Череповецком металлургическом заводе. Л., ЛГУ, 1972.
118. **Быкова Э.В., Ильинский Г.А.** Вещественный состав и минералогические особенности магнетитового оруденения в оливинитах и метасоматитах массивов Ковдор, Африканда, Лесная ва-рака, Vuoriaarvi, Себлявр, Турьего п-ова. Л., ЛГУ, 1975.
119. **Вайнштейн Б.Г., Копылов В.Н.** Отчёт о результатах математической обработки геолого-геохимических данных по скважинам участка Тухта-вара. Л., ЦХЛ СЗТГУ, 1977.
120. **Губачёв Б.В., Губачёва Е.Т.** Отчёт о геолого-поисковых работах, проведённых в 1956–1958 гг. на Себляврском массиве ультраосновных, щелочных и карбонатитовых пород. Л., 1958.
121. **Губачёв Б.В., Губачёва Е.Т.** Отчёт о результатах геолого-поисковых работ на флогопит, проведённых на Себляврском массиве ультраосновных, щелочных и карбонатитовых пород в 1963–1964 гг. Л., 1965.
122. **Дмитриев Д.Н., Лашков В.В.** Сводный отчёт о результатах геофизических работ, выполненных в Колвицком районе и на полуострове Турий в 1965–1969 гг. Апатиты, 1969.
123. **Дудкин О.Б., Кирнарский Ю.М. и др.** Распределение циркония, ниобия и тантала в апатит-флогопит-магнетитовых рудах массива Себлявр. Апатиты, ГИ КФАН СССР, 1979.
124. **Дудкин О.Б.** Комплексные структурно-геологические и минералого-геохимические исследования Ковдорского массива и связанных с ним месторождений. Апатиты, ГИ КФАН СССР, 1985.
125. **Зиновьев Ю.А., Афанасьева Н.В. и др.** Отчёт о результатах поисковых работ на апатит в западном обрамлении Ковдорского массива за 1980–1983 гг. Ковдор, 1983.
126. **Иванова Л.И., Корнюшин А.М. и др.** Отчёт Vuoriaarвинской партии о геологическом доизучении м-ба 1:50 000 и поисковых работах на апатит в пределах Vuoriaarвинской структурной зоны. Апатиты, 1978.
127. **Казаринов Л.Н., Александров А.И. и др.** Отчёт о поисково-ревизионных работах по изучению апатитоносности Африкандской группы плутонов за 1971–1973 гг. Кировск, 1973, 132 с.
128. **Кирнарский Ю.М.** Вещественный состав и генетические особенности фосфор-железо-редкометалльных руд щёлочно-ультраосновных массивов. Апатиты, ГИ КФАН СССР, 1979.
129. **Кирнарский Ю.М.** Минералогия комплексных фосфатных руд Кольского п-ова. Апатиты, ГИ КФАН СССР, 1980.
130. **Краснова Н.И.** Минеральный состав апатитоносных пород щёлочно-ультраосновной формации Кольского п-ова. Л., ЛГУ, 1974.
131. **Кулачков Л.В.** Изучение вещественного состава и генезиса франколитовых руд Ковдорского м-ния на стадии детальной разведки. Л., ТКЭ, 1977.
132. **Кулачков Л.В.** О результатах изучения гипергенной фосфатной минерализации массива Себлявр. Л., ТКЭ, 1978.
133. **Кухаренко А.А., Булах А.Г. и др.** Геология, структура, магматизм и металлогения Турьего п-ова. Л., ЛГУ, 1971.
134. **Лапин А.В., Бородин Л.С.** Вещественный состав и редкометальное оруденение апатит-магнетитовых пород и карбонатитов Центрального массива на Турьем п-ове (Записка-рекомендация). М., ИМГРЭ, 1972, 22 с.
135. **Лапин А.В., Харченко А.Г.** Изучение вещественного состава и закономерностей распределения редких элементов в главнейших типах рудных пород массива Себлявр. М., ИМГРЭ, 1976.
136. **Лапин А.В., Хвостова В.А. и др.** Редкие элементы в апатит-магнетитовых рудах и карбонатитах массива Vuoriaarvi (участок Тухта-вара). М., ИМГРЭ, 1978, 216 с.
137. **Латонин С.С.** Отчёт о результатах геофизической и геохимической подготовки площади для последующей геологической съёмки м-ба 1:50 000 в зоне Ковдор-Сокли (Ковдорский объект) в 1984–1988 гг. Мончегорск, 1988.
138. **Лепский Л.С., Кулачков Л.В.** Изучение вещественного состава и генезиса штаффели-товых руд Ковдорского и других массивов с целью определения перспектив дальнейших поисков фосфатного сырья. Л., ТКЭ, 1975.

139. **Лесохин С.Б., Афанасьева Н.В., Кобрин Б.И.** Отчёт о результатах предварительной разведки на Ковдорском м-нии апатит-штаффелитовых руд с оперативным подсчётом запасов по состоянию на 01. 01. 1976. Ковдор, 1976, т. I, 276 с.
140. **Мамонтов В.П.** Отчёт о результатах поисковых работ на комплексные апатитовые руды на массивах Хабозёрской группы (Озёрная варака, Салмагора) в 1989–1996 гг. Апатиты, 1997.
141. **Нефёдов Е.В., Попова В.А. и др.** Отчёт о поисково-съёмочных работах на редкие металлы, слюды и другие полезные ископаемые в южной части Кандалакшского р-на Мурман. обл. в 1958 г. Петрозаводск, 1958.
142. **Нечаев С.А., Сулимов Б.И. и др.** Отчёт о проведении поисковых работ на глубоких горизонтах Ковдорского апатит-магнетитового м-ния в 1979–1981 гг. (скв. I–стр). Ковдор, 1981.
143. **Нечаев С.А., Сулимов Б.И. и др.** Отчёт о результатах структурно-поискового бурения на глубоких горизонтах Ковдорского апатит-магнетитового м-ния в 1981–1984 гг. (скв. 2–стр). Ковдор, 1984.
144. **Нечаев С.А., Сулимов Б.И.** Отчёт о проведении структурно-поискового бурения на глубоких горизонтах Ковдорского апатит-магнетитового м-ния в 1982–1984 гг. Ковдор.
145. **Огородников А.С.** Отчёт о доразведке Хабозёрского м-ния оливинитов как сырья для огнеупорной промышленности в Кировском р-не Мурман. обл. в 1955 г. Л., СЗГУ, 1957, т. I, 252 с.
146. **Паньшин И.П., Королёв А.М.** Отчёт о результатах поисково-ревизионных работ на Вуориярвинском массиве ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов за 1966–1968 гг. Апатиты, 1973.
147. **Плиев В.Н., Сараханов М.К.** Отчёт о результатах геолого-поисковых работ на вермикулит-флогопитовые слюды, проведённых на Вуориярвинском массиве ультраосновных, щелочных и карбонатных пород в Кандалакшском р-не Мурман. обл. в 1962–1964 гг. Л., СЗГУ, 1965, 314 с.
148. **Подкопаев Ю.А., Шляхова Х.Т.** Отчёт о результатах поисковых работ по изучению апатитоносности Себляврского массива ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов за 1973–1977 гг. Мончегорск, 1977.
149. **Подкопаев Ю.А., Карпатенков В.Н., Сергеенко А.С. и др.** Отчёт о результатах поисковых работ на комплексные апатитовые руды в пределах Себляврского массива ультраосновных, щелочных пород и карбонатитов за 1977–1979 гг. Мончегорск, 1980, т. I, 186 с.
150. **Попова В.А., Нефёдов Е.В. и др.** Отчёт о геолого-поисковых работах м-ба 1:10 000 на редкие земли и редкие металлы, проведённых в Кандалакшском р-не Мурман. обл. в пределах Южно-Кольской зоны интрузий Центрального типа (Восточно-Намаварский участок). Петрозаводск, 1960.
151. **Римская-Корсакова О.М. и др.** Отчёт о минералогических исследованиях, проведённых на Ковдорском массиве ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов в 1965–1966 гг. Л., ЛГУ, 1966.
152. **Римская-Корсакова О.М., Кочурова М.Л., Быкова Э.Л.** Отчёт о минералогических исследованиях, проводившихся на Ковдорском железорудном м-нии в 1967–1969 гг. Л., ЛГУ, 1969.
153. **Римская-Корсакова О.М., Быкова Э.Л., Копылова Л.Н.** Минералогические исследования объектов геолого-поисковых и разведочных работ, проводимых на Ковдорском массиве ультраосновных-щелочных пород. Л., ЛГУ, 1973.
154. **Серба Б.И., Бойда Ш.А., Бам Г.Б.** Отчёт о геолого-поисковых работах м-ба 1:10 000 на Салланлатвинском массиве щелочных пород и карбонатитов в Кандалакшском р-не Мурман. обл., проведённых в 1958 г. Петрозаводск, 1959, т. I, 192 с.
155. **Серба Б.И.** Отчёт о поисково-разведочных работах, проведённых на Салланлатвинском массиве в Кандалакшском р-не Мурман. обл. в 1960 г. Петрозаводск, 1962, т. I, 378 с; т. II–V, V^a.
156. **Солопов Ю.А., Евангулова Е.Б.** Разработка геолого-промышленной классификации типов руд на Вуориярвинском и Себляврском массивах. Л., ЛГИ, 1976.
157. **Старилов Г.В., Мельников Е.К.** Отчёт о результатах аэрогеофизических работ, проведённых партией № 6 в 1970 г. Л., Невская эксп., 1971.
158. **Суботин В.В., Субботина Г.Ф.** Структурные условия локализации оруденения на Ковдорском м-нии железных руд и в Себляврском массиве ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов. Апатиты, ГИ КФАН СССР, 1975.
159. **Сулимов Б.И., Мартынова К.П.** Отчёт с оперативным подсчётом запасов по доразведке СЗ-участка Ковдорского м-ния вермикулита, проведённой в 1964–1966 гг. Ковдор, 1965.
160. **Сулимов Б.И., Афанасьев Б.В. и др.** Отчёт с оперативным подсчётом запасов редкометальных руд Ковдорского железорудного м-ния по состоянию на 01. 08. 1968 г. Ковдор, 1968.

161. Сулимов Б.И., Мартынова К.П. Отчёт с пересчётом запасов по СВ-участку Ковдорского вермикулитового м-ния. Ковдор, 1969.
162. Сулимов Б.И., Афанасьев Б.В., Осипов С.С. и др. Отчёт о геологоразведочных работах, выполненных на Ковдорском м-нии железных руд за 1963–1971 гг. с подсчётом запасов по состоянию на 01. 02. 1971 г. Ковдор, 1971, т. I, 417 с.
163. Сулимов Б.И., Афанасьева Н.В., Лесохин С.Б. и др. Отчёт о геологоразведочных работах, выполненных на Ковдорском м-нии маложелезистых апатитовых, комплексных бадделеит-apatит-магнетитовых и редкометальных руд с подсчётом запасов по состоянию на 01. 01. 1975 г. Ковдор, 1975.
164. Сулимов Б.И., Лесохин С.Б. и др. Отчёт о геологоразведочных работах за 1970–1977 гг. на Ковдорском м-нии апатит-штаффелитовых руд. Ковдор, 1977. т. I, 252 с.
165. Сулимов Б.И. и др. Отчёт о результатах доразведки Ковдорского комплексного железорудного м-ния с переводом запасов из катег. С₁ в катег. В за 1978–82 гг. Ковдор, 1982.
166. Сулимов Б.И. и др. Отчёт о предварительной разведке апатит-карбонатных руд Ковдорского м-ния за 1976–1983 гг. с оперативным подсчётом запасов на 01. 01. 1983 г. Ковдор, 1983, т. I, 193 с.
167. Сулимов Б.И., Зиновьев Ю.А. и др. Отчёт о проведении в 1983–1986 гг. детальных поисков рудных тел-сателлитов в обрамлении Главной залежи Ковдорского апатит-магнетитового м-ния.. Ковдор, 1986.
168. Сулимов Б.И., Зиновьев Ю.А. и др. Результаты поисково-оценочных работ на глубокие горизонты Ковдорского апатит-магнетитового м-ния за 1984–1987 гг. Ковдор, 1987.
169. Терновой В.И., Сулимов Б.И., Афанасьев Б.В. и др. Отчёт о результатах детальной разведки Ковдорского м-ния флогопита в Кировском р-не Мурм. обл. Л., СЗГУ, 1964.
170. Терновой В.И., Афанасьев Б.В. Дмитриев Д.Н. и др. Программа комплексного геолого-геофизического изучения массивов щёлочно-ультраосновных пород и карбонатитов Карело-Кольского региона на 1972–1980 гг. Л., СЗГУ, 1972, 150 с.
171. Фишгойт А.Л., Сорокина И.М., Мейер В.А. и др. Отчёт о геофизических работах на Ковдорском массиве за 1963 г. Л., ЗГТ, 1963.
172. Черемныцын В.Г., Ерёмченко Г.К. Отчёт Ханнешинской партии о результатах поисково-оценочных работ за 1976 г. Департамент ГРР Министерства горных дел и промышленности ДРА. Кабул, 1976.
173. Черемных Г.В., Шахов А.З. Отчёт о результатах детальных геологоразведочных работ, проведённых на Ковдорском месторождении магнезиально-силикатного сырья с подсчётом запасов на 01. 01. 1996 г. ОАО «Ковдорслюда», Ковдор, 1996.
174. Чувардинский В.Г. и др. Отчёт о результатах поисков медно-никелевых руд и других полезных ископаемых в зоне Кандалакшского грабена в 1985–1988 гг. Мончегорск, 1989.
175. Шац Л.А., Сорокина И.М., Калинин М.М. Отчёт о результатах геофизических работ Ковдорской партии в районе г. Ковдора за 1966 г. Апатиты, 1967.
176. Эпштейн Е.М., Журавлёва Л.Н. Минералого-геохимические особенности танталоносных железных руд Ковдорского м-ния. М., ВИМС, 1968.
177. Эпштейн Е.М. и др. Закономерности размещения, минералого-геохимические особенности и оценка железо-фосфоро-редкометальных руд Ковдорского м-ния. М., ВИМС, 1970.
178. Эпштейн Е.М. и др. Отчёт по теме: «Изучить ниобиевые руды карбонатитовых комплексов». М., ВИМС, 1986.

Отчёты по технологии обогащения руд

179. Алейников Н.А. Испытание на обогатимость апатит-штаффелитовой руды Ковдорского м-ния. Апатиты, ГоИ КФАН СССР, 1974.
180. Алейников Н.А. Испытание на обогатимость апатит-штаффелитовой руды Ковдорского м-ния. Апатиты, ГоИ КФАН СССР, 1977.
181. Алейников Н.А. Обогащение карбонатно-apatито-силикатной руды м-ния Себлявр. Апатиты, ГоИ КФАН СССР, 1979.
182. Алексеев В.С. Изучение обогатимости апатит-карбонатных руд массива Себлявр и выявление возможностей получения апатитовых, магнетитовых концентратов и карбонатных продуктов. Апатиты, ГоИ КФАН СССР, 1976.

183. **Андреева А.И., Смирнов Ю.М., Смирнова Л.В.** Полупромышленные испытания обогащения апатит-штаффелитовых руд Ковдорского м-ния. ГоИ КФАН, ГИГХС, Механобр, 1977.
184. **Афанасьев Б.В., Михаэлис С.А.** Отчёт о проведённых в 1980–1984 гг. технологических исследованиях массивов Вуориярви (учаски Тухта-вара и Неске-вара) и Салланлатва. Апатиты, 1984.
185. **Богданович В.В., Поганкина Т.Н.** Отчёт по теме: «Определение возможности выделения компонентов методами магнитного обогащения из рудного оливинита Ковдорского массива». Ковдор, Ковдорский ГОК, 1970.
186. **Барсукова Н.С. и др.** Минералого-технологическое изучение концентрата радиометрической сепарации из редкометалльных руд месторождения Вуориярви. М., Гиредмет, 1980, 107 с.
187. **Барсукова Н.С.** Технологическая минералогия комплексных редкометалльных руд (Ковдор и Вуориярви). Диссертация. М., Гиредмет, 1983.
188. **Барсукова Н.С. и др.** Отчёт о НИР: «Изучение вещественного состава и возможности доводки черного гравитационного концентрата из редкометалльных карбонатитов массива Салланлатва». М., Гиредмет, 1988, 95 с.
189. **Барсукова Н.С., Акоева Е.К. и др.** Отчёт по теме: «Минералого-технологическая оценка концентрата радиометрической сепарации из кальцитовых карбонатитов нового участка м-ния (Неске-вара)». М., Гиредмет, 1989, 99 с.
190. **Вдовиченко Н.И.** Отчёт: «Разработать новые процессы обогащения бедных и труднообогатимых руд с целью получения дополнительного сырья для химической переработки (apatит-карбонатные руды Ковдора и Тухта-вары)». Люберцы, ГИГХС, 1977.
191. **Вершинин В.А., Афанасьев Б.В.** Металлургическая оценка магнетитового концентрата из оливинитовых руд Ковдорского м-ния с целью разработки схемы его передела. Свердловск, Ин-т металлургии УНЦ АН СССР, 1974, 32 с.
192. **Вершинин В.А.** Изучение возможности получения ферроникеля из магнетитового концентрата массива Лесная варака. Свердловск, Ин-т металлургии УНЦ АН СССР, 1978, 62 с.
193. **Вировлянский Г.М. и др.** Геолого-технологическое изучение апатитсодержащих карбонатитов Ковдорского м-ния. Люберцы, ГИГХС, 1979.
194. **Галабурда В.К., Григораш М.М.** К вопросу использования барит-сидеритового утяжелителя, полученного из руд м-ния Кольского п-ова, для утяжеления буровых растворов, использующихся при бурении глубоких скважин на площадях треста «Арктикморнефтегазразведка». Мурманск, АМНГР, 1983, 7 с.
195. **Гусев С.С. и др.** Изучение радиометрической обогатимости урансодержащих редкометалльных руд м-ния Тухта-вара. М., ВИМС, 1979.
196. **Гусев С.С. и др.** Прогнозная оценка радиометрической обогатимости редкометалльных руд м-ния Неске-вара. М., ВИМС, 1980.
197. **Гусев С.С.** Результаты исследований радиометрической обогатимости редкометалльных руд массива Вуориярви. М., ВИМС, 1986.
198. **Гусев С.С.** Информация о результатах поисковых исследований радиометрической обогатимости редкометалльных руд массивов Себлявр и Салланлатва. М., ВИМС, 1988.
199. **Гусев С.С., Донченко В.А., Муленко В.Н.** Технологические исследования редкометалльных руд массива Вуориярви за 1988–1989 гг. (покусковая сепарация, глубокое обогащение, гидрометаллургический передел). М., ВИМС, 1989. кн. 1 – 89 с., кн. 2 – 92 с.
200. **Гусев С.С., Донченко В.А., Муленко В.Н.** Технологические исследования редкометалльных руд массива Себлявр. М., ВИМС, 1989.
201. **Жаворонок В.И.** Отчёт: «Разработать технологию обогащения апатит-карбонатных руд Ковдорского м-ния и выдать данные для ТЭО». Люберцы, ГИГХС, 1978.
202. **Зиновьев Ю.З. и др.** Разработка технологии обогащения комплексных редкометалльных магнетит-apatит-карбонатных руд м-ния Тухта-вара. Апатиты, ГоИ КФАН СССР, 1982.
203. **Зиновьев Ю.З. и др.** Отчёт по НИР: «Разработка рациональной технологии комплексного обогащения и химико-металлургической переработки руд м-ния Тухта-вара». Апатиты, ГоИ и ИХТРЭМС КФАН СССР, 1982.
204. **Зиновьев Ю.З., Филимонова Н.М.** Исследования обогатимости коры выветривания м-ния Себлявр. Апатиты, ГоИ КФАН СССР, 1983.

205. **Зиновьев Ю.З.** Отчёт о НИР: «Разработка рациональной технологии комплексного обогащения руд глубоких горизонтов Ковдорского м-ния». Апатиты, ГоИ КФАН СССР, 1986.
206. **Краснова Н.И.** Установление баланса распределения окиси магния в апатитовом концентрате Ковдорского ГОК'а. Л., ЛГУ, 1976.
207. **Мокроусов В.А., Казьмин В.А. и др.** Полупромышленные испытания по переработке гатчеттолитового концентрата Ковдора по серноокислотной технологии. М., ВИМС; г. Силламяэ, п/я А-7988 и Р-6685, 1970.
208. **Найфонов Т.Б.** Разработка комбинированных технологических схем комплексного обогащения титаномагнетитовых руд перспективных м-ний Кольского п-ова. Апатиты, ГоИ КФАН СССР, 1975.
209. **Никитин Е.Н., Мокроусов В.А. и др.** Отчёт о предварительном изучении обогатимости гатчеттолитовых руд Ковдорского м-ния радиометрическим способом. М., ВИМС, 1967.
210. **ОМЭ СЗПГО.** Отчёт: «Изучение обогатимости 100 малообъёмных технологических проб бадделеит-апатит-магнетитовой руды Ковдорского м-ния». Л., 1986.
211. **Пастухов А.И.** Поиск технологических путей комплексного использования магнетитовых концентратов м-ний Ковдор и Vuориярви и перовскитовых концентратов Африканды. Свердловск, УралНИИЧМ, 1981.
212. **Пастухов А.И.** Комплексное использование природнолегированных руд чёрных металлов Кольского п-ова (Ковдор, Vuориярви, Африканда). Свердловск, УралНИИЧМ, 1981.
213. **Петров В.В.** Разработка технологии передела черного редкометалльного концентрата, полученного при обогащении руд м-ния Салланлатва. Апатиты, ИХТРЭМС КФАН СССР, 1987.
214. **Пурьский Э.Д.** Полупромышленные испытания технологии комплексного обогащения руды м-ния Лесная варака с получением опытных партий титаномагнетитового и оливинового концентратов. Апатиты, ГоИ КФАН СССР, 1977, 39 с.
215. **Смирнов Ю.М.** Вещественный состав и обогатимость двух проб апатит-франколитовых (штаффелитовых) руд Ковдорского массива. Люберцы, ГИГХС, 1973.
216. **Смирнова Л.В.** Разработка технологии обогащения вермикулит-апатит-штаффелитовых руд Ковдорского м-ния. Л., Механобр, 1973.
217. **Смирнова Л.В.** Исследование обогатимости руд массива Себлявр. Л., Механобр, 1976.
218. **Солопов Ю.А., Терновой В.И.** Изучение химико-технологических свойств комплексных титаномагнетитовых руд и оливинитов массива Лесная варака. Л., ЛГИ, 1976, 49 с.
219. **Сорокина Т.П.** Исследования обогатимости руд массива Vuориярви. Л., Механобр, 1976.
220. **Сорокина Т.П.** Разработка технологии обогащения апатит-форстерит-магнетитовых руд и карбонатитов м-ния Тухта-вара. Л., Механобр, 1978.
221. **Тасина Т.И.** Предварительная оценка обогатимости пробы руды барит-сидеритовых карбонатитов массива Салланлатва. Л., Механобр, 1981.
222. **Тасина Т.И.** Исследования по обогащению двух типов баритсодержащих руд массива Салланлатва. Л., Механобр, 1983.
223. **Тихонов С. А., Попова Р.М., Ерёмченко Г.К.** Разработка технологии обогащения апатитовых руд м-ний Себлявр и Тухта-вара и изучение вещественного состава исходных руд и продуктов обогащения. Симферополь, ИМР, 1984.
224. **Тихонов С.А., Шпынёва А.Г.** Отчёт по теме: «Разработать технологию обогащения апатит-силикатных руд месторождения Себлявр». Симферополь, ИМР, 1989, 250 с.
225. **Усачёв П.А., Макаров В.Н.** Получение никельсодержащих железных концентратов из магнетитовых оливинитов Ковдорского м-ния. Апатиты, ГоИ КФАН СССР, 1971, 20 с.
226. **Усачёв П.А.** Исследования на обогатимость двух проб титаномагнетитовых оливинитов массива Лесная варака. Апатиты, ГоИ КФАН СССР, 1975.
227. **Чистов Л.Б. и др.** Изучение вещественного состава и обогатимости редкометалльных железных руд Ковдорского м-ния. М., Гиредмет, 1968.
228. **Чистов Л.Б. и др.** Изучение вещественного состава и обогатимости редкометалльных руд м-ния Тухта-вара. М., Гиредмет, 1977.
229. **Чистов Л.Б. и др.** Разработка технологии доводки черновых редкометалльных концентратов из руд м-ния Vuориярви. М., Гиредмет, 1982, 59 с.

230. **Чистов Л.Б., Зубынин Ю.Л.** Изучение вещественного состава и обогатимости продуктов радиометрической сепарации руд м-ния Неске-вара. М., Гиредмет, 1984, 118 с.
231. **Чистов Л.Б., Барсукова Н.С., Акоева Е.К. и др.** Изучение вещественного состава и обогатимости богатых ниобиевых руд участка Неске-вара Вуориярвинского м-ния. М., Гиредмет, 1986.
232. **Шахматова И.Ю.** Испытание обогащения апатит-карбонатно-силикатных руд Себляврского м-ния с получением магнетитовых, апатитовых и флогопитовых концентратов. Апатиты, ГоИ КФАН СССР, 1981.

ТЭС, ТЭО

233. **Афанасьев Б.В.** Отчёт о разработке ТЭО временных кондиций с целью переоценки ранее разведанного м-ния Себлявр. Апатиты, 1990, 77 с.
234. **Башмакова Е.П.** Экономическая оценка месторождений Тухта-вара и Неске-вара по результатам предварительной разведки и поисковых работ 1974–1978 гг. и дополнительных геологоразведочных работ 1980–1984 гг. Апатиты, ИЭП КФАН СССР, 1984.
235. **Башмакова Е.П.** ТЭС целесообразности проведения предварительной разведки комплексных баритовых и редкометалльных руд м-ния Салланлатва. Апатиты, ИЭП КФАН СССР, 1987, 44 с.
236. **Гипроруда, Механобр, Гиредмет, Гипроникель.** ТЭО очередности освоения и разведки месторождений апатитовых руд Кольского п-ова. Этап 6. ТЭО целесообразности детальной разведки м-ния Себлявр (корректировка). Л., М., 1990.
237. **Гипроруда, Механобр, Гиредмет.** ТЭО очередности освоения и разведки месторождений апатитовых руд Кольского п-ова. Этап 8. ТЭО целесообразности детальной разведки м-ния Тухта-вара (корректировка). Л., М., 1990.
238. **Гиредмет.** ТЭО временных кондиций на богатые ниобиевые руды участка Неске-вара. М., 1985.
239. **Зильберт И.Л. и др.** ТЭД о детальной разведке Тухта-варинского м-ния и предварительной разведке участка Неске-вара. Л., Гипроруда, 1979.
240. **Кумачёв К.А. и др.** ТЭО временных кондиций м-ния Себлявр (Центральная зона). Л., Гипроруда, 1984.
241. **Молчанова В.Н. и др.** ТЭС целесообразности предварительной разведки м-ний Неске-вара и Салланлатва. Апатиты, ИЭП КФАН СССР, 1989.

Афанасьев Б.В.

Минеральные ресурсы щёлочно-ультраосновных массивов
Кольского полуострова

Книга печатается по решению НТС Управления по недропользованию
по Мурманской области (Мурманскнедра).

Издание осуществлено при поддержке ОАО «Центрально-Кольская экспедиция»

Тираж 400 экз. Заказ № 25

Отпечатано в издательско-полиграфической фирме «Роза ветров»

Тел.: +7 (921) 313-99-73, e-mail: sofia@nikaprint.com