

МИНИСТЕРСТВО ГЕОЛОГИИ РСФСР
ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
„СЕВЗАПГЕОЛОГИЯ“
Тематическая комплексная экспедиция

ПОИСКИ, РАЗВЕДКА
И ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННАЯ
ОЦЕНКА
АПАТИТОВЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
ХИБИНСКОГО ТИПА

(Методические основы)



Ленинград
„Недра“
Ленинградское отделение
1987

Поиски, разведка и геолого-промышленная оценка апатитовых месторождений хибинского типа (Методические основы).— Л.: Недра, 1987.— 188 с. (М-во геологии РСФСР. ПГО «Севзапгеология». Темат. комплекс. экспедиция).

Обобщен опыт поисковых и разведочных работ на апатитовых месторождениях Хибинского массива, а также тематических геологических исследований 1970—1985 гг. Изложено специфика методических приемов ведения поисково-разведочных работ и геолого-промышленной оценки. Рассматриваются экономические аспекты геолого-промышленной оценки с позиций внутриотраслевой и народнохозяйственной эффективности, рациональные методы подсчета запасов комплексных руд с применением ЭВМ.

Для геологов, специализирующихся в изучении, прогнозировании, поисках и разведке фосфатного сырья.

Табл. 65, ил. 65, список лит. 46 назв.

Работа подготовлена
канд. геол.-минер. наук **Е. А. Каменевым**

Научный редактор канд. геол.-минер. наук В. В. Проскуряков.

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Поиски, разведка и геолого-промышленная оценка апатитовых месторождений хибинского типа

Редактор издательства *Л. А. Рейхерт*
Обложка художника *В. М. Иванова*
Технический редактор *С. М. Архипова*
Корректоры *И. Б. Богданова, О. Г. Попова*
Н/К

Слано в набор 27.04.87. Подписано в печать 27.11.87. М-21239.
Формат 70×108^{1/16}. Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная.
Печать высокая. Усл. печ. л. 16,45. Усл. кр.-отт. 16,98. Уч.-изд. л. 16,5.
Тираж 500 экз. Заказ 218/1437. Цена 80 коп. Заказное.

Ордена «Знак Почета» издательство «Недра»,
Ленинградское отделение. 193171, Ленинград, С-171,
ул. Фарфоровская, 18.
Ленинградская картографическая фабрика ВСЕГЕИ.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Расширение минерально-сырьевых баз действующих горнодобывающих предприятий, повышение эффективности и качества подготовки к освоению разведанных запасов полезных ископаемых определены XXVII съездом КПСС в числе узловых направлений развития народного хозяйства и выполнения Продовольственной программы СССР.

Хибинские месторождения апатито-нефелиновых руд на протяжении одиннадцати пятилеток занимают ведущее место в сырьевой базе отечественной фосфатной промышленности. Составляя в балансе фосфатов (апатиты и фосфориты) 30 %, апатито-нефелиновые руды обеспечивают 60 % выпускаемых в стране фосфорных удобрений. Анализ состояния и перспектив развития фосфатной промышленности показывает, что приоритетное положение хибинских месторождений как важнейшего сырьевого источника сохранится в будущем, что объясняется благоприятным сочетанием многих факторов: весьма крупными масштабами месторождений апатито-нефелиновых руд и не до конца исчерпанными перспективами дальнейшего расширения запасов, высоким содержанием апатита, комплексным составом руд, состоящих на 85—90 % из полезных минералов, легко перерабатываемых в высококачественные концентраты флотационными и магнитно-флотационными методами. Эти обстоятельства обеспечивают организацию и поддержание на высоком уровне эффективной добычи и обогащения апатито-нефелиновых руд, масштабы которых непрерывно увеличиваются, удваиваясь в среднем через каждые 10—15 лет. Всего за период с начала освоения хибинских месторождений (1930—1987) из недр извлечено 1 млрд. т руды (155 млн. т пятиоксида фосфора), выработано 450 млн. т минеральных концентратов, в основном апатитового, причем половина этой продукции получена за последнее десятилетие.

Апатито-нефелиновые руды как устойчивая минеральная ассоциация апатита, нефелина, сфена, титаномagnetита и эгирина и как комплексное полезное ископаемое представляют собой уникальное природное образование, обнаруженное только в Хибинском щелочном массиве. Залежи апатито-нефелиновых руд в кольцевых структурах центрального типа характеризуются широким морфоструктурным разнообразием: они образуют пластовые рудные тела среди расслоенных комплексов («стратиформный» подтип) или многоярусные рудные зоны сложной морфологии (подтип «последовательных инъекций»). Наблюдаемые взаимоотношения апатито-нефелиновых руд с вмещающими породами вызывают у исследователей неоднозначную интерпретацию в отношении как определения их относительного возраста, так и объяснения механизма рудообразования, структурных условий локализации апатитовых залежей.

Вместе с тем от правильного решения этих вопросов зависит эффективность практических рекомендаций по прогнозированию и поискам новых залежей апатито-нефелиновых руд, достоверность и обоснованность геолого-промышленной оценки известных месторождений.

Последнее обстоятельство предопределяет общность целей научных исследований и геологоразведочной практики.

В книге обобщен многолетний коллективный опыт проведения общих, детальных поисков, поисково-оценочных работ разного масштаба на апатито-нефелиновые руды, предварительной и детальной разведки, а также коренной комплексной переоценки эксплуатируемых месторождений. Уникальность хибинских месторождений, не имеющих аналогов среди известных геологических образований, специфичность вещественного состава руд и геолого-структурных условий размещения оруденения — эти особенности изучаемых объектов существенно ограничивали возможность применения традиционных методов поисков и разведки, разработанных для других видов минерального сырья, вызвали необходимость освоения новых методических приемов на всех стадиях геологического изучения.

Открытие крупнейших апатитовых месторождений в юго-западной части Хибинского массива в 1923—1926 гг. Северной научно-промышленной экспедицией Академии наук под руководством акад. А. Е. Ферсмана и А. Н. Лабунцова в методическом отношении не было следствием планомерных поисков, проводимых по стадиям или основанных на установленных поисковых критериях. Тем не менее это открытие нельзя считать случайным, ибо оно явилось закономерным результатом выполнения программы научно-исследовательских работ по выявлению производительных сил страны в первые годы Советской власти. В последующие годы поисковые работы в Хибинском массиве приобрели методическую направленность, стали проводиться с учетом выявленных факторов магматического и структурного контроля оруденения и привели к открытию в 1958—1975 гг. не выходящих на поверхность месторождений Партомчорр, Коашва, Эвслогчорр и Олений Ручей.

«Промышленная разведка» в ранний период (М. П. Фивег, Л. Б. Антонов, Г. С. Пронченко, С. А. Ступаков и др., 1930—1941 гг.) проводилась с соблюдением принципов наименьших затрат времени и средств на подготовку запасов для текущей добычи, но в ущерб другим требованиям по полноте, комплексности и последовательности выполнения геологоразведочных работ по стадиям. Уже в начальный период изучения хибинских месторождений были заложены методические основы по выбору рациональной системы разведки, приемов опробования, способов подсчета запасов. Эти методические разработки, получившие дальнейшее развитие в процессе проведения детальных разведок на освоенных и новых месторождениях хибинской группы, изложены в многочисленных производственных отчетах, но не обобщены в опубликованной литературе.

Учитывая положительный опыт геологического изучения, поисков, разведки и геолого-промышленной оценки хибинских апатито-нефелиновых месторождений, ГКЗ СССР рекомендовала Мингео РСФСР распространить его на подготовку к освоению других отечественных месторождений фосфатного сырья. Предлагаемая работа представляет попытку такого обобщения. В ней приводится обзор развития геологических знаний по геологии, структуре апатитовых месторождений хибинской группы, вещественному составу и обогатимости руд, ранее применявшихся и современных способов их изучения на разных стадиях поисков и разведки. Сообщаются новые данные о структурах рудных полей и отдельных месторождений, впервые излагаются принципы классификации апатито-нефелиновых месторождений. В основу структурно-морфологической классификации положены геолого-структурные критерии: приуроченность к определенным рудоконтролирующим структурам, многоярусность оруденения, характер связей с окружающими породами, степень сложности геологического строения. Геолого-промышленная классификация основана на различии всех извест-

ных месторождений хибинской группы по масштабам запасов, качеству руд и степени их подготовленности для комплексного промышленного освоения. В ней учтены те объективные изменения в народнохозяйственной оценке месторождений, которые неизбежно возникают в результате погашения запасов при добыче и движения при разведке или вследствие пересмотра кондиций.

В работе с возможной полнотой рассматриваются методические вопросы по выбору рациональных способов подсчета запасов в зависимости от особенностей геологического строения апатитовых залежей и применявшейся системы их разведки, особое внимание уделяется описанию автоматизированных методов подготовки исходных материалов и их обработки при подсчете запасов с использованием ЭВМ, апробированных ГКЗ СССР.

Отдельная глава посвящена разработке геолого-методической основы коренной переоценки эксплуатируемых месторождений, разведанных в ранние периоды их освоения без учета требований, предъявляемых к изучению комплексных руд. Для восполнения данных по качественной характеристике многокомпонентных руд, отсутствующих в материалах тех периодов, автором предложена методика оценки содержания минералов и попутных полезных компонентов, основанная на использовании выявленных корреляционных связей между ними и главными компонентами руд — фосфором и алюминием. Применение этой принципиально новой методики после ее опытной проверки и апробации экспертно-техническим советом ГКЗ СССР позволило с высокой эффективностью в сжатые сроки осуществить подсчет запасов основных и сопутствующих элементов апатито-нефелиновых руд без проведения дополнительного разведочного бурения.

В книге рассматриваются экономические вопросы разведки и геолого-промышленной оценки апатитовых месторождений с позиций внутриотраслевой и народнохозяйственной эффективности.

В решении задач, связанных с прогнозированием, поисками, разведкой и переоценкой хибинских месторождений, активно участвовали сотрудники ряда производственных и научно-исследовательских организаций Мингео СССР, Минудобрений и АН СССР, в частности Геологического, Горного и Института химии и технологии редких элементов и минерального сырья, Отдела экономических исследований Кольского филиала АН СССР. Ими подготовлены разделы по геолого-технологическому картированию месторождений (канд. техн. наук Е. Е. Каменева), технологии переработки минеральных концентратов на конечные продукты (канд. хим. наук Д. Л. Мотов), геолого-экономической оценке месторождений (канд. техн. наук Н. Г. Пешев и Е. П. Башмакова).

РАЗВИТИЕ ЗНАНИЙ ПО ГЕОЛОГИИ
ХИБИНСКОГО МАССИВА

Хибинский массив щелочных пород (щелочных и нефелиновых сиенитов, ийолит-уртитов, апатито-нефелиновых руд) и карбонатитов на протяжении 150 лет является объектом пристального геологического изучения. Неослабевающий интерес геологов различных специальностей (петрологов, минералогов, геохимиков, геологоразведчиков) вызван рядом причин, выдвигающих Хибинский массив в число уникальных геологических явлений: он относится к крупнейшим среди известных в мире щелочных массивов; большинством геологов рассматривается в качестве классического примера сложных многофазных интрузий центрального типа; в породах массива выявлено более 200 минералов всех классов (в том числе несколько десятков новых видов); наконец, с Хибинским массивом связан ряд весьма крупных месторождений высококачественных апатитовых руд, имеющих ведущее значение в масштабах запасов и добычи фосфатного сырья.

Проблемам геологии, минералогии, геохимии, генезиса и металлогении Хибинского массива посвящена обширная литература, включающая около 50 монографий и свыше тысячи статей. Обобщающие сведения по геологии массива, отражающие различный уровень накопленных знаний, опубликованы в разные годы В. Рамзаем и В. Гакманом [1894], А. Е. Ферсманом с соавторами [1925, 1928], Б. М. Куплетским [1937], Н. А. Елисеевым с соавторами [1939], С. И. Заком, Е. А. Каменевым, Ф. В. Минаковым [1972], А. В. Галаховым [1975]. Результаты научно-исследовательских и геологоразведочных работ на апатитовых месторождениях отражены в работах Н. А. Елисеева [1937], Т. Н. Ивановой [1963, 1970], Ф. М. Онохина [1975], Е. А. Каменева [1975, 1982], а также в сборнике «Хибинские апатитовые месторождения» [1965].

Минералогическое направление, всегда занимавшее видное место в структуре исследований, нашло отражение в сборниках «Хибинские апатиты» [1930—1934], «Материалы по минералогии Кольского полуострова» [1953—1974], а также в обобщающих монографиях «Минералы Хибинских и Ловозерских тундр» [1937], «Минералогия апатитовых месторождений Хибинских тундр» [1964] и «Минералогия Хибинского массива» [1978]. Обстоятельные исследования по геохимии выполнены А. Е. Ферсманом, В. И. Герасимовским, О. Б. Дудкиным, Л. Н. Когарко, Д. А. Минеевым, Б. Н. Мелентьевым, С. М. Кравченко, А. Ю. Беляковым и другими. Некоторые аспекты тектоники и структуры массива в целом, отдельных интрузивных комплексов и в особенности ийолит-уртитов и апатитовых месторождений рассматривались в работах Н. А. Елисеева, А. В. Пэка, С. И. Зака, Г. М. Вировлянского, Ф. М. Онохина, М. М. Калинин и Е. А. Каменева. Новые данные по геохимии и генезису природных углеводородов в породах и минералах Хибинского массива и месторождений получены И. А. Петерсилье, В. А. Припачкиным и С. В. Икорским.

В связи с интенсификацией поисков апатитовых залежей широкий размах приобрели исследования по обоснованию прогнозных и поисковых критериев, вытекающих из различных представлений об условиях

образования и закономерностях размещения рудных тел в структуре массива (А. А. Арзамасцев, Г. М. Вировлянский, О. Б. Дудкин, Т. Н. Иванова, М. М. Калинин, Е. А. Каменев, Ф. В. Минаков, Ф. М. Онохин, И. И. Перекрест, Н. И. Пронягин, О. Л. Сняtkова и другие). Анализ «работоспособности» выдвигаемых критериев, основанный на их практической проверке, приводится в гл. 4. В коллективном труде «Геология месторождений апатита, методика их прогнозирования и поисков» [под редакцией А. С. Зверева и Р. М. Файзуллина, 1980] сконцентрирован многолетний опыт прогнозно-металлогенетических и поисковых исследований апатитоносных формаций, в том числе магматической формации, к которой относятся апатитовые руды Хибинского массива. В 1985 г. тем же авторским коллективом (под редакцией А. С. Филько, Р. М. Файзуллина и М. А. Свирского) завершена работа над научно-практическим руководством «Геолого-промышленная оценка месторождений апатита» на стадии предварительной и детальной разведки.

Вовлечение в сферу изучения и промышленного освоения относительно бедных по содержанию апатита руд вызвало необходимость резкого усиления комплексных исследований по технологии их обогащения с целью изыскания наиболее рациональных способов разделения на минеральные концентраты (Г. А. Голованов, Н. Н. Бойко, П. А. Усачев, В. Н. Лыгач и другие) с последующей переработкой на конечные продукты (Д. Л. Мотов, С. Д. Моисеев, В. А. Маслобоев и другие). Экономические вопросы эффективного использования апатитовых руд, планирования и прогнозирования их добычи и комплексной переработки рассматриваются в работах Н. Г. Пешева, Е. П. Башмаковой (Отдел экономических исследований Кольского филиала АН СССР).

Из сжатого и неполного перечня выполненных исследований следует вывод о весьма высокой геологической изученности Хибинского массива и апатитовых месторождений. Однако это не означает, что к настоящему времени создана общеприемлемая система взглядов по узловым вопросам формирования массива в целом и апатитоносной ийолит-уртитовой интрузии в особенности, т. е. по тем вопросам, которые определяют эффективность прогнозирования и поисков новых апатитовых залежей. Наоборот, по мере накопления новой геологической информации на смену оправдавшим себя на практике выводам о тесной пространственно-генетической связи апатитового оруденения с уртитам рудной субфазы, выдвигаются новые идеи, отрицающие выявленные закономерности или отводящие им случайный характер. Наряду с гипотезой о магматической природе Хибинского массива и апатитовых залежей обсуждаются концепции о ведущей роли в формировании щелочных пород и апатитовых руд метасоматических преобразований магматических пород и даже осадочных толщ (известняков, фосфоритов).

В опубликованной и фондовой литературе геологическое строение, структура и история геологического развития Хибинского массива освещены с разных позиций, отражающих авторский подход к этой сложной проблеме.

Реконструкция генетических схем становления Хибинского массива рассматривается в работах В. Рамзая, Б. М. Куплетского [24, 27], Н. А. Елисева [14], С. И. Зака с соавторами [45], А. В. Галахова [7], М. М. Калининна [19], Т. Н. Ивановой [16], Ф. М. Онохина [30], О. Л. Сняtkовой и других исследователей.

Самые ранние упоминания о Хибинах приводятся в статье капитана Корпуса горных инженеров Н. В. Широшкина. [Горн. журн., 1835, № 1]. Он установил, что роговообманковый сениит встречается «во многих местах и особенно близ озера Имандра в Лапландии, где он один составляет так называемые Хибинь-тундры, господ-

ствующие по высоте своей над всеми горами обследованного пространства» [с. 408]. По мнению Н. В. Широкина, «совершенное отсутствие органических тел и пород обломочных... заставляет почитать их первозданными» [с. 421].

Позже А. Ф. Миддендорф, посетивший Хибин при переходе из Колы в Кандалакшу (1840 г.), обнаружил аналогию между сиенитами Гренландии и Хибин, в составе которых определил содалит, арфведсонит и эвдиалит. Хибинские горы, по его наблюдению, простираются до берегов Белого моря.

В 1880 г. Н. В. Кудрявцев установил, что Хибинские горы «занимают своим плато громадное пространство. Они тянутся вдоль берега (озера Имандра.— Е. К.) на 30 верст, в глубину материка на 40. Будучи прорезаны массой логов, узких и глубоких долин, они развиты на массу отдельных, поднимающихся на различные высоты. По моему определению, наибольшая высота — абсолютная до 1,5 версты. Коренная порода, из которой сложены Хибин от вершины до подошвы, одинаковая — рогово-обманковый сиенит».

Французский петрограф Ш. Велен систематизировал коллекцию горных пород, собранную Ш. Рабо на Кольском полуострове в 1884—1885 гг. В составе нефелинового сиенита Хибин им определены минералы, перечисленные в порядке их выделения: магнетит, ильменит, апатит, сфен, гранат (?), левенит, авгит, амфибол, биотит, ортоклаз, альбит, содалит, нефелин, канкринит, белая слюда (?).

Результаты трехлетних комплексных геолого-географических экспедиций финских исследователей [геолог В. Рамзай, минералог В. Гакман, ботаник А. Кильман (Кайрамо), картограф А. Петрелиус, 1887—1892 гг. с перерывами] систематизированы в серии статей, опубликованных в 1890—1899 гг. Хибинский плутон площадью 1145 км² (по новейшим определениям 1327 км²) рассматривался как постархейский (вероятно, постдевонский) лакколит формирования нефелиновых сиенитов. На глазомерной геологической схеме, еще не отражавшей главной особенности структуры массива — кольцевого строения, показаны контуры распространения главных типов пород, среди которых впервые выделены эндоконтактовая фация щелочных сиенитов (умптекиты), хибиниты, фойяиты, ийолиты (последовательность формирования пород приведена в табл. 1).

Контакты Хибинского массива с окружающими гнейсами и гнейсо-гранитами (северное обрамление), с хлорит-амфиболовыми сланцами и метаэффузивами диабазовой формации (в остальных частях) повсеместно резкие, без импрегнации и без сплавления нефелиновых сиенитов с вмещающими породами. Вдоль северного контакта, погружающегося к центру массива, отмечена эруптивная брекчия.

В работах финских исследователей особое внимание отводилось геоморфологическому изучению и истории развития Хибин в до- и послеледниковое время.

Оценивая с современных позиций итоги экспедиции В. Рамзая, необходимо отметить, что исследования были выполнены комплексно с использованием новых, по тому времени, петрографических, минералогических и петрохимических методов, что позволило в общих чертах осветить геологическое строение массива, обосновать схе-

Таблица 1

Последовательность образования главных типов пород массива Умптек (Хибинского массива) по В. Рамзаю

Последовательность (от поздних к ранним)	Главные типы пород
Минерализованные трещины	Титанитовые (сфеновые) жилки Эвдиалито-эгириновые жилки Пегматиты
Жилы, секущие пластовую отдельность нефелиновых сиенитов Эндоморфные модификации нефелиновых сиенитов	Мончикиты, тингуаиты Тонкосланцевые нефелиновые сиениты Флюидально-волоконистые нефелиновые сиениты, умптекиты , аплитовые жилы
Прочие породы, залегающие совместно с главным типом в пластовых залежах или секущих жилах и составляющие значительную массу в объеме массива	Тералиты, ийолиты , уртиты Нефелин-сиенит-порфиры Фойяитовые нефелиновые сиениты Разнозернистые нефелиновые сиениты хибинского типа
Главные породы массива	Крупнозернистые нефелиновые сиениты (хибиниты), грубозернистые фойяиты Авгит-порфиры с роговиковой структурой
Породы более древние, чем нефелиновые сиениты	

Примечание. Подчеркнуты термины, впервые введенные В. Рамзаем для обозначения хибинских пород.

му последовательности образования пород (от нефелиновых сиенитов разного состава, ийолитов до мончикитов и тингуантов), осуществить петрологическое сопоставление хибинских нефелиновых сиенитов с аналогичными породами других регионов. Однако эти работы не привели к открытию промышленных концентраций апатита, который отмечался лишь как аксессуарный минерал нефелиновых сиенитов и как второстепенная примесь (до 2 %) в урритах, имевших на карте В. Рамзая весьма ограниченное распространение.

Современный период изучения Хибинского массива начался в 1920 г. научной экспедицией акад. А. Е. Ферсмана (Б. М. Куплетский, А. Н. Лабунцов, Э. М. Бонштедт, Е. Е. Костылева, Н. Н. Гуткова, В. И. Крыжановский). Эти исследования вскоре привели к обнаружению апатито-нефелиновых руд сначала в делювиальной осыпи (1921 г.), затем в элювии на плато Расвумчорра (1923 г.) и, наконец, к открытию коренных залежей на горах Расвумчорр, Юкспор и Кукисвумчорр (1926 г.). Эти открытия стимулировали развитие научно-исследовательских и геологоразведочных работ.

Б. М. Куплетский [24] объяснял механизм формирования Хибинского лакколита в результате заполнения магмой гигантского бассейна с последовательной кристаллизацией пород от периферических хибинитов до фойзитов центрального ядра. Позднее [27] он внес изменения в первоначальную схему. В окончательной редакции генетическая схема Б. М. Куплетского предусматривает происхождение нефелиновых сиенитов Хибинского массива и щелочных гранитов Кольского полуострова в процессе глубинной дифференциации родоначальной амагматической магмы, состав которой соответствовал двум порциям гранита и одной порции нефелинового сиенита, мас. %: кремнекислоты 66,8, окислов титана 0,6, алюминия 14,7, железа окисного 2,9, железа закисного 2,3, кальция 1,0, магния 0,4, калия 4,9, натрия 5,8. Активаторами дифференциации служили летучие компоненты, способствовавшие распаду полисиликатных молекул щелочей и миграции других окислов. Среди факторов, благоприятствующих эволюции исходной магмы, отмечается приуроченность Хибинского и Ловозерского массивов к единой тектонической зоне, пересекаемой меридиональными разломами, в которых расположены крупнейшие озера Кольского полуострова Имандра и Умбозеро.

По условиям залегания в гнейсо-сланцевой структуре докембрия Хибинский сложный плутон с крутыми падающими к центру северо-западным и юго-восточным контактами и субширотной симметрией отнесен к синклинальной многофазной интрузии (рис. 1).

В I период интрузии сформировались массивные и трахитоидные хибиниты и несколько позже фойзиты, между которыми наблюдаются интрузивные взаимоотношения. В результате взаимодействия щелочной магмы с вмещающими породами возникли роговообманковые безнефелиновые сиениты (умптекиты, лестивариты).

После продолжительного временного перерыва по системе кольцевых разломов между хибинитами и фойзитами в несколько импульсов внедрились разнообразные по составу эгириновые, роговообманковые, слюдяные нефелиновые сиениты с пойкилитовой структурой, объединенные под названием «рисчорриты» (II период). Типоморфная ассоциация минералов, содержащих титан, цирконий, калий, кальций и фтор в составе рисчорритов (ильменит, циркон, флюорит, биотит, пектолит, юкспорит, ринколит, ловчоррит, астрофиллит), свидетельствует об ассимиляции магмой боковых пород.

III период интрузивной деятельности начался с проникновения по кольцевым разломам между хибинитами и рисчорритами ийолит-уртитовой магмы и завершился отделением от нее фосфатного расплава. В разрезе интрузии плотные ийолит-мельтейгиты сменяются мезократовыми ийолитами и выше — лейкократовыми урритами, что является отражением гравитационной дифференциации щелочной магмы. В пневматолитовую фазу от исходной ийолит-уртитовой магмы отделился фосфатный флюидный расплав. Разнообразие природных типов руд объясняется ассимиляцией флюидом ранее консолидированных ийолитов (сетчатые, линзовидно-полосчатые руды) и урритов (полосчатые, пятнистые руды).

С учетом распространенности типов руд в разрезе апатитовой залежи (10 % от объема интрузии), урритов (40 %) и ийолитов (50 %) вычислен средний состав первичного ийолит-apatитового расплава, мас. %: кремнекислоты 41,9, окислов титана 2,4, алюминия 20,5, железа закисного 2,8, железа окисного 3,8, фосфора 2,15, магния 1,67, кальция 8,9, натрия 10,0, калия 4,4. На основе выполненных петрохимических расчетов сделан вывод о том, что «апатито-нефелиновые породы Хибинских тундр, несомненно, генетически связаны с ийолит-уртитовыми породами и образовались путем дифференциации ийолитовой магмы, в которой содержание P_2O_5 не превышает 2,15 %, а количество CaO 8,9 % не выходит за пределы обычного содержания извести в ийолитовых породах. Поэтому нет необходимости ... допускать поглощения щелочной магмой известняков и фосфоритов для объяснения генезиса апатито-нефелиновых пород Хибинских тундр» [27, с. 34].

В заключительный, IV период по системе трещин и радиальных разломов внедрились породы дайкового комплекса, представленные в возрастной последовательности: микрошонкинитами, тингуанитами, щелочными трахитами и щелочными базальтами, тералитами, мончикитами, оливиновыми якупирангитами, пикрит-порфиритами, рудными пироксенитами и молодыми пегматитовыми жилами.



Рис. 1. Геологическая схема Хибинского массива (по материалам В. Рамзая, дополненным Б. М. Куплетским [1924 г.]).

1 — хибинит; 2 — трахитоидный хибинит; 3—5 — мелкозернистые нефелиновые сиениты: эгириновый (3), роговообманковый (4) и слюдяной (5); 6 — умтекит; 7 — лестиварит; 8 — уртит и ийолит; 9 — имандрит; 10 — метаморфизованные изверженные породы; 11 — метаморфизованные осадочные породы; 12 — амфиболовые и хлоритовые сланцы; 13 — гнейсы; 14 — современные отложения.

Гипотеза Б. М. Куплетского, дополненная новым фактическим материалом, развивается в работах последователей — А. В. Галахова, М. М. Калинкина, О. Л. Сняtkовой.

В 1931—1935 гг. геологической съемкой Хибинского массива занимались А. С. Амеландов, Е. Н. Володин, Н. А. Волотовская, О. А. Воробьева, Е. И. Денисов, Е. Н. Егорова, Н. П. Лупанова, П. М. Мурзаев, В. И. Намуюшко, В. Н. Нумерова, И. С. Ожинский, К. К. Судиславлев (Ленинградский геологический трест, ЦНИГРИ, Институт Арктики и др.). Эти работы в организационном и методическом отношении не были скоординированы, что в дальнейшем вызвало необходимость взаимосвязки отдельных планшетов масштаба 1:25 000 в сводную геологическую карту, соответствующую масштабу 1:75 000 (Н. А. Елисеев, Е. Н. Володин, И. С. Ожинский), дополненную картами структурных элементов и полезных ископаемых. В результате обобщения материалов разрозненных геологических съемок, критического анализа выдвинутых недостаточно обоснованных гипотез, объясняющих механизм и последовательность формирования Хибинского массива, на основе применения новой для того времени методики структурного анализа интрузивных комплексов Н. А. Елисеевым с соавторами была разработана стройная геологическая модель становления Хибинского массива [14], принципиальные положения которой выдержали проверку временем.

Хибинский массив, по Н. А. Елисееву, относится к классу многофазных сложных интрузивов центрального типа, сформировавшихся в ходе семи этапов (фаз) внедрения эволюционирующей магмы по системе возобновляющихся от периферии к центру кольцевых и конических разломов (рис. 2).

К продуктам ранней фазы интрузии относятся щелочные сиениты, мелко- и среднезернистые нефелиновые сиениты и сиенит-порфиры, обрамляющие узкой прерывистой полосой внутренние области массива. Щелочные сиениты встречаются в виде жил и апофиз среди гнейсов, вызывая их фенитизацию, а нефелиновые сиениты слагают ксенолиты в хибинитах.

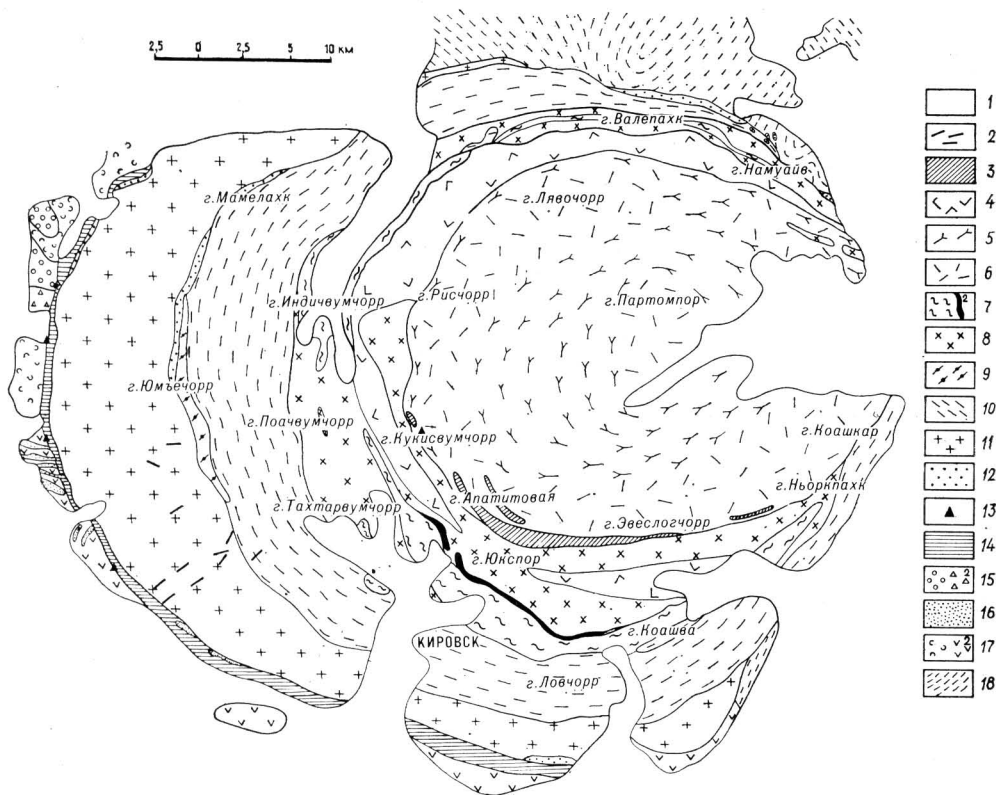


Рис. 2. Геологическая схема Хибинского массива (по Н. А. Елисееву и др. [14]).

1 — четвертичные отложения; 2 — молодые жильные породы; 3 — мелкозернистые слюдяно-эгириново-роговообманковые нефелиновые сиениты; 4 — среднезернистые эгириновые нефелиновые сиениты; 5 — трахитоидные фойяиты; 6 — гранитоидные фойяиты; 7 — ийолит-уртиты, малиньиты, апанциты (2); 8 — рисчорриты; 9 — щелочные сиенит-порфиры; 10 — трахитоидные хибиниты; 11 — гранитоидные хибиниты; 12 — щелочные и нефелиновые сиениты 1-й интрузивной фазы; 13 — сланцы и роговики; 14 — роговики плагноклазово-пироксеновые, амфиболовые и др.; 15 — кварцевые габбро-диабазы и гранофиры (2); 16 — метагаббро-диабазы и метадиабазы; 17 — шаровые лавы, метамандельштейны, зеленые сланцы и туфогенно-осадочная толща (2); 18 — гнейсы.

Комплексу гранитоидных хибинитов (2-я фаза) полукольцом охватывает с западной стороны внутренние, тоже полукольцевые, интрузии поздних фаз. По внешнему виду хибиниты представляют собой достаточно однородную на всем протяжении крупнозернистую, почти пегматоидную породу массивной (гранитоидной по Н. А. Елисееву) текстуры, состоящую из албитизированного калинатрового полевого шпата, нефелина и эгирина с примесью энigmatита, щелочного амфибола, лепидомелана, сфена, апатита, цеолитов. В западной, самой мощной части комплекса выделяются три параллельные дугообразные зоны: внешняя зона среднезернистого хибинита массивного облика с эгирином-авгитом и щелочным амфиболом; средняя (осевая) зона гигантозернистого, пегматоидного хибинита с неотчетливой трахитоидностью; внутренняя зона хибинитов, обогащенных нефелином (50—60%).

Каждый интрузивный комплекс пересекается сходными по составу породами жильных фаций. В хибинитах они представлены мощными (до 200—300 м), протяженными до 0,5 км дайками порфировидных (с вкрапленниками нефелина) трахитоидными эгириново-роговообманковыми нефелиновыми сиенитами, жилами и неправильной формы телами мелкозернистых эгириновых нефелиновых сиенитов, связанных постепенными переходами с фациальными пегматитами.

Серповидная интрузия трахитоидных хибинитов (3-я фаза), обращенная выпуклой стороной на запад, где ее ширина составляет 4—6 км, при прослеживании в восточном направлении постепенно сужается вплоть до полного выклинивания ее северной и южной ветвей у берега Умбозера. По минеральному составу трахитоидные и массивные хибиниты являются полными аналогами; различаются они только по структурно-текстурному облику. Трахитоидность хибинитов обусловлена планпараллельной (плоскостной) ориентировкой табличчатых кристаллов полевого шпата. Простирание трахитоидности меняется в соответствии с концентрической структурой комплекса, падение повсеместно к центру массива под углами от 60—40° (у контакта с хибинитами и гнейсами) до 40—20° (у висячего бока).

На флангах интрузии, на участках выклинивания обеих ее ветвей трахитоидные хибиниты интенсивно альбитизированы, полевой шпат нацело замещается вторичным альбитом, в мелкозернистой сахаровидной массе которого отчетливо выделяются изометричные зерна неизмененного нефелина.

Жильные дифференциаты трахитоидных хибинитов представлены мощными (до 250 м) вертикальными дайками трахитоидных эгирин-авгитовых нефелиновых сиенитов.

В западном секторе вдоль контакта гранитоидных и трахитоидных хибинитов развиты своеобразные сиенитизированные щелочные порфиры с ромбическими вкрапленниками полевых шпатов, иногда баркевикита, темной слюды, эгирин-авгита и малым количеством нефелина в основной массе. Эти породы, слагающие линейно вытянутое на 11 км при мощности до 500 м меридиональное тело, Н. А. Елисеев рассматривал как пластовую интрузию щелочных сиенит-порфиров жильной фации комплекса, имеющей черты сходства с ромбовыми порфирами Норвегии. Ранее В. Рамзай, затем Н. А. Елисеев отмечали явления грануляции (протоклаза), перекристаллизации (протобластеза) и интенсивного дробления этих сиенитов. Впоследствии автором [15] была установлена принадлежность этих пород к ромбен-порфирам ловозерской серии верхнего девона, известным в ксенолитах Ловозерского массива.

В комплексе рисчорритов (4-я фаза) объединены разнообразные по составу темноцветных минералов слюдяные, роговообманковые, эгириновые, астрофиллитовые нефелиновые сиениты с характерной пойкилитовой структурой, обусловленной вростками нефелина в полевом шпате. Рисчорриты в виде утолщенного на западе и разомкнутого на востоке полукольца диаметром около 30 км охватывают внутренние зоны массива, образованные фойяитами, вмещаю ийолит-уртиты и апатито-нефелиновые руды, а с внешней стороны обрамляются трахитоидными хибинитами.

Рисчорриты характеризуются неустойчивым составом, изменчивой текстурой. В западной, наиболее широкой части в направлении от внешнего к внутреннему контакту в составе рисчорритов увеличивается количество полевого шпата, четче проявляется пойкилитовая структура, отмечаются явления замещения полевым шпатом нефелина, среди цветных минералов появляется, а затем становится типичным лепидомелан. Вдоль контакта с хибинитами в рисчорритах наблюдается трахитоидность, а вблизи с фойяитами (Эвслогчорр, Коашкар) гнейсовидность.

В отличие от других комплексов рисчорриты не имеют жильных дифференциатов, поэтому Н. А. Елисеев условно считает пластовую коническую интрузию ийолит-уртитов-малиньитов-луявритов жильными производными этого комплекса, аргументируя свои соображения:

- пространственной сопряженностью обоих комплексов в промежуточной зоне между хибинитами и фойяитами;
- широким развитием пойкилитовых структур;
- наличием малиньитовых шлиров (протовыделений) в рисчорритах и участков «рисчорритового» состава среди ийолит-уртитов.

К производным 5-й фазы интрузии относятся малиньиты, луйавриты, ийолиты, уртиты и апатито-нефелиновые руды, взаимосвязанные по составу и условиям залегания промежуточными фациями и постепенными переходами. Несмотря на разнообразие петрографических разновидностей, образующих непрерывную ийолит-уртитовую серию, все они имеют одинаковый качественный минеральный состав и характерную только для них структуру.

Малиньиты — мезократовые неравномернoзернистые породы с пойкилитовыми вростками нефелина, эгирин-авгита, сфена в порфириовидных вкрапленниках калинаторового полевого шпата. Луйавриты, переслаивающиеся с малиньитами на горе Кукисвумчорр, по существу являются типичными нефелиновыми сиенитами с идеально развитой трахитоидностью по полевому шпату, лишенному вростков других минералов (нефелина, эгирин-авгита, сфена). Ийолит-уртиты, для которых полевой шпат не является обязательным минералом, состоят из переменных количеств нефелина (до 70 % — ийолит, более 70 % — уртит) и эгиринна с постоянным набором типоморфных минералов — сфена, титаномагнетита, апатита.

Трахитоидность («стратификация») в урритах и особенно в ийолитах выражена ориентировкой игольчатых кристаллов эгиринна, а в их полевошпатовых аналогах — малиньитах и луйавритах — лейст полевого шпата.

На сводной геологической карте интрузия ийолит-уртитов показана нерасчлененной; в ее кровле выделена только полоса апатито-нефелиновых руд в юго-западном секторе (от Кукисвумчорра до Расвумчорра) и показаны мелкие рудные выходы на Куэльпоре и на Ньоркпахке, геологическая позиция которых осталась нерасшифрованной. Однако в пояснительной записке к карте указывается, что геологические разрезы в разных секторах массива трудно сопоставляются между собой.

Н. А. Елисеев считал ийолит-уртитовую пластовую интрузию классическим примером первично расслоенных интрузивных конических тел. По его представлению «пластовые залежи апатитовых руд возникли при дифференциации во время движения ийолит-уртитовой магмы, содержащей огромное количество апатита. Самостоятельной апатитовой магмы не существовало. Явления ассимиляции апатитовой магмой ийолит-уртитов отсутствуют» [14, с. 62]. Неразрывная связь апатитовых месторожде-

ний с ийолит-уртитамы подчеркивается их пространственной ассоциацией, не имеющей исключений.

Овальное ядро в центральной, несколько смещенной к востоку части массива занимают породы комплекса фойяитов (6-я фаза), представленные среднезернистыми эгириновыми нефелиновыми сиенитами (впоследствии выделенными автором в отдельный интрузивный комплекс лавочорритов [45]), гранитоидными и трахитоидными фойяитами и их жильными фашиями.

Н. А. Елисеев подчеркивает, что название «среднезернистый эгириновый нефелиновый сиенит», предложенное Б. М. Куплетским, не полностью отражает состав и структуру этих пород, поскольку наряду с эгирином они постоянно содержат щелочной амфибол и энigmatит, имеют не только среднее, но также мелко- и крупнозернистое сложение, массивную и трахитоидную текстуру. По внешнему виду они похожи на типичные гранитоидные хибиниты, а их альбитизированные фашии — на фойяиты. Именно это обстоятельство служило основанием для объединения хибинитов — фойяитов в непрерывную серию (Б. М. Куплетский [24], И. П. Тихоненков [39], О. Л. Сняткова и др.).

С-образная, местами прерывистая полоса среднезернистых сиенитов крайне непостоянной мощности (от нескольких метров до 2—4 км) располагается между рихчорритами и ийолит-уртитамы (с выпуклой стороны) и фойяитами (вогнутая часть). Н. А. Елисеев предположительно относил их к краевой, эндоконтактной зоне фойяитовой интрузии.

Гранитоидные фойяиты представлены двумя пространственно разобщенными разновидностями: роговообманковыми — в периферической части фойяитового ядра и эгириновыми — в его центре; между ними развита эллипсоидная сплошная полоса трахитоидных фойяитов с эгирином, щелочным амфиболом и лепидомеланом. Границы между текстурными разновидностями, наблюдаемые в верховьях Тулюока, резкие.

Фойяиты представляют собой белые, серовато-белые средне-, крупнозернистые нефелиновые сиениты с альбитизированным микроклин-пертитом, светло-серым идиоморфным нефелином, эгирином-авитом, энigmatитом, бурым эвколитом и медово-желтым сфеном — типоморфными минералами фойяитов. К породам жильной фашии отнесены мелкозернистые слюдяно-эгирино-роговообманковые нефелиновые сиениты, прослеженные в широтном направлении в южной части фойяитового ядра от Юкспора до Коашкара в виде линейно вытянутой на 12—15 км зоны мощностью 200—400 м. Они включают послонные инъекции пегматитов с ловчоррит-ринколит-вудьявритовой минерализацией, содержат гнездовые сегрегации зеленовато-желтого апатита, а также вмещают ксенолиты ороговиканых глиноземистых сланцев со шпинелью, корундом и андалузитом, являющихся останцами кровли массива.

Детальные исследования М. М. Калининны позволили обосновать принадлежность этих сиенитов и сопряженных с ними гнейсовидных рихчорритов к тектонитам Эвселогчоррской зоны смятия.

Многочисленные ветвящиеся жилы мелкозернистых фойяитов — типичные жильные дифференциаты интрузии.

К завершающей, 7-й фазе магматической эволюции массива относятся вертикальные дайки шонкинитов, тингуаитов, тералитов, нефелиновых и лейцитовых базальтов, базантов и мончикитов, группирующихся роями на локальных участках массива.

Возрастное расчленение пород и схема последовательности формирования массива в целом основаны на структурно-петрологических критериях: наблюдениях над взаимоотношениями пород на контактах (наличие ксенолитов, зон брекчирования, жил и апофиз, краевых эндо- и экзоконтактных изменений, срезаний или обтеканий контактовых поверхностей элементами первичной расслоенности). Следует подчеркнуть, что в большинстве случаев такие наблюдения интерпретируются однозначно; затруднения возникают в случаях проявления вдоль контактов вторичных процессов (альбитизации, тектонических деформаций, метасоматических изменений, пегматитовых и других жил).

По аналогии с Ловозерским массивом, где в 1935 г. в ксенолитах кровли были обнаружены реликты верхнедевонской — нижнекаменноугольной флоры, и по наличию таких же ксенолитов (но без растительных остатков) во вмещающих породах Хибин возраст обонх массивов был оценен как постдевонский. Выполненные впоследствии геохронологические определения (Хибинны — 290 ± 10 , Ловозеро — 260 млн. лет) позволили обосновать концепцию о герцинской активизации щелочного магматизма на Кольском полуострове.

Таким образом, выдвинутые в 30-е годы гипотезы о происхождении и механизме формирования Хибинского массива и апатитовых месторождений, основанные на представлении о петрологической эволюции щелочного магматизма (Б. М. Куплетский) и на принципах структурного анализа магматических комплексов (Н. А. Елисеев с соавторами), наиболее полно отражавшие уровень геологических знаний по геологии и структуре этих объектов, получили широкую популярность в геологоразведочной практике. Поздние варианты генетиче-

ских схем, несмотря на их большую детальность и информативность (С. И. Зак с соавторами, А. В. Галахов, О. Л. Сняtkова), являются компилятивными. Схемы сопоставления различных гипотез по истории формирования Хибинского массива показаны на рис. 5. Большинство исследователей придерживаются магматической гипотезы происхождения массива и апатитовых месторождений, полностью игнорируя процессы метасоматических преобразований или отводя им подчиненное значение.

Т. Н. Иванова [16] на основании многолетних исследований геологии и структуры комплекса ийолит-уртитов и особенно апатитовых месторождений пришла к выводу о том, что «возрастная последовательность многочисленных комплексов позволяет поставить вопрос о наличии в Хибинах двух крупных циклов развития магматизма, т. е. о наличии двух субвулканов». Магматическая эволюция каждого цикла (Западного и Восточного субвулканов) началась с внедрения нефелиновых сиенитов и завершилась формированием ийолит-уртитов.

Первый цикл (Западный субвулкан):

1. Комплекс щелочных сиенитов, мелкозернистых нефелиновых сиенитов, нефелиновых порфиров.
2. Комплекс хибинитов (а — гранитоидные; б — трахитоидные).
3. Комплекс рисчорритов (а — гранитоидные; б — трахитоидные).
4. Комплекс ийолит-уртитов (а — трахитоидные ийолиты района Лявойока, Рисчорра, Кузьлора; б — массивные мелкозернистые ийолиты; в — массивные среднезернистые ийолит-уртиты).
5. Комплекс апатито-нефелиновых пород (а — апатито-нефелиновые породы бедной зоны, богатой зоны, брекчия; б — сфено-apatитовые породы).
6. Жилы дуявритов.

Второй цикл (Восточный субвулкан):

7. Комплекс фойяитов (а — гранитоидные; б — трахитоидные; в — среднезернистые эгириновые нефелиновые сиениты).
8. Комплекс ийолитов (а — трахитоидные ийолиты Ньоркпахк-Суолайва; б — массивные среднезернистые полевошпатовые уртиты (ювиты Коашвы).
9. Комплекс молодых жильных пород.

Поскольку «образование основной массы апатито-нефелиновых месторождений» произошло на конечных этапах развития Западного субвулкана, по аналогии можно предположить, что на глубоких горизонтах Восточного субвулкана можно выявить скрытые апатитовые залежи. Апатито-нефелиновые руды, по Т. Н. Ивановой, являются продуктами кристаллизации самостоятельной апатитовой магмы, не имеющей генетической связи с ийолит-уртитам. Эта магма по своей физико-химической природе является промежуточной между обычными силикатными магмами и пегматитовыми растворами. Она характеризуется следующими особенностями:

- а) высоким содержанием летучих компонентов;
- б) большой миграционной способностью, что обеспечивает тонкое пропитывание вмещающих пород по тончайшим трещинкам;
- в) способность к перекристаллизации вмещающих пород;
- г) активностью к растворению и перекристаллизации силикатных минералов руд.

Таким образом, Т. Н. Иванова частично видоизменила схему Н. А. Елисева, расчленив период формирования интрузии ийолит-уртитов на пять обособленных субфаз, две из которых внедрились позже фойяитов.

По представлениям И. П. Тихоненкова [39], изучавшего нефелиновые сиениты и их пегматиты северной части Хибин, в истории становления массива выделяется два этапа. Первый этап — магматический, характеризуется внедрением и кристаллизацией нефелин-сиенитовой магмы с образованием непрерывной серии хибинит-фойяит. Во второй этап — метасоматический — под воздействием постмагматических растворов произошла нефелинизация, ортоклазизация и альбити-

зация нефелиновых сиенитов с образованием основных ультращелочных пород ийолит-уртитовой серии и такситовых рисчорритов.

Гипотеза И. П. Тихоненкова, не затрагивающая важного в практическом отношении вопроса о генезисе апатито-нефелиновых руд и базирующаяся на изучении пегматитов только северного сектора массива, не получила поддержки специалистов поисковиков и разведчиков.

В 1957—1960 гг. коллективом геологов Хибинской партии Севзапгеолуправления (ныне ПГО «Севзапгеология») под руководством С. И. Зака (Н. М. Абрамов, В. Н. Большева, М. М. Калинин, Е. А. Каменев, Ф. В. Минаков и др.) проводилась геологическая съемка Хибинского массива и его обрамления в масштабе 1:50 000 на площади 1,5 тыс. км² с целью поисков месторождений апатита и других полезных ископаемых и обеспечения научных и производственных организаций комплектом кондиционных карт (геологической, структурной, полезных ископаемых, четвертичных отложений, геоморфологической). В результате обобщения материалов геологического картирования, критического анализа обширной информации по предыдущим исследованиям, разведочных и эксплуатационных данных подтверждена обоснованность генетической гипотезы Н. А. Елисеева, в которую внесены изменения, уточнения и дополнения в свете новых данных:

а) установлено, что «щелочные сиенит-порфиры» жильной фации комплекса трахитоидных хибинитов являются ромбен-порфирами ловозерской серии верхнего девона;

б) щелочные и мелкозернистые нефелиновые сиениты краевой зоны массива рассматриваются как эндоконтактовые фации хибинитов и фойяитов, и поэтому не являются продуктами отдельного акта интрузии;

в) в составе апатитоносного комплекса ийолит-уртитов выделены три интрузивные субфазы, которые по отношению ко времени рудообразования подразделяются на дорудную, рудную и пострудную; получены новые данные, подтверждающие пространственную и генетическую связь промышленного апатитового оруденения с массивными уртитам рудной субфазы; уточнены поисковые критерии и рекомендованы перспективные участки для детальных поисков;

г) «среднезернистые эгириновые нефелиновые сиениты» исключены из состава фойяитовой интрузии и обособлены в самостоятельный интрузивный комплекс лявочорритов;

д) выявлена мощная Эвслогчоррская зона смятия (тектониты по рисчорритам и фойяитам);

е) в истории развития щелочного магматизма в Хибинах выделены шесть интрузивных фаз, которые попарно объединены в три периода. В каждом периоде сочетаются ранняя нерасслоенная и поздняя четко дифференцированная интрузии, близкие по минеральному составу, времени формирования и условиям залегания;

ж) постмагматические преобразования пород (альбитизация, образование эгирин-альбитовых жил) выделены в завершающий период формирования массива;

з) высказано предположение о принадлежности пород дайкового комплекса к продуктам регионального платформенного магматизма.

Материалы этого этапа исследований опубликованы в монографии «Хибинский щелочной массив» [45].

В 1959—1963 гг. на площади продуктивной ийолит-уртитовой интрузии под руководством Ф. В. Минакова (А. И. Александров, Е. А. Каменев, А. И. Коновалова, И. И. Перекрест и др.) осуществлены детальные поиски апатита, выявлены крупные Коашвинское и Партомчоррское апатитовые месторождения, составлена детальная геологическая

карта, отражающая современные представления о составе и структуре комплекса и связанных с ним апатитовых залежей.

С 1964 г. до настоящего времени наряду с геологоразведочными работами проводится глубинное геологическое картирование с применением структурно-поискового бурения скважин глубиной 1,5—2,5 км в комплексе с сейсморазведкой, магнито- и гравиразведочными работами.

Исследования А. В. Галахова по петрологии интрузивных комплексов привели к выводу о том, что до формирования Хибинского массива в зоне пересечения тектонического контакта сланцево-гнейсовых толщ докембрия с северо-восточным глубинным разломом произошла трещинная интрузия каледонских (?) ультраосновных пород (пикрит-порфиритов, перидотитов, нефелиновых и монтичеллитовых пироксенитов с флогопитом, перовскитом, мелилитом), сохранившихся в виде ксенолитов среди нефелиновых сиенитов. Этим доказывается пространственно-временное совмещение каледонского и герцинского магматизма [7]. Хибинский массив является сложной интрузией центрального типа, возникшей в результате выполнения магматическим расплавом конических воронкообразных расколов, последовательно сменяющих друг друга в направлении от периферии к центру массива. К наиболее ранним образованиям относятся ромбен-порфиры и гигантозернистые нефелиновые сиенит-порфиры (экструзивная фация). Относительный возраст интрузивных комплексов (от щелочных сиенитов до фойяитов) полностью соответствует гипотезе Н. А. Елисеева. Рисчорриты, ийолит-уртиты и апатито-нефелиновые руды объединены в составе единой расслоенной конической интрузии. В породах массива широко развита первичная расслоенность, занимающая в структурах комплексов более пологое положение по отношению к крутым контактовым поверхностям, что вызвано проседанием по типу усадочной воронки кристаллизующейся магмы.

Несоответствие между пологой расслоенностью и крутым наклоном внешних границ приводит к выводу, что на глубоких горизонтах массива могут быть выявлены породы и практически интересные концентрации апатита, сфена, титаномагнетита, не выходящие на дневную поверхность. Широкое разнообразие пород и руд в массиве связано с эволюцией щелочной магмы в мантийном источнике, с докристаллизационной дифференциацией в промежуточном магматическом очаге и с предкристаллизационной магматической и с кристаллизационной дифференциацией в конической камере.

М. М. Калинин [19], базируясь на опыте геологического картирования массива в 1957—1960 гг., изучения структуры юго-западного рудного поля апатитовых месторождений и геологической интерпретации геофизических исследований, проведенных в 1965—1974 гг., относит Хибинский массив по форме к асимметричному мульдообразному лакколиту с пологим западным и крутыми восточным, северным и южным контактами, погружающемуся на восток. Генеральный план внутреннего строения массива определяется сочетанием мульдообразных комплексов пород, осложненных в крыльях продольными и поперечными складками, а в ядре — локальным сводовым поднятием. Формирование лакколита происходило одноактным путем в условиях «всплывания» более легких щелочных магм, сложная дифференциация которых обусловила зонально-концентрическое строение. В результате последующих деформаций вдоль контактов комплексов возникли концентрические разрывные нарушения и зоны смятия.

К концу 70-х годов возникла необходимость обобщения обширной геолого-геофизической информации по Хибинскому массиву на качественно новом уровне с использованием данных комплексной геофизики и дешифрирования аэрокосмических снимков. С этой целью в

1978—1983 гг. коллективом геологов и геофизиков Центральнокольской экспедиции ПГО «Севзапгеология» (О. Л. Сняtkова, Н. И. Пронягин, Т. М. Маркитахина и др.) проведено геологическое доизучение территории в масштабе 1 : 50 000, коренным образом пересмотрены предыдущие модели строения и схемы формирования Хибинского массива и апатитовых месторождений (рис. 3).

Смена во времени интрузивных фаз (1-я — слаборасслоенных агпаитовых нефелиновых сиенитов — хибинитов и фойяитов; 2-я — четко расслоенных ийолит-мельтейгитов, апатито-нефелиновых руд и сопровождающих их гибридных пород; 3-я — карбонатитов и лампрофиров) предопределила чрезвычайно сложную форму массива в целом (Хибинский «хонолит»), в котором сочетаются: лополит агпаитовых нефелиновых сиенитов, коническая интрузия уртит-ийолит-мельтейгитов с апофизами и сателлитовыми телами, трубки взрыва и штоки кимберлитовых брекчий и карбонатитов.

В целом Хибинский «хонолит» является дискордантным по отношению к структуре вмещающих пород (грабен) с пологими внутренними контактами слагающих его комплексов, «утыкающимися» в плоскости крутопадающих глубинных разрывов.

Комплекс уртит-ийолит-мельтейгитов, по О. Л. Сняtkовой, объединяет разнообразные по составу, относительному возрасту и условиям залегания во вмещающих породах интрузии:

а) микрогаббро-норитов, ийолит-мельтейгитов и оливиновых шонкнитов в хибинитах (Имандровская интрузия);

б) крупноглыбовых брекчий с обломками ультраосновных пород, мельтейгитов, ромбен-порфиров и феолитов в ювитовом цементе (Гольцовская интрузия);

в) ийолитов и ийолит-мельтейгитов (Путеличоррская интрузия);

г) сателлитовые тела и апофизы Главной продуктивной интрузии;

д) расслоенные уртит-ийолиты с бедными апатито-нефелиновыми и сфено-apatитовыми рудами (1-я субфаза Главной интрузии);

е) тонкорасслоенные уртит-ийолит-мельтейгиты с апатито-нефелиновыми рудами в основании (2-я субфаза Главной интрузии).

В ходе становления Главной продуктивной интрузии, внедрившейся по концентрическим разрывам вдоль контакта трахитоидных хибинитов и лявочорритов, генерировался палингенный гибридный распад, из которого кристаллизовались рисчорриты. Одновременно произошло «проседание» центрального ядра лополита по системе сбросов, что привело к образованию Центрального тектонического блока. Этот блок представляет собой сочетание двух опрокинутых от центра массива мульдообразных прогибов, выполненных уртит-ийолит-мельтейгитами. В некоторых разрезах прогибы не формируются полностью, а образуют связанные со сбросами флексуры с частично редуцированным верхним крылом. Внешний прогиб с осевой линией, проходящей от истоков руч. Лявойок до оз. Мал. Вудъявр, сложен уртит-ийолит-мельтейгитами 1-й субфазы, перекрытыми полого залегающими на них рисчорритами. Перспективы поисков скрытого апатитового оруденения связаны с выявлением на глубоких горизонтах массива внутреннего прогиба, в основании которого залегают ийолит-уртиты и апатито-нефелиновые руды, перекрытые лявочорритами (северная часть структуры) и рисчорритами (западный и южный секторы). Этот прогиб образует непрерывную кольцевую структуру радиусом до 14—15 км, замыкание которой по данным геофизики предполагается в акватории Умбозера.

Весьма существенной особенностью структуры Главной продуктивной интрузии, имеющей положительное значение для поисков скрытого оруденения, является разветвление компактной и мощной на глубине толщи на систему апофиз во вмещающие рисчорриты и хибиниты.

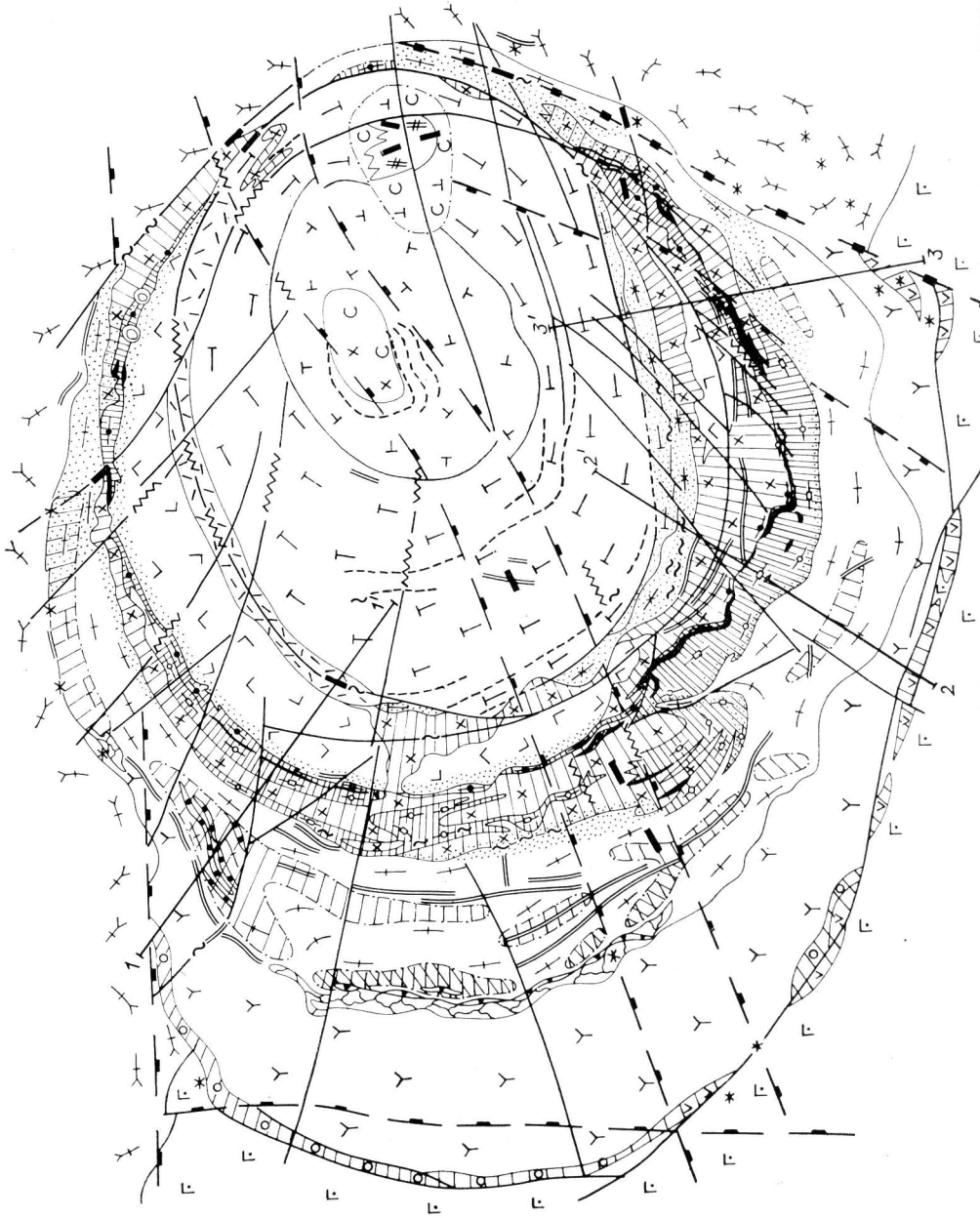
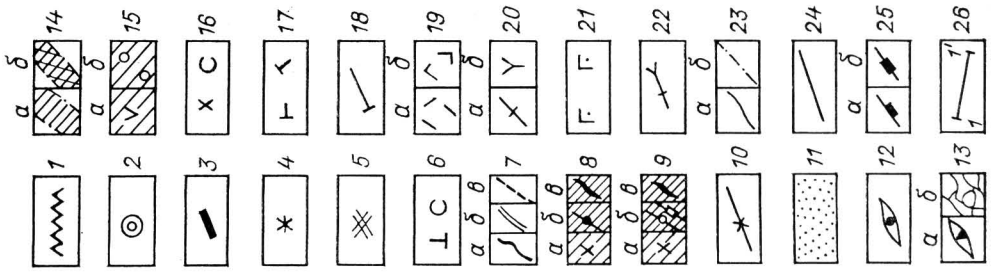


Рис. 3. Геологическая схема Хибинского массива (по материалам геологического доизучения, О. Л. Сняtkова и др.)

3-я фаза — карбонатитовый комплекс: 1 — катаклазиты и брекчии; 2 — эксплозивные брекчии с цементом пиритового порфирита (трубки взрыва); 3 — пиритовые порфириты, мончикиты, альениты и др. (дайки); 4 — ультраосновные породы (мелкие тела и дайки); 5 — карбонатиты и альениты; 6 — предлогаемые карбонатные и карбонатно-силикатные породы с содовой минерализацией и содержащими нефелиновые сиениты. 2-я фаза — комплекс нефелиновых сиенитов — уртит-иолитов-мельтейгитов: 7 — жилы (а) — апатито-нефелиновые и апатито-сфеновые руды, б — габбро-эссекиты, дугариты, уртиты, иолиты, мельтейгиты, в — метасоматиты меланократовые, а также сиениты-метасоматиты. Главная продуктивная интрузия: 8 — вторая субфаза (а — рисчорриты, б — уртит-иолит-мельтейгиты, в — апатито-нефелиновые руды); 9 — 1-я субфаза (а — рисчорриты, б — уртит-иолиты, в — апатитовые руды); 10 — рисчорриты, б — уртит-иолит-мельтейгиты, в — апатитовые руды). Главной интрузией, кристаллизующейся из палингеновых и гибридных расплагов. Сателлитовые тела и апофизы Главной интрузии: 11 — породы зоны контакта Главной интрузии с апатито-сфеновой минерализацией и другими породами; 12 — Путьинорская интрузия: иолиты, мельтейгиты с апатито-сфеновой минерализацией, б — крупноглыбовая брекчия, состоящая из обломков мезо-челанократовых пород и ювитового цемента; 14 — локальные пологие альенитовые породы; 15 — Имандровская (периферическая) интрузия (а — микрогаббро-порфиты, иолиты, мильтейгиты, оливиновые шонкииты, б — среднезернистые нефелиновые сиениты). 1-я фаза — комплекс слабопроросших нефелиновых сиенитов; 16 — фойниты полевых шпатов; 17 — лавочорриты (а — «хойнтопобонные» альбитизированные, б — «хибино-вулканогенные» измененные, претерпевшие частичное повторное плавление); 20 — хибиниты (а — трахитоидные, б — массивные). Породы: 21 — осадочно-вулканогенные породы Имандра-Варзужской зоны с интрузивными измененными габброидов; 22 — гнейсы кольцевой серии с интрузивными продолжениями, диагональные и поперечные нарушения образования (а — установленные, б — предполагаемые). Разрывные нарушения в породах фундамента и массива (а — с наклонным сместителем, б — вертикальным); делением пород 3-й и 2-й фаз; 25 — глубинные разрывы, проявленные в породах фундамента и массива (а — с наклонным сместителем, б — вертикальным); 26 — линии расчетных геолого-геофизических разрезов.

Структура «конского хвоста», выявленная разведочным бурением на месторождениях Ньюоркпахк и Олений Ручей и сопровождающаяся многоярусным промышленным оборудованием, подтверждается данными сейсморазведки.

Таким образом, перспективы апатитовости Главной продуктивной интрузии связываются с предположениями:

а) о возможности выявления на глубоких горизонтах месторождений Ньюоркпахк и Олений Ручей третьей рудной апофизы (яруса);

б) о продолжении по падению апатитовой залежи на месторождении Апатитовый Цирк и новых рудных апофиз в лежащем боку месторождений Апатитовый Цирк и Коашва;

в) о перспективности участка между месторождениями Эвеслогчорр и Коашва, где на небольшой глубине прогнозируется мощная пологая рудная залежь;

г) о приуроченности новых залежей апатито-нефелиновых и сфено-apatитовых руд к основанию разреза интрузии в северном секторе;

д) о продуктивности глубоких горизонтов интрузии в западном секторе.

К завершающей, 3-й фазе магматической деятельности относится формирование пород дайкового и карбонатитового комплекса (щелочных ультраосновных пород, мельтейгитов, альенитов, меймечитов, мончикитов, эссекит-диабазов, габбро-сиенитов, тингуаитов, кимберлитоподобных брекчий, карбонатитовых брекчий, кальцитовых и манганкальцитовых карбонатитов). Породы этого комплекса образуют серии малых интрузий (штоки, трубки взрыва, дайки, жилы). Генетическая связь пород карбонатитового комплекса с интрузией уртит-иолит-мельтейгитов, по мнению О. Л. Сняtkовой, очевидно свидетельствует о поступлении глубинных базальтоподобных магм, испытавших полную дифференциацию в течение длительного промежутка времени в первичных и промежуточных магматических очагах.

Заключительный период оформления Хибинского массива как сложного хонолита сопровождается образованием многочисленных радиальных разрывов, расходящихся из общего центра, связанного с Умбозерским глубинным расколом, где располагаются основные подводящие каналы, питающие Хибинский и Ловозерский массивы.

Таким образом, в основных выводах, полученных в результате геолого-геофизического доизучения, наряду с оригинальными представлениями о составе и структуре комплекса ийолит-уртитов, состоящего из Главной продуктивной интрузии и сопровождающих ее Гольцовской, Путеличоррской, Имандровской сателлитовых интрузий, ассимилированы гипотезы:

а) Б. М. Куплетского о лополитообразной форме массива и последовательной кристаллизации в магматической камере агпантовых нефелиновых сиенитов в направлении от периферии к центру (ранняя гипотеза Б. М. Куплетского [24]);

б) А. В. Галахова [7] о принадлежности рисчорритов, ийолит-уртитов, апатито-нефелиновых руд к единой сингенетической серии;

в) М. М. Калининна [19] о широком развитии мульдообразных (синклинальных) структурных форм в строении массива в целом и отдельных его серий, а также о пространственной приуроченности и генетической связи промышленного апатитового оруденения с толщей четко расслоенных уртит-ийолит-мельтейгитов покрывающей пачки;

г) Ф. М. Онохина [30] о тектонической перестройке структуры Хибинского массива и крупных смещениях радиальных блоков (секторов) по типу грабено-горстов.

Вместе с тем важные в поисковом отношении положения и выводы геологов-разведчиков хибинских месторождений о тесной генетической связи апатитовых руд с массивными уртитам рудной субфазы, о структурном контроле промышленного апатитового оруденения, подтвержденные многолетней поисковой и разведочной практикой, но к настоящему времени в основном исчерпанные, гипотезой О. Л. Сняtkовой полностью игнорируются. Это обстоятельство вызывает необходимость коренного изменения направления и методики поисковых работ, резкой переориентации их на выявление скрытого апатитового оруденения в структурах мульдообразных прогибов центральных частей массива на весьма больших глубинах.

В работах Ф. М. Онохина [30] и Г. М. Вировлянского [5, 10] решающая роль в структурной перестройке массива отводится крупномасштабной тектонике, определившей грабено-горстовый тип строения. Ф. М. Онохин выделяет несколько этапов тектонических дислокаций. В ранний этап в рудном теле возникли пликативные формы — пологие ($5-20^\circ$) складки волочения с размахом крыльев $20-40$ м, оси которых косо, под углом 30° , ориентированы к простиранию залежей. В последующий, взбросовый этап образовались глыбовые расколы, брекчии, взбросо-надвиги и сформировался главный конический разлом (табл. 2). Эти движения вызвали расчленение рудной залежи на крупные ($80-110$ м в поперечнике) глыбы, плотно «притертые» друг к другу или «залеченные» поздними жилами ийолитов, внутрирудных брекчий с обломками апатито-нефелиновых руд. Взбросо-надвиги расщепляют все ранние структуры и в свою очередь сопровождаются пликативными формами.

Главный конический разлом, расчленивший рудную залежь на богатую и бедную зоны, завершает взбросовый этап развития и сменяется движениями противоположных направлений — сбросов. Они вызывают смещение всякого бока залежи и пород кровли по падению. На заключительном этапе тектонической эволюции массив был расчленен шестью радиальными разломами, расходящимися от фойянтowego ядра, на систему грабено-горстов с амплитудами смещений отдельных блоков до $2-3$ км. Радиальные разломы шириной от сотен метров до километра на современном рельефе фиксируются долинами рек, веерообразно сходящимися в депрессии зал. Тулилухт. Деформации пород внутри зон разломов происходили по системе крутопадающих ($60-90^\circ$) кулисообразных трещин, выполненных раздробленными боковыми по-

Этапы тектонического развития и схема тектонического районирования
(по Ф. М. Онохину [30])

Характер дислокаций (тектонические блоки)	Типичные явления (месторождения и рудопроявления)
Первый этап: Взбросо-надвиговый (условия сжатия)	Возникновение складок в рудном теле и подстилающих ийолит-уртитов; блокирование рудных тел (глыбовые разломы); возникновение брекчий; заложение взбросов в рудных телах; формирование главного продольного (конического) разлома и взбросов висячем боку рудной толщи
Сбросо-сдвиговый (условия растяжения)	Преобладание сбросовых движений; опускание висячего бока рудного тела по главному продольному (коническому) разлому
Второй этап Грабено-горстовый (условия растяжения)	Образование радиальных разломов и перемещение вдоль них отдельных блоков рудного тела
Тектонические блоки: Центральный (IV)	Главные месторождения: Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Эвеслогчорр, Коашва; рудопроявления на перевале Юкспорлак, на горах Южный и Бол. Кукисвумчорр, в верховье р. Тулиок
Ньоркпахкский (V)	Ньоркпахк, Суолауйв
Куэльпорский (II)	Куэльпор, Партомчорр-Лявойок
Коашкарский (VI)	Суолауйв, Коашкар (Олений Ручей)
Суолауйвский (I)	Рудопроявления на горах Лявочорр, Бол. и Ср. Валепахк, Сев. Суолауйв
Маловудъяврский (III)	Поачвумчорр

родами, жильными ийолитами, мельтейгитами, слюдитами, эгиринитами, ювитами и пегматитами.

Позднее Т. Н. Иванова [17] полностью пересмотрела ранние представления о составе, структуре и последовательности образования ийолит-уртитовой интрузии. В свете новых данных в схеме ее формирования выделены два интрузивных комплекса: дифференцированный комплекс трахитоидных уртит-мельтейгитов, бесперспективный для поисков апатитового оруденения, и фосфатноносный комплекс массивных уртит-ювит-пойкилитовых нефелиновых сиенитов (рисчорритов), в котором апатито-нефелиновые руды являются одним из закономерных слагающих его членов (табл. 3).

Новым в этой гипотезе является тезис о том, что длительный процесс рудообразования дважды прерывался внедрениями интрузий дифференцированного и ювит-рисчорритового комплексов и завершился автометасоматическими преобразованиями, приведшими к перекристаллизации пород и развитию гнездовой апатитизации непромышленного характера. Однако из этого вытекает вывод о высокой потенциальной фосфатноносности рисчорритов, в структуре которых могут быть выявлены участки (слои) уртитового состава с практически интересной апатитовой минерализацией.

В 1986 г. О. Б. Дудкин с соавторами [12] выдвинул гипотезу, объясняющую происхождение апатито-нефелиновых руд хибинского типа путем замещения ранних ийолит-мельтейгитов в процессе внедрения нефелин-сиенитовой магмы. Эта генетическая модель основана на предположении о том, что на месте заложения Хибинского массива ранее были развиты фойдолиты щелочно-габброидной формации, которые под воздействием интрузии агпайтовых нефелиновых сиенитов ассимилировались с частичным плавлением, перекристаллизацией и перераспределением вещества. Фельдшпатоидные габброиды вообще широко развиты в соседстве с Хибинским массивом, реликты их уста-

Этапы формирования рудных залежей Хибин (по Т. Н. Ивановой [17])

Этап становления комплексов ийолит-уртитовой дуги	Этап формирования рудных тел
I. Заложение рудоконтролирующего разлома в юго-восточной части массива	Формирование рудных залежей на участках Ньюркапхк и Олений Ручей
II. Консолидация дифференцированного комплекса трахитоидных уртит-мельтейгитов	Нарушение строения рудных тел участков Ньюркапхк и Олений Ручей
III. Заложение главного рудоконтролирующего разлома в толще дифференцированного комплекса, внедрение по нему фосфатонесной протуртитовой массы	Формирование рудных залежей на участках Коашва, Расвумчорр, Юкспор, Кукивумчорр, Куэльпор, Партомчорр, Снежный Цирк (?)
IV. Поступление расплавов ювирового-рисчорритового состава	Полное нарушение строения рудных тел участков Коашва, Олений Ручей, локальное брекчирование рудных тел участков Куэльпор, Расвумчорр, Партомчорр
V. Автометасоматические преобразования пород комплекса уртитов-ювиров-рисчорритов	Частичная перекристаллизация руд главных месторождений. Формирование рудопроявлений апатита на участках Поачвумчорр, пик Марченко, Эвеслогчорр, Снежный Цирк *

* Частично руды месторождения Снежный Цирк, вероятно, возникли на магматическом этапе (примеч. Т. Н. Ивановой).

новлены А. В. Галаховым даже в пределах самого массива, причем они формируются, как правило, до внедрения нефелин-сненитовых расплавов.

Укрупненные расчеты подтверждают вывод том, что среднее содержание элементарного фосфора в ийолит-мельтейгитах щелочно-ультраосновных массивов (0,47—0,68 %) более чем достаточно для его накопления в апатито-нефелиновых рудах (в среднем 8 % фосфора или 14 % P_2O_5), составляющих не более 2,5 % от объема преобразованных ийолит-уртитов Хибинского массива, содержащих 0,37 % фосфора. Реликты неизмененных фойдитов сохранились в виде линзовидных включений в линзовидно-полосчатых рудах и уртитах. Главные рудо- и породообразующие минералы апатито-нефелиновых руд и ийолит-уртитов Хибинского массива (апатит, нефелин, пироксен) образуют единый ряд составов с теми же минералами из щелочных габброидов и нефелиновых сненитов других массивов Кольского полуострова.

Поисковое значение этой гипотезы, по мнению ее авторов, состоит в расширении перспектив обнаружения апатитовых концентраций в реликтах ранних пород среди фоййитов (долина р. Тулюок), хибинитов (район г. Петрелиуса), рисчорритов, а также на флангах и в зонах пережимов известных апатито-нефелиновых залежей.

В последние годы на хибинском побережье Умбозера, на п-ове Тулий, среди фоййитов выявлен, оконтурен с поверхности и прослежен на глубину до 2 км шток карбонатитов и сопровождающих его карбонатизированных силикатных пород, лампрофиров, тингуантов, трахитовых порфиритов [21]. Вскоре выяснилось, что жилы и штокверковые зоны карбонатитов, природная ассоциация карбонатов натрия — явление в Хибинах не случайное. От карбонатитового центра отходят дугообразные шлейфы производных этого комплекса: эруптивно-эксплозив-

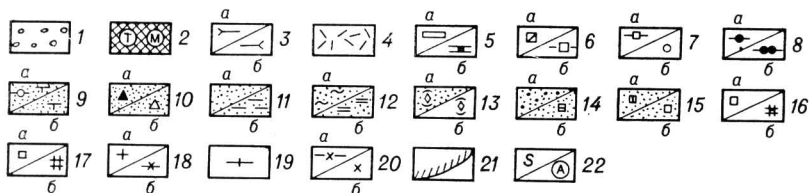


Рис. 4. Условные обозначения к рисункам.

1 — карбонатиты кальцит-альбитовые, эгирин-кальцитовые и др.; 2 — дайки тингуантов (Т), мончикитов (М), шонкинитов (Ш) и др.; 3 — фойяиты массивные (а), трахитоидные (б); 4 — лавочориты массивные; 5 — дуэвриты (а), малиньиты (б) трахитоидные; 6 — ювиты массивные (а), уртиты трахитоидные «сливные» (б); 7 — уртиты (а), ийолиты (б) трахитоидные; 8 — мельтейгиты (а), якуширангиты (б) трахитоидные; 9 — сфен-апатитовые ийолиты (а), сфен-апатитовые уртиты (б); 10—14 — апатито-нефелиновые руды: 10 — брекчневые с ийолитовым (а) и уртитовым (б) цементом; 11 — пятнистые (а) и пятнисто-полосчатые (б); 12 — линзовидно-полосчатые (а), сетчатые (б); 13 — блоковые руды (а) и уртиты (б); 14 — слюшные (а — P_2O_5 более 30%), массивные (б — P_2O_5 8—30%); 15 — апатитовые уртиты (а — P_2O_5 4—8, б — 2—4%); 16 — пегматиты (а), пегматоидные уртиты (б); 17 — уртиты массивные: средне- (а), неравномернозернистые (б); 18 — рисчорриты массивные (а), гнейсовидные (б); 19 — хибиниты трахитоидные; 20 — хибиниты грубозернистые трахитоидные (а), массивные (б); 21 — эндоконтактные нефелиновые и щелочные сиениты; 22 — процессы: шпреуштейннизация (S), альбитизация (А) и др.

ные брекчии (трубки взрыва) с лампрофировым цементом, эгирин-альбит-карбонатные жилы с флюоритом, зоны катаклаза, биотитизации и альбитизации в фойяитах, ийолит-уртитях, рисчорритах и хибинитах.

О. Б. Дудкиным установлена общая направленность процессов минералообразования в карбонатитах Хибин, совпадающая со сменой

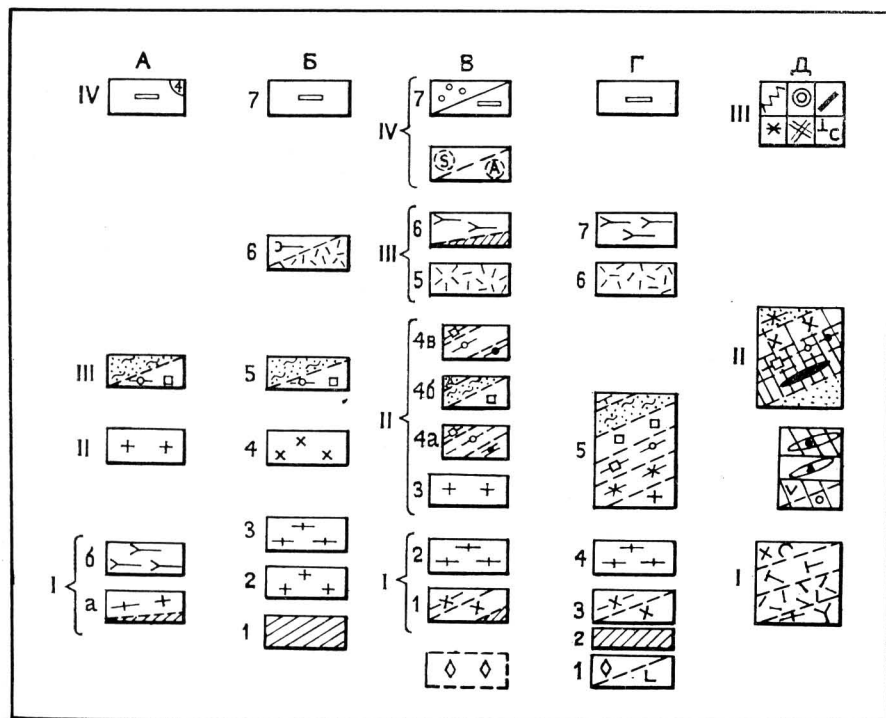


Рис. 5. Сопоставление схем последовательности формирования пород Хибинского массива по Б. М. Куплетскому (А), Н. А. Елисееву (Б), С. И. Заку, Е. А. Каменеву, Ф. В. Минакову (В), А. В. Галахову (Г) и О. Л. Сняtkовой с соавторами (Д).

1 — интрузивные контакты (а), границы между породами расслоенных серий (б); 2 — интрузивные субфазы (состав пород показан условными знаками, см. рис. 4); 3 — интрузивные комплексы (расслоенные серии); 4 — ромбен-порфиры. Условные обозначения к схемам А, Б, В и Г показаны на рис. 4, к схеме Д — на рис. 3.

минеральных ассоциаций в детально изученных карбонатитовых массивах Кольского региона (от ранних к поздним): эгирин-кальцитовые, биотит- и альбит-кальцитовые, манган-кальцитовые и доломитовые, манган-анкеритовые карбонатиты. Содержание P_2O_5 в этом ряду увеличивается от 0,1—0,2 до 0,8—1,0 %. В целом хибинские карбонатиты отличаются высоким содержанием марганца, натрия и низкой магнезиальностью.

Открытие карбонатитов в Хибинах и новые данные по изотопной геохимии карбонатитов других центральных массивов Кольского полуострова свидетельствуют о генетической близости и единстве глубинного мантийного источника всех щелочно-ультраосновных и нефелин-сиенитовых интрузивов, ранее считавшихся производными каледонского и герцинского магматизма. Из этого, теперь бесспорного факта можно вывести два практических следствия: о возможности обнаружения апатито-нефелинового оруденения хибинского типа в щелочно-ультраосновных массивах и о потенциальной апатитоносности самих хибинских карбонатитов, свойственной карбонатитам Ковдора, Вуориярви, Турьего полуострова и др.

Сопоставление наиболее популярных сценариев формирования Хибинского массива графически показано на рис. 5 (условные обозначения к этому рисунку и другим иллюстрациям обобщены на рис. 4).

ПРОДУКТИВНАЯ ИНТРУЗИЯ ИЙОЛИТ-УРТИТОВ — АПАТИТО-НЕФЕЛИНОВЫХ РУД

В ходе развития многоэтапного щелочного магматизма в Хибинах сформировалась сложная, т. е. образованная неоднократно внедрением пород разного состава, коническая интрузия ультраосновных фойдолитов (уртит-ийолит-мельтейгитов и их полевошпатовых аналогов) и апатито-нефелиновых руд. В общем плане концентрически-зонального строения массива интрузия слагает одну из внутренних зон с периметром 75 км, шириной до 2,5 км и площадью 85 км². На современной резко пересеченной поверхности (200—1000 м) продуктивные ийолит-уртиты образуют три дугообразные субинтрузии (Южная, Северная и Западная), вписывающиеся в единую неполноконическую структуру центрального типа диаметром 27—30 км с общим центром.

Вмещающие породы представлены рисчорритами, которые, в свою очередь, залегают между ранними трахитоидными хибинитами (внешнее обрамление) и более поздними лявочорритами (с внутренней стороны). Структурное положение субинтрузий по отношению к вмещающим породам автономное: Южная субинтрузия располагается на контакте между хибинитами и рисчорритами; Западная размещается внутри рисчорритов, а Северная приурочена к контакту рисчорритов с лявочорритами. Ксенолиты вмещающих пород оконтурены на поверхности и вскрыты скважинами на разных уровнях разреза интрузии: среди дорудных ийолитов (останец хибинитов на Кукисвумчорре), внутри рудной зоны месторождения Олений Ручей (многочисленные ксенолиты хибинитов и рисчорритов), в пределах толщи пострудных ийолит-уртитов северного сектора (крупный отторженец фенитов, щелочных сиенитов).

Лявочорриты, сформировавшиеся позже продуктивной интрузии и развитые с ее внутренней стороны, занимают по отношению к ийолит-уртитам в плане конформное положение, но в разрезе резко пересекают их и ограничивают распространение на глубокие горизонты.

Продуктивный комплекс ийолит-уртитов — апатито-нефелиновых руд объединяет взаимосвязанные по составу и по сонахождению в расслоенных структурах комагматиты. По количественному соотношению главных минералов (нефелина, эгирина, полевого шпата) выделяются три непрерывные серии пород (рис. 6):

1) нефелин-эгириновые: уртиты (нефелина более 70 %, эгирина до 30 %) — ийолиты (соответственно 70—40 и 30—60 %) — мельтейгиты (40—10 и 60—90 %) — якупирангиты (нефелина до 10 %, эгирина более 90 %);

2) полевошпатовые аналоги уртит-мельтейгитов (5—15 % полевого шпата);

3) полевошпат-нефелин-эгириновые: ювиты — луявриты — малиньиты, в которых содержание полевого шпата составляет 15—40 %, остальная часть распределяется между нефелином и эгирином. Эти породы являются переходными по составу между ийолит-уртитам и нефелиновыми сиенитами.

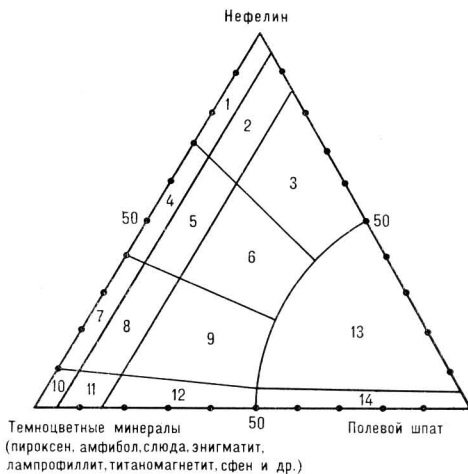


Рис. 6. Диаграмма минерального состава щелочных пород Хибинского массива (составлена Н. А. Елисеевым, М. П. Фивсом, М. Д. Дорфманом, частичные изменения внесены автором).

1 — уртит; 2 — полевошпатовый уртит; 3 — ювит; 4 — ийолит; 5 — полевошпатовый ийолит; 6 — малиньит, луюврит; 7 — мельтейгит; 8 — полевошпатовый мельтейгит; 9 — щелочной габброид; 10 — якупирангит; 11 — полевошпатовый якупирангит; 12 — щелочной пироксенит; 13 — нефелиновый сиенит; 14 — щелочной сиенит.

Текстура ийолит-уртитов массивная, трахитоидная, полосчатая, пятнистая. Массивным сложением характеризуются лейкократовые уртиты и ювиты; трахитоидность (по ориентировке пластинчатых кристаллов полевого шпата, игольчатых выделений эгирина) развита в расслоенных сериях уртит-мельтейгитов и луюврит-малиньитов и обычно сочетается с ритмичной полосчатостью; пятнистая текстура свойственна мезо- и меланократовым мельтейгит-якупирангитам и малиньитам, в которых главные минералы (нефелин, эгирин, полевой шпат) образуют овалы обособления («пятна») в трахитоидном субстрате из тех же минералов.

Второстепенные минералы представлены апатитом, сфеном, титаномагнетитом, биотитом (лепидомеланом), в соответствии с чем при геологической документации выделяются апатитовые, сфеновые уртиты, ийолиты, сфено-титаномагнетитовые (с апатитом) ийолиты, мельтейгиты, слюдяные (биотитовые) мельтейгиты, якупирангиты. Дополняющие диагностику пород характеристики уточняются по данным опробования и результатам комплексного каротажа.

Структура ийолит-уртитов гипидиоморфнозернистая, порфиоровидная, пойкилитовая. Лейкократовые, обычно массивные, уртиты и ювиты характеризуются резким идиоморфизмом нефелина по отношению к эгирину и полевому шпату; в мезо- и меланократовых ийолит-мельтейгитах, наоборот, кристаллы эгирина имеют игольчато-призматический габитус, а зерна нефелина ксеноморфны. Порфиоровидная структура свойственна ийолитам (вкрапленники нефелина) и малиньитам (крупные кристаллы полевого шпата с пойкилитовыми вростками нефелина и эгирина). Полевошпатовым аналогом ийолит-уртитов присуща пойкилитовая структура (вростки нефелина в полевом шпате, апатита и сфена в эгирине). Присутствие в составе пород полевого шпата сопровождается обычно нарушением однородности их сложения.

Для вычисления средних содержаний минералов и химических компонентов в петрографических разновидностях ийолит-уртитового комплекса и средних составов интрузивных субфаз использованы многочисленные результаты лабораторных исследований, выполненных по материалам поисковых и разведочных работ, а также данные о распространенности пород в объемах субфаз и интрузии в целом (табл. 4 и 5).

Апатито-нефелиновые руды, связанные с уртитам промежуточными по составу разновидностями и постепенными взаимопереходами составляют необычную минеральную ассоциацию, не имеющую аналогов среди других объектов фосфатного сырья. Не случайно поэтому клас-

Средний химический состав и распространенность, об. %, пород и руд продуктивного комплекса

Компонент	Дорудная субфаза					Рудная субфаза			Пострудная субфаза							Среднее по комплексу		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		16	17
	SiO ₂	42,28	42,66	46,66	46,89	42,67	45,16	25,55	42,66	47,91	48,10	52,61	43,75	44,92	46,45		43,13	34,01
Al ₂ O ₃	21,41	15,83	20,33	19,39	19,78	22,65	14,49	21,62	22,96	15,26	15,63	23,10	15,95	17,57	6,23	15,31	17,27	19,55
Fe ₂ O ₃	4,09	5,58	3,87	3,97	4,51	3,55	3,55	3,55	3,15	6,90	6,26	3,51	5,77	5,43	10,19	6,06	5,50	4,53
FeO	3,44	4,83	3,02	2,92	3,81	2,85	1,67	2,71	1,81	3,70	3,06	2,04	4,23	3,35	9,96	2,26	3,71	3,51
MnO	0,17	0,25	0,11	0,12	0,19	0,19	0,17	0,18	0,14	0,31	0,37	0,11	0,24	0,26	0,50	0,24	0,23	0,20
MgO	1,78	3,35	2,03	2,19	2,25	1,14	0,77	1,06	0,63	2,74	1,03	1,73	3,68	2,20	6,01	0,94	2,97	2,15
CaO	6,44	9,86	6,47	6,37	7,43	4,34	23,66	6,82	2,96	5,20	2,21	5,07	8,13	5,62	11,95	14,21	6,87	7,12
Na ₂ O	11,18	8,46	9,06	8,74	10,28	10,37	7,09	10,15	10,83	9,79	8,56	12,48	9,88	10,75	5,01	8,32	10,18	10,22
K ₂ O	4,62	3,33	5,03	6,25	4,31	6,48	3,30	6,02	7,31	4,96	7,77	5,09	3,59	4,93	1,78	3,71	4,35	4,75
P ₂ O ₅	0,79	1,26	0,48	0,34	0,90	0,85	16,37	2,84	0,46	0,45	0,12	0,60	0,38	0,59	0,69	5,87	0,50	1,27
Сумма	96,27	95,41	97,06	97,18	96,13	97,58	96,62	97,56	98,09	97,41	97,62	97,48	96,77	97,16	95,45	90,93	97,00	97,65
Объем	30,9	13,6	2,6	0,8	47,9	21,7	3,2	24,9	2,2	3,8	0,3	3,9	15,2	0,9	0,6	0,3	27,2	100,0

Примечание. Дорудная субфаза (1—5): 1 — ургиты трахитоидные; 2 — ийолиты трахитоидные; 3 — ийолиты полевошпатовые трахитоидные; 4 — малыиты трахитоидные; 5 — среднее (дорудная субфаза). Рудная субфаза (6—8): 6 — ургиты массивные; 7 — апатито-нефелиновые руды; 8 — среднее (рудная субфаза). Пострудная субфаза (9—17): 9 — ювиты массивные; 10 — малыиты трахитоидные; 11 — лувариты трахитоидные; 12 — ургиты трахитоидные; 13 — ийолиты трахитоидные; 14 — ийолиты полевошпатовые трахитоидные; 15 — мельчайшие трахитоидные; 16 — сфено-апатитовые руды; 17 — среднее (пострудная субфаза). Распространенность пород и руд приведена в процентах от объема интрузии.

Средний минеральный состав пород и руд продуктивного комплекса

Номер анализа (тип породы)	Нефелин	Полевой шпат	Эгирин, амфибол	Апатит	Сфен	Титано- магнетит, ильменит	Сумма
1	72,46	3,40	16,75	1,33	4,72	0,72	99,38
2	50,63	3,49	32,78	2,10	7,32	3,17	99,49
3	52,21	7,51	32,83	1,78	4,36	0,55	99,24
4	40,07	32,85	22,80	0,97	1,15	0,53	98,37
5	64,62	4,14	22,28	1,57	5,38	1,40	99,39
6	66,78	6,50	18,15	2,55	4,38	1,16	99,52
7	39,45	0,73	8,25	46,49	2,67	1,89	99,48
8	64,27	5,76	16,88	7,29	4,16	1,25	99,51
9	45,77	42,20	10,00	0,93	0,40	0,20	99,50
10	41,49	23,36	31,50	0,38	2,16	0,68	99,57
11	30,38	38,04	27,22	0,35	2,45	1,23	99,67
12	78,90	1,26	14,34	1,48	3,29	0,41	99,68
13	49,59	3,22	38,49	1,17	5,67	1,48	99,82
14	49,92	8,58	34,89	1,63	3,65	1,13	99,80
15	19,06	2,38	65,00	1,70	3,73	7,64	99,51
16	35,25	2,50	20,21	14,90	20,76	6,18	99,80
17	51,32	9,44	31,89	1,25	4,43	1,28	99,61
Среднее по комплексу	60,89	5,98	23,55	2,91	4,82	1,33	99,48

Примечание. Номера анализов расшифрованы в табл. 4.

сификация апатито-нефелиновых руд разрабатывалась и уточнялась только применительно к Хибинам и не могла быть заимствована или распространена на другие объекты.

По мере накопления и систематизации знаний формулировалось понятие «apatито-нефелиновая руда», совершенствовалась типизация, расширялась номенклатура руд. Ранее руды именовались «apatито-нефелиновыми породами», которые подразделялись на «богатые» (неапиты с содержанием более 50 % апатита) и «бедные» (апаниты — более 50 % нефелина). Оба термина не получили распространения.

Л. Б. Антонов [1] в структуре Кукисвумчоррского месторождения выделил верхнюю «пятнистую апатитовую зону» богатых руд и нижнюю зону «крупнополосчатых» руд. Верхняя зона состоит из редко-, средне- и густопятнистых, брекчиевых, пятнисто-полосчатых разновидностей руд, которые, по Л. Б. Антонову, фиксируют различные стадии ассимиляции боковых пород апатитовой магмой. Кроме «крупнополосчатых» руд в нижней зоне известны «полосчато-чечевидные» и «очковые» (т. е. линзовидно-полосчатые и блоковые) разновидности руд. Эта классификация также не получила признания среди исследователей.

М. П. Фивег [44] считает, что выделение в составе Кукисвумчорр-Юкспор-Расвумчоррской апатитовой залежи пятнистых, полосчатых, сетчатых и брекчиевых руд исчерпывает перечень природных типов и является достаточным для их визуальной диагностики.

Т. Н. Иванова [16] подразделяет руды по содержанию главных минералов на две группы: существенно апатитовые породы (пятнистые, пятнисто-полосчатые) и апатито-нефелиновые породы (линзовидно-полосчатые, сетчатые, крупно- и мелкоблоковые, апатитовая брекчия). Породы, ассоциирующие с рудой, определяются как апатитовый (апатитсодержащий), апатит-сфеновый, сфеновый уртит (ийолит). Граничные (предельные) содержания апатита и других минералов для разде-

ления пород в ряду апатитовый уртит — апатитовая руда не приводятся.

Общим недостатком ранних классификаций апатито-нефелиновых руд является их описательный характер, отсутствие количественных признаков для однозначной диагностики. Обычно в каждой рудной разновидности сочетаются текстурные элементы («пятна», «линзы», «блоки» нефелина), характерные для других типов руд. Поэтому их визуальная диагностика достаточно субъективна, определение принадлежности руд к той или иной разновидности часто производится по преобладающему признаку.

За длительный период изучения и освоения хибинских месторождений классификация природных типов руд значительно дополнена и уточнена. Этому способствовало несколько причин: во-первых, в связи с неоднократными изменениями кондиций на апатито-нефелиновые руды возникла необходимость дополнить номенклатуру руд за счет вовлечения апатитосодержащих уртитов, ранее не учитывавшихся кондициями; во-вторых, были выявлены две генетические генерации рудообразующего апатита [20] и соответствующие им ранне- и позднемагматические апатито-нефелиновые руды.

Раннемагматические руды, в которых апатит представлен первой генерацией, подразделяются на пятнистые, пятнисто-полосчатые, блоковые, линзовидно-полосчатые и сетчатые (рис. 7).

Пятнистая руда (более 65 % апатита) сложена мелкозернистым агрегатом сахаровидного апатита, в котором довольно равномерно вкраплены крупные (1—3 см) изометричные зерна и группы зерен зеленовато-серого нефелина, бурого сфена и черного эгирина, придающие руде характерный пятнистый облик. Вкрапленники силикатов изобилуют вростками апатита. Нередко они имеют не изометричную, а уплощенную форму, группируются в прерывистые полосы; в этом случае руда относится к пятнисто-полосчатой разновидности.

Линзовидно-полосчатые руды (40—65 % апатита) характеризуются послойным сочетанием светлых апатито-нефелиновых полос шириной 2—10 мм с темными нефелино-эгириновыми шлирами («линзами») размером 5—10 см в длину и до 1—3 см шириной. Объемные соотношения между апатитовым субстратом и ийолитовыми шлирами, не содержащими апатита, широко варьируют; не является также постоянным и соотношение между апатитом и нефелином в окружающей массе. Поэтому минеральный состав линзовидно-полосчатых руд весьма непостоянный: наиболее богатые из них по содержанию апатита близки к пятнистым рудам и в этом случае кроме шлиров включают вкрапленники силикатов; наоборот, в относительно бедных рудах этой разновидности в субстрате преобладает нефелин, в связи с чем между линзовидно-полосчатыми рудами и подстилающими уртитам такой же текстуры выделяются промежуточные по составу бедные руды, известные как «сетчатые».

Блоковые руды (40—50 % апатита) четко выделяются среди других типов руд по внешнему виду: характерным текстурным элементом блоковых руд служат идиоморфные фенокристаллы («блоки») нефелина размером 3—5 до 7 см, окруженные либо линзовидно-полосчатым агрегатом (линзовидно-полосчатые руды с блоками нефелина), либо существенно нефелино-apatитовой массой без шлиров. Содержание апатита в этих рудах зависит от концентрации «блоков» в субстрате, в связи с чем между блоковыми рудами и блоковыми уртитам (apatита менее 10 %) имеется переходная по составу разновидность — блоковый апатитовый уртит.

Брекчиевая апатитовая руда (синонимы: апатитовая или рудная брекчия, брекчия апатито-нефелиновых руд с уртитовым или ийолитовым цементом) имеет изменчивый смешанный состав — ксенолиты

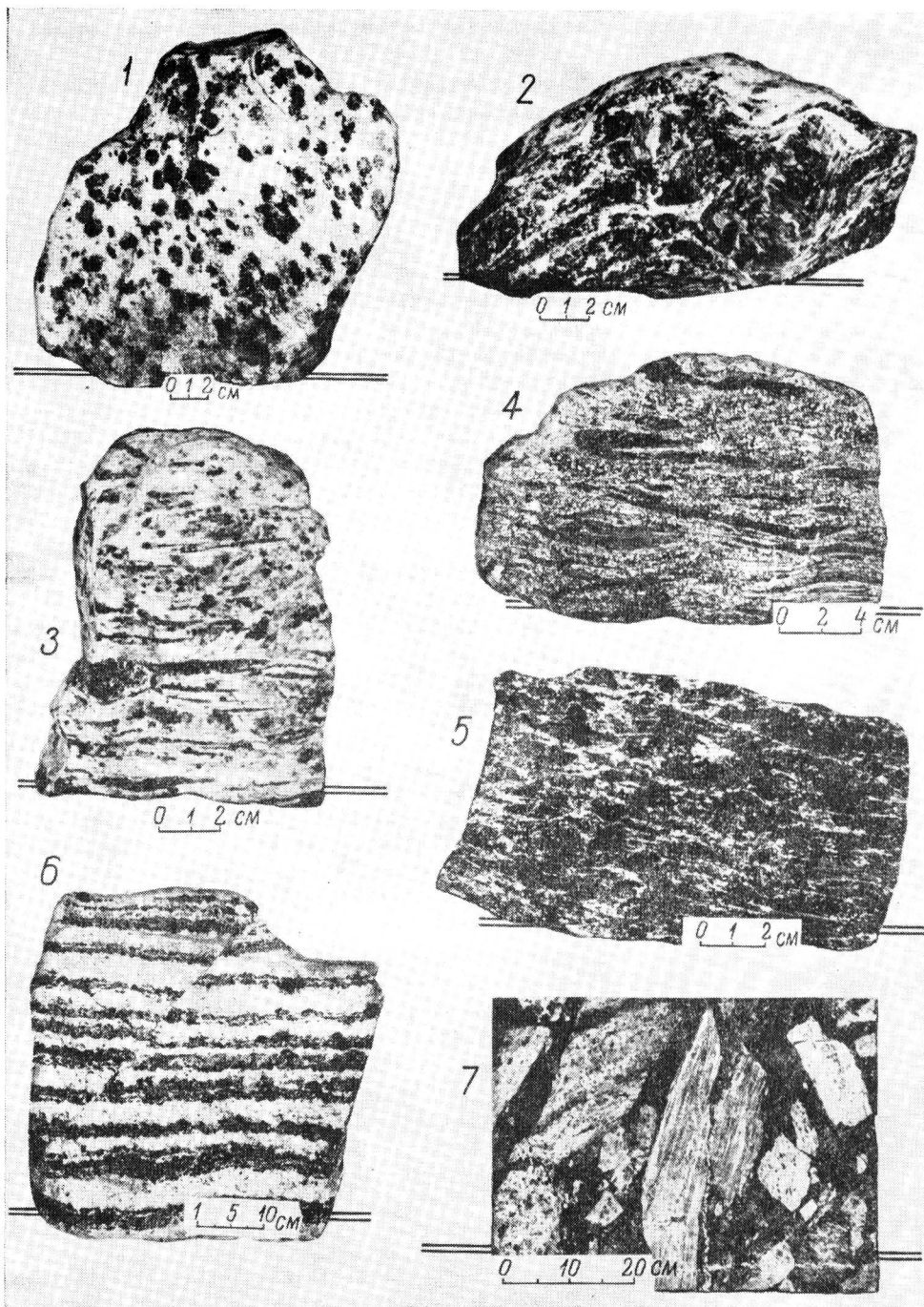


Рис. 7. Природные типы апатито-нефелиновых руд.

1 — пятнистая; 2 — блоковая; 3 — пятнисто-полосчатая; 4 — линзовидно-полосчатая; 5 — сетчатая; 6 — полосчатая; 7 — брекчиевая.

брекчии представлены раннемагматическими рудами (от пятнистой до сетчатой), цементируемые массивными, обычно полевошпатовыми урритами или трахитоидными ийолитами (брекчия «ньюкпакского типа»). Объемные соотношения между рудными ксенолитами и цементом, также содержащим апатит в переменных количествах, изменяются

в широких пределах, поэтому валовый минеральный состав брекчии крайне непостоянный. Большим разнообразием характеризуются и морфологические параметры рудной брекчии: размеры, форма и ориентировка ксенолитов, их взаимоотношения с цементирующим материалом. Размеры обломков составляют от нескольких сантиметров до десятков метров (в последнем случае выделяется особый морфологический тип — рудная мегабрекчия). Форма их самая разнообразная: неправильная с угловатыми или сглаженными контурами, изометричная или удлиненно-овальная. Полосчатость руд в ксенолитах не имеет преимущественной ориентировки, что свидетельствует о их перемещении в процессе формирования. Контакты между рудой и цементом резкие, интрузивные.

Образование брекчий связано с инъекциями уртитов и ийолитов в виде ветвящихся жил, апофиз, рассекающих апатитовую залежь в разных направлениях. Весьма характерно, что типовой состав рудных ксенолитов меняется в зависимости от того, какую зону пересекает брекчия. Имеются брекчии без цемента (тектоническая или «сухая» брекчия): в них рудные ксенолиты плотно спрессованы, притерты, хотя их типовой состав может быть достаточно разнообразным (пятнистые, блоковые, массивные и другие типы руд соприкасаются между собой). Такая брекчия формируется на тектонически напряженных участках месторождений.

С апатито-нефелиновыми рудами ассоциируют сфено-apatитовые руды, залегающие в кровле апатитовых залежей. Они характеризуются тесным парагенезисом сфена (10—50 %), апатита (10—40 %), нефелина (20—40 %), эгирина (15—25 %), титаномагнетита (5—10 %) и ильменита (до 5 %) с полевым шпатом, крайней неоднородностью состава и сложения, частым и неупорядоченным переслаиванием прослоев в разной мере обогащенных сфеном и апатитом, тесной пространственной и генетической связью с вышележащими трахитоидными ийолит-уртитам. В зависимости от преобладания в составе сфено-apatитовых руд типоморфных минералов при геологической документации выделяются существенно сфеновые, сфено-apatитовые, сфено-титаномагнетитовые руды, уртиты, ийолиты. Преобладающая текстура — трахитоидно-полосчатая с элементами пятнистой и брекчиевой.

В отличие от раннего апатита первой генерации, слагающего основную массу пятнистых, линзовидно-полосчатых, сетчатых и блоковых руд, поздний апатит-2 образует неравномерную вкрапленность, прожилковые и гнездовые агрегаты в массивном уртите, где иногда достигает весьма значительных концентраций. Он хорошо диагностируется по формам развития, крупной величине кристаллов (до 10 мм), характерной окраске (лимонно-желтой, ярко-зеленой), не свойственной апатиту-1. По сравнению с ранним апатитом в составе апатита-2 фиксируется повышенная концентрация элементов-примесей. Поздний апатит развивается по нефелину с образованием полных псевдоморфоз.

В связи с широкими масштабами развития процессов апатитизации уртитов, крайним случаем которых является образование мономинеральных апатитовых агрегатов, внесены дополнения в номенклатуру природных типов руд. Начальным стадиям замещения соответствуют массивные уртиты с бедной (2—4 % P_2O_5) вкрапленностью апатита; позднее возникают апатитовые уртиты (4—8 % P_2O_5); при высокой концентрации апатита-2 формируются массивные апатито-нефелиновые (8—30 % P_2O_5) и сплошные (более 30 % P_2O_5) апатитовые руды. Таким образом, массивные уртиты с апатитовой минерализацией — апатитовые уртиты — массивные апатито-нефелиновые — сплошные апатитовые руды образуют непрерывную серию позднемагматических апатитовых вкрапленных руд.

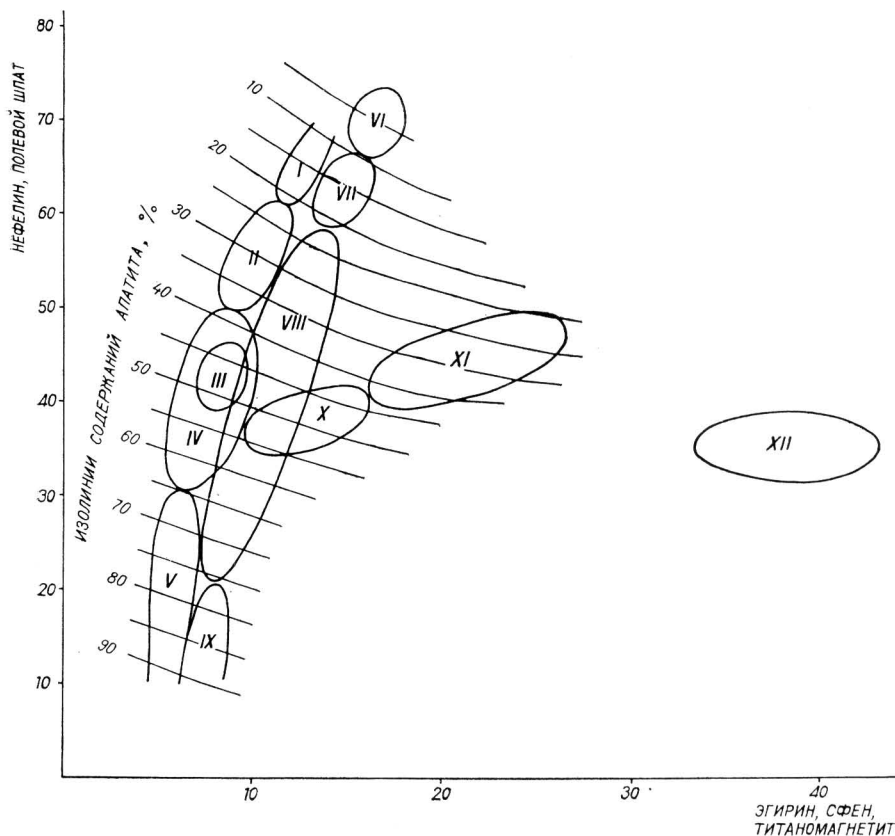


Рис. 8. Диаграмма минерального состава апатито-нефелиновых и сфено-apatитовых руд хибинских месторождений (составил Е. А. Каменев).

Апатито-нефелиновые руды с раннемагматическим апатитом (I—V): сетчатые и линзовидно-полосчатые уртыты (I), сетчатые (II), блоковые (III), линзовидно-полосчатые (IV), пятнисто-полосчатые (V). Апатито-нефелиновые руды с позднемагматическим апатитом (VI—IX): уртыты с вкрапленным апатитом-2 (VI), апатитовые уртыты (VII), массивные руды (VIII), сплошные руды (IX). Брекчиевые руды (X—XI) с уртытовым (X) и ийолитовым (XI) цементом; XII — сфено-apatитовые руды. Содержание апатита показано изолиниями через 5%.

Ранее, при жестких ограничениях кондиций к балансовым рудам (при бортовом содержании P_2O_5 12%) вкрапленные руды с апатитом-2 имели ограниченное распространение в объеме апатитовых залежей. При геологической документации они отмечались как «уртыты

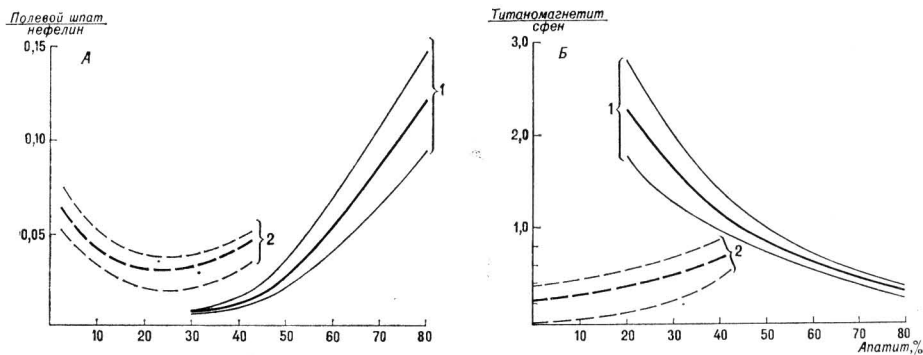


Рис. 9. Изменение нормативных отношений рудообразующих минералов в зависимости от содержания апатита в апатито-нефелиновых рудах с ранне- (1) и поздне- (2) магматическим апатитом (составил Е. А. Каменев).

с апатитом» (при содержании P_2O_5 до 15 %) или как «мелкоблочные» руды (более 15 %), а мономинеральные апатитовые руды объединялись с пятнистыми. В условиях новых требований к балансовым рудам их доля в объеме залежей увеличилась до 15—35 %.

Ранне- и позднемагматические апатитовые руды обособились на диаграмме минерального состава (рис. 8), связывающей содержание апатита (в изолиниях через 5 %) с соотношением лейкократовых (нефелин, полевой шпат) и меланократовых (эгирин, титаномагнетит, сфен) минералов. На этой диаграмме обе генетические группы руд образуют параллельные серии: повышенное содержание темноцветных минералов в рудах второй генерации при одинаковом количестве апатита, по-видимому, связано с замещением нефелина позднемагматическим апатитом.

Апатитовые руды второй генерации отличаются от раннемагматических руд по динамике изменения нормативных отношений полевого шпата к нефелину и суммы титаномагнетита и ильменита к сфену по мере увеличения в них содержаний апатита (рис. 9). В раннемагматических рудах (рис. 9, 1) с увеличением содержания апатита от сетчатых к пятнистым доля полевого шпата в фельдшпатоидах резко возрастает (от 0,01 до 0,10—0,15), а суммы титаномагнетита и ильменита по отношению к сфену существенно снижается (от 3,0—2,0 до 0,4). Наоборот, руды позднемагматического генезиса (кривая 2) характеризуются противоположно направленным изменением этих коэффициентов в ряду от апатитовых уртитов к массивным рудам.

Все природные типы апатито-нефелиновых руд в различном соотношении представлены на каждом месторождении, однако их распространенность (в объемных процентах) меняется как по простиранию, так и по падению апатитовых залежей. На месторождениях простого строения (Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый Цирк и Плато Расвумчорр) внутреннее строение залежей характеризуется отчетливой зо-

Таблица 6

Средний минеральный состав природных типов апатитовых руд хибинских месторождений, мас. %

Минерал	Тип руды								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Апатит	21,90	74,62	44,04	43,33	31,71	47,33	32,36	10,10	40,11
Нефелин	30,92	14,85	39,75	42,09	51,84	33,24	37,28	63,50	38,74
Эгирин	17,73	5,89	8,68	7,69	9,25	10,91	17,74	16,18	11,11
Сфен	18,21	1,35	3,00	2,21	2,64	2,43	2,72	4,16	3,12
Титаномагнетит	4,23	0,39	1,21	2,02	2,55	1,26	0,78	0,75	1,12
Ильменит	1,19	0,20	0,35	0,28	0,65	0,58	—	0,37	0,38
Полевой шпат	2,20	1,55	1,22	0,68	0,45	2,69	6,36	2,30	3,26
Прочие	3,62	1,15	1,74	1,70	1,51	1,56	2,76	2,64	2,16
Сумма	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Число анализов	195	395	236	1133	244	235	80	430	369

Примечание. 1 — сфено-apatитовые руды. Апатито-нефелиновые руды: 2 — пятнистые; 3 — блоковые; 4 — линзовидно-полосчатые; 5 — сетчатые; 6—7 — брекчиевые с уртитовым (6) и ийолитовым (7) цементом; 8 — апатитовые уртиты; 9 — массивные.

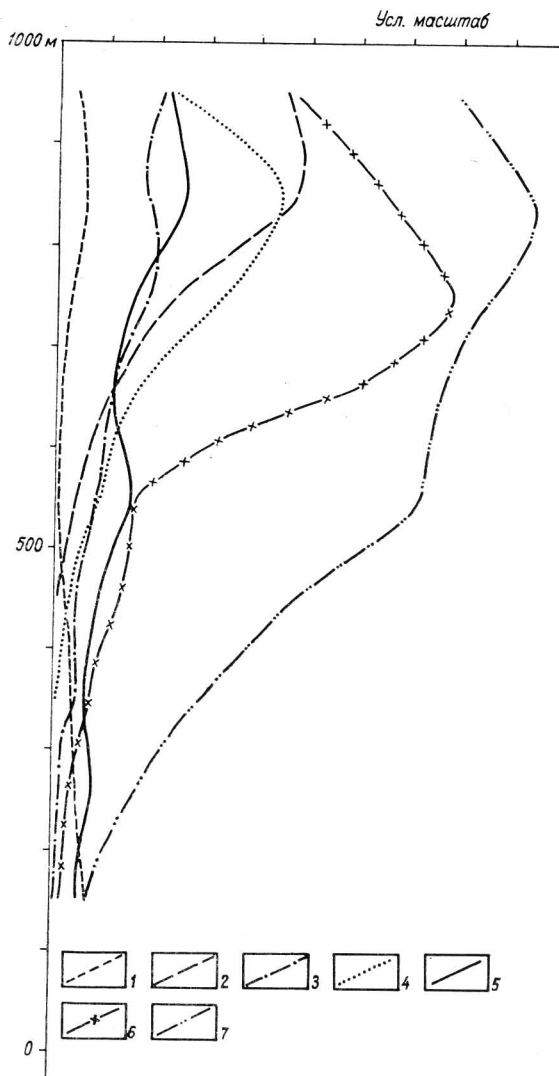


Рис. 10. Распределение природных типов руд, отн. %, по гипсометрическим уровням (месторождение Плато Расвумчорр).

Типы руд: 1 — сфеновые, 2 — пятнистые, 3 — массивные, 4 — блоковые, 5 — апатитовые уртиты, 6 — брекчиевые, 7 — линзовидно-полосчатые.

нальностью: в направлении от нижнего к верхнему контакту массивные уртиты, подстилающие рудные тела, постепенно обогащаются апатитом, сменяются массивными и сетчатыми рудами, выше которых залегают линзовидно-полосчатые руды, составляющие до 50 % объема залежи; в средней части разреза локализуется маркирующий прослой блоковых руд мощностью 10—30 м, разделяющий линзовидно-полосчатую зону; далее по направлению к высящему боку развиты богатые пятнистые и пятнисто-полосчатые руды (до 30 % объема залежи), которые, в свою очередь, перекрываются зоной сфено-apatитовых руд (рис. 10).

На месторождениях сложного строения (Коашва, Ньоркпахк, Олений Ручей) первичная зональность нарушена поздними инъек-

циями ийолит-уртитов, однако проявляется при палеоструктурных реконструкциях [20].

Наряду с первичной вещественной зональностью, обусловленной упорядоченным расположением природных типов руд от нижнего к верхнему контакту, на всех месторождениях отчетливо выражена тенденция к снижению интенсивности оруденения по падению залежей (мощности, содержания апатита). Выявленные закономерности пространственного распределения природных типов руд в целом по всем месторождениям хибинской группы и в пределах каждого отдельно взятого месторождения являются отражением их вещественной зональности, тесно связанной со структурной зональностью.

Средний минеральный состав руд приведен в табл. 6

Апатито-нефелиновые и сфено-apatитовые руды являются комплексными: главные рудообразующие минералы (апатит, нефелин, сфен и титаномагнетит), извлекаемые в селективные концентраты, в свою очередь, кроме основных, содержат попутные полезные компоненты.

Зональное строение апатитовых залежей объясняется А. Е. Ферсманом [43] сложным процессом дифференциации исходной магмы, приведшим к накоплению в очаге эвтектоидного остатка, обогащенного

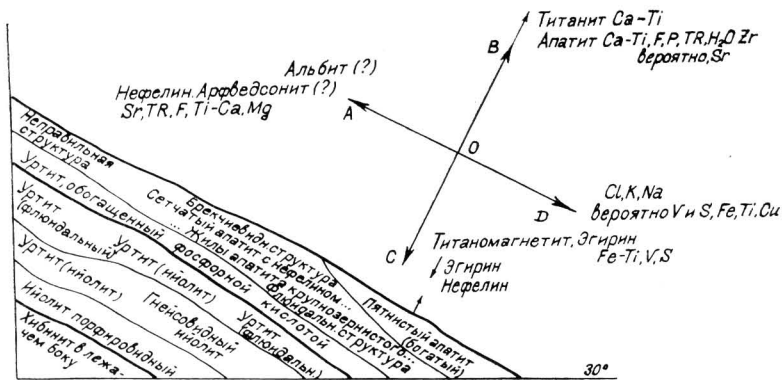


Рис. 11. Схема зональности апатитовой залежи Кукисвумчоррского месторождения и направление миграции компонентов [43].

фосфором, титаном, кальцием и натрием. Экструзия этого остатка в коническую камеру сопровождалась разделением вещества по плотности, летучести и упругости, отделением флюидного фосфатного расплава от остаточной эвтектоидной массы, соответствующей составу ийолит-уртита, и миграцией фосфора, редких земель, фтора и титана в сочетании с кальцием в сторону висячего бока апатитовой залежи при встречном потоке калия, натрия, железа в сочетании с титаном и ванадием. Одновременно по восстанию залежи накапливались фтор, калий, натрий, отчасти магний при уменьшении концентрации стронция, редких земель и, возможно, ванадия (рис. 11). Вследствие развития этого процесса «наиболее чистые, богатые нефелином уртиты будут непосредственно под апатитовым телом и на небольших абсолютных высотах..., что действительно и наблюдается. Вместе с тем надо ожидать, что наиболее богатые апатитом участки будут лежать в висячем боку в средних частях линз по падению и кверху и книзу будут выклиниваться (от 600 м наверху, может быть, до 0—200 м в глубине). В глубинах нельзя исключить нахождение больших запасов титаномагнетитовых руд и сульфидов».

Касаясь проблемы о природе компонентов, «составляющих основу апатита: P, Ca и F (Cl)», А. Е. Ферсман путем несложных геохимиче-

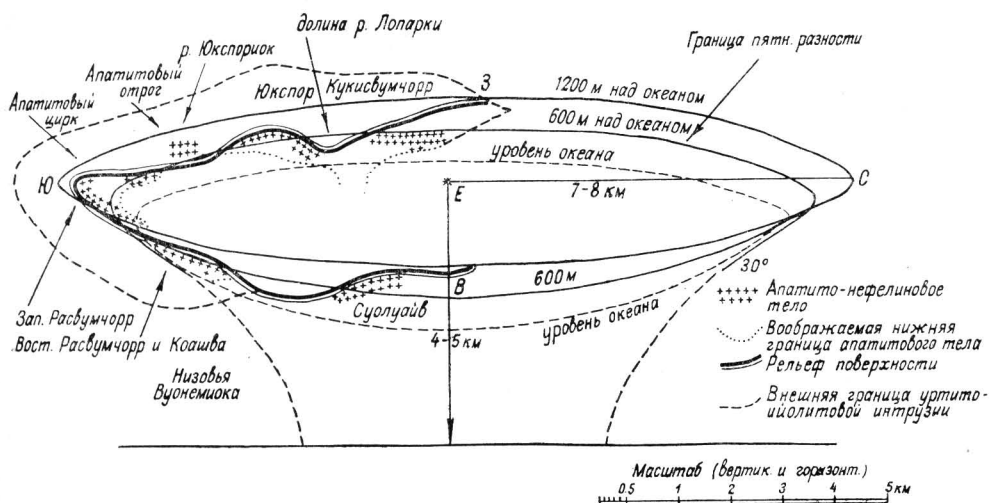


Рис. 12. Схематическое расположение апатитовых залежей [43].

ских расчетов пришел к выводу, что «нет оснований искать источник составных частей апатита где-либо вне самой магматической нефелино-сиенитовой породы; но вместе с тем необходимы были условия для его отделения и концентрации. Эти условия создавались агпаитовым порядком кристаллизации».

Размещение апатитовых залежей в объемной конической модели по А. Е. Ферсману показано на рис. 12.

Южная, Северная и Западная субинтрузии представляют собой пространственно разобщенные части геологически единой конической структуры центрального типа, связанные общностью состава и механизма формирования, но различающиеся морфологическими особенностями (размерами, формой, условиями залегания), внутренним строением, набором и относительной распространенностью пород, масштабами установленного и прогнозируемого апатитового оруденения. В объемах отдельных субинтрузий сочетаются породы одной или нескольких разновозрастных субфаз.

Продуктивная интрузия и составляющие ее субинтрузии практически полностью околтурены при геологическом картировании масштаба 1 : 10 000, в результате структурного бурения глубоких скважин (до 2,0—2,5 км) по системе радиальных поисковых профилей и разведочного бурения на месторождениях и рудных участках, общая протяженность которых составляет более половины периметра интрузии (рис. 13). В плоскости падения интрузия прослежена до 3—4 км.

Анализ этих данных показывает, что структурное положение Южной, Северной и Западной субинтрузий не может быть охарактеризовано в обобщенном виде в связи со значительными вариациями их метрологических параметров (размеров, форм, элементов залегания), изменчивостью состава пород и взаимоотношений между ними и рудами. Причем это разнообразие проявляется как между отдельными субинтрузиями, так и в их пределах (по простиранию и по падению).

Южная субинтрузия длиной 37 км (угловая ширина сектора 165°), шириной до 2,0—2,5 км (истинная мощность 1,5 км) прослеживается от западных склонов Бол. Кукисвумчорра через южные отроги Юкспора, Расвумчорра, Коашвы, Ньоркпахка и Суолуайва до горы Коашкар на юго-востоке массива. Простирание ее на этом участке плавно изменяется от меридионального через северо-западное и широтное до северо-восточного, т. е. со средней интенсивностью 4—5°/км длины. Оба контакта наклонены к центру массива: нижний (с трахитоидными хибинитами и рисчорритами) — под углом 30—35°, верхний (с рисчорритами) — более пологий (10—30°). По направлению падения субинтрузия прослежена на 3—4 км. Однако реальная форма субинтрузии определяется сочетанием ее контактов как с ранними вмещающими породами («активные» контакты), так и с более поздними комплексами («пассивные» контакты), в связи с чем пологое центрoклинальное погружение ийолит-уртитов на глубине ограничивается крутопадающей интрузией лъвочорритов.

В южном «полукольце» сосредоточено большинство месторождений (90 % разведанных запасов P_2O_5). Апатитовые залежи только на поверхности приурочены к кровле толщи ийолит-уртитов (рис. 14, 15), на глубине же они целиком располагаются внутри интрузии, разделяя ее на две части.

В основании разреза, т. е. в лежачем боку, залегают трахитоидные уртиты, ийолиты и малиньиты дорудной субфазы, слагающие дугообразное тело (угол сектора 90°) длиной 21 км и наибольшей мощностью 500—750 м. По направлению к флангам (Кукисвумчорр — Коашва) и по падению породы выклиниваются. Трахитоидные уртиты и ийолиты многократно переслаиваются (мощность слоев — первые десятки до сотни метров), причем менее плотные уртиты тяготеют к верхней, а

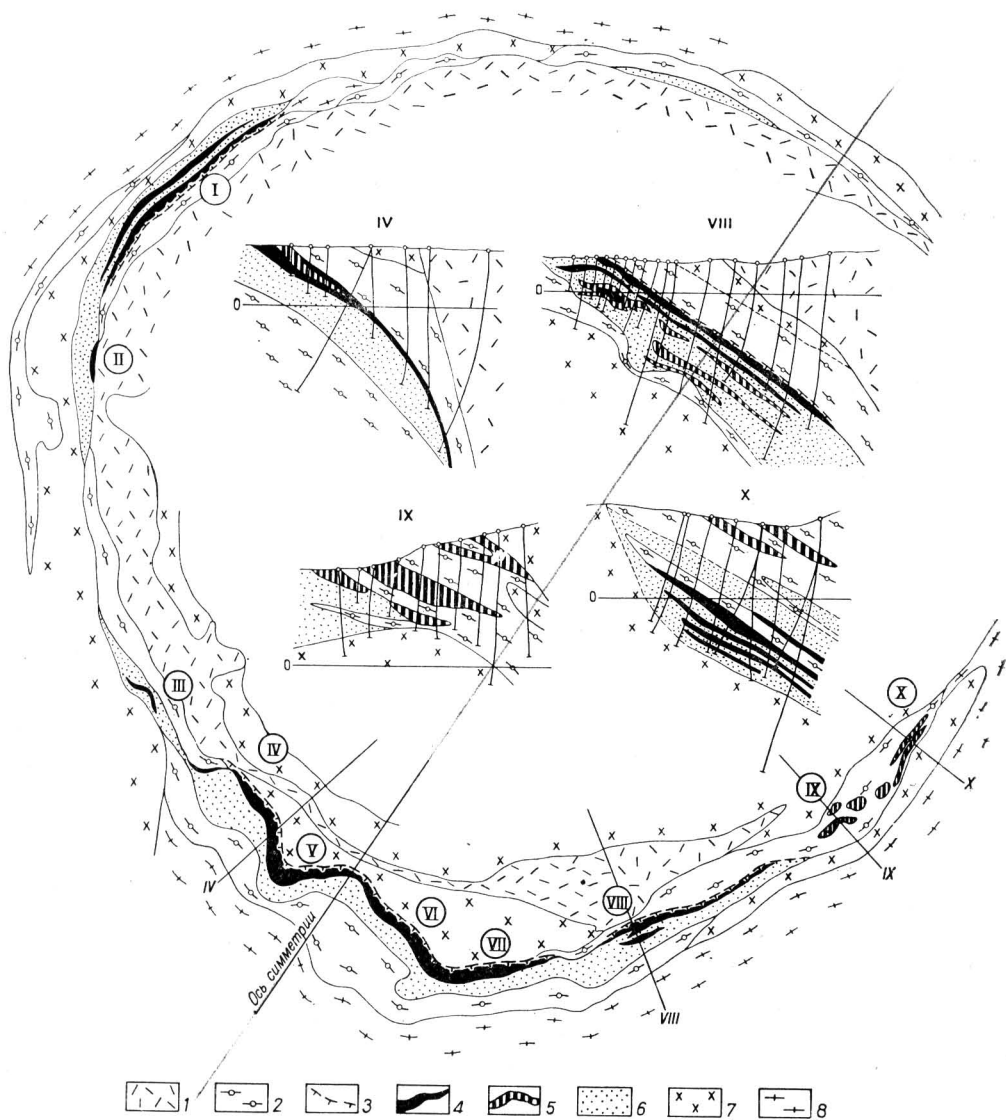


Рис. 13. Схема размещения хибинских апатито-нефелиновых месторождений (составлена Е. А. Каменевым и Р. М. Файзуллиным).

1 — лавочорриты; 2 — уртит-ийолит-мельтейгиты трахитоидные; 3—5 — рудные залежи (и руды): 3 — сфено-апатитовые, 4 — апатито-нефелиновые, 5 — брекчиевые; 6 — уртиты массивные; 7 — рисчорриты; 8 — хибиниты. Месторождения: I — Партомчорр; II — Куэльпор; III — Снежный Цирк; IV — Кукисвумчорр; V — Юкспор; VI — Апатитовый Цирк; VII — Плато Расвумчорр; VIII — Коашва; IX — Ньоркпахк; X — Олений Ручей.

ийолиты преимущественно развиты в средней и нижней частях разреза. На контакте с трахитоидными хибинитами залегает 30—50 м прослой малиньитов (эндоконтактовая фация).

Ранний возраст подстилающих трахитоидных уртитов и ийолитов по отношению к вышележащим массивным уртитам рудной субфазы бесспорно устанавливается при анализе контактовых изменений пород (резкие интрузивные контакты сопровождаются зонами «закалки», угловыми несогласиями, жилами и апофизами массивных уртитов, брекчирующих трахитоидные ийолит-уртиты). Вместе с тем «контрастность» проявления признаков, по которым определяется разновозрастность пород, заметно «затухает» на глубоких горизонтах массива: контакты

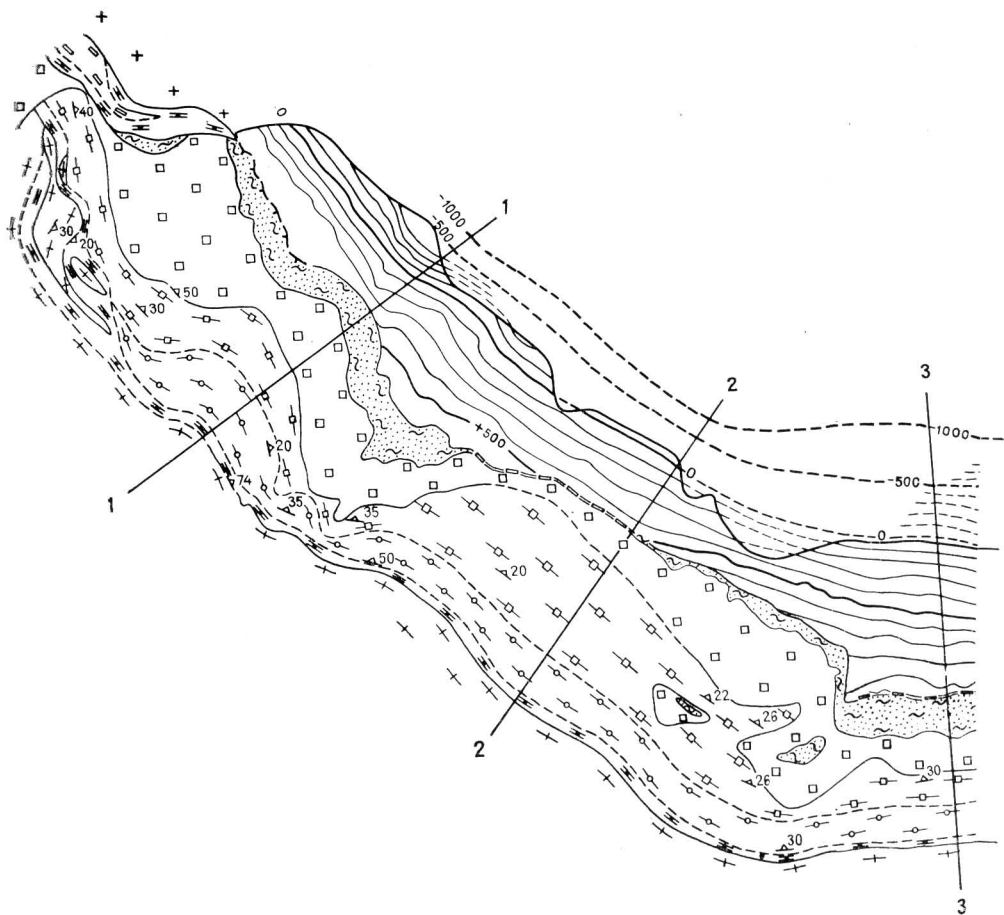
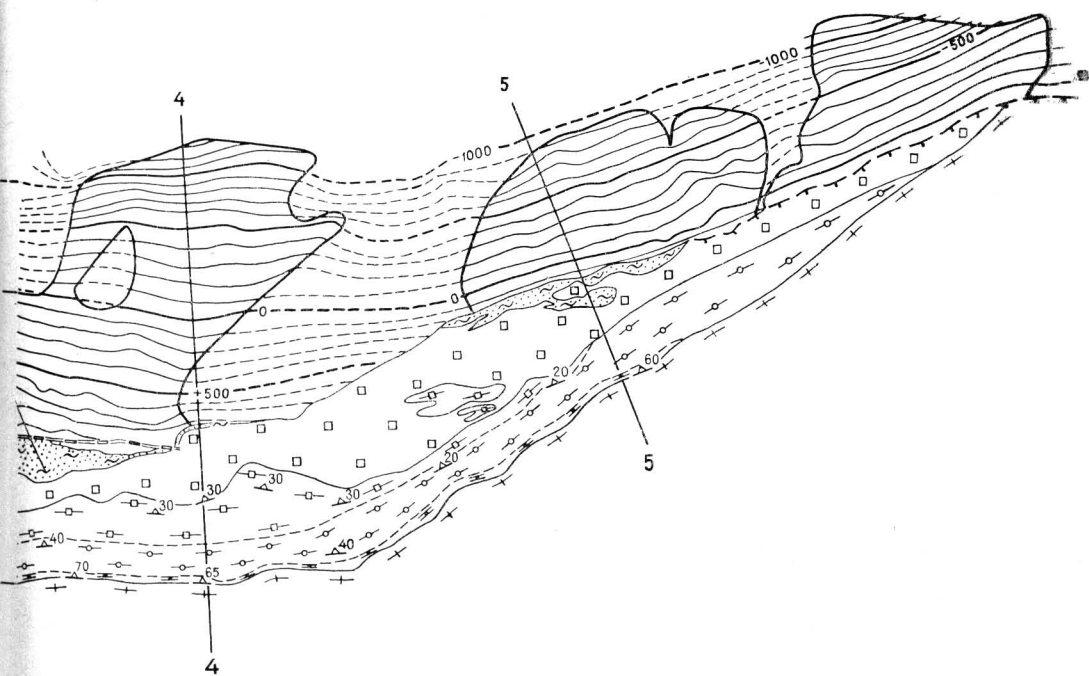


Рис. 14. Геологическая схема Южной субинтрузии
Положение кровли апатитовых залежей показано в изогипсах

становятся нерезкими, неотчетливыми, изменения пород — менее выражены, ксенолиты приобретают «оплавленные» очертания, отмечаются явления переслаивания трахитоидных и массивных уртитов. Такая же тенденция к «сглаживанию» возрастных взаимоотношений между породами разных субфаз, проявляющаяся на глубоких горизонтах, свойственна и другим интрузивным комплексам.

Пачка дорудных расслоенных ийолит-уртитов перекрывается 300—500 м толщиной массивных уртитов и ассоциирующих с ними апатито-нефелиновых руд (рудная субфаза). Пластовое коническое тело руд-уртитов прослежено по простиранию (от СЗ 330° через широтное до СВ 45°) от Кукисвумчорра до Коашкара на 32 км (угол сектора 145°), а по падению (от $20\text{--}30^\circ$ на поверхности до $50\text{--}60^\circ$ на глубине 1—2 км) до 3—4 км.

Апатитовые месторождения южного сектора образуют два морфо-структурных типа, различающиеся размерами, формой, условиями локализации залежей в рудоконтролирующей структуре и особенностями внутреннего строения (рис. 16). К первому типу относятся месторождения Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр и Эвслогчорр, представленные тремя сообщающимися друг с другом по простиранию и по падению линзообразными залежами общей протяженностью 12 км по простиранию и, в зависимости от глубины эрози-



ийолит-уртитов (составил Е. А. Каменев).
с сечением через 100 м. Условные обозначения см. рис. 4.

онного среза, 1—4 км по падению. Определяющей чертой внутреннего строения месторождений этого типа является асимметрично-зональное размещение природных (текстурных) разновидностей руд в направлении от нижнего к верхнему контактам залежей. Месторождения второго типа характеризуются многоярусным строением (Кошва, Ньюкпахк, Олений Ручей), в рудных зонах которых сосредоточено от 3—5 до 10—12 апатитовых залежей (тел, горизонтов), локализующихся среди массивных уртитов и трахитоидных ийолитов пострудной субфазы. Первичная зональность таких залежей нарушена поздними инъекциями ийолит-уртитов.

Контактные соотношения между уртитом и рудами отличаются сложностью и многообразием, чем и объясняется дискуссионность их возрастной интерпретации и природы связи апатитового оруденения с продуктивными породами. Противоречивость наблюдаемых контактных взаимоотношений между уртитом и рудами заключается в:

- а) наличии среди апатито-нефелиновых руд овальных шлиров, ксенолитов (?) массивных уртитов, обтекаемых полосчатостью руд, что свидетельствует об относительно раннем образовании уртитов;
- б) переслаивании в полосчатых ассоциациях уртитовых и апатитовых прослоев, взаимосвязанных промежуточными по составу разновидностями, свойственным сингенетичным образованиям;

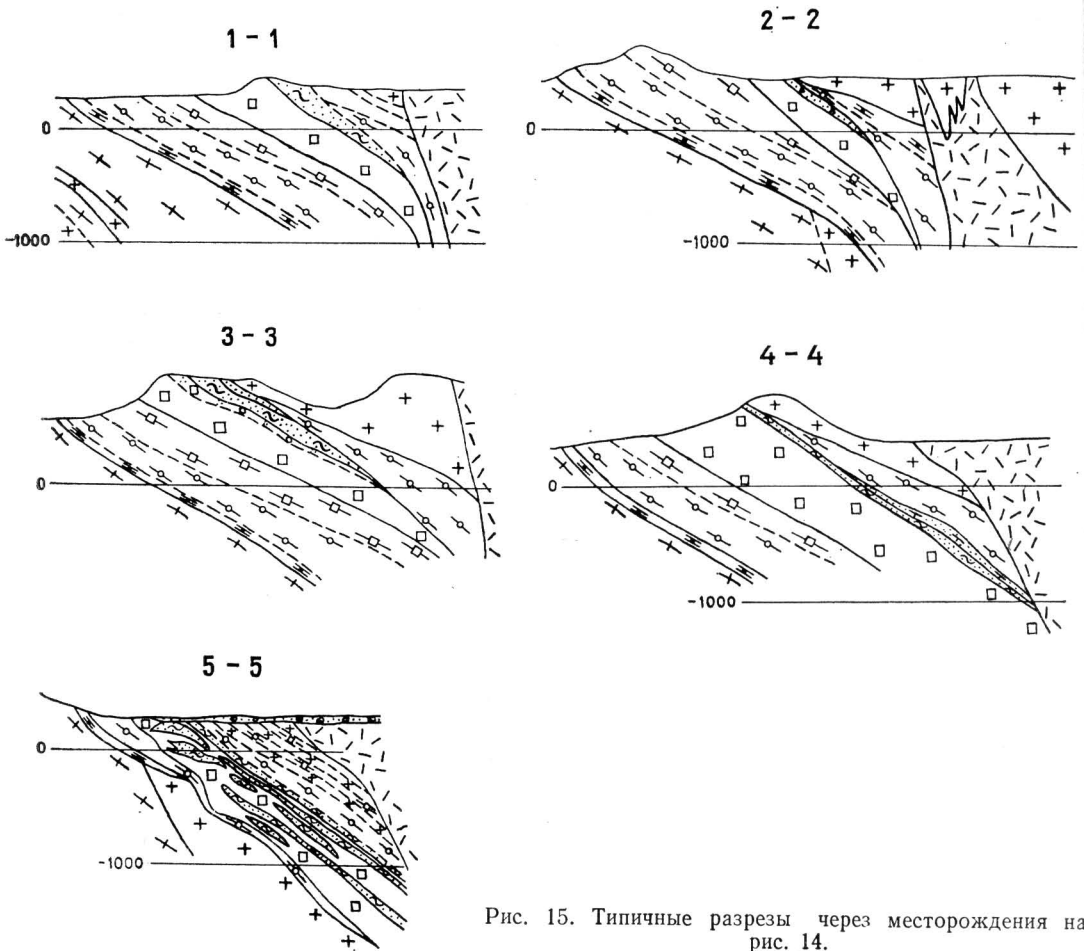


Рис. 15. Типичные разрезы через месторождения на рис. 14.

в) брекчировании руд массивными уртитам, указывающем на позднее происхождение уртитов в процессе рудообразования.

Придавая решающее значение какому-либо одному из отмеченных фактов, затушевывая или игнорируя другие, различные исследователи высказывали резко противоположные мнения о механизме рудогенеза. Необходимо отметить, что полосчатые ассоциации руд и уртитов свойственны глубинным (корневым) частям месторождений, а явления брекчирования, приводящие к формированию мощных залежей рудных брекчий, присущи в основном апикальным (фронтальным) участкам.

С учетом этих наблюдений различия в морфологии контактов рудных тел с уртитам являются, по мнению автора, отражением многоэтапного механизма рудообразования, проявляющегося с различной «контрастностью» по мере отделения обогащенного летучими компонентами подвижного фосфатного расплава от исходной более вязкой магмы при движении к рудовмещающей камере.

Верхняя часть разреза Южной субинтрузии представлена четко дифференцированной пачкой трахитоидных уртитов, ийолитов, мельтейгитов (с прослоем сфено-апатитовых руд в основании на контакте с апатитовыми залежами) и их полевошпатовых аналогов — луювритов, малиньитов, массивных уртитов. Эти породы в виде дугообразной полосы прослежены на всем протяжении южного сектора, где они перекрывают рудные тела, а на юго-восточном фланге (месторождения Ньоркпахк, Олений Ручей) брекчируют апатито-нефелиновые руды.

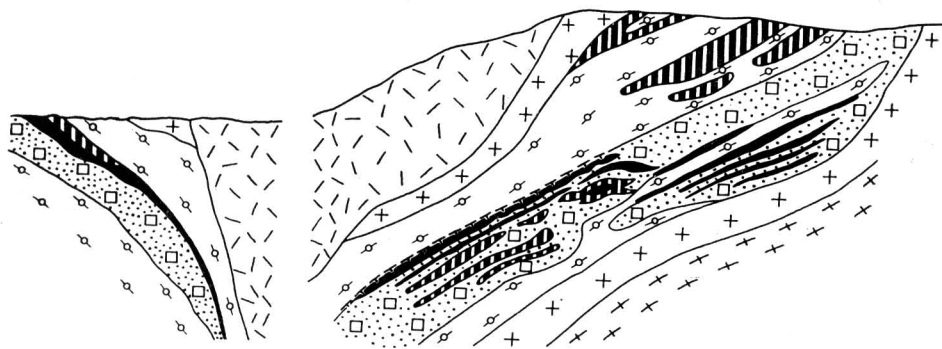


Рис. 16. Геологическая модель месторождений апатито-нефелинового типа (составлена Е. А. Камневым и Р. М. Файзуллиним).

Погружение обоих контактов и сопряженных с ними внутренних структур повсеместно центриклинальное. В связи с различным наклоном верхнего ($10-20^\circ$) и нижнего ($30-60^\circ$) контактов мощность дифференцированной пачки быстро нарастает по падению от нескольких метров — первых десятков метров (на вершинах гор) до $500-1000$ м (на глубоких горизонтах массива). Эрозией вскрыты разные уровни разреза, поэтому наблюдаемая на поверхности мощность весьма непостоянна. В разрезе пострудной субинтрузии (сверху вниз) лейкократовые, менее плотные, ювиты и уртиты путем многократного переслаивания сменяются мезо- и меланократовыми ийолитами и мельтейгитами. Некоторые слои прослеживаются по простиранию на несколько километров и являются маркирующими, например: «сливные» уртиты для верхней части разреза; набор из двух-трех ритмично построенных прослоев уртит-ийолит-мельтейгит — в средней части; горизонт слюдяных мельтейгитов и сфено-apatитовых руд — в основании разреза.

На фоне этих крупных структур 1-го порядка, измеряемых сотнями метров, выделяются слои 2-го и 3-го порядков шириной от нескольких десятков до долей метров, в которых сохраняется такая же последовательность ритмичного чередования асимметричных прослоев. Мощность элементарных ритмов с глубиной уменьшается, а число и ширина полос, сложенных плотными ийолит-мельтейгитами, возрастают. Взаимоотношения между близкими по составу разновидностями (уртиты и ийолитами, ийолитами и мельтейгитами, луявритами и малиньитами) в пределах отдельных ритмов характеризуются плавными переходами; наоборот, границы между прослоями, сложенные контрастными по составу породами и фиксирующие кровлю—подшову разных ритмов, обычно резкие. Внутренняя структура пострудной толщи отражает ее клиновидную форму, о чем свидетельствует веерообразное расположение слоев и трахитоидности, постепенное увеличение углов их падения в направлении от пологого верхнего контакта к более крутому нижнему (рис. 17).

Северная субинтрузия ийолит-уртитов только в последние годы стала объектом детальных поисков и поисково-оценочных работ после выявления скрытого сфено-apatитового оруденения. Локальные проявления апатитовой минерализации в массивных полевошпатовых урритах, а также сфена и апатита в трахитоидных ийолитах ранее были известны на перевале Обманном, горах Сев. Лявчорр, Ср. и Бол. Валепакк, однако небольшие масштабы этих проявлений, низкая концентрация и прерывистость оруденения наряду с недостаточной геолого-геофизической изученностью этого района — эти факторы определяли неоднозначность прогнозных оценок.

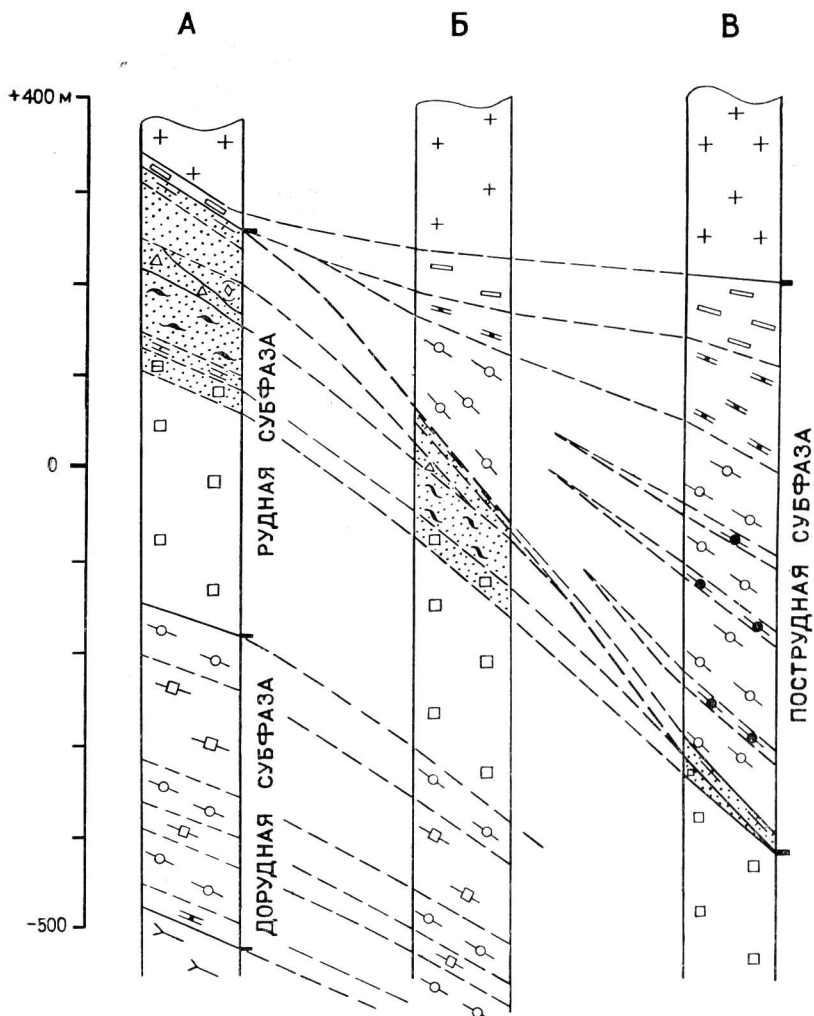


Рис. 17. Корреляция разрезов Южной субинтрузии ийолит-уртитов через фронтальную (А), среднюю (Б) и корневую (В) зоны.

Продуктивная субинтрузия северного сектора протягивается на 32 км (ширина сектора 125°) от горы Куэльпор (на западе) вдоль северо-западных склонов Партомчорра и Лявочорра, через Ср. и Бол. Валепакх до возвышенности Намуайв (на северо-востоке массива). Вмещающие породы представлены со стороны подошвы трахитоидными хибинитами и ричесорритами, в кровле — лявочорритами.

На уровне эрозии (400—700 м) в составе субинтрузии преобладают трахитоидные уртиты и ийолиты (90 %) над массивными уртитам (10 %), развитыми вдоль внутреннего контакта. Однако по материалам поисково-структурного бурения (1,0—2,5 км) глубинное строение комплекса резко отличается от наблюдаемого на поверхности как по разнообразию пород, внутреннему строению, так и по масштабу сфено-апатитового оруденения. В частности, установлено, что массивные уртиты с вкрапленной апатитовой минерализацией вблизи поверхности выклиниваются (или срезаются) контактом с поздней крутопадающей интрузией лявочорритов. Пачка нерасчлененных на геологической карте трахитоидных ийолитов на самом деле является четко расслоенной, причем, по данным М. М. Калинкина, по степени дифференциации она аналогична пострудным породам южного сектора.

С расслоенной серией ассоциирует сфено-апатитовое оруденение, что также дает основание для сопоставления этих пород с образованиями пострудной субфазы. Зона сфено-апатитовых ийолитов прослежена практически вдоль всей северной ветви (от Партомчоррского месторождения до Намуайва); ее мощность в зависимости от бортового содержания P_2O_5 широко варьирует от 150 м (на уровне 3 % P_2O_5) до первых десятков метров (при 4 % P_2O_5), а при борте 6 % P_2O_5 зона распадается на несколько маломощных прослоев.

На глубине 1—2 км под сфено-апатитовыми ийолитами выявлена мощная толща массивных полевошпатовых уртитов без признаков апатитовой минерализации. Между ними и сфено-апатитовыми рудами «заят» крупный останец фенитов и щелочных сиенитов, находящийся, так же как и уртиты, в слепом залегании. Этот фрагмент вмещающих пород трассируется на глубине 0,5—1,0 км на всем протяжении субинтрузии и лишь в бортах перевала Обманного обнажается на дневной поверхности.

Таким образом, с Северной субинтрузией, сформировавшейся в рудную и пострудную субфазы, связаны рудный участок Куэльпор, Партомчоррское месторождение бедных апатито-нефелиновых руд и крупномасштабная Лявочорр-Валепахкская зона со сфено-апатитовым оруденением.

В западном секторе массива среди рисчорритов выявлены многочисленные тела полевошпатовых ийолитов (малиньитов), с которыми связаны гнездово-жильные проявления апатита. Эти тела являются апикальными ответвлениями скрытой на глубине Западной субинтрузии [синонимы: «Внешняя дуга», по А. Е. Ферсману; «Поачвумчоррская (Западная) интрузия», по Ф. В. Минакову]. Она прослежена на поверхности и оконтурена скважинами под рисчорритами по простиранию на 25 км (между оз. Пай-Кунъявр и Бол. Вудъявр) до глубины 0,5—1,0 км (по верхнему контакту) и до 1,5—2,3 км (по нижнему).

По данным структурного бурения и сейсмозондирования Западная субинтрузия имеет в разрезе клиновидную форму с пологой, на отдельных участках — горизонтальной, кровлей и относительно крутой подошвой. Мощность ее достигает 1,0—1,2 км. По восстанию от нее расходятся ветвящиеся жилы и апофизы, выклинивающиеся в рисчорритах или обнажающиеся на поверхности (грибовидные тела, кольцевые штоки). В одном из таких штоков площадью до 1 км² (Сев. Поачвумчорр) пересланвающиеся трахитоидные ювиты и ийолиты образуют автономную зонально-концентрическую структуру, ось которой наклонена к центру массива под углом 55° [29, 45].

В разрезе субинтрузии выделяются три зоны: верхняя мощностью до 300—500 м преимущественно сложена трахитоидными ювитами и урритами, средняя (200—400 м) — мезократовыми ийолитами с вкрапленниками нефелина, нижняя (75—280 м) — урритами и ийолитами, послонно обогащенными апатитом (5—15 %), залегающая на роговиках по зеленокаменным породам имандра-варзугской серии. Нижняя зона апатитовых ийолит-урритов прослежена на глубоких горизонтах на 8 км по простиранию и до 3 км по падению.

В схеме возрастного расчленения по Ф. В. Минакову формирование Западной субинтрузии условно относится к дорудной субфазе.

СТРУКТУРЫ РУДНЫХ ПОЛЕЙ ХИБИНСКИХ АПАТИТО-НЕФЕЛИНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Месторождения комплексных апатито-нефелиновых руд хибинского типа не имеют аналогов среди известных в мире геологических объектов. Они отличаются весьма крупными размерами, своеобразием морфологии и внутренней структуры, необычными парагенезисами рудообразующих минералов, комплексным составом руд. Специфичность условий формирования, геологической структуры, вещественного состава пород и руд хибинских месторождений нашли отражение в ряде генетических схем, геолого-структурных, минерагенических и промышленных классификаций. Однако во всех предложенных классификационных системах апатитовые месторождения хибинской группы образуют самостоятельный тип, что объясняется их уникальностью (отсутствием аналогов). Кроме того, ни одна из этих систем не раскрывает существенных различий в структурной организации и вещественной зональности месторождений, присущей им анизотропии внутреннего строения.

Все известные в Хибинах месторождения и рудопроявления апатита группируются в пределах трех рудных полей: юго-западного, юго-восточного и северного. При выделении рудных полей наряду с общепринятыми критериями — пространственной совокупностью рудных залежей, объединенных общностью условий образования в конкретных геологических структурах, обусловивших эту совокупность [2], — учтена возможность их совместного освоения одним или несколькими рудниками. Так, например, вовлечение в эксплуатацию Эвеслогчоррского месторождения в перспективе намечается подземным рудником после полной отработки запасов месторождения Апатитовый Цирк (юго-западное рудное поле), а освоение детально разведанного месторождения Олений Ручей планируется после погашения запасов Ньоркпахкского карьера (юго-восточное рудное поле).

Юго-западное рудное поле

В составе юго-западного рудного поля группируются эксплуатируемые месторождения Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, а также Эвеслогчорр, освоение которого намечается в перспективе (рис. 18—21). Простираение апатитовых залежей в пределах рудного поля меняется от северо-западного 330° (на Кукисвумчорре) до широтного (на Плато Расвумчорр и Эвеслогчорре).

Выход руды на поверхность приурочен к абс. отметкам от +1000 м (отработанная часть запасов на Плато Расвумчорр) и +700—500 м (Юкспор, Кукисвумчорр) до +400—300 м — в долинах рек Саамской и Гакман. В связи с интенсивным развитием открытой добычи высотное и плановое положение рудных выходов быстро меняется. Так, за период освоения месторождения Плато Расвумчорр контуры залежи сместились по отношению к 1964 г. на 500 м, а по высотному положению понизились на 250 м.

Контур выклинивания рудных залежей по падению еще более изрезан: в центральной части (участок Гакман-Юкспорнок) нижняя гра-

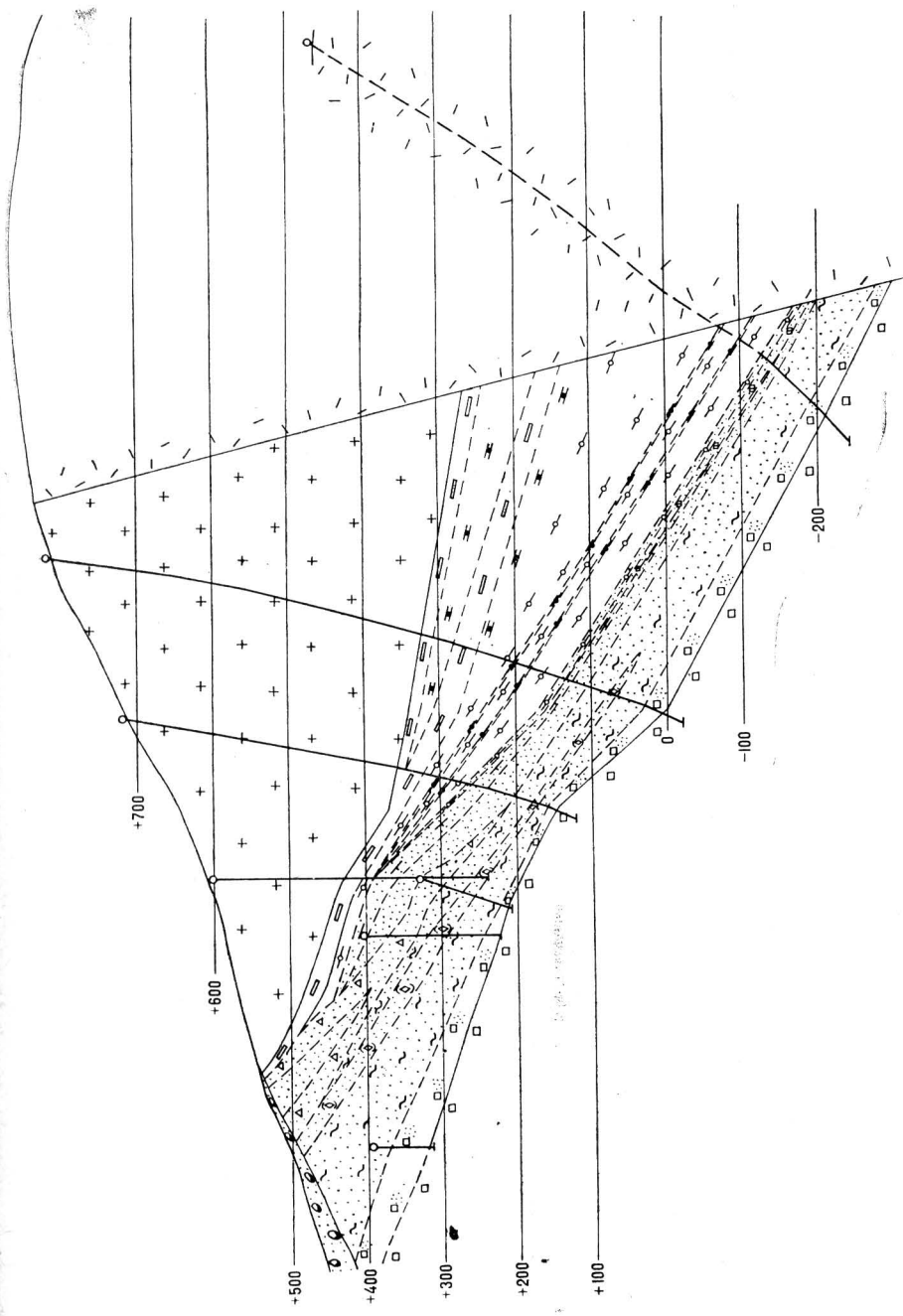


Рис. 18. Предполагаемое срезание апатитовой залежи крупноплавающей интрузией лавочорритов (Кукисвумчорртское месторождение).
Условные обозначения — см. рис. 4.

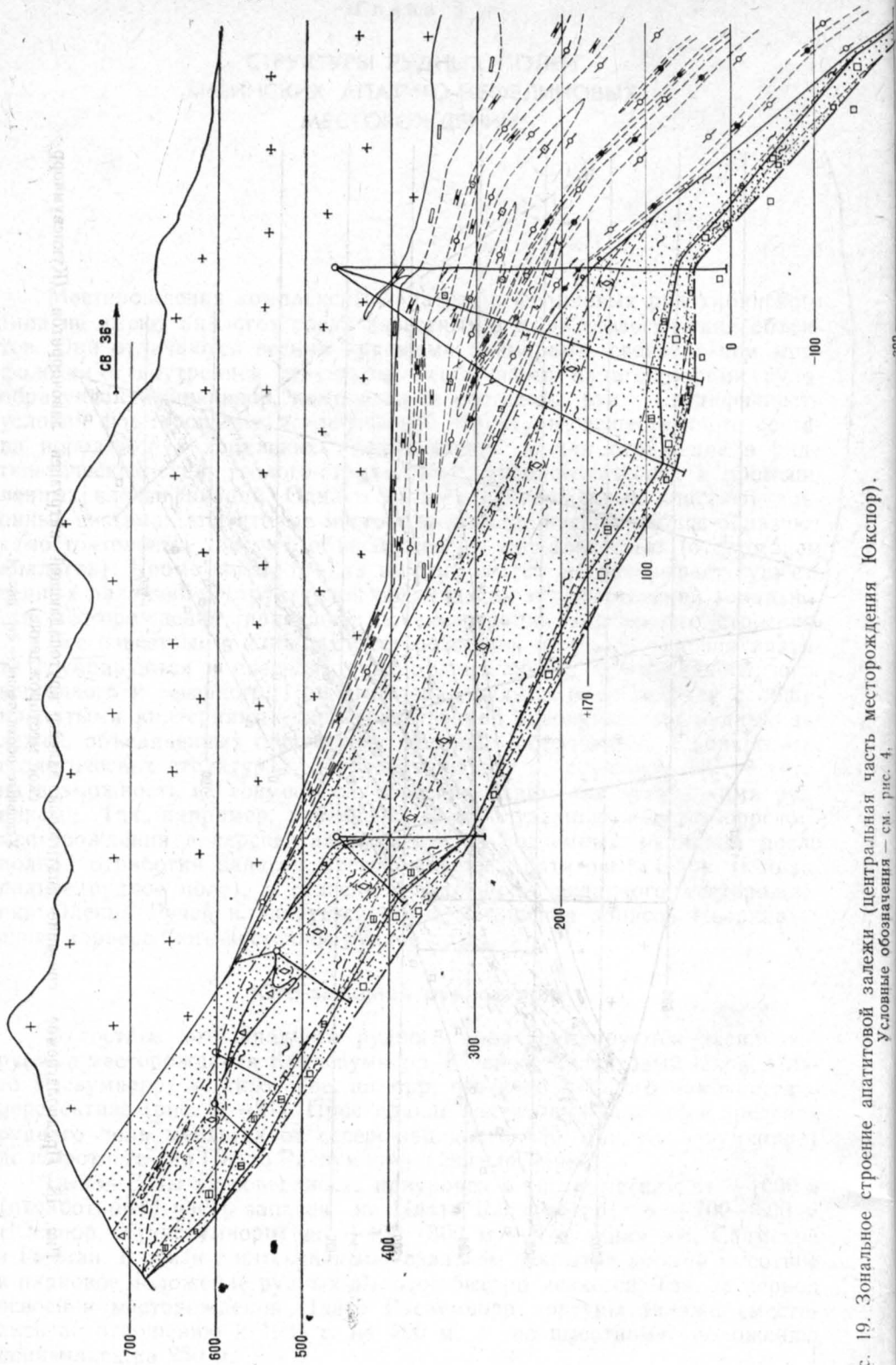


Рис. 19. Зональное строение апатитовой залежи (центральная часть месторождения Юкпор).
Условные обозначения — см. рис. 4.

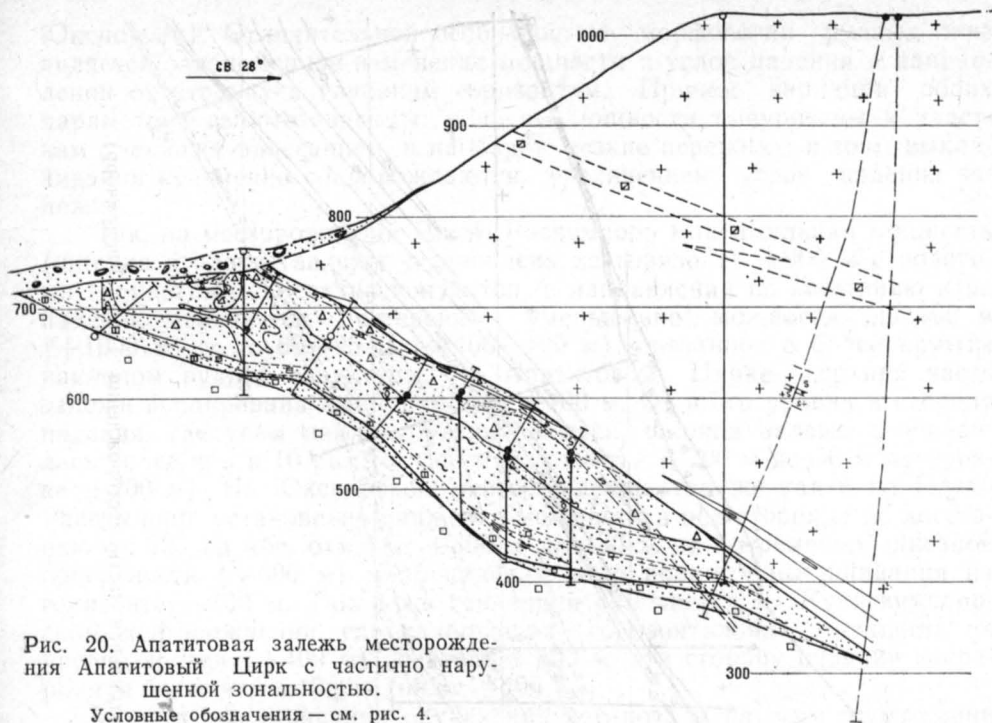


Рис. 20. Апатитовая залежь месторождения Апатитовый Цирк с частично нарушенной зональностью.

Условные обозначения — см. рис. 4.

нища руды фиксируется на отметках $+200-100$ м, а в западном и особенно в восточном направлениях она круто опускается до $-200-400$ м (Юкспор, Кукисвумчорр) и до -1250 м (Эвеслогчорр). Таким образом, в пределах юго-западного рудного поля вертикальная протяженность апатитовых залежей варьирует от $200-300$ м в центральной части до $1,0-2,25$ км.

Обычно рудное поле, как пространственная совокупность генетически родственных рудных тел, ограничивается условной поверхностью, в которую «вписываются» все рудные тела и минерализованные участки. В морфологическом отношении все месторождения юго-западного рудного поля представляют собой геологически непрерывную апатитовую залежь, прослеженную по простиранию на 12 км, осложненную резкими раздувами и пережимами мощности на отдельные линзы. Поэтому граница рудного поля является не условной, а полностью совпадает с внешними контурами (контактами) апатитовых залежей, поскольку никаких других рудных объектов (сателлитов) в пределах поля не выявлено.

Однако границы между отдельными месторождениями проведены условно, без учета морфоструктурных особенностей геологически однородной апатитовой залежи. Она состоит из трех рудных узлов-линз (Кукисвумчорр-Юкспорской, Апатитовый Цирк-Расвумчоррской и Эвеслогчоррской), сообщающихся малопродуктивными рудными проводниками. Каждый рудный узел (линза) имеет линейно вытянутую форму с отношением мощности, ширины и длины $1 : (5-7) : (10-15)$, а в поперечном сечении — двояковыпуклую форму с пологими ($20-30^\circ$) фронтальными и относительно крутыми ($50-60^\circ$) корневыми зонами. Таким образом, в общем плане апатитовая залежь в юго-западной части массива характеризуется симметричным строением: ее краевые, наиболее мощные части (Кукисвумчорр-Юкспорская и Расвумчорр-Эвеслогчоррская) являются как бы зеркальным отражением друг от друга по отношению к центральной, осевой части (участок Гакман-

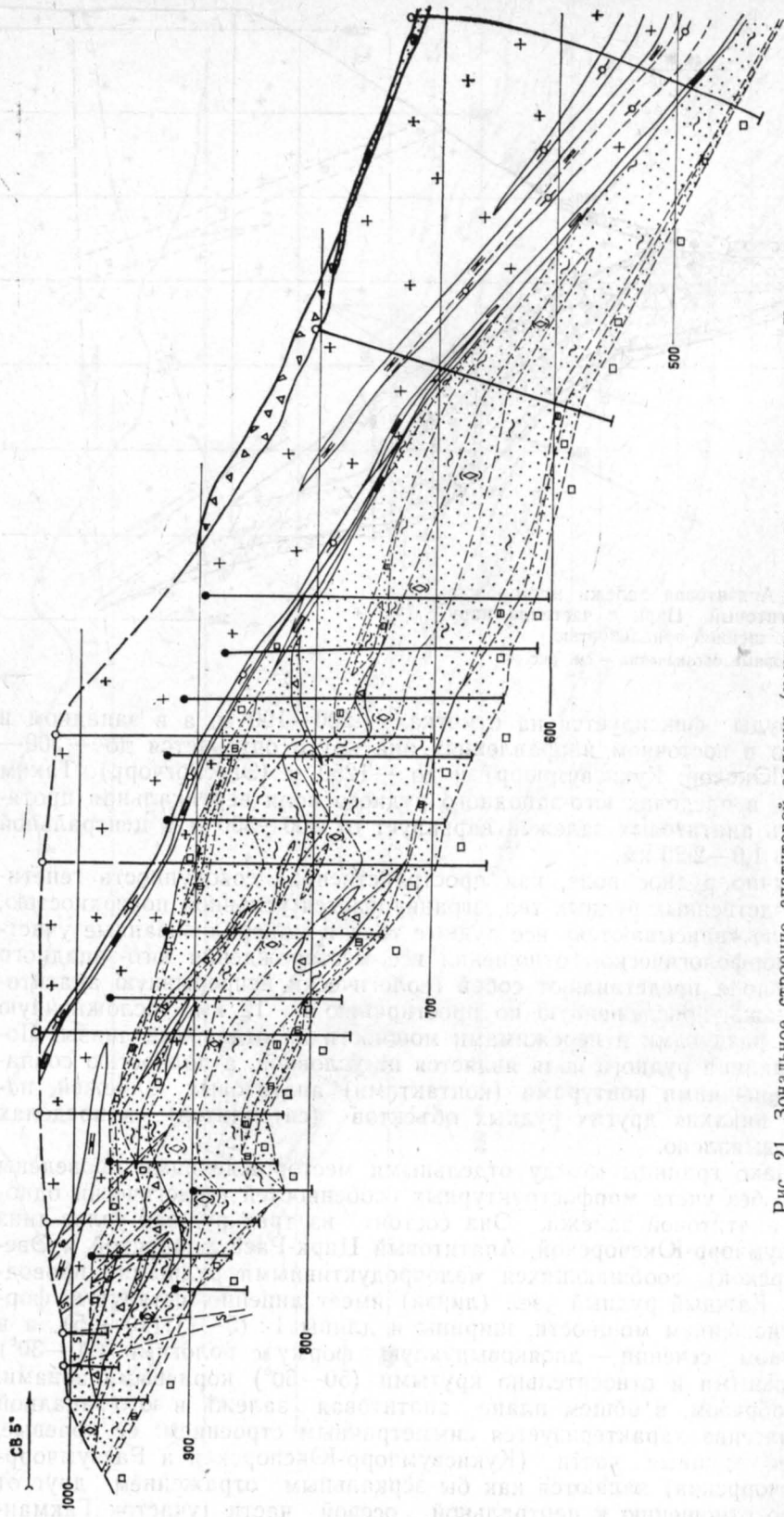


Рис. 21. Зональное строение апатитовой залежи (центральная часть месторождения Плато Расвумторр).
Условные обозначения — см. рис. 4.

Юкспориок). Отличительной особенностью морфологии рудных линз является закономерное изменение мощности и углов падения в направлении от верхних к глубоким горизонтам. Причем вариации обоих параметров взаимосвязаны: раздувы мощности приурочены к участкам с пологим залеганием, и наоборот, резкие пережимы и зоны выклинивания неизменно сопровождаются увеличением углов падения залежи.

Так, на месторождении Плато Расвумчорр максимальная мощность (ширина в плане) залежи установлена на горизонте +900 м с пологими элементами залегания контактов; в направлении по восстанию и по падению отмечается постепенное уменьшение мощности до 190 м (+1000 м) и до 60—25 м (+400—100 м), связанное с более крутым наклоном рудной структуры. На Апатитовом Цирке верхняя часть залежи эродирована выше отметки +700 м. От этого уровня в сторону падения, где углы наклона увеличиваются, ширина залежи уменьшилась более чем в 10 раз (от 330 м на отметке +700 м до 30 м на уровне +200 м). На Юкспорском месторождении, так же как и на Плато Расвумчорр, установлено снижение мощности в обе стороны: по восстанию от 325 на абс. отметке +300 м до 130 м на современной дневной поверхности (+600 м) и по падению — до полного выклинивания на горизонте —300 м. Такая же тенденция отмечается на Кукисвумчоррском месторождении, где наибольшая горизонтальная мощность на уровне эрозии (+400 м) составляет 400 м, а в сторону падения сокращается более чем в 10 раз (ниже —400 м).

Контур выклинивания оруденения установлен на всем протяжении юго-западного рудного поля (табл. 7).

Таблица 7

Распределение мощностей рудных залежей, м, по гипсометрическим уровням

Абс. отметка, м	Рудное поле								
	Северное	Юго-западное				Юго-восточное			
	1	2	3	4	5	6	7	8	
1000		Эродированная (частично отработанная) часть рудной залежи				190	Эродированная часть рудной залежи		
900					330				
800					260				
700				330	220				
600			130	225	150				
500			225	135	100				
400		400	260	85	60	104	86		
300		315	325	40	45	85	176	95	
200	45	245	280	30	25	115	99	88	
100	72	165	185	—	20	126	10	112	
0	81	140	80		—	138	—	127	
-100	99	135	30			132	—	123	
-200	106	110	20		60	150	—	146	
-300	71	80	—		66	95	—	91	
-400	67	25			76	111	—	103	
-500	45	—			84	87	—	85	
-600	12				75	87	—	82	
-700	—				66	83	—	55	
-800					60	54	—	34	
-900					55	73	—	—	
-1000		Зона выклинивания рудной залежи				49	58		
-1100					35	43			
-1200					20	25			

Примечание. Месторождения: 1 — Партомчорр, 2 — Кукисвумчорр, 3 — Юкспор, 4 — Апатитовый Цирк, 5 — Плато Расвумчорр, 6 — Коашва, 7 — Ньюркахк, 8 — Олений Ручей.

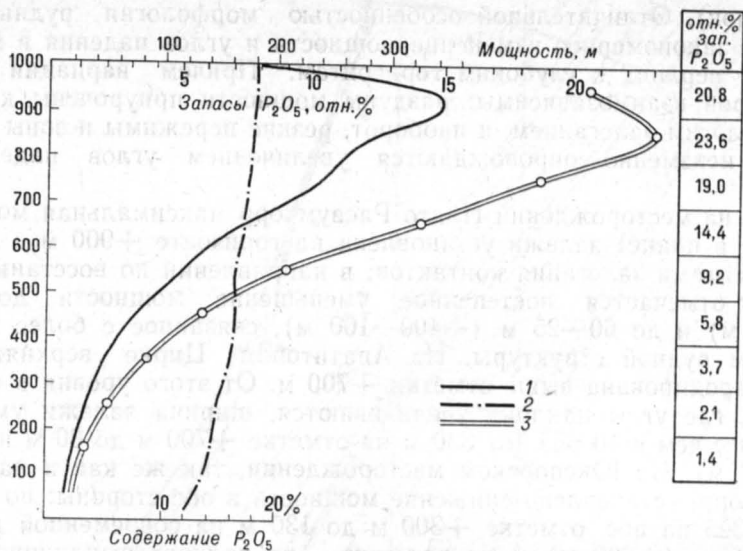


Рис. 22. Изменение мощности апатитовой залежи (1), среднего содержания P_2O_5 (2) и линейных запасов (3) по гипсометрическим уровням (месторождение Плато Расвумчорр).

Глубоко эродированная (и практически отработанная) апикальная часть структуры сложена преимущественно брекчиевыми рудами с уртитовым цементом. Наиболее широкая и мощная прикорневая зона (II ярус) представлена всеми природными типами руд, упорядоченное чередование которых в разрезе (сверху вниз: сфено-апатитовые, пятнистые, линзовидно-полосчатые с прослоем блоковых, сетчатые апатито-нефелиновые и массивные апатитовые руды и апатитовые уртиты) частично нарушается жильными ветвящимися телами апатитовой брекчи. При переходе к корневой, сужающейся по падению зоне (I ярус) постепенно исчезают брекчиевые, пятнистые и блоковые руды, уменьшается мощность линзовидно-полосчатых руд, но возрастает доля относительно бедных сфено-апатитовых и вкрапленных руд, которые исключительно присущи зонам выклинивания на глубоких горизонтах. Околорудные ийолиты со стороны кровли и уртиты, подстилающие залежь, также содержат апатитовую минерализацию.

Графики изменения интенсивности оруденения, выраженные в значениях мощности апатитовой залежи по гипсометрическим уровням (рис. 22, табл. 8), имеют форму моноциклических кривых. С учетом прямой корреляции между мощностью и содержанием P_2O_5 распределение относительных запасов компонента по вертикали выражено более контрастно. Максимум интенсивности оруденения соответствует осевой зоне II яруса, соединяющей раздувы залежей на участках пологих структур с четкой зональностью и наибольшим развитием богатых пятнистых руд.

В соответствии с выдвинутой схемой о сочетании вертикальной и горизонтальной зональности в объемной многоярусной модели рудного поля осевая зона концентрации оруденения занимает различное высотное положение (табл. 7): ее граница по верхнему и нижнему контактам в направлении от Кукисвумчорра к Плато Расвумчорр сначала погружается от абс. отметок +500—400 и до +300—200 м (на месторождении Юкспор), а затем круто воздымается до +900—800 м. На участке между этими месторождениями в долине Гакман-Юкспориок эта зона уничтожена эрозией. Таким образом, разница в высотном положении осевых частей рудных линз составляет около 400 м, углы выклинива-

Распределение природных типов руд по гипсометрическим уровням
(месторождения Плато Расвумчорр и Юкспор), %

Абс. отметка, м	Тип руды										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Плато Расвумчорр											
1000	1,4	17,3	17,7	30,3	9,1	3,4	4,8	8,0	0,1	5,9	1,9
900	1,7	16,4	14,2	31,8	15,4	3,2	5,3	5,9	0,6	3,4	2,0
800	1,2	9,8	26,5	32,9	14,2	2,5	3,8	6,1	0,6	1,3	1,0
700	0,3	5,0	31,4	40,7	8,1	1,6	4,7	6,3	0,5	1,0	0,4
600	0,2	2,5	12,5	57,8	6,7	2,5	9,4	6,6	1,2	0,6	—
500	1,7	0,6	16,5	59,6	4,8	2,4	7,9	5,6	—	0,9	—
400	5,7	1,4	14,4	55,7	1,4	7,0	5,4	8,4	—	0,6	—
300	14,2	1,9	8,7	43,0	0,4	15,3	6,3	7,9	—	1,8	0,5
200	26,8	2,3	11,2	29,0	0,6	17,5	6,8	5,1	—	—	0,8
Среднее	2,1	9,9	20,5	37,8	10,5	3,5	5,3	6,5	0,5	2,3	0,8
Юкспор											
700	1,0	6,6	18,3	42,7	0,1	9,9	16,6	4,1	0,7	—	—
600	1,0	1,2	20,1	54,6	3,5	5,2	12,4	1,0	1,0	—	—
500	4,0	9,9	13,2	50,9	0,7	7,9	11,2	1,4	0,8	—	—
400	4,0	14,5	6,9	60,3	2,6	2,7	7,1	0,8	1,1	—	—
300	10,9	4,0	6,4	56,4	2,7	9,5	7,6	1,7	0,8	—	—
200	12,9	1,0	3,1	60,2	2,1	6,6	11,5	2,6	1,5	—	—
100	8,8	0,7	0,4	51,0	0,4	12,6	25,8	0,3	—	—	—
0	14,3	0,4	6,6	46,3	—	15,3	18,4	3,5	—	—	—
-100	6,5	—	—	10,8	—	26,3	56,4	—	—	—	—
Среднее	8,1	5,3	7,0	54,0	1,8	8,3	13,1	1,6	0,8	—	—

Примечание. 1 — сфено-апатитовые руды. Апатито-нефелиновые руды: 2 — пятнистые, 3 — брекчиевые, 4 — линзовидно-полосчатые, 5 — блоковые, 6 — массивные, 7 — апатитовые уртиты, 8 — уртиты с апатитом, 9 — сетчатые, 10 — окисленные руды; 11 — породы.

ния западной и восточной линз варьируют от 5—8° по простиранию до 10—15° по падению.

Установленная прямая зависимость между мощностью апатитовой залежи и содержанием P_2O_5 в рудах и направленное уменьшение этих параметров с глубиной приводят к неоспоримому выводу о резком снижении перспектив апатитоносности глубоких горизонтов юго-западного рудного поля, в пределах которого апатитовая залежь полностью оконтурена разведочным и поисковыми скважинами.

Эвеслогчоррское месторождение включено в состав юго-западного рудного поля с учетом его пространственной сопряженности с эксплуатируемыми месторождениями, общности морфологии и внутреннего строения, а также в связи с намечаемой обработкой Расвумчоррским рудником. Оно открыто в 1967 г. при бурении структурно-поисковых скважин и к настоящему времени изучено на стадии предварительной разведки. Эвеслогчоррская апатитовая залежь является глубинным аналогом (0,5—1,5 км от уровня долины р. Вуоннемиок) месторождения Плато Расвумчорр, связана с ним зоной непромышленного оруденения и приурочена к главной рудоконтролирующей структуре — зоне контакта расслоенной пачки пострудных ийолит-уртитов с подстилающими массивными уртитам рудной субфазы. Подобно другим месторождениям юго-западного рудного поля залежь характеризуется пластовой формой, усложненной раздувами и пережимами мощности, одинаковым набором, но разной распространенностью природных типов

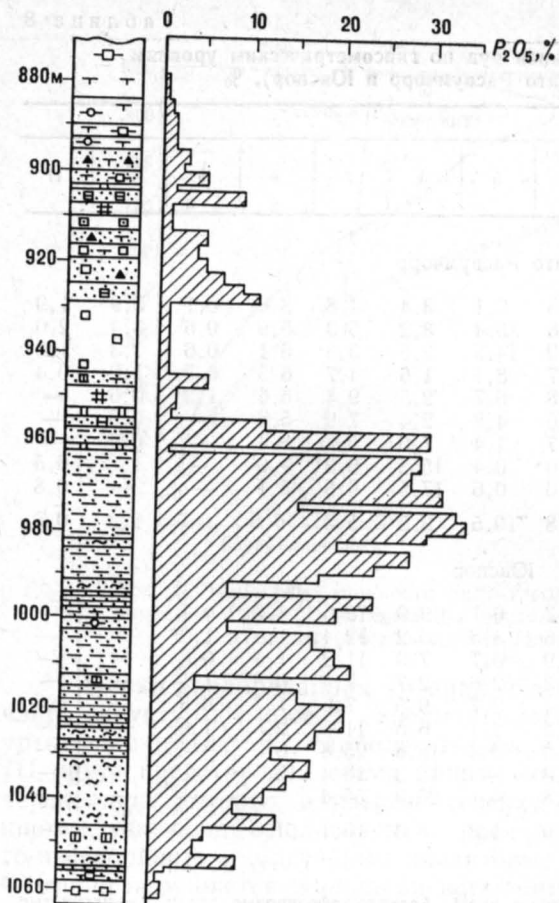


Рис. 23. Зональное распределение содержаний P_2O_5 в разрезе Эвезлоггорской апатитовой залежи (по данным опробования).

Условные обозначения — см. рис. 4.

руд, зональным их распределением в разрезе, тесной ассоциацией руд с уртитамми.

Общее простирание структур в районе месторождения широтное: падение пород на север от пологого и умеренного (ийолит-уртиты, апатитовые руды) до крутого, субвертикального (лявочорриты). Наиболее ранние породы — рихчорриты широко развиты на поверхности, но весьма ограничено распространены на глубину: их мощность в зависимости от уровня эрозии меняется от 100 м в долине до 500 м в горной части рельефа. Под рихчорритами залегают пострудные трахитоидные уртиты, ийолиты, мельтейгиты, взаимосвязанные между собой постепенными переходами и

промежуточными по составу разновидностями. В верхней части разреза преобладают лейкократовые фации ийолит-уртитов, в средней и нижней частях — мезо- и меланократовые, причем мельтейгиты слагают маркирующие горизонты. Общая мощность покрывающих пород (рихчорритов, трахитоидных ийолит-уртитов, лявочорритов) составляет 0,5—1,5 км.

К рудной субфазе продуктивного комплекса относятся апатито-нефелиновые руды и подстилающие их массивные уртиты. Рудная залежь имеет форму уплощенной линзы с соотношением мощности к ширине и длине 1:20:25. Углы падения залежи увеличиваются от 25—30 до 45—50° на глубоких горизонтах. В составе залежи представлены почти все известные на главных месторождениях природные типы апатитовых руд (кроме рудной брекчи). Сфено-apatитовые руды (распространенность 27,7 об. %) приурочены исключительно к кровле залежи; ниже по разрезу развиты уртиты с апатитовой минерализацией (12,9 %) или уртиты, не содержащие апатита (8,6 %); пятнистые, пятнисто-полосчатые руды (5,9 %) размещаются в центральной, осевой ее части, далее следуют полосчатые и линзовидно-полосчатые руды (18,8 %) с прослоем блоковых руд (1,2 %); массивные руды (15,0 %) и апатитовые уртиты тяготеют к подошве залежи (рис. 23). Таким образом, по сравнению с другими месторождениями на Эвезлоггорре значительно шире представлены сфено-apatитовые, массивные апатитовые руды и уртиты с вкрапленностью апатита, что вообще присуще корневым зонам. Это явление, по-видимому, фиксирует промежуточ-

Средний минеральный состав апатитовых руд
и уртитов Эвеслогчоррского месторождения, мас. %

Минерал	1	2	3	4	5	6	7	8
Апатит	11,41	75,39	39,13	26,42	56,27	12,46	2,70	4,26
Нефелин	25,14	15,19	46,19	48,13	29,73	54,20	60,61	53,94
Эгирин	13,41	3,40	7,83	14,64	6,97	16,10	19,58	16,64
Сфен	37,81	2,71	3,49	5,38	3,87	6,70	9,59	18,89
Титано-магнетит	7,45	0,47	1,55	2,96	0,73	0,17	2,21	3,04
Полевой шпат	1,53	0,46	0,41	0,75	0,93	5,92	2,40	0,98
Лепидомелан	0,28	0,51	1,11	1,45	0,66	0,43	1,97	—
Прочие	1,97	1,42	0,22	0,01	0,58	3,65	0,47	1,65
Сумма	99,00	99,55	99,93	99,75	99,74	99,63	99,53	99,40

Примечание. 1—5—руда сфено-apatитовая (5 анализов), 2—пятнистая и пятнистополосчатая (4), 3—линзовидно-полосчатая (5); 4—сетчатая (2), 5—массивная (8); 6—8—уртит: 6—apatитовый (3), 7—массивный (10), 8—блоковый со сфеном и апатитом (1).

ную стадию разделения исходного расплава по соотношению компонентов апатита и нефелина, контрастность проявления которого возрастает в направлении от корневой к апикальной зонам.

Средний минеральный состав руд с учетом их распространенности в объеме залежи и в зависимости от требований кондиций варьирует в диапазоне, мас. %: апатит—28,75—42,75, нефелин—37,45—40,75, эгирин—9,86—13,82, сфен—6,20—10,70, титаномагнетит—2,87—4,64, полевой шпат—0,87—1,34. Соотношение минералов в типах руд Эвеслогчоррского месторождения приведено в табл. 9.

Среди подстилающих рудную залежь массивных уртитов, мощность которых превышает 500 м (истинная мощность не установлена), выявлены прослои трахитоидных уртитов, условно относимых к ассимилированным дифференциатам дорудной субфазы. Следует подчеркнуть, что на глубоких (1—2 км) горизонтах апатитовых месторождений вообще отсутствуют резкие интрузивные контакты между рудами и породами.

Крутопадающая интрузия поздних льявочорритов является резко секущей по отношению к рисчорритам, ийолит-уртитам и апатитовым рудам, срезание которых предполагается на абс. отметке —1250 м.

Юго-восточное рудное поле

В юго-восточном секторе Хибинского массива в 1960—1975 гг. открыт, к настоящему времени детально разведан и передан для промышленного освоения ряд весьма крупных (Коашва), крупных (Олений Ручей) и средних (Ньоркпахк) по масштабам месторождений, а также рудный участок Вуоннемиок, перспективность которого оценена на поисковой стадии. Месторождения Коашва и Ньоркпахк разрабатываются Восточным рудником; добытая руда обогащается на АНОФ-3. Суммарные запасы апатитовых руд юго-восточного рудного поля составляют 1/3 сырьевых ресурсов Хибинского массива и в перспективе могут быть увеличены.

Все месторождения, кроме Ньоркпахкского, локализируются в пределах главной рудоконтролирующей структуры, т. е. в зоне контакта

пострудных ийолит-уртитов с массивными уртитам и внутри последних. Месторождение Ньоркпахк занимает более высокое структурное положение, целиком размещается среди трахитоидных ийолитов пострудной субфазы. Условная граница рудного поля, охватывающая все апатитовые залежи многоярусных месторождений второго подтипа, имеет весьма изрезанную конфигурацию, обусловленную выклиниванием залежей в массивных урритах и трахитоидных ийолитах по простиранию, по падению и по восстанию. Общая протяженность месторождений на юго-востоке массива составляет 12 км, истинная мощность рудных зон от 300—500 м (Коашва) до 500—700 м (Олений Ручей), на участке Вуоннемиок мощность сокращается до 10—30 м, простирание рудных тел на этом отрезке меняется от 60 до 45—35° в северо-восточном румбе. Разница в гипсометрических уровнях, ограничивающих промышленное оруденение, варьирует от +250—600 м (дневная поверхность) до —1000 м (нижний контур балансовых руд); самые глубокие скважины вскрыли апатитовые руды на абс. отметках до —1500 м.

Месторождения юго-восточного рудного поля обладают весьма сложной структурной организацией, совмещающей черты общности и различия между собой и с другими месторождениями Хибинского массива. Пространственная и генетическая ассоциация руда—уртит, общность и соизмеримость распространенности типов руд, широкое развитие внутриформационных апатитовых брекчий с уртитовым и ийолитовым цементом, проявление позднемагматической апатитизации, приуроченность к главной рудоконтролирующей структуре—эти признаки, присущие всем хибинским месторождениям, являются следствием общности условий их образования. Вместе с тем месторождения юго-восточного рудного поля представлены многоярусными рудными зонами, в которых сочетаются фрагменты первоначально единой апатитовой залежи (рудные горизонты) с поздними инъекциями массивных урритов (Коашва, Нижний ярус Оленьего Ручья) и трахитоидных ийолитов (Ньоркпахк, Верхний ярус Оленьего Ручья).

Коашвинское месторождение открыто в 1960 г. в процессе детальных поисков с применением горных работ и картировочного бурения (Ф. В. Минаков и др.). Ранее в этом районе апатитовые руды были обнаружены в 1929 г. В. И. Влодавцем в делювии, в 1932 и 1933 гг. О. А. Воробьевой и М. И. Шевченко в виде обломков брекчий в покрывающих ийолит-урритах, в связи с чем район рассматривался как перспективный. Геологическая разведка (предварительная и детальная) проводилась в 1960—1972 гг. (первая очередь, в контуре открытой разработки) и в 1974—1985 гг. (вторая очередь, в границах подземной добычи). Освоение месторождения началось в 1978 г.

Уже на ранней стадии разведки выявилось необычайно сложное геологическое строение нового месторождения. Среди геологов возникли противоречивые представления о незакономерном, брекчиевом характере апатитового оруденения, о принципиальной невозможности геометризации руд в пространстве, о складчато-разрывной структуре месторождения, о широком проявлении процессов будинажа. Разногласия по главному вопросу о структуре месторождения ставили под сомнение вывод геологов-разведчиков о промышленной ценности месторождения.

Коашвинское месторождение расположено на восточных отрогах горы Коашва и в долине р. Вуоннемиок. Мощность морены, полностью перекрывающей рудные выходы, увеличивается от предгорий в долину с 3—5 до 50—70 м. Общее простирание структур северо-восточное 60°, падение на северо-запад меняется от пологого вблизи поверхности до 40—50° на глубине 1,5—2 км. Рудная зона оконтурена в геологических границах.

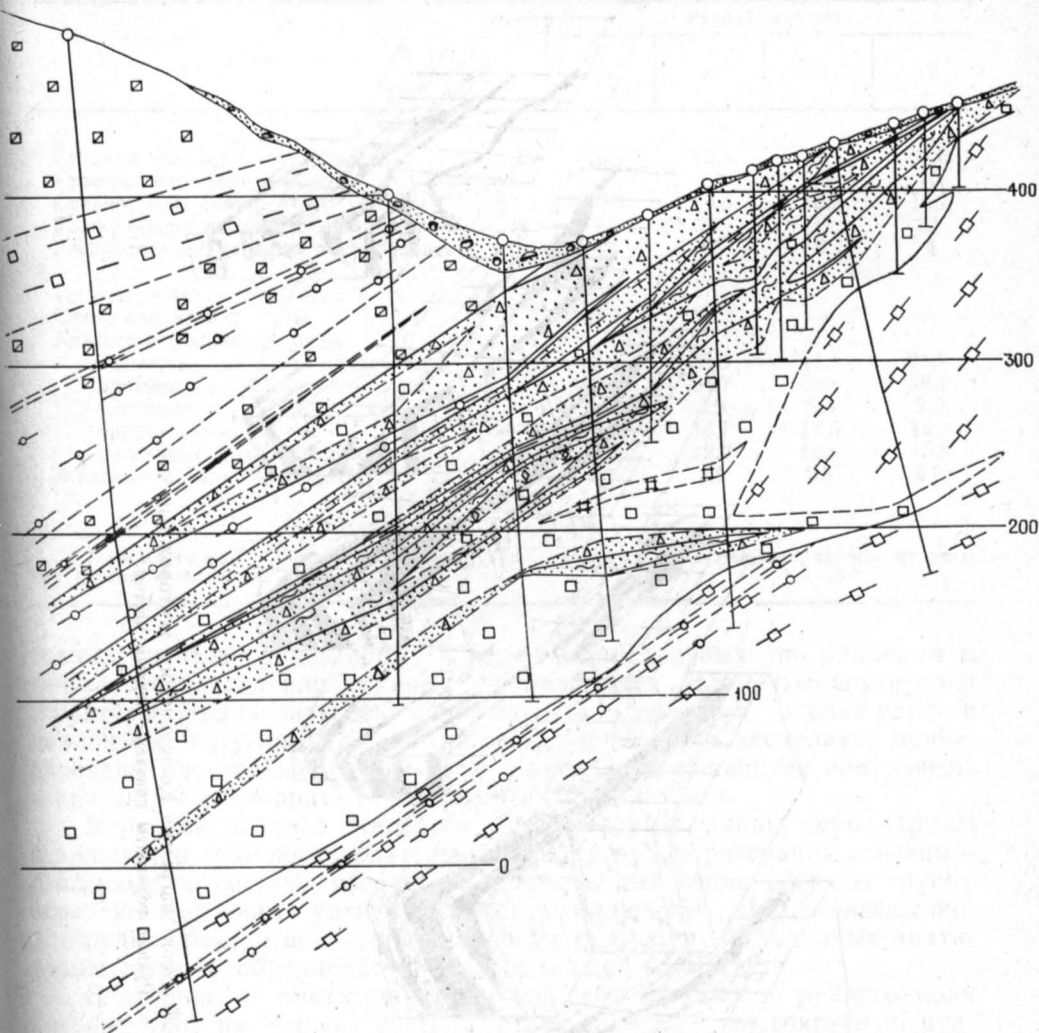


Рис. 24. Многоярусная рудная зона месторождения Коашва.
Условные обозначения — см. рис. 4.

Вмещающими породами по отношению к продуктивному комплексу являются рисчорриты и льявчорриты, для рудной зоны — ийолитуртиты до- и пострудной субфаз, для рудных тел (горизонтов) — массивные уртиты. Рисчорриты подстилают интрузию дорудных ийолитуртитов, пространственно удалены от рудной зоны и в процессе эксплуатации месторождения не будут оказывать влияния ни на условия добычи, ни на состав руды. Контактное воздействие ийолитов привело к катаклазу рисчорритов. Интрузия льявчорритов перекрывает расслоенную толщу пострудных ийолитуртитов, а по падению частично срезаёт ее верхние слои, но не затрагивает рудную зону.

Продуктивная интрузия на Коашве представлена разнообразными по составу ийолитуртитам и апатито-нефелиновыми рудами (рис. 24).

В составе дорудной субфазы (лежащий бок рудной зоны) выделяются неотчетливо трахитоидные уртиты, ийолиты и их полевошпатовые аналоги — льявриты и малиньиты. Мощность пачки этих пород снижается с глубиной от 500 до 40 м и менее. Они же находятся среди мас-

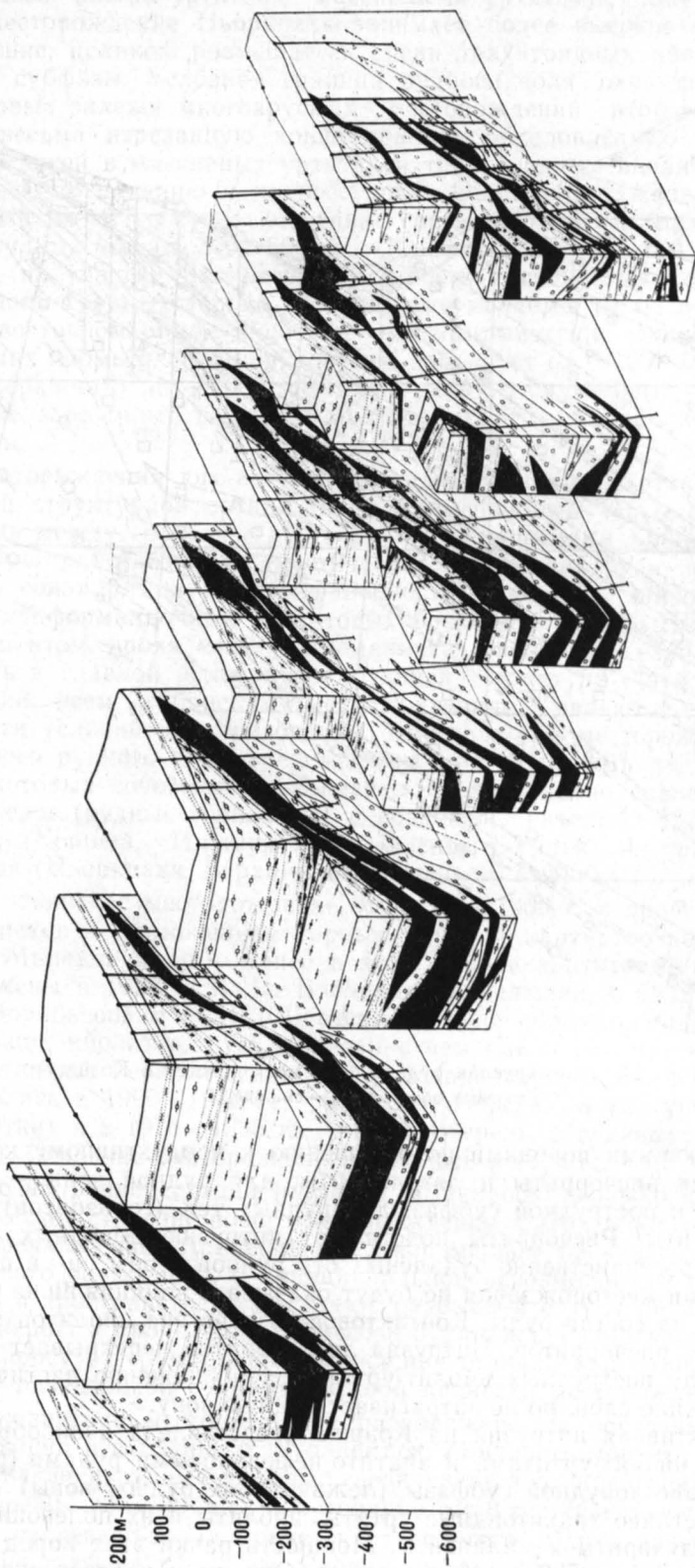


Рис. 25. Блок-диаграмма Коашвинского месторождения.
Рудные горизонты показаны черным цветом.

Сравнительная характеристика рудных горизонтов

Показатель	Рудный горизонт			
	I	II	III	IV
Средняя мощность горизонта, м	40,5	42,4	39,1	31,6
Коэффициент вариации мощности, %	55	60	62	70
Среднее содержание P_2O_5 , %	13,3	19,5	16,8	15,7
Коэффициент вариации содержания P_2O_5 , %	34	36	32	31
Распределение запасов по горизонтам, отн. %	42	45	9	4
То же, по типам руд, отн. %				
Сфено-апатитовые руды	31,7	2,7	—	—
Апатито-нефелиновые руды:				
пятнистые, пятнисто-полосчатые	12,6	22,0	11,1	24,7
линзовидно-полосчатые	19,2	34,7	52,8	38,1
блоковые	1,4	3,9	8,3	2,2
брекчиевые	16,1	10,1	12,5	14,2
массивные и вкрапленные	11,9	22,0	12,5	15,8
Жильные породы, ксенолиты	7,1	4,6	2,8	5,0

Примечание. Средняя мощность рудных горизонтов вычислена как частное от деления объема на площадь.

сивных уртитов рудной зоны в виде разнообразных по размерам и форме ксенолитов или крупных отторженцев. Элементы внутренней структуры (трахитоидность, полосчатость) дорудных ийолит-уртитов наклонены под углами $10-30^\circ$ на северо-запад, но в ксенолитах ориентированы произвольно. Малиньиты с прослоями луявритов приурочены к контакту с рисчорритами (эндоконтактовая фация).

К рудной субфазе относятся две обширные группы пород (руд), возникшие в ходе последовательных стадий рудообразования и взаимосвязанные по составу, возрасту и условиям залегания. Первую группу образуют массивные уртиты, во вторую включены апатито-нефелиновые руды; брекчия апатито-нефелиновых руд, сцементированных апатитовым уртитом, объединяет обе группы в один комплекс.

В отличие от апатитовых залежей юго-западного рудного поля (первый тип) на Коашве руды и уртиты образуют многоярусную рудную зону (второй тип), в которой сочетаются сложные по форме пласты-линзы апатито-нефелиновых руд (рудные горизонты), интенсивно брекчированные массивными уртитам. В разрезе зоны выявлены четыре рудных горизонта, залегающих в уртитовом субстрате. Они являются фрагментами первоначально единой мощной апатитовой залежи, разобщенной поздними инъекциями уртитов на серию пластов-линз. Палеоструктурные реконструкции путем прессования рудных фрагментов позволяют воссоздать первоначальную форму апатитовой залежи, существовавшей до внедрения уртитов. По размерам, морфологии и внутреннему строению она аналогична месторождениям первого типа.

В структуре рудной зоны (от кровли к подошве) выделяется ряд горизонтов (рис. 25).

I рудный горизонт, приуроченный к контакту покрывающих пострудный ийолитов с массивными уртитам, развит на всей площади месторождения. Кровля его ровная, слабо выпуклая, подошва имеет сложную, волнистую поверхность, что связано с раздувами и пережимками, в 2—3 раза превышающими среднюю мощность (табл. 10). Сфено-апатитовые руды, как и на других месторождениях, локализуется в верхней части рудной зоны.

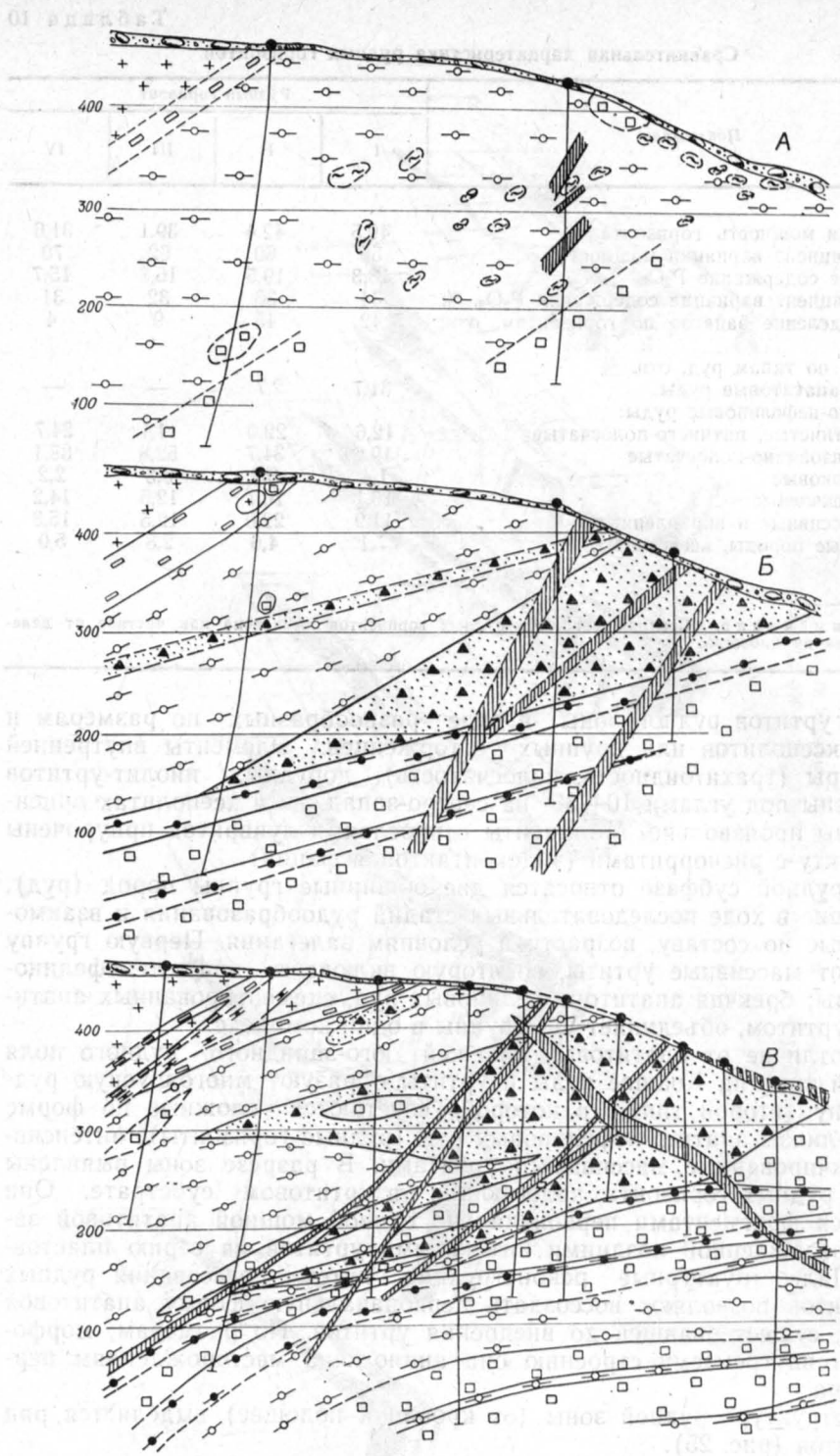


Рис. 26. Изменение представлений о структуре и перспективах рудоносности месторождения Ньоркпахк на стадии поисково-оценочных работ (А), в период проектирования разведочных работ (Б) и по результатам детальной разведки (В).

Сравнительная характеристика рудных залежей Ньоркпахкского месторождения

Показатель	Рудная залежь			
	Верхняя	Главная	Средняя	Нижняя
Средняя мощность залежи, м	33,7	60,0	17,7	30,6
Средняя мощность балансовых руд, м	28,0	50,8	16,3	26,9
Коэффициент рудоносности	0,83	0,84	0,92	0,88
Коэффициент вариации мощности	85	66	79	16
Среднее совпадение с пережимами I рудного тела, %	15,2	13,2	13,1	15,0
Коэффициент вариации содержания, %	23	20	31	32
Распределение запасов, отн. %	10	46	5	39

II горизонт целиком размещается среди уртитов, отличается большей морфологической изменчивостью, резкими колебаниями мощностей, прерывистостью оруденения в продольном и поперечном направлениях. Резкие раздувы мощности II горизонта на плане совпадают с пережимами I рудного тела, и наоборот.

III горизонт имеет ограниченные масштабы развития по площади, является слепым рудным телом, имеет весьма сложную форму, часто прерывается как по простиранию, так и по падению.

IV рудный горизонт залегает в основании зоны (0,5—1,0 км от поверхности) и характеризуется крайней изменчивостью морфологии.

Руды месторождения Коашва по разнообразию природных типов и их распространенности аналогичны другим месторождениям Хибин. Их распределение по рудным горизонтам (сверху вниз) в целом соответствует зональности, свойственной залежам первого типа. Сравнительно низкое содержание апатита в рудах (16,6 % P_2O_5) связано с широким развитием брекчий с уртитовым цементом и относительно большой долей массивных и вкрапленных руд.

Рудные выходы на горах Ньоркпахк и Суолуайв известны с 1932 г., однако на протяжении 40 лет этот район считался малоперспективным в связи с брекчиевым характером оруденения (коэффициент рудоносности 0,23). В 1972 г. автором была выдвинута гипотеза о послышной концентрации апатитовой брекчии (рудные залежи) среди трахитоидных уртитов (рис. 26).

Рудная зона мощностью 285—350 м состоит из Верхней, Средней, Главной и Нижней залежей брекчиевых руд, которые простираются на северо-восток $50-60^\circ$ и падают на северо-запад под углами $10-25^\circ$. Вмещающие породы представлены рихчорритами, рудные тела залегают в ийолитах пострудной субфазы. Верхняя залежь обнажается на двух участках — Ньоркпахк и Суолуайв, разобщенных глубоким ущельем; Главная залежь прослеживается вдоль южного склона горы Ньоркпахк и выклинивается по падению; Средняя и Нижняя залежи являются слепыми рудными телами (рис. 27, 28). Их сравнительная характеристика приведена в табл. 11.

Рудные залежи имеют вид пластов-линз, осложненных раздувами-пережимами мощности, резкие контакты с вмещающими ийолитами, брекчирующими апатитовые руды. Концентрация ксенолитов в объеме брекчии неравномерная, средний коэффициент рудоносности составляет 0,83—0,92. Размеры ксенолитов варьируют от нескольких сантиметров до метров — десятков метров. Брекчии с крупными обломками выделены в особый морфологический тип рудных мегабрекчий. Форма ксенолитов разнообразная: неправильная, изометричная, линзовидная, полосчатость в них ориентирована под разными углами. Трахитоидность цементирующих ийолитов в целом полого ($10-25^\circ$) падает на северо-запад, но около рудных ксенолитов «приспосабливается» к их изменчивой форме.

№ участка	Содержание	Легенда	Ссылка
108	109	110	111
112	113	114	115
116	117	118	119
120	121	122	123
124	125	126	127
128	129	130	131
132	133	134	135
136	137	138	139
140	141	142	143
144	145	146	147
148	149	150	151
152	153	154	155
156	157	158	159
160	161	162	163
164	165	166	167
168	169	170	171
172	173	174	175
176	177	178	179
180	181	182	183
184	185	186	187
188	189	190	191
192	193	194	195
196	197	198	199
200	201	202	203

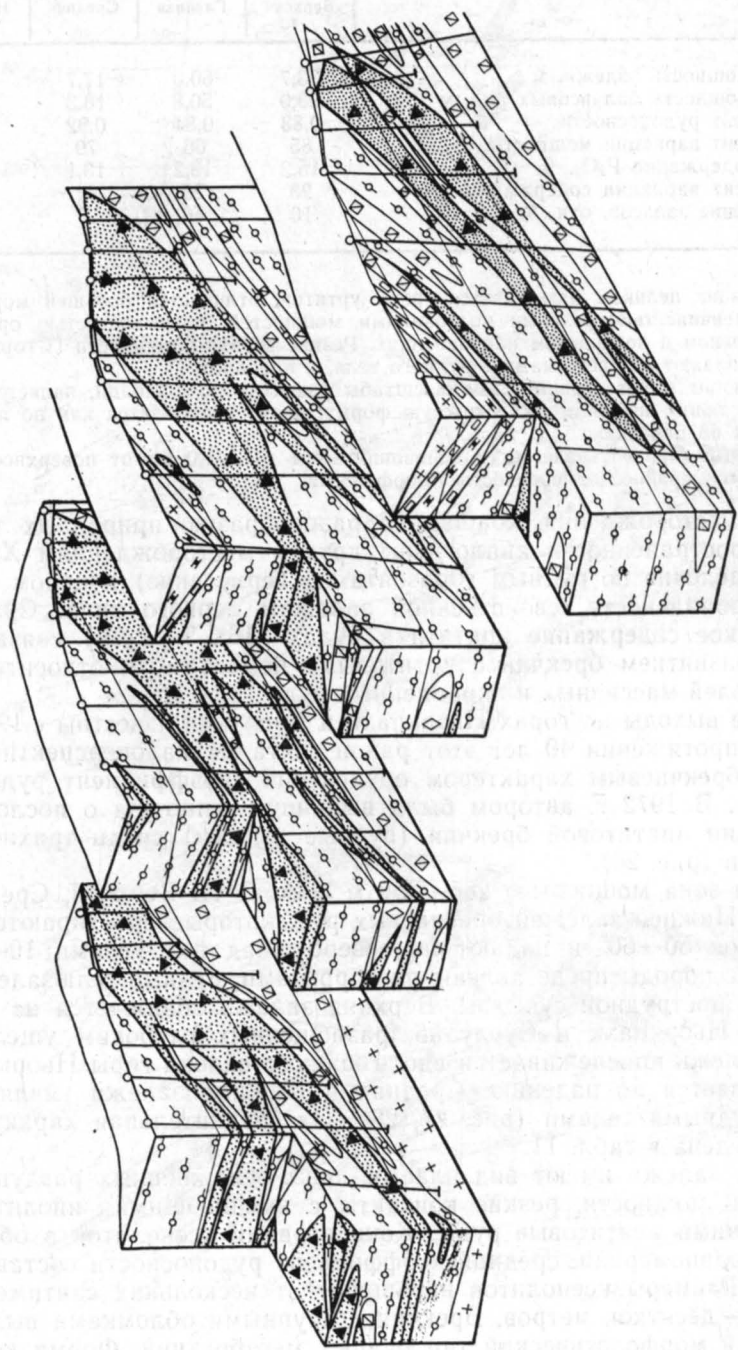


Рис. 27. Блок-диаграмма Ньоркпахского месторождения.

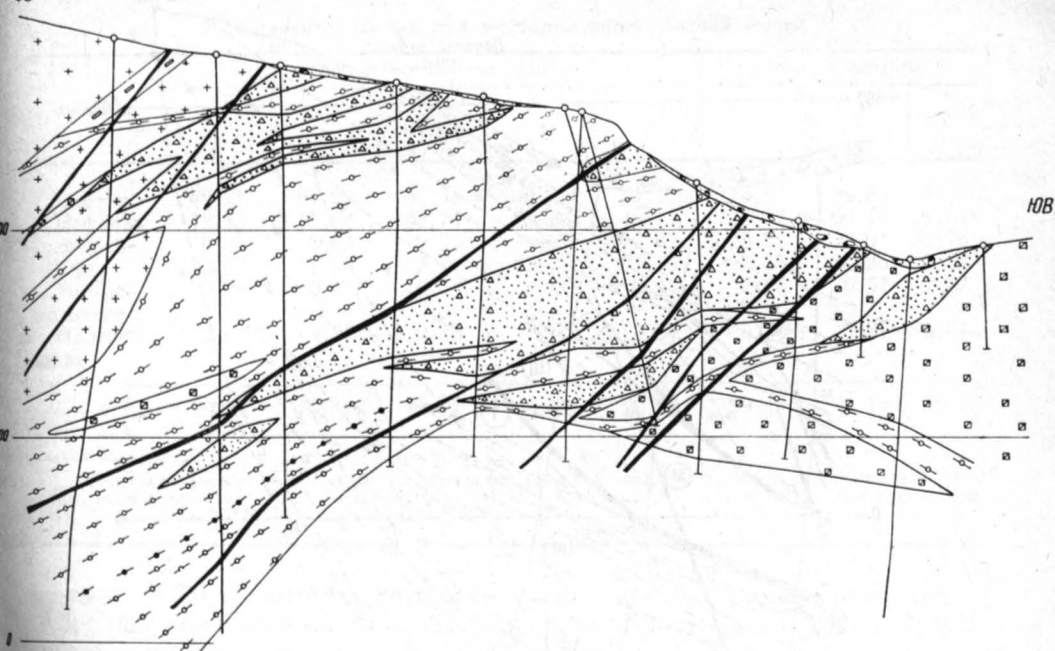


Рис. 28. Многорусная рудная зона (месторождение Ньюрпахк).

Апатитовые руды представлены (в убывающей распространенности, отн. %): линзовидно-полосчатыми — 21,4; массивными — 19,7; апатитовыми уртами — 13,7; пятнисто-полосчатыми — 13,3; блоковыми — 11,5; сетчатыми — 1,6 рудами; уртами с апатитовой минерализацией — 4,3; ийолиты цемента рудной брекчии составляют 9,5 % ее объема, дайки эссексит-диабазов, мончикитов, тингуаитов — 5,0 отн. %. Средний минеральный состав балансовых руд, разубоженных ийолитами и уртами, мас. %: апатит — 33,8; нефелин — 39,6; эгирин — 15,2; полевой шпат — 5,8; сфен — 2,4; титаномagnetит — 0,9; биотит — 0,5; ильменит — 0,25; лампрофиллит, эвдиалит, энigmatит, рамзаит, сульфиды.

Горно-геологические условия разработки довольно благоприятны: около 2/3 всех запасов могут обрабатываться открытым способом при коэффициенте вскрыши $3 \text{ м}^3/\text{м}^3$ и слабой обводненности.

Месторождение Олений Ручей открыто в 1975 г. в процессе глубокого структурно-поискового бурения на юго-восточном фланге продуктивной интрузии в долине руч. Олений и Минеральный, окруженной горами Коашкар, Суолуайв и Ньюрпахк. В 1985 г. завершена его детальная разведка.

В геологическом отношении месторождение приурочено к зоне выклинивания ийолит-уртитовой интрузии, представленной здесь рудной (апатито-нефелиновые руды, массивные полевошпатовые урты) и пострудной (трахитоидные урты, ийолиты, мельтейгиты) субфазами. Вмещающие хибиниты и ричесорриты подстилают рудную зону, фойяиты — перекрывают ее. Общее простирание структур северо-восточное $35-45^\circ$, падение на северо-запад плавно меняется от полого ($20-30^\circ$) на юго-западном фланге до крутого ($60-70^\circ$) на северо-восточном.

Рудная зона отличается весьма сложным внутренним строением (рис. 29): в ее разрезе выделяются Верхний и Нижний рудные ярусы, которые в свою очередь представляют собой систему рудных пластов-линз изменчивой формы и размеров, чередующихся без четких законо-

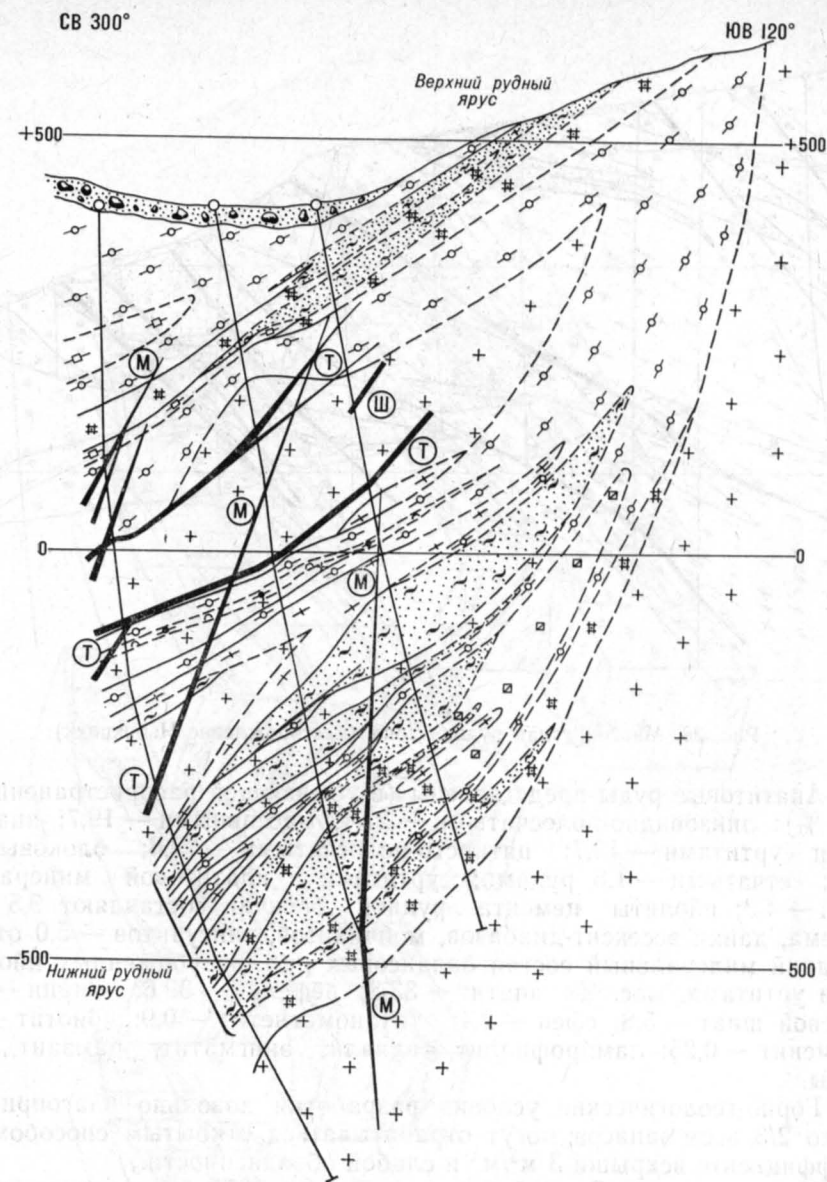


Рис. 29. Размещение апатитовых залежей в структурах Верхнего и Нижнего рудных ярусов (месторождение Олений Ручей).

мерностей с прослоями полевошпатовых уртитов, жилами трахитоидных ийолитов, пересеченных дайками лампрофиров. Сложность внутреннего строения усугубляется широко и интенсивно проявленными процессами катаклаза, милонитизации, рассланцевания, будинажа и брекчирования, связанными с Эвеслогчоррской зоной смятия. Частое, неупорядоченное чередование руд и разнообразных пород, отсутствие маркирующих слоев, сложность и неоднозначность возрастных взаимоотношений между рудами и породами, их глубокие вторичные преобразования существенно осложняют структурную корреляцию разреза рудной зоны.

Руды представлены, отн. %, линзовидно-полосчатыми — 16,9; пятнисто-полосчатыми — 16,5; пятнистыми — 6,7; массивными — 15,9; бло-

Минеральный состав руд месторождения Олений Ручей

Минерал	Апатито-нефелиновые руды					Уртиты и ийолиты		
	1	2	3	4	5	6	7	8
Апатит	76,21	67,02	55,78	48,06	34,10	13,80	2,65	3,53
Нефелин	12,82	18,62	28,74	30,68	45,11	52,25	60,15	47,68
Эгирин	6,35	8,63	9,25	10,88	12,82	20,61	23,01	35,76
Сфен	2,29	1,85	2,70	3,40	4,19	5,55	4,85	7,32
Титано-магнетит	0,29	0,45	0,74	0,43	0,44	1,48	0,57	1,87
Полевой шпат	2,03	3,37	2,48	5,98	3,26	5,80	5,91	3,61
Сумма	99,99	99,94	99,69	99,43	99,92	99,49	97,14	99,77

Примечание. 1—5—руды: 1—пятнистая (17 анализов), 2—пятнисто-полосчатая (29), 3—линзовидно-полосчатая (84), 4—массивная (55), 5—блоковая (9); 6—7—уртит: 6—апатитовый (44), 7—массивный (29); 8—трахитоидный ийолит (77).

ковыми — 2,0 типами, апатитовыми уртитамы — 9,9, рудной брекчией — 4,2; разубоживающие ийолиты и лампрофиры составляют 27,9 % объема рудной массы.

Минеральный состав руд и пород приведен в табл. 12.

Верхний рудный ярус в структурном отношении является аналогом рудной зоны Ньоркпахского месторождения: три залежи брекчиевых руд локализируются в толще пострудных ийолитов, которые их брекчируют. Нижний контакт толщи ийолитов является единственным маркирующим уровнем рудной зоны. Между Верхним и Нижним рудными ярусами залегает 300—400-метровая пачка полевошпатовых уртитов, включающая линзовидные ксенолиты-отторженцы хибинитов, рисчорритов, рассеченных жилами, апофизами трахитоидных ийолитов, дайками лампрофиров.

Нижний рудный ярус мощностью 200—400 м состоит из 4—6 пластообразных залежей апатито-нефелиновых руд, часто прерывающихся по простиранию и по падению, иногда сливающихся друг с другом или, наоборот, разветвляющихся на апофизы. Весьма обычны внутрирудные прослои уртитов, жилы ийолитов, реже ксенолиты хибинитов и рисчорритов мощностью до 10 м и более. Апатитовые залежи Нижнего яруса являются слепыми телами, они выклиниваются по падению—восстанию и по простиранию.

Горно-геологические условия освоения месторождения сложные (большая глубина залегания руды, сильная обводненность, лавиноопасность склонов).

Северное рудное поле

С северной ветвью продуктивного комплекса Хибин связаны крупные по масштабам многоярусные рудные зоны с низкой концентрацией полезного компонента; детально разведанное Партомчоррское месторождение и открытая в последние годы Лявочорр-Валепахкская зона апатитоносных ийолитов. Разведанные запасы P_2O_5 в Партомчоррском месторождении не превышают 10 % всего баланса Хибин, однако прогнозные ресурсы Лявочорр-Валепахкской зоны в будущем могут изменить это соотношение.

Партомчоррское месторождение открыто в 1958 г. при детальных поисках, сопровождавшихся картировочным бурением. Совмещенные во

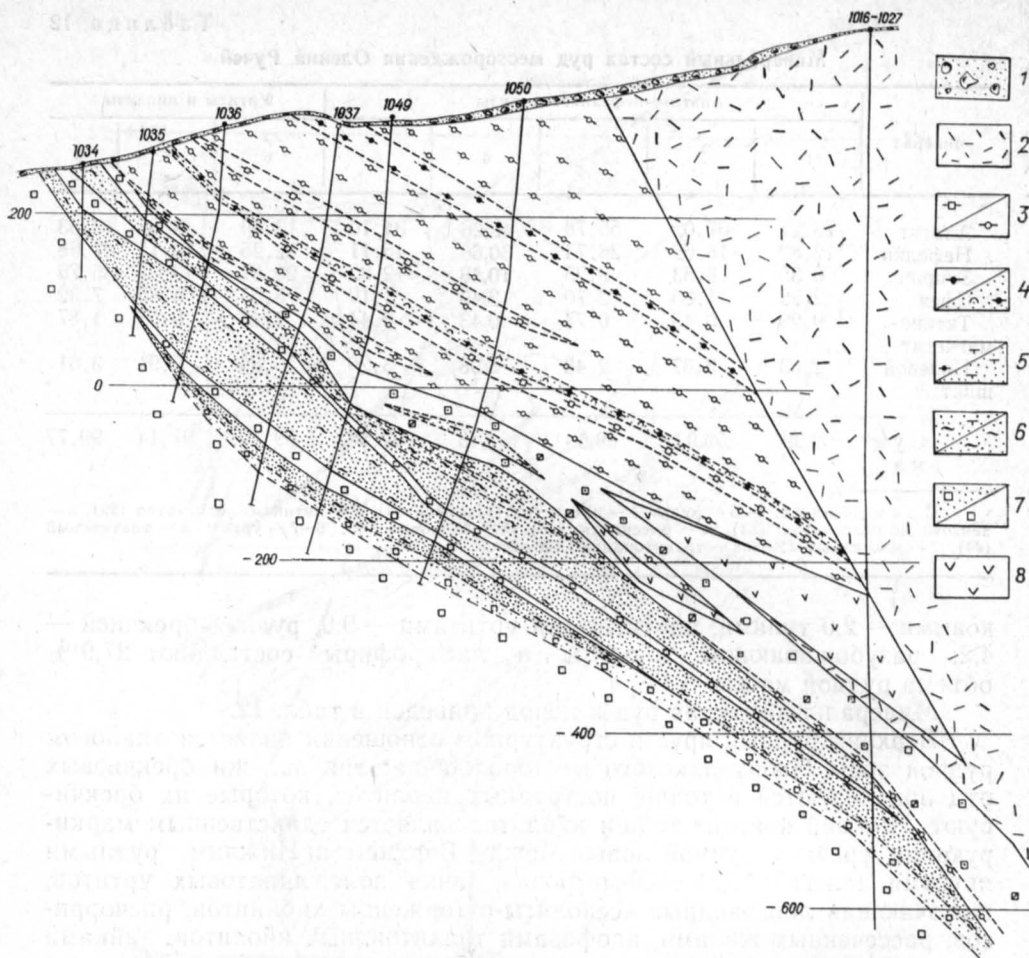


Рис. 30. Многоярусная рудная зона (месторождение Партомчорр).

1 — четвертичные отложения; 2 — лавочорриты; 3 — трахитоидные уртиты и ийолиты; 4 — трахитоидные мельтейгиты и апатитовые мельтейгиты; 5 — сфеновые ийолиты, сфено-apatитовые руды; 6 — апатито-нефелиновые руды сетчатые и линзовидно-полосчатые; 7 — апатитовые уртиты; 8 — фенитизированные останцы вмещающих пород.

времени предварительная и детальная разведка выполнены в 1972—1978 гг. Месторождение передано для промышленного освоения, которое планируется не ранее 2000 г.

Рудная зона мощностью 100—150 м простирается на северо-восток 10—30° в соответствии с общим направлением геологических структур в этом районе, падение на юго-восток под углом 30—40° у поверхности до 50—60° на глубине 1—1,5 км. Выходы руды, на всем протяжении перекрытые моренной, прослеживаются на 6 км вдоль подножия хр. Партомчорр. Подстилающие и рудовмещающие породы представлены массивными уртитами; рудная зона перекрывается 500-метровой расслоенной пачкой трахитоидных уртитов, ийолитов, мельтейгитов. Крутопадающая интрузия лавочорритов под острым углом пересекает по падению породы кровли, и, по-видимому, рудную зону, хотя это явление окончательно не установлено.

В рудной зоне выделяется три пластовые залежи (рис. 30), каждая из которых состоит из переслаивающихся полос апатит-нефелинового и нефелин-apatитового состава; в кровле зоны, кроме того, широко представлены руды, обогащенные сфеном и титаномагнетитом. Рудные тела разделяются прослоями массивных уртитов, практически

Сравнительная характеристика рудных тел Партомчоррского месторождения

Показатель	Рудное тело		
	Верхнее	Среднее	Нижнее
Средняя мощность, м	26,4	36,8	16,3
Максимальная мощность, м	108,8	110,6	68,1
Коэффициент вариации мощности, %	62	62	—
Среднее содержание P_2O_5 , %	6,96	7,91	6,77
Коэффициент вариации содержания P_2O_5 , %	35	36	—
Распределение запасов по рудным телам, отн. %	46	51	3
То же, по типам руд, отн. %			
Сфено-апатитовые руды	35,8	—	—
Апатито-нефелиновые руды:			
пятнистые	1,2	2,3	2,5
линзовидно-полосчатые	24,5	48,0	49,8
сетчатые	3,6	7,0	7,3
массивные руды и апатитовые уртиты	9,7	19,3	20,2
Безрудные прослои ийолит-уртитов	25,2	23,4	20,2
Минеральный состав, мас. %:			
апатит	17,1	19,4	16,8
нефелин	42,7	49,1	52,1
эгирин	18,1	15,2	15,0
сфен	8,8	5,6	6,9
титаномагнетит	6,6	4,0	4,4
полевой шпат	2,4	2,4	1,5

не содержащих апатитовой минерализации. Верхнее и Среднее рудные тела, в которых сосредоточена основная масса запасов, развиты на всей площади месторождения, а мелкое по масштабам Нижнее тело выявлено только в северной части рудной зоны. Прослой рудоразделяющих массивных уртитов в направлении от флангов к центральной части месторождения выклинивается, что приводит к соединению Верхней и Средней залежей, образующих здесь мощное рудное тело. Мощность уртитовых прослоев составляет в среднем 20—30, местами до 50 м.

Апатито-нефелиновые руды Партомчоррского месторождения по составу и текстурным признакам разделяются на три группы: сфено-апатитовые руды, апатито-нефелиновые руды, апатитовые уртиты и ийолиты. В составе балансовых руд значительный объем (до 20—25 %) приходится на долю разубоживающих уртитов и ийолитов, резко снижающих содержание P_2O_5 (в среднем по месторождению 7,5 %). Среди руд преобладают относительно бедные апатитом линзовидно-полосчатые, сетчатые разновидности, апатитовые уртиты, полностью отсутствуют блоковые и брекчиевые руды (табл. 13). Во всех типах руд отмечается повышенное содержание сфена и титаномагнетита.

В объемной модели рудного поля как трехмерного геологического пространства выделяются составные структурные элементы (сверху вниз):

— фронтальная зона естественного выклинивания апатитовой минерализации по восстанию структуры, которая на хибинских месторождениях частично или полностью уничтожена эрозией (или отработана в процессе эксплуатации);

— прифронтальная зона наибольшей концентрации оруденения, объединяющая основную массу рудных тел (в многоярусных рудных зонах) или центральные части апатитовых залежей, в которых представлены все природные типы руд, чередующихся в разрезе с упоря-

доченной последовательностью (зональность), частично затронутая эрозией (отработкой);

— прикорневая зона, характеризующаяся постепенным снижением интенсивности оруденения (за счет уменьшения мощности залежей и концентрации апатита в рудах) с отчетливой тенденцией к выклиниванию рудных тел по падению;

— корневая зона с маломощной убогой апатитовой минерализацией, фиксирующая сопряженность рудных залежей с подводящим каналом.

Структурные зоны в пределах каждого рудного поля имеют различные ширину, вертикальную протяженность и занимают разное гипсометрическое положение. Границы между ними для конкретного рудного поля определяются по совокупности морфоструктурных признаков, присущих каждой зоне.

Размещение апатитовых залежей по отношению к дугообразной продуктивной интрузии ийолит-уртитов характеризуется двусторонней симметрией [29]. Осью симметрии является радиальная линия, проходящая через центральную часть юго-западного рудного поля (между месторождениями Юкспор и Апатитовый Цирк). Вдоль восточной ветви мощная Расвумчоррская апатитовая залежь юго-западного рудного поля (месторождения Апатитовый Цир и Плато Расвумчорр) через безрудные участки сменяется многоярусными рудными зонами Коашва, Ньоркпахк и Олений Ручей, образующими юго-восточное рудное поле. По северной ветви за Юкспор-Кукисвумчоррской залежью, являющейся как бы «зеркальным отражением» Расвумчоррской рудной линзы, также с перерывами прослеживаются многоярусные рудные зоны

Таблица 14

Структурные ярусы хибинских апатитовых месторождений

Рудное поле (правая ветвь)	Структурный ярус (определяющие признаки)	Рудное поле (левая ветвь)
Юго-западное Кукисвумчорр, Юкспор (корневые зоны), участок Гакман	I. Маломощная (до 50 м) крутопадающая (50—60°) пластовая залежь линзовидно-полосчатых и вкрапленных руд, выклинивающаяся по падению	Юго-западное Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр (корневые зоны), участок Юкспориок
Кукисвумчорр, Юкспор (фронтальная зона)	II. Мощная (100—300 м) пластовая пологая (30—40°) залежь зонального строения	Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр (фронтальная зона)
Северное Участок Куэльпор	III. Маломощная (до 30 м) сложнопластовая залежь интенсивно брекчированных руд	Участок Восточный Рас- вумчорр
Партгомчорр	IV. Мощная (100—300 м) многоярусная рудная зона (переслаивание рудных залежей с уртитам)	Юго-восточное Коашва
Лявочорр-Валепахкская зона	V. Маломощная (10—30 м) залежь сфено-апатитовых руд и апатитовых ийолитов	Участок Вуоннемиок
	VI. Мощная (100—300 м) многоярусная рудная зона интенсивно брекчированных руд с ийолитовым и уртитовым цементом	Ньоркпахк, Олений Ручей

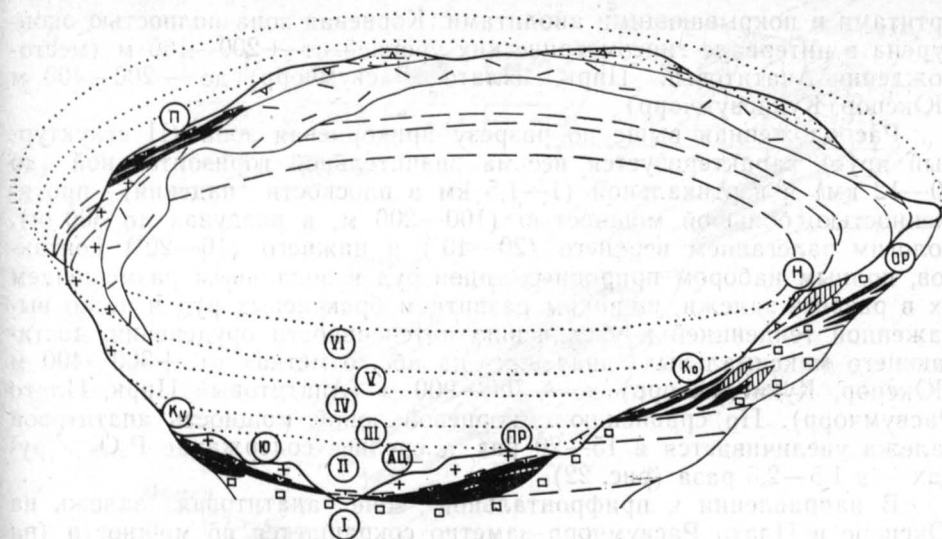


Рис. 31. Блок-схема размещения хибинских месторождений и рудных полей.

Римские цифры — структурные ярусы. Месторождения: П — Партомчорр, Ку — Кукисвумчорр, Ю — Юкспор, ПР — Плато Расвумчорр, Ко — Коашва, Н — Ньоркпахк, ОР — Олений Ручей.

Снежный Цирк, Партомчорр и вновь выявленных перспективных участков Лявочорр-Валепахк, относимых к северному рудному полю. При попарном сопоставлении месторождений восточной и северной ветвей обнаруживаются черты общности их структурной организации (табл. 14), что является отражением вертикальной зональности, выражающейся в поясовом расположении апатитовых залежей различной морфологической принадлежности в направлении от корневой к фронтальной зоне. На основании палеоструктурных реконструкций геометрической фигуры рудных полей в трехмерном пространстве выдвинуто предположение о том, что на современный эрозионный уровень выходят апатитовые залежи, относящиеся к различным структурным ярусам.

Объемную модель, связывающую все известные, уничтоженные эрозией и прогнозируемые на глубоких горизонтах, залежи апатито-нефелиновых руд, можно представить в форме уплощенного опрокинутого конуса, на поверхности которого вдоль основания прослеживаются пояса рудных тел разных морфологических типов (рис. 31). При этом ось конической фигуры расположена не вертикально, а круто, под углом $80-85^\circ$, наклонена в плоскости симметрии на юго-запад, в связи с чем на современном эрозионном уровне обнажаются апатитовые залежи, относящиеся к различным структурным ярусам в объемной модели.

В поперечном разрезе рудной структуры хибинских месторождений в направлении от корневой к фронтальной зоне можно выделить несколько сменяющих друг друга по вертикали уровней (структурных ярусов), различающихся морфологическими особенностями, интенсивностью оруденения, соотношением природных типов руд и характером взаимоотношений с вмещающими породами.

Корневым зонам (I структурный ярус), вскрытым глубокими скважинами только на юго-западном рудном поле, соответствуют крутонаклонные ($50-60^\circ$), выклинивающиеся по падению части рудных тел, характеризующиеся сравнительно небольшой мощностью (менее 25 м) и низким (до 25 %) содержанием апатита. Руды представлены преимущественно бедными линзовидно-полосчатыми и сетчатыми разновидностями, вкрапленными апатитовыми уртами и ийолитами со сфеном и титаномагнетитом, имеющими постепенные переходы с подстилающими

уртитам и покрывающими ийолитами. Корневая зона полностью оконтурена в интервале гипсометрических уровней от +200—100 м (месторождения Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр) до —200—400 м (Юкспор, Кукисвумчорр).

Расположенная выше по разрезу прикорневая зона (II структурный ярус) характеризуется весьма значительной горизонтальной (до 10—12 км) и вертикальной (1—1,5 км в плоскости падения) протяженностью, большой мощностью (100—200 м, в раздувах до 300 м), пологим залеганием верхнего (20—40°) и нижнего (10—20°) контактов, полным набором природных типов руд и зональным размещением их в разрезе залежи, широким развитием брекчиевых руд и четко выраженной тенденцией к увеличению интенсивности оруденения, достигающего максимальных значений на абс. отметках от +300—400 м (Юкспор, Кукисвумчорр) до +700—900 м (Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр). По сравнению с корневой зоной мощность апатитовой залежи увеличивается в 15—20 раз, а среднее содержание P_2O_5 в рудах — в 1,5—2,5 раза (рис. 22).

В направлении к прифронтальной зоне апатитовая залежь на Юкспоре и Плато Расвумчорр заметно сокращается по мощности (на месторождениях Кукисвумчорр и Апатитовый Цирк эта часть структуры уничтожена эрозией), среди руд преобладает апатитовая брекчия с уртитовым цементом, существенно нарушающая первичную зональность. Исходя из представлений о поясовом расположении структурных ярусов в уплощенно-конической модели рудного поля, можно допустить, что для палеоструктурной реконструкции эродированных частей рудного тела можно использовать данные о морфологии залежи на флангах месторождений. При прослеживании к флангам отмечается постепенное выклинивание центральной (осевой) зоны пятнистых, блоковых и линзовидно-полосчатых руд, их место в разрезе занимает рудная брекчия среди апатитовых уртитов (участки Куэльпор, Восточный Расвумчорр). Эта переходная от прикорневой к прифронтальной зонам часть структуры соответствует III ярусу.

Прифронтальная часть структуры (IV ярус) представлена многоярусными рудными зонами на месторождениях Коашва (юго-восточное рудное поле) и Партомчорр (северное рудное поле), в которых пластовые апатитовые тела (рудные горизонты) переслаиваются с массивными уртитам (рис. 24 и 32). Число рудных тел в многоярусной зоне мощностью до 200—400 м варьирует от трех (месторождение Партомчорр) до четырех—семи (месторождение Коашва), их взаимоотношения с окружающими уртитам характеризуются или постепенными переходами, фиксируемыми околорудной апатитовой минерализацией, или резкими контактами с оторочкой из рудной брекчии. Взаимное расположение рудных тел кулисообразное, причем только верхнее из них (I рудный горизонт) является корневым и не выклинивается на глубине; остальные рудные тела относятся к бескорневым («слепым») залежам среди уртитов.

Из предположения о том, что многослойные рудные зоны Коашвинского и Партомчоррского месторождений относятся к IV структурному ярусу, уничтоженному эрозией в районе юго-западного рудного поля, вытекает важный в практическом отношении вывод о возможности выявления на глубоких горизонтах этих месторождений крупных апатитовых залежей II яруса.

Многоярусные рудные зоны Коашвинского и Партомчоррского месторождений далее в сторону флангов сменяются пластовой сфено-apatитовой минерализацией, локализующейся в зоне контакта пострудных ийолит-уртитов с массивными уртитам (V структурный ярус, участки Вуоннемиок, Лявочорр). Проведенное на этих участках глубокое поисковое бурение с целью вскрытия «слепых» апатитовых зале-

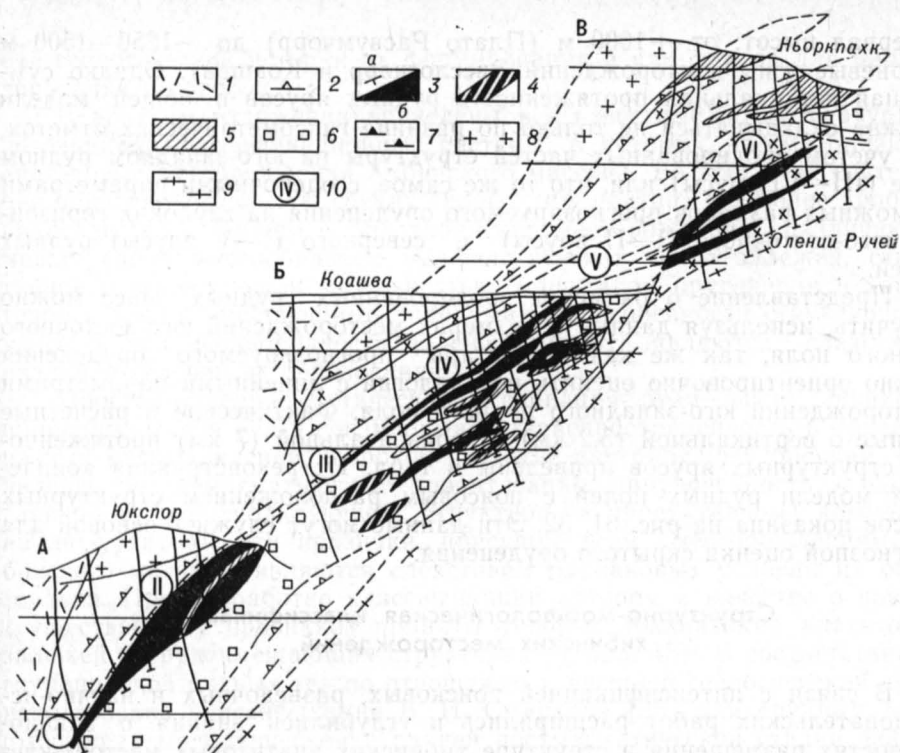


Рис. 32. Схема структурной зональности (обобщенный разрез).

1 — ляхочорриты; 2 — пострудные ийолит-уртиты; 3 — сфено-апатитовые (а) и апатито-нефелиновые (б) руды; 4 — прогнозируемые залежи апатитовых руд; 5 — брекчиевые руды; 6 — массивные уртиты; 7 — дорудные ийолит-уртиты; 8 — рихсорриты; 9 — хибиниты; 10 — структурные ярусы.

жей-сателлитов в толще массивных уртитов не дало положительных результатов.

Фронтальная зона (VI ярус), представленная брекчиевыми апатитовыми рудами с ийолитовым цементом Ньоркпахкского месторождения и бедными апатитовыми ийолитами Ляхочорр-Валепакхского участка, на дневную поверхность выходит на флангах продуктивной ийолит-уртитовой интрузии, где выклиниваются ее северная и южная ветви. В структурном отношении брекчиевое и вкрапленное оруденение локализуется не в толще массивных уртитов, как на других месторождениях хибинской группы, а среди пострудных трахитоидных ийолит-уртитов. На участке Ляхочорр-Валепакх (северное рудное поле) на протяжении 12 км выявлено несколько прослоев апатитсодержащих ийолитов общей мощностью несколько десятков метров. Месторождение Ньоркпахк сложено четырьмя пластовыми залежами брекчиевых апатито-нефелиновых руд, сцементированных ийолитами.

На основании палеоструктурных реконструкций эродированных и прогнозных построений еще не вскрытых рудных ярусов можно ориентировочно оценить линейные параметры уплощенно-конической модели, связывающей все известные и предполагаемые на глубине месторождения и апатитопроявления. На современной дневной поверхности общая протяженность продуктивной части ийолит-уртитовой интрузии по периметру составляет 75 км, ее диаметр — 28 км. Отношение суммарной длины всех месторождений и рудных участков к периметру интрузии (линейный коэффициент рудоносности) приблизительно равно 1:2, а с учетом северной зоны апатитовых ийолитов — 1:1,5. Амплитуда гипсометрических уровней с известным оруденением охватывает широкий

интервал высот: от +1000 м (Плато Расвумчорр) до —1250—1500 м (корневые зоны месторождений Эвеслогчорр и Коашва). Однако суммарная вертикальная протяженность рудных ярусов в общей модели должна складываться не только по разнице гипсометрических отметок, а с учетом эродированных частей структуры на юго-западном рудном поле (III—VI ярусы) или, что то же самое, с оценочными параметрами возможных размеров прогнозируемого оруденения на глубоких горизонтах юго-восточного (I—II ярусы) и северного (I—V ярусы) рудных полей.

Представление о размерах эродированных рудных масс можно получить, используя данные о размерах месторождений юго-восточного рудного поля, так же как масштабы прогнозируемого оруденения можно ориентировочно оценить по аналогии с линейными параметрами месторождений юго-западного рудного поля. Фактические и расчетные данные о вертикальной (5,2 км) и горизонтальной (7 км) протяженности структурных ярусов приведены в табл. 17; реконструкция конической модели рудных полей с поясовым расположением структурных ярусов показана на рис. 31, 32. Эти данные могут служить основой для прогнозной оценки скрытого оруденения.

Структурно-морфологическая классификация хибинских месторождений

В связи с интенсификацией поисковых, разведочных и научно-исследовательских работ расширились и углубились знания о закономерностях размещения и структуре хибинских апатитовых месторождений. Возникла необходимость и появилась возможность разработки морфоструктурной классификации этих месторождений на основе сравнительного анализа совокупности признаков, определяющих условия образования, размеры, форму, внутреннее строение отдельных месторождений и слагающих их рудных тел.

Существующие общие классификации фосфатных месторождений базируются на различных принципах. А. С. Соколов [37] систематизирует промышленные типы фосфатных руд (apatиты и фосфориты) по генетическим признакам. Хибинские апатитовые месторождения, не имеющие аналогов в других регионах мира, в его классификации образуют группу эндогенных (магматических).

В соответствии с группировкой апатитовых месторождений на структурно-формационной основе по степени продуктивности [8], апатитоносные щелочные формации, связанные с агпайтовыми нефелиновыми сиенитами (Хибинская группа), ультраосновными, щелочными породами и карбонатитами (Ковдор и др.), возникшие в условиях активизационного эпиплатформенного режима, относятся к группе весьма продуктивных. Среди хибинских месторождений и рудопроявлений выделены апатито-нефелиновый и сфено-apatитовый (с титаномagnetитом и нефелином) минеральные типы.

По минеральному составу апатитоносного субстрата [4] апатитовые руды промышленных и перспективных месторождений подразделяются на пять типов (силикатно-окисный, силикатный, карбонатно-силикатный, карбонатный и гидросиликатно-гидроокисный) с выделением апатито-нефелинового подтипа (Хибинская группа) в пределах силикатных руд.

Е. А. Каменев и Р. М. Файзуллин [1985 г.] все месторождения Хибинского массива объединяют в два морфоструктурных подтипа: 1) одноярусный пластообразный (стратиморфный) — месторождения Кукишвумчорр-Расвумчоррской группы, Эвеслогчорр; 2) многоярусный сложный морфологии (Коашва, Ньоркпахк, Олений Ручей, Партомчорр). Структура месторождений рассматривается в плане многоэтап-

ной геологической истории их формирования и как фактор для прогнозирования и поисков.

В кратком изложении приведены все известные по литературным источникам классификационные системы, в которых рассматриваются апатитовые месторождения Хибинского массива. Во всех этих системах они образуют отдельную группу (класс, тип, подтип) без более дробных подразделений. Вместе с тем хибинские месторождения различаются между собой многообразием морфологических типов залежей, структурной и вещественной зональностью, масштабом оруденения и характером связей с вмещающими породами. Эти особенности структурной и качественной неоднородности залежей апатита являются следствием различий условий их образования.

Пространственно-генетическая ассоциация руда—уртит, общность природных типов руд и соизмеримая их распространенность в пределах разных месторождений, широкое развитие внутрирудных брекчий, проявление позднемагматической апатитизации, приуроченность к единой главной рудоконтролирующей структуре в продуктивном комплексе ийолит-уртитов — эти признаки, присущие всем месторождениям Хибинского массива, являются следствием одинаковых условий их образования. При разработке классификации автором в качестве основных (существенных) признаков приняты условия локализации апатитовых залежей в рудовмещающих структурах (табл. 15). В соответствии с группировкой рудных тел по отношению к внешней геологической среде использована классификация В. И. Смирнова [35] для «рудных тел в структурах магматической и ранней постмагматической стадии формирования интрузивов (VI группа)», в пределах которой выделяются рудные тела в структурах течения (17 тип), в структурах расслоения (18 тип) и в структурах последовательных инъекций (19 тип). Все известные в Хибинах месторождения апатита укладываются в эти подразделения (горизонтальный ряд в таблице).

К рудным телам в структурах течения относится Лявочорр-Валепахкская зона, представляющая собой принципиально новый для Хибин морфологический тип оруденения. Апатитовая минерализация (10—15 % апатита) локализуется в трахитоидных ийолитах в виде повторяющихся в разрезе полос, не имеющих отчетливых границ с неминерализованными участками. В разрезе продуктивной зоны меняются число рудных прослоев (от 1 до 3), их суммарная мощность (10—120 м), структурное положение в толще ийолитов. Рудные тела в структурах расслоения представлены крупными апатитовыми залежами первого подтипа (месторождения юго-западного поля, Партомчорр). В структурах последовательных инъекций трахитоидных ийолитов 3-й субфазы и массивных уртитов 2-й субфазы сформировались многоярусные рудные зоны месторождений второго подтипа (Ньоркпахк, Коашва, Олений Ручей).

Различие в морфоструктурной организации месторождений обоих подтипов, а также корневых и фронтальных зон в пределах отдельных месторождений, по мнению автора, является отражением многоэтажного механизма рудообразования и рудоотложения в процессе поступления апатито-уртитового расплава во вмещающую камеру. Высокая подвижность фосфатной части по сравнению с более вязким уртитовым расплавом обусловила опережение фронта его поступления, концентрацию фосфора во фронтальной зоне, более раннюю кристаллизацию рудного вещества. Контрастность разделения расплава на фосфатную и силикатную части прогрессивно возрастала в направлении от корневой к апикальной зоне, что сопровождалось увеличением временного интервала между внедрениями и кристаллизацией руд и уртитов. Вследствие этого в приповерхностных частях месторождений юго-западного поля и Коашва широко развиты брекчии различных типов руд, сцемен-

Структурно-морфологическая классификация хибинских месторождений

Структурная характеристика	Рудные тела в структурах расчлененных интрузивных комплексов		Рудные тела в структурах последовательных инъекций	
	Рудные залежи		Многоярусные рудные зоны	
Морфологический тип	Постепенные переходы		Интрузивные контакты	
Характер контактов с вмещающими породами	Срезанные поздними интрузиями	Корневые	«пассивные»	«активные»
Наличие связи с рудоподводящими каналами	Несмещенные		Бескорневые	Корневые
Отношение к первоначальному залеганию			Смещенные	Несмещенные
			Частично	
Степень сложности геологического строения	$\begin{matrix} > \\ \text{1-я группа} \end{matrix}$		$\begin{matrix} \longrightarrow \\ \text{2-я группа} \end{matrix}$	
Размеры рудных тел (месторождений): весьма крупные	Юкспор, Плато Расвумчорр	Паргомчорр	Коашва	
	крупные	Кукисвумчорр, Эвслогчорр		
средние	Апатитовый Цирк	Ньюрклах		Олений Ручей
мелкие	Куэльпор			Снежный Цирк

тированных массивными уртитам; на более глубоких гипсометрических уровнях (табл. 8) доля брекчиевых руд в объеме залежей падает, наряду с явлениями брекчирования появляются полосчатые ассоциации апатито-нефелиновых и нефелино-apatитовых прослоев; в прикорневых и корневых зонах всех месторождений брекчиевые руды полностью исчезают, в составе залежей преобладают бедные по содержанию апатита разновидности линзовидно-полосчатых, сетчатых, массивных руд и уртитов с вкрапленностью апатита. В направлении от верхних к нижним гипсометрическим уровням отчетливо проявляется снижение интенсивности апатитового оруденения (мощности залежей — рис. 22), а также уменьшение содержания апатита в рудах, связанное с постепенным сокращением доли богатых и увеличением относительной распространенности бедных и убогих руд.

При разработке классификации в качестве производных признаков (вертикальный ряд в табл. 15) приняты морфологический тип оруденения, характер контактов руд с вмещающими породами, геологические данные о наличии или отсутствии связи с рудоподводящим каналом, о возможных перемещениях апатитовых залежей (рудных тел, горизонтов) по отношению к первоначальному залеганию и месту рудоотложения, о степени сложности геологического строения и о масштабах месторождений.

А. По признаку морфологического типа оруденения все известные месторождения и рудопроявления подразделяются на два подтипа:

А-1) рудные залежи большой протяженности и мощности простого строения с зональным распределением природных типов руд (стратиморфные залежи Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Эвслогчорр);

А-2) многоярусные рудные зоны сложного строения, включающие от 2 до 10—12 рудных тел, возникших в результате магматической дифференциации (Партомчорр, Лявочорр-Валепахк) или поздних внедрений ийолит-уртитов (Коашва, Ньоркпахк, Олений Ручей). Не исключено также формирование рудных зон в результате инъекций фосфатного расплава во вмещающие рисчорриты и хибиниты (например, Поачвумчоррское рудопроявление и рудный участок Снежный Цирк).

Б. По характеру контактовых взаимоотношений с вмещающими породами рудные тела подразделяются на три подтипа:

Б-1) связанные с окружающими околорудными породами зонами постепенных взаимопереходов (Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Эвслогчорр) или переслаивающиеся с уртитам (Партомчорр) и ийолитами (Лявочорр-Валепахк). Этот подтип соответствует рудным телам в структурах расслоенных комплексов и в структурах течения;

Б-2) имеющие «пассивные» контакты с вмещающими, более поздними по отношению к руде, породами, т. е. такие внешние границы, которые присущи не самому рудному телу, а которые образованы внедрениями уртитов (Коашва) или ийолитов (Ньоркпахк) в ранее сформировавшиеся апатитовые руды. В этих случаях рудные залежи, горизонты представляют собой фрагменты (останцы, отторженцы) мощных апатитовых залежей, нарушенных последующими инъекциями. Их внутренняя структура автономна по отношению к внешним ограничениям;

Б-3) имеющие «активные» контакты с вмещающими, более ранними по отношению к рудам породами — рисчорритами, хибинитами (Снежный Цирк). Форма рудных тел жилообразная, внутренняя структура (полосчатость) сопряжена с внешними, «активными» контактами.

В. В зависимости от предполагаемого наличия или установленного отсутствия связи рудных залежей с рудоподводящим каналом выделяются:

В-1) корневые рудные тела, полное выклинивание которых по падению достоверно не установлено глубинным бурением (связь с рудообразующим глубинным источником предполагается);

В-2) бескорневые рудные тела в «слепом» залегании, пространственно изолированные в окружающем субстрате (рудные тела в структурах последовательных инъекций);

В-3) рудные тела, корневые части которых «срезаны» поздними интрузиями ийолит-уртитов, лявочорритов (рис. 18).

Г. По отношению к первоначальному залеганию и месту рудоотложения различаются:

Г-1) рудные тела, не смещенные относительно рудовмещающей камеры, в которой они сформировались (расслоение при дифференциации или инъекции фосфатного расплава);

Г-2) рудные тела, смещенные в результате тектонических напряжений, сопровождающих внедрение пострудных магматических масс. В зависимости от предполагаемой амплитуды перемещения относительно первоначального залегания выделяются частично смещенные (I и II горизонты Коашвы) и смещенные (III и IV горизонты Коашвы, брекчиевые залежи Ньюрклаха).

Д. По степени сложности геологического строения, изменчивости морфологии рудных тел, состава руд в соответствии с классификацией ГКЗ СССР выделяются месторождения:

Д-1) 1-й группы простого строения с выдержанными или закономерно изменчивыми параметрами формы, внутреннего строения и состава рудных тел (юго-западное поле, Партомчорр);

Д-2) 2-й группы сложного строения, представленные многоярусными рудными зонами (Коашва, Ньюрклах, Олений Ручей), в которых сочетаются рудные тела с неустойчивыми морфологическими и качественными характеристиками (раздувы — пережиги мощности, прерывистость по падению — простирацию, большие вариации содержания апатита на разных участках месторождений);

Д-3) 3-й группы весьма сложного строения с крайней изменчивостью размеров и формы, резко непостоянным составом рудных тел, с отсутствием (или невыявленными) закономерностей их локализации в геологическом пространстве. Конкретных месторождений этой группы среди известных в Хибинах рудных объектов не выявлено.

Е. По размерам месторождения и составляющие их рудные тела подразделяются на весьма крупные (уникальные), крупные, средние и мелкие в зависимости от масштабов запасов, а по содержанию P_2O_5 в рудах — на богатые (свыше 15%), средние (10—15%) и бедные (менее 10%).

Оценочные параметры, определяющие масштабы запасов и качество руд, использованы при классификации месторождений по народнохозяйственной значимости (гл. 9).

КРИТЕРИИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ АПАТИТА

Признаки магматического и структурного контроля

Эффективность поисков промышленных концентраций апатита в пределах Хибинского массива находится в тесной зависимости от применения поисковых критериев, вытекающих из установленной генетической связи апатито-нефелиновых руд с массивными уртитам рудной субфазы. Общим отражением этой связи является неизменная пространственная сопряженность ассоциации руда — уртит, положенная в основу магматического и структурного контроля оруденения.

Закономерность пространственно-генетической приуроченности апатитовых залежей к участкам развития массивных уртитов рудной субфазы подтверждается следующими установленными фактами:

- а) переслаиванием апатито-нефелиновых руд и уртитов;
- б) общностью минерального состава руд и уртитов, состоящих из переменных количеств «сквозных» минералов: апатита, нефелина, эггирина, сфена и титаномагнетита;
- в) наличием переходных по составу апатитсодержащих пород в непрерывной серии: богатая — средняя — бедная апатито-нефелиновая руда — апатитовый уртит — уртит;
- г) присутствием среди апатито-нефелиновых руд шлиров массивных уртитов и, наоборот, мономинеральных скоплений и неравномерной вкрапленности апатита в составе уртитов;
- д) совместным участием апатитовых руд и уртитов в складчатых структурах и в ксенолитах брекчий, цементируемых пострудными ийолитами (месторождение Ньюркпахк);
- е) развитием позднемагматического апатита в урритах с образованием апатитовых уртитов и массивных (вкрапленных) руд;
- ж) сходством возрастных взаимоотношений с вмещающими древними (хибиниты, рисчорриты) и молодыми (лявочорриты) породами.

С учетом этих критериев необходимым основанием для постановки поисков должно быть наличие пород ийолит-уртитового ряда, которое устанавливается геологическими или геофизическими методами. Более надежным признаком служит присутствие среди них массивных уртитов. Основным структурным фактором, требующим обязательного учета, является трехчленное строение продуктивной интрузии, в разрезе которой массивные уртиты и ассоциирующие с ними апатито-нефелиновые руды залегают на бесперспективных в отношении поисков дорудных трахитоидных ийолит-урритах и перекрываются дифференцированной пачкой пострудных производных интрузии. При этом локализация апатитовых залежей возможна как в зоне верхнего контакта массивных уртитов с покрывающими породами, так и внутри толщи уртитов вплоть до лежащего бока. Поэтому поисковые работы в пределах каждого участка должны вестись с учетом специфики его внутреннего строения. На слабоизученных участках (западная и северная части интрузии) необходима проверка обоих вариантов, т. е. полное пересечение скважинами толщи уртитов.

В связи с тем что площадь развития ийолит-уртитовой интрузии обследована с детальностью, исключающей возможность пропуска про-

мышленных залежей апатита (включая участки, закрытые четвертичными отложениями), поисковые работы в последние годы направлены на выявление скрытых, не выходящих на поверхность рудных тел. В этих условиях названные выше закономерности (трехчленное строение интрузии, связь апатитовых руд с уртитам и их приуроченность к средней части разреза) приобретают особое значение в качестве руководящих критериев для рационального ведения поисковых работ на глубоких горизонтах массива.

При этом необходимо исходить из двух общих вариантов:

1) поиски в пределах ийолит-уртитовой интрузии на участках с неполным ее разрезом и отсутствующим или локально развитым апатитовым оруденением;

2) поиски ийолит-уртитов и связанного с ними апатитового оруденения во вмещающих породах за пределами продуктивной интрузии.

В первом случае может встретиться несколько частных вариантов, которые в общем сводятся к двум основным:

а) в разрезе интрузии на поверхности присутствуют продуктивные уртиты (с оруденением или без него) в сочетании с покрывающими порудными или подстилающими дорудными ийолит-уртитам;

б) продуктивные уртиты на поверхности отсутствуют, разрез представлен только трахитоидными ийолитами, возрастное, а следовательно, и структурное положение которых не установлено ввиду отсутствия геологических критериев.

В случае первого подварианта необходимо обеспечить полное пересечение поисковыми скважинами покрывающей пачки трахитоидных ийолитов и всей толщи продуктивных уртитов с надежным (не менее 100 м) выходом в подстилающие породы, которые могут быть представлены дорудными ийолит-уртитам, рисчорритами или хибинитами. Этот подвариант имеет место на участках Вуоннемиок, Снежный Цирк, Валепахк, Калиок. Полного пересечения пачки подстилающих дорудных пород при этом не требуется, так как до сих пор ни на одном из участков массива не выявлены апатитовые залежи в их лежащем боку или на контакте с вмещающими рисчорритами и хибинитами. Исключение составляет северная часть интрузии, о геологической позиции и перспективности которой у исследователей нет единого мнения.

Согласно концепции ритмического строения комплекса рисчорритов—ийолит-уртитов — апатито-нефелиновых руд, развиваемой М. М. Калининским [19], в лежащем боку трахитоидных ийолитов могут быть встречены апатитовые рудные тела второго ритма.

И. И. Перекрест рассматривает все трахитоидные ийолит-уртиты, вне зависимости от их положения в разрезе, как дорудные и считает возможным выявление в нижнем контакте интрузии на данном участке рудных залежей партомчоррского типа.

Ф. В. Минаков, исходя из выдвинутого им представления о трехчленном строении интрузии, относит трахитоидные уртиты и ийолиты северной части к дорудной субфазе на основании того, что над ними залегают массивные уртиты, несущие апатитовое и сфеновое оруденение. Поэтому он считает поиски апатита в лежащем боку интрузии малоперспективными.

Выявленное в последние годы сфено-apatитовое оруденение в северной части интрузии свидетельствует о том, что по геологическому строению этот участок существенно отличается от изученных разрезов юго-западного и юго-восточного рудных полей, что исключает применение аналогий. Отсутствие практически потенциальных рудных тел в верхней и нижней частях толщи массивных уртитов, «слепое» залегание их, повышенное содержание апатита и сфена в трахитоидных ийолитах и урритах и наличие внутри их крупных тел щелочных сиенитов (фенитов) свидетельствуют о принципиально иных закономерностях формирования

продуктивного комплекса в данном районе. Из признания этого вытекает необходимость полного пересечения поисковыми скважинами продуктивной интрузии с надежным выходом во вмещающие рисчорриты или хибиниты.

В случаях выявления апатито-нефелиновых руд, брекчированных пострудными трахитоидными ийолитами, аналогичных ньюркпахскому типу, возникает задача поисков рудных тел в ненарушенном залегании. В соответствии с установленным механизмом формирования интрузии их следует искать в основании толщи пострудных ийолитов, в которых заключены обломки апатитовых руд. При определении мест заложения поисковых скважин следует учитывать вероятный размер и направление перемещения рудных ксенолитов в движущемся расплаве от места первоначального залегания рудного тела.

Более сложная геологическая ситуация возникает при отсутствии в разрезе продуктивной интрузии подстилающих дорудных ийолит-уртитов, что характерно для районов месторождений Ньюркпахк, Олений Ручей, участков Вуоннемиок и Снежный Цирк. В этих случаях апатитовые руды и массивные уртиты залегают на рисчорритах или внутри них, проявляя тенденцию к расщеплению на систему параллельных рудных сателлитов (многоярусные рудные зоны). Из этого вытекает необходимость вовлечения в сферу поисков широкой полосы вмещающих пород.

В случае второго подварианта (отсутствие на поверхности массивных уртитов) требуется выяснение принадлежности трахитоидных ийолит-уртитов к до- или пострудной субфазе, что может быть осуществлено путем использования косвенных признаков, установленных для расчленения пород этих субфаз интрузии. Сравнительный анализ показывает, что породы ранней и поздней субфаз различаются между собой по некоторым геологическим, петрографическим, геохимическим и петрофизическим характеристикам:

а) в объеме пачки дорудных пород лейкократовые уртиты существенно преобладают над мезо- и меланократовыми ийолитами и мельтейгитами (63:37), тогда как среди пострудной толщи наблюдается обратное соотношение между ними (23:77);

б) разрез пачки дорудных ийолит-уртитов слабодифференцирован на слои разного состава; пачка пострудных ювитов, уртитов, ийолитов, мельтейгитов четко дифференцирована на ритмично построенные слои, маркируемые «сливными» урритами, мельтейгитами разного состава;

в) в породах пострудной субфазы более разнообразен набор акцессорных минералов: кроме апатита и сфена в них широко развиты щелочной амфибол, эвдиалит, ринколит, лампрофиллит, содалит, биотит, канкринит, цеолиты; среди дорудных ийолит-уртитов в повышенных количествах содержатся только сфен и титаномагнетит;

г) характерным признаком дорудных ийолит-уртитов является их более высокая и устойчивая магнитная восприимчивость, оперативно регистрируемая магнитным каротажем и замерами в керне.

Ситуация, соответствующая второму подварианту, характерна для участка Лявочорр, где развиты трахитоидные уртиты, ийолиты и малиньиты, не выходящие на дневную поверхность.

Во втором случае для обнаружения ийолит-уртитов и связанного с ними апатитового оруденения за пределами продуктивной полосы необходимо использовать геофизические методы и косвенные признаки, указывающие на присутствие этих пород на глубоких (невскрытых) горизонтах массива. Из геофизических методов наиболее информативны для этих целей магнито- и гравиразведка, фиксирующие над ийолит-урритами и рудами положительные аномалии, а также сейсморазведка, отражающая глубинную структуру изучаемого объекта [36].

Выявление геофизическими методами и структурно-поисковым бурением в западном секторе массива под мощной толщей рисчорритов По-

ачвумчоррской интрузии ийолит-уртитов, не связанной с Главной продуктивной полосой и сопровождающейся повышенной концентрацией сфена и апатита, вызывает необходимость организации поисков на всей площади распространения рисчорритов. Ф. В. Минаков рекомендует использовать в качестве критериев для поисков апатитового оруденения, сопровождающего сателлитовые интрузии ийолит-уртитов:

а) гнездово- жильную минерализацию апатита и сфена в ассоциации с титаномагнетитом;

б) участки развития пегматитов и пород ийолит-уртитового комплекса (уртиты, ювиты, ийолиты, малиньиты, льяувриты) среди рисчорритов;

в) катаклаз и перекристаллизацию вмещающих пород (хибинитов и рисчорритов), сопровождающиеся обогащением их нефелином, эгиринном, биотитом, сфеном, титаномагнетитом и апатитом;

г) присутствие ксенолитов апатитовых руд и пород продуктивного комплекса в эндоконтактных зонах поздних интрузий (лявчорритов, фойяитов) и в дайках лампрофиров.

Изложенные признаки магматического и структурного контроля основаны на признании тесной генетической связи залежей апатито-нефелиновых руд с формированием интрузии массивных уртитов рудной субфазы. Однако позиция исследователей, отстаивающих представления об образовании руд за счет внедрения автономного фосфатного расплава, существенно сужает применение этих поисковых критериев. Такая позиция допускает неограниченное расширение зоны поисков на всей площади массива и даже за его пределами, так как инъекция подвижной фосфатной магмы возможна в практически любой тектонически ослабленной зоне.

В связи с отсутствием общепризнанной системы взглядов, определяющей направление дальнейших поисковых работ в Хибинах, необходимы учет и проверка всех предложений, вытекающих из различных гипотез на условия формирования и локализации апатитовых залежей. Эти гипотезы можно объединить в четыре группы:

1) опирающиеся на признание генетической связи апатитовых руд с ийолит-уртитам (ликвация, кристаллизационная и гравитационная дифференциация, инъекция остаточного флюида и т. д.). Это наиболее раннее и, по мнению автора, самое обоснованное направление поисков, с которыми связаны практически все открытия, в настоящее время поддерживается Л. Н. Когарко, Ф. В. Минаковым, Е. А. Каменевым;

2) объясняющие происхождение апатито-нефелиновых руд за счет наложенной апатитизации и перекристаллизации ийолит-уртитов (Л. Л. Солодовникова, И. П. Тихоненков [39], С. А. Руденко, Ж. М. Кузнецов). По мнению О. Б. Дудкина с соавторами [12], основная масса апатито-нефелиновых руд возникла в процессе перекристаллизации и замещения ийолит-уртитов ранее существовавшего щелочно-ультраосновного массива;

3) придающие решающее значение тектоническим факторам, определившим размещение рудных залежей и существенно влияющим на структуру рудного поля (Г. М. Вировлянский [5, 10], Ф. М. Онохин [30], В. И. Ноздря).

4. Вытекающие из предположения о существовании автономной (самостоятельной) фосфатной магмы (Т. Н. Иванова [16]) или о генетической связи апатитового оруденения с расслоенными интрузивными сериями уртитов-ювитов-рисчорритов (Т. Н. Иванова, А. А. Арзамасцев [17]) или трахитоидных хибинитов, рисчорритов и других комплексов (А. В. Галахов [7], М. М. Калинин [19], О. Л. Сняtkова [36]).

Широкий спектр исходных позиций к объяснению механизма формирования и условий размещения апатитовых залежей предопределяет и различный подход к разработке методов прогноза и поисковых кри-

териев. Сфера рекомендуемых поисков теперь уже не ограничивается пределами продуктивной интрузии, а распространяется на весь массив.

В этих условиях для проверки работоспособности высказанных гипотез наиболее оправданным является проведение глубинного геологического картирования, совмещенное с поисками скрытых апатитовых залежей на площади массива по системе опорных радиальных профилей, включающее: а) комплексное (грави-, магнито- и сейсмометрическое) зондирование до глубины 2—3 км; б) структурно-поисковое бурение скважин, в том числе приравненных к опорным, глубиной 1—2,5 км для получения перекрытых геологических разрезов от зоны внешнего контакта массива до центрального ядра. Линии поисковых профилей целесообразно располагать по долинам рек и руч. Минерального (профиль 1), Расвумиок (профиль 2), Белая и Мал. Белая (профили 3 и 4), Гольцовая (профиль 5) и оз. Пай-Кунъявр (профиль 6) с учетом развития уже имеющейся системы структурно-поисковых и разведочных линий.

Глубинное геологическое картирование в сочетании с объемным морфоструктурным моделированием известных рудных полей и разведанных месторождений рекомендуется с целью получения принципиально новых данных о возможных перспективах апатитоносности интрузий апатитовых нефелиновых сиенитов, заключенных среди них сателлитовых малых интрузий ийолит-уртитов и самостоятельных залежей апатита, могущих иметь практическое значение.

О природе и поисковом значении сфеновой минерализации

Висячем боку большинства известных апатитовых залежей на контакте с пострудными трахитоидными ийолит-уртитамы локализуется сфено-apatитовое оруденение (обогащенные апатитом, сфеном, титаномагнетитом, ильменитом массивные и полосчатые уртиты, ийолиты, малиньиты, объединенные под названием «породы верхней контактной зоны»). Они отличаются рядом общих особенностей состава и структур: тесной ассоциацией апатита с титансодержащими минералами, широким развитием трахитоидно-полосчатых, реже — массивных, текстур, крайней вешественной и структурной неоднородностью, частым чередованием в разрезе фациальных разновидностей.

Происхождение «пород верхней контактной зоны» остается дискуссионным. Возникновения сфеновой минерализации связывается:

а) с миграцией по контакту рудной залежи остаточного флюида (фосфора, титана, фтора, редкоземельных элементов в сочетании с кальцием) в сторону висячего бока при встречном потоке калия, натрия и железа (А. Е. Ферсман [43], рис. 11);

б) с эманационным воздействием апатитового расплава на вмещающие породы (Н. А. Елисеев [14]);

в) с метасоматическим замещением нефелинсодержащих пород и апатито-нефелиновых руд постмагматическими титановыми растворами (Л. Н. Шухман, 1958 г.).

Т. Н. Иванова [16], подчеркивая пространственную (парагенетическую) связь сфено-apatитовых и апатито-нефелиновых руд, предполагает два возможных способа образования сфеновых пород: воздействие титано-фосфатных флюидов или внедрение интрузии полевошпатовых апатито-сфеновых ийолитов. Г. М. Вировлянский [10] выделяет две стадии процесса сфенизации, разделенные во времени периодом формирования позднемагматических разломов, и указывает на важное поисковое значение сфеновых проявлений как индикатора апатитового оруденения.

Прежде чем оценить обоснованность тезиса о поисковом значении сфеновой минерализации, необходимо уточнить ее место в структуре апатитовых месторождений и всей продуктивной интрузии.

Сфено-апатитовые ийолит-уртиты и руды локализуются в зоне контакта между апатитовыми залежами и покрывающими их породами пострудной субфазы на протяжении 40 км на месторождениях Партомчорр, Юкспор, Кукисвумчорр, Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр, Эвеслогчорр и Коашва, а также на участках Вуоннемиок и между этими месторождениями, где апатитовые залежи отсутствуют. Непрерывная полоса сфено-апатитовых ийолитов выявлена в последние годы на 15-км отрезке в северном секторе массива, где она в структурном отношении коррелирует со сфено-апатитовыми рудами на всех месторождениях. В этой связи следует обратить внимание на некоторые надежно установленные факты, имеющие принципиальное значение при обсуждении вопроса о структурном контроле и природе сфеновой минерализации.

1. Сфеновая зона пространственно приурочена только к той части апатитовых залежей, которая непосредственно перекрывается пострудными ийолитами и, наоборот, полностью отсутствуют там, где рудные тела контактируют с рихчорритами (см. разрезы через месторождения юго-западного рудного поля, рис. 18—21).

2. В многоярусных рудных зонах, перекрытых трахитоидными ийолитами пострудной субфазы (Коашва, Партомчорр), сфено-апатитовое оруденение размещается только в кровле верхних рудных тел (горизонтов) и не ассоциирует с апатитовыми залежами, находящимися внутри толщи массивных уртитов.

3. На месторождениях Ньоркпахк и Олений Ручей (Верхний ярус) в ксенолитах брекчии с ийолитовым цементом представлены все известные на других хибинских месторождениях природные типы апатито-нефелиновых руд, за исключением сфено-апатитовых [29].

4. Ассоциация титансодержащих минералов (сфена, титаномагнетита, ильменита) и апатита закономерно приурочена к эндоконтактовым фациям интрузивных комплексов Хибинского массива (трахитоидным хибинитам, до- и пострудным ийолит-уртитам, лывчорритам). Устойчивая концентрация этих минералов в зонах эндоконтактов отмечается многими исследователями [4, 10, 19, 20, 24, 25] и даже выдвигается в качестве самостоятельного объекта поисковой оценки [7].

Таким образом, накопление апатита, сфена и других минералов с высокой плотностью связано с гравитационной дифференциацией расслоенной толщи пострудных уртитов-ийолитов-мельтейгитов. Отсутствие сфено-апатитового оруденения в рудных зонах месторождений Ньоркпахк и Олений Ручей, представленных брекчиями апатито-нефелиновых руд, сцементированных трахитоидными ийолитами, по мнению автора, объясняется стесненными условиями кристаллизации брекчиевого субстрата, препятствующими осаждению «тяжелых» минералов.

Для проверки этого предположения автором сопоставлены валовые количества (содержания, запасы) компонентов, входящих в состав «пород верхней контактной зоны», по разрезам пострудной толщи на участках с проявленным сфено-апатитовым оруденением (месторождение Коашва) и где это оруденение отсутствует (месторождение Ньоркпахк). При расчете учитывались средние составы и относительная распространенность петрографических разновидностей (уртитов, ийолитов, мельтейгитов) в объеме толщи.

В результате выполненного анализа установлено, что средние содержания фосфора, титана, кальция, окисного и закисного железа в разрезах пострудной толщи на обоих участках сопоставимы, только если учтены состав и доля сфено-апатитовых руд Коашвинского месторождения. Если же исключить сфеновые руды из состава пострудной субфазы, то содержание этих компонентов в ийолитах цемента брекчии на Ньоркпахке в 1,5—2 раза окажется выше, чем в покрывающей толще Коашвинской рудной зоны.

Таким образом, сфено-апатитовая минерализация связана с апатито-нефелиновыми рудами не генетически, а парагенетически: приуроченность ее к зоне контакта апатитовых залежей с покрывающей толщей пострудных расслоенных ийолит-уртитов не является ни необходимым, ни достаточным критерием для поисков скрытых залежей апатита, но может рассматриваться в качестве косвенного положительного признака.

Геолого-структурные факторы прогноза апатитовых руд на глубоких горизонтах Хибинского массива

До недавнего времени опережение темпов прироста разведанных запасов апатито-нефелиновых руд по сравнению с добычей удовлетворительно обеспечивалось за счет экстенсификации геологоразведочных работ на новых подготовленных участках при оптимальном соотношении объемов поисков и разведки. За период с начала промышленного освоения хибинских месторождений соотношение между добычей и приростом запасов (в пересчете на P_2O_5) составило 1:5, чем была заложена прочная основа для перспективного развития отрасли. В условиях быстрого роста масштабов добычи повышается актуальность, но резко осложняется практическая реализация этой задачи. Высокая степень геологической изученности Хибинского массива и продуктивной интрузии заметно снижает вероятность случайного пропуска практически перспективных апатитопроявлений вблизи поверхности и выдвигает на первый план значение обоснованного прогнозирования апатитовых залежей на глубоких горизонтах.

Наличие весьма крупных подготовленных запасов апатитовых руд в освоенных и новых районах массива, а также имевшаяся ранее возможность их дальнейшего увеличения не стимулировали разработку геолого-методических принципов прогнозирования. Перспективность отдельных участков оценивалась на недостаточно обоснованных предположениях, без должного учета конкретной геолого-структурной обстановки на рекомендуемой площади. Не случайно поэтому ранние прогнозы не сопровождались количественными и качественными оценками масштабов оруденения, состава сырья, условий локализации в рудоконтролирующих структурах, морфологических параметров.

Все рекомендации имели только положительную направленность, не содержали обоснований по исключению из сферы поисков заведомо безрудных участков в пределах продуктивной территории, различные авторские трактовки перекрывали перспективность отдельных площадей. Такие прогнозы не могли служить руководством для эффективных поисков.

Введение в практику геологических исследований единых принципов государственного учета прогнозных ресурсов минерального сырья способствовало созданию научно-теоретической основы металлогенетического районирования [8], конкретизации перспективных объектов по степени обоснованности по категориям P_1 , P_2 и P_3 . К категории P_1 относятся прогнозные ресурсы определенного промышленного типа в подготовленных объектах на флангах, глубоких горизонтах или в связи с обнаружением дополнительных рудных тел в благоприятных геологических структурах. Прогнозные ресурсы категории P_2 связаны с возможностью выявления в пределах перспективных площадей новых месторождений, формационная (генетическая) принадлежность которых к определенному типу устанавливается по аналогии с известными рудными объектами. Прогнозные ресурсы категории P_3 основаны на предположении о возможном формировании и локализации на обследованной территории промышленных концентраций минерального сырья по материалам сред-

не- и мелкомасштабного геологического картирования, дешифрирования аэро- и космоснимков, геофизических и геохимических исследований.

Хибинский массив, в котором сосредоточены разнообразные по масштабам, качеству руд и морфологическим характеристикам апатитовые месторождения, представляет собой весьма благоприятный объект для оценки перспектив апатитоносности его глубоких горизонтов. Ниже рассматриваются примеры мелко-, средне- и крупномасштабного прогноза, основанного на анализе закономерностей локализации известных апатитовых залежей в геологических структурах массива, продуктивной интрузии и одного из подготовленных к освоению месторождений.

1. Взаимное размещение апатитовых залежей в Хибинах характеризуется двусторонней симметрией по отношению к центральной части юго-западного рудного поля. Вдоль восточной ветви мощная Расвумчоррская залежь через безрудные участки сменяется многоярусными рудными зонами Коашва, Ньоркпахк и Олений Ручей, образующими юго-восточное рудное поле. По северной ветви за Юкспор-Кукисвумчоррской залежью с перерывами следуют многоярусные рудные зоны Снежного Цирка, Партомчорра и вновь выявленного перспективного участка Лявочорр-Валепакх, относимые к северному рудному полю.

При попарном сопоставлении месторождений восточной и северной ветвей обнаруживаются черты общности их структурной организации (рис. 31, табл. 14), что является отражением вертикальной зональности, выражающейся в поясовом расположении апатитовых залежей различной морфологической принадлежности в направлении от корневой (глубинной) к фронтальной (апикальной) зоне [29]. На основании палеоструктурных реконструкций геометрической фигуры рудных полей в трехмерном пространстве выдвинуто предположение о том, что на современном эрозионный уровень выходят апатитовые залежи, относящиеся к различным структурным ярусам. В общем виде объемную модель, связывающую все известные, уничтоженные эрозией и прогнозируемые залежи апатито-нефелиновых руд, можно представить в форме уплощенного опрокинутого конуса, на поверхности которого вдоль основания прослеживаются пояса рудных тел разных морфологических типов. При этом допускается, что ось конической фигуры слегка отклоняется от вертикали в плоскости симметрии с северо-востока на юго-запад, а современный гипсометрический уровень не соответствует структурному положению рудных ярусов в объемной модели.

Корневым зонам (I—II ярусы) соответствуют мощные линзообразные апатитовые залежи простого строения с отчетливой вещественной зональностью (кукисвумчорр-юкспор-расвумчоррский тип); выше они сменяются морфологически сложными многоярусными рудными зонами (III—IV ярусы), в которых пластовые тела апатитовых руд переслаиваются с массивными уртитам (партомчоррский тип) или брекчируются ими (коашвинский тип); к фронтальной зоне (V—VI ярусы) относятся весьма сложные по форме многоярусные системы прерывистых залежей брекчированных руд (ньоркпахкский тип) или жильных апатитовых руд (типа Оленьего Ручья?).

Таким образом, на основании палеоструктурного моделирования можно количественно оценить объемы эродированных рудных масс, что необходимо знать для поисков погребенных россыпей апатита, а также дать прогнозную характеристику нескрытых апатитовых тел, определить глубину их залегания, морфологический тип, состав и соотношение природных разновидностей руд.

В соответствии с выдвигаемой схемой вертикальной зональности объектами прогноза являются рудные тела и многоярусные зоны, принадлежащие к нескрытым (погруженным) структурным ярусам (табл. 16). На глубоких горизонтах юго-восточного фланга продуктивной интрузии (участки Вуоннемиок, Ньоркпахк, Олений Ручей) в на-

**Геолого-структурные критерии прогнозирования апатитоносности
глубоких горизонтов продуктивной интрузии**

Месторождение, рудный участок, площадь прогноза	Ярус	Структурные ярусы, расположенные выше эрозионного уровня					
		I	II	III	IV	V	VI
Юкспор, Апатитовый Цирк, Кукисвумчорр, Плато Расвумчорр	I						Перспекти- вы отрица- тельные (руда уда- лена эрози- ей)
Снежный Цирк, Куэль- пор, Восточный Расвум- чорр, Коашва, Партом- чорр	II						
Вуоннемиок	III			Исследованный интервал (разве- данные запасы)			
Лявочорр-Валепакк	IV						
Ньоркпахк, Олений Ручей	V						
	VI			Перспективы положитель- ные (руда не вскрыта эрози- ей и не оконту- рена по паде- нию)			
		I	II	III	IV	V	VI
		Невскрытые структурные ярусы					

правлении погружения рудоконтролирующей структуры внутри толщи массивных уртитов возможно выявление рудных тел IV яруса, ниже по падению через безрудный пережим (III ярус) они должны смениться крупными апатитовыми линзами II яруса. Перспективы глубоких горизонтов западного сектора продуктивной полосы (от участка Снежный Цирк до месторождения Партомчорр включительно) связываются с возможностью обнаружения мощных рудных залежей II яруса кукисвумчорр-юкспор-расвумчоррского типа.

Для оценки глубины залегания прогнозируемых рудных объектов используются установленные данные о вертикальной и горизонтальной протяженности структурных ярусов в пределах исследованных интервалов (табл. 17). Таким образом, суммарная амплитуда высот, в пределах которых формировались и локализовались апатитовые залежи различных морфоструктурных типов (I—VI ярусы), составляет 5—5,5 км,

Оценочные параметры вертикальной и горизонтальной протяженности структурных ярусов

Ярус	Рудный объект	Амплитуда высоты, км				Ширина в плане, км	
		от	до	всего	среднее, км	всего	среднее
I	Плато Расвумчорр	+0,4	-0,1	0,5	0,5	1,3	1,9
	Юкспор	0	-0,5	0,5		0,8	
II	Кукисвумчорр	+0,1	-0,4	0,5		0,6	1,2
	Плато Расвумчорр	+1,0	+0,4	0,6	0,6	1,3	
III	Юкспор	+0,8	0	0,8		1,4	0,7
	Коашва	-0,5	-1,7	1,2	0,7	1,2	
IV	Партомчорр	-0,4	-0,6	0,2		0,2	1,2
	Коашва	+0,4	-0,5	0,9	0,8	1,4	
V	Партомчорр	+0,3	-0,4	0,7		1,0	1,5
	Вуоннемиок	+0,2	-1,0	1,2	1,2	1,5	
VI	Ньоркпахк и	+0,5	+0,1	0,4	1,4	1,5	1,5
	Олений Ручей (вместе)	+0,1	-0,9				
I—VI					5,2	7,0	

ширина в плане достигает 7 км, средний угол конусности рудоконтролирующей структуры около 35—40°. Эти параметры рекомендуется учитывать при определении мест заложения и глубины поисковых скважин.

2. Возможность увеличения прогнозных ресурсов за счет прослеживания по падению апатитовых залежей определяется также характером структурных соотношений интрузий ийолит-уртитов и льявочорритов. В общем плане строения массива кольцевая крутопадающая интрузия льявочорритов размещается конфокально с внутренней стороны конической, относительно пологой интрузии апатитоносных ийолит-уртитов. Несовпадение в плане геометрических центров этих комплексов и, следовательно, их эксцентрическое расположение, обуславливают многообразные структурные сочетания между ними. Общим случаем интрузивного воздействия льявочорритов на ийолит-уртиты является пересечение контактом по падению отдельных субфаций продуктивного комплекса, в том числе и апатитовых залежей на абс. отметках от +500 м (Куэльпор) до -200—1300 м (Кукисвумчорр, Эвеслогчорр). Наряду с этим установлены случаи частичного срезания льявочорритами только верхних субфаций ийолит-уртитов и их конформное залегание на глубине, что связано с выполаживанием льявочорритов и, наоборот, увеличение углов падения пород апатитоносного комплекса. Наконец, в юго-восточном секторе массива (Ньоркпахк, Олений Ручей) обе интрузии пространственно разобщены вмещающими рихчорритами.

Следует подчеркнуть, что выяснение условий залегания интрузии льявочорритов (крутое или пологое ее падение) еще не дает перспективной оценки глубоких горизонтов продуктивной зоны: для обоснованного прогноза необходимо учитывать в совокупности и морфологию рудных тел, т. е. изменение мощности и углов падения на глубоких горизонтах. При анализе этих факторов в совокупности возможны 8 вариантов их сочетаний, которые в обобщенном виде представлены на рис. 33 и в табл. 18 и дополнительных пояснений не требуют.

3. Локальное прогнозирование для выявления ресурсов категории P_1 осуществляется на любой стадии изучения и освоения конкретного месторождения для создания резерва сырьевой базы и продления срока обеспеченности запасами предприятия.

Коашвинское месторождение, имеющее весьма крупные размеры по площади и значительную вертикальную протяженность, разведано не-

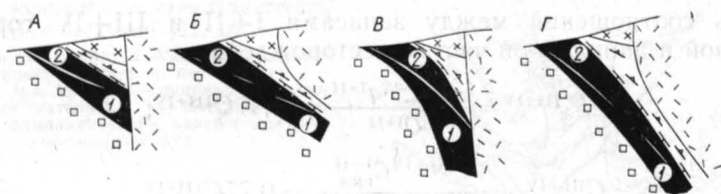


Рис. 33. Варианты структурных взаимоотношений между рудной залежью и интрузией льявочорритов (пояснения в табл. 18).

равномерно: с поверхности до абс. отметки —500 м и на флангах оно оконтурено полностью, т. е. в геологических границах, а на глубоких горизонтах — по редкой сети и не на всю мощность. Объектами локального прогноза являются нескрытые рудные тела среди массивных уртитов (III и IV рудные горизонты). В изученной части месторождения рудная зона представлена четырьмя горизонтами апатитовых руд, которые рассматриваются как фрагменты первоначально единой залежи, расчлененной поздними внедрениями уртитов [20]. Рудные горизонты в свою очередь состоят из нескольких изолированных тел (линз) сложной формы. Они сложены сфено-apatитовыми рудами (только в I горизонте), пятнистыми (преимущественно во II горизонте), блоковыми, полосчатыми, массивными и брекчиевыми рудами с содержанием P_2O_5 от 13,3 % (I горизонт) до 18,4 % (II горизонт) при среднем по месторождению 16,6 % P_2O_5 .

В корневой части месторождения (ниже абс. отметки —500 м) разведкой выявлены только I и II рудные горизонты со средним содержанием 12,5 % P_2O_5 , а наличие под ними III и IV рудных тел установлено по единичным скважинам.

Локальный прогноз основан на учете аналогии условий рудообразования и локализации в глубинной и в апикальной зонах. В этом случае прогнозные ресурсы, связанные с глубокозалегающими III и IV рудными горизонтами, вычисляются по формуле, учитывающей пропорцио-

Таблица 18

Структурные соотношения интрузий льявочорритов и продуктивных ийолит-уртитов как фактор для оценки перспектив апатитонности глубоких горизонтов

Условия залегания рудного тела	Изменение мощности рудной залежи по падению	Условия залегания интрузии льявочорритов	
		Крутое залегание	Крутое залегание с выполаживанием по падению
Пологое залегание сохраняется по падению (варианты А, Б)	Сохраняется (1)	Перспективы отрицательные в связи со «срезанием» рудной залежи по падению	Перспективы положительные
	Уменьшается (2)		
Пологое залегание с постепенным переходом на крутое по падению (варианты В, Г)	Сохраняется (1)	Оценка перспектив зависит от угла встречи рудной залежи с льявочорритами	Интрузия льявочорритов не оказывает влияния на оценку перспектив апатитонности глубоких горизонтов, которые полностью определяются морфологией и условиями залегания рудного тела
	Уменьшается (2)	Перспективы отрицательные	

нальность соотношений между запасами I+II и III+IV горизонтов в глубинной и апикальной частях месторождения:

$$P_1^{III+IV} = \frac{Q^{III+IV}q^{I+II}}{Q^{I+II}} = 0,47Q^{III+IV}; \quad (1)$$

$$C_{пр}^{III+IV} = \frac{C^{III+IV}C_{ниж}^{I+II}}{C^{I+II}} = 0,77C^{III+IV}, \quad (2)$$

где P_1^{III+IV} — прогнозные ресурсы категории P_1 , связанные с глубокозалегающими III и IV рудными горизонтами; $C_{пр}^{III+IV}$ — содержание P_2O_5 в прогнозных ресурсах; Q^{I+II} и Q^{III+IV} — разведанные запасы I+II и III+IV рудных горизонтов в верхней части месторождения; C^{I+II} и C^{III+IV} — содержания P_2O_5 в разведанных запасах; q^{I+II} — разведанные запасы I+II рудных горизонтов в нижней части месторождения; $C_{ниж}^{I+II}$ — содержание P_2O_5 в разведанных запасах I и II горизонтов в нижней части месторождения.

Участки наиболее вероятного размещения прогнозных ресурсов в плане (т. е. на площади распространения оруденения) соответствуют пережигам мощности выявленных I и II рудных горизонтов.

Поиски россыпей апатита

В 1975 г. Ф. В. Минаков [26], основываясь на сочетании благоприятных палеогеографических и геологических факторов, выдвинул новое, нетрадиционное направление поисков погребенных россыпей апатита. К таким факторам относятся:

а) постоянное присутствие апатита в кайнозойских образованиях в пределах Хибинского массива и на значительном удалении;

б) длительное континентальное развитие региона, способствующее денудации и переотложению больших масс апатита;

в) резко расчлененный горный рельеф массива с глубоко врезанными долинами, представляющими собой естественные «ловушки» для аккумуляции апатита;

г) большая объемная масса апатита ($3,25 \text{ г/см}^3$);

д) высокая устойчивость апатита к химическому выветриванию.

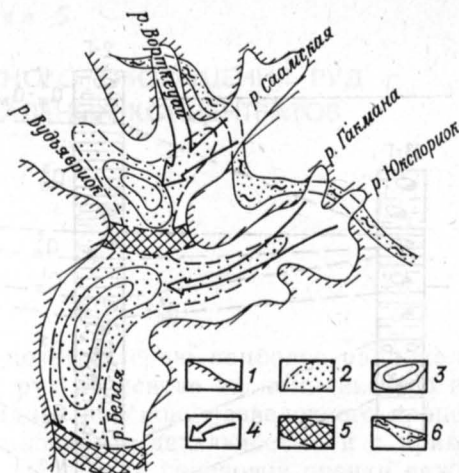
Для количественной оценки вероятных масс переотложенного апатита, определения возможных участков локализации его россыпей привлечены современные представления о глубине формирования массива, скорости и амплитуде его подъема, времени вскрытия массива на поверхность, направлении и расстоянии переноса обломочного материала.

Мощность эродированной кровли массива оценивается от 0,5—1 до 1,5—2 км [22], а глубина эрозии щелочного интрузива — не более 1 км. Таким образом, объем денудированных частей рудных залежей только юго-западного поля (III—VI ярусы, табл. 16) составляет около 2 млрд. т (приблизительно 1 млрд. т апатита). По данным А. П. Афанасьева [1972 г., 1977 г.] на Кольском полуострове интенсивное химическое выветривание происходило в мезозое — палеогене (каолиновая кора выветривания) и в неогене (гидрослюдистая кора выветривания).

Таким образом, характер тектонического развития региона и ход гипергенного процесса способствовали тому, что основная масса кластического материала была снесена и переотложена в доплейстоценовый этап. Как орографический элемент Хибинский массив сформировался до неогена, когда основная масса рыхлого материала (в том числе и апатита) оказалась рассеянной на большой территории. Поэтому объектом поисков является масса апатита, частично сохранившаяся в переглубленных участках дна долин. Такие «ловушки» приурочены к приустевым частям крупных межгорных долин, к погребенным депрессиям,

Рис. 34. Геологическая схема депрессии оз. Бол. Вудъявр [22, 26].

1 — границы депрессии; 2 — площадь распространения конгломератов и песчаников; 3 — углубления дна долин; 4 — направление переноса рудного материала; 5 — выступы коренных пород фундамента; 6 — залежи апатито-нефелиновых руд.



обрамляющим массив и сформировавшимся вследствие компенсационного проседания территории при его подъеме. По материалам геофизических и буровых работ амплитуда понижений (по дну) над пенепленизированным прихлебским рельефом составляет 80—100 м.

В условиях морозного выветривания в антропогене на площади массива формировался крупнообломочный материал, что не способствовало аккумуляции апатита в россыпях.

Поднятие массива в антропогене было нестабильным, сопровождалось кратковременными остановками и даже движениями обратного направления и в среднем происходило со скоростью 3 мм/год. За это время амплитуда подъема массива составила не менее 240 м, а окружающей территории — 150—170 м.

Методика поисков погребенных россыпей апатита базируется на учете геоморфологических условий, строения и состава рыхлого покрова. Площади распространения россыпей апатита в межгорных долинах перекрыты кайнозойскими отложениями (рис. 34). Эти образования представлены (снизу вверх): конгломератами и песчаниками (мощностью до 45 м), моренными отложениями с прослоями песков, глин и суглинков (до 200 м). Обломки конгломератов имеют различную окатанность и представлены роговиками, хибинитами, рихсдорритами, массивными уртитами, апатито-нефелиновыми рудами, трахитоидными ийолитами; в составе цемента обнаружены полевой шпат, нефелин, эгирин, сфен, апатит, эвдиалит, титаномагнетит. Таким образом, петрографический состав крупной и минеральный состав мелкой фракций сцементированных пород полностью соответствуют минеральным ассоциациям, характерным для апатитовых месторождений.

Наиболее перспективными для обнаружения рудоносных россыпей апатита являются неогеновые конгломераты и песчаники; продуктивность рыхлых отложений плейстоцена остается менее определенной. Продуктивные на апатит россыпи локализуются в переуглубленных участках древних долин, пересекающих апатитовую залежь (реки Саамская, Гакмана, Расвумиок, Вуоннемиок и др.), а также в озерных депрессиях (Бол. и Мал. Вудъявр, Гольцовое, Щучье). Первоочередной интерес для поисков представляет котловина оз. Бол. Вудъявр и примыкающих к ней долин (рис. 35), где пробурено несколько специальных скважин. Озерная депрессия перегорожена двумя поперечными выступами фундамента, между которыми мощность осадочного покрова максимальна (266 м). Уклон древних долин (0,75—0,90) превышает современный в 2,5—3 раза. Это способствовало интенсивности эрозии, большой дальности транспортировки обломочного материала и препятство-

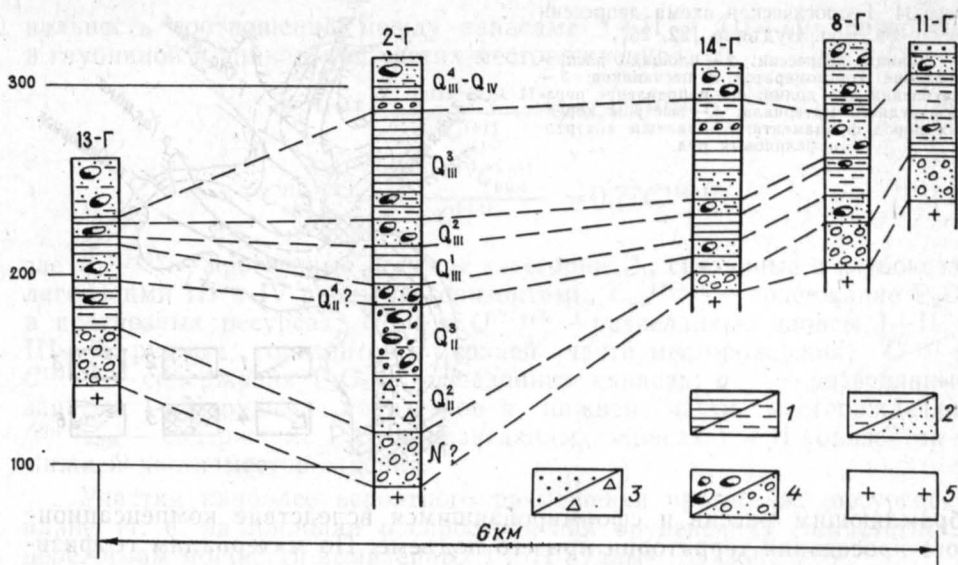


Рис. 35. Корреляция разрезов по буровым скважинам в осевой части депрессии оз. Бол. Вудьявр [22, 26].

1 — глина и суглинок; 2 — супесь, песок; 3 — гравий и галька, щебень; 4 — валуны, конгломераты и песчаники; 5 — коренные породы.

вало его выносу из «ловушки». Контуры распространения слоя апатитоносных конгломератов, перекрытых поздними отложениями, плавно повторяют очертания депрессии и долин.

Выбор методики поисков россыпного апатита в погребенных депрессиях основан на анализе палеогеографической обстановки и учете геологического и геоморфологического развития территории в мезо-кайнозое. На стадии общих поисков целесообразно геофизическое профилирование методами ВЭЗ и МОВ осевых частей долин для оценки уровня эрозии и оконтуривания переуглубленных участков. Бурение специальных скважин большого диаметра (108—127 мм) при детальном поисках должно проводиться с полным отбором керна. В процессе бурения скважин или сразу после вскрытия кристаллического ложа (в зависимости от устойчивости стенок) следует выполнить комплекс геофизических исследований методами: активационного каротажа (для прямого определения содержания P_2O_5), плотностного и магнитного каротажа (для расчленения разреза рыхлых отложений и выделения слоев, обогащенных рудообразующими минералами).

Опробование керна — сплошное, секционное. Пробы, характеризующие отдельные слои или их части, направляются на минералогический, химический и споро-пыльцевой анализы. Химическое исследование мономинеральных фракций проводится для оценки содержаний изоморфных примесей и определения, тем самым, уровней эродированных частей разреза.

ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЛЕКСНОГО ОБОГАЩЕНИЯ РУД
И ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Технологические исследования по выявлению наиболее рациональной схемы переработки апатитовых руд на основе их комплексного использования проводятся на всех стадиях поисково-разведочного процесса, но с различными целевыми установками, детальностью и с применением разных способов и методов. На стадии поисковой оценки важно установить степень соответствия вещественного состава и технологических свойств руд нового объекта и руд промышленно освоенных месторождений методом аналогии, для чего выделяются природные типы сырья (по составу, структурно-текстурным характеристикам, физико-механическим свойствам, агрегатному состоянию, химическому составу рудообразующих минералов), т. е. по тем параметрам, по которым проводится аналогия. В ограниченном объеме (по единичным пробам или рудным пересечениям) на материале малообъемных проб для каждого выделенного типа или сорта проводятся опыты по разделению минералов.

Малообъемное технологическое опробование, исследование и картирование месторождений и отдельных рудных тел является основным методом изучения обогатимости руд на стадии предварительной разведки. Представительность опробования и объем опытов по обогащению должны обеспечить составление кондиционных планов масштаба 1:5000 для месторождения в целом и каждого рудного тела в отдельности. Число проб для технологического картирования определяется пространственными размерами месторождения и составляющих его залежей, степенью качественной однородности (изменчивости) полезного ископаемого, разнообразием исследуемых методов обогащения. Для контроля результатов исследования проб малого объема в ограниченном масштабе выполняются опыты по исследованию обогатимости в лабораторных условиях.

На стадии детальной разведки перед исследованиями ставится задача по заверке результатов малообъемных и лабораторных опытов на представительном материале усредненных проб, состав и агрегатное состояние которых должны соответствовать руде, поступающей на переработку. Для этого в исходный материал рудных проб, извлеченных из горных выработок (разведочных скважин), необходимо подшихтовывать долевую часть околорудных, разубоживающих пород, в том числе из четвертичных отложений (для руд, подлежащих отработке открытым способом). Масштаб исследований — укрупненные лабораторные испытания с использованием полного водооборота с получением всех минеральных концентратов по технологическим схемам и реагентным режимам, максимально приближенным к применяемым в производственных условиях. В процессе испытаний нарабатываются опытные партии минеральных концентратов для последующего передела на конечную продукцию. При выявлении ощутимых потерь полезного компонента при извлечении в концентрат заданного (кондиционного) качества целесообразно, по согласованию с проектной и производственной организациями,

проанализировать технологическую возможность и экономическую эффективность изменения ГОСТов или технических требований к качеству концентрата.

Полупромышленные и опытно-промышленные испытания на завершающей стадии разведки выполняются для апатитовых руд новых месторождений, не имеющих аналогов в освоенном производстве (апатитокarbonатные и др.), а также для руд перспективной добычи с резко различными технологическими свойствами от перерабатываемой руды.

На ранних стадиях геологоразведочных работ малообъемные и лабораторные исследования поискового (в технологическом отношении) характера обычно выполняются одновременно и параллельно одной или несколькими лабораториями различной ведомственной подчиненности. На этом этапе опыты по обогащению руд ориентированы на проверку паритетных технологических решений, разработку принципиально новых или совершенствование существующих схем, реагентов. По мере оптимизации исследований сужается круг решаемых задач, но углубляется детальность их проработки. Укрупненные лабораторные, тем более опытно-промышленные испытания обязательно должны осуществляться по согласованным программам с участием представителей всех заинтересованных организаций.

В связи с организацией геологоразведочных работ одновременно на ряде месторождений Хибинского массива в условиях резко возросших требований к полноте, качеству и достоверности материалов, в том числе и по технологической изученности, увеличились объемы и усложнилась целевая нагрузка исследований на обогатимость. Так, если при разведке Коашвинского месторождения (1961—1972) стоимость технологических исследований 10 лабораторных проб по получению апатитового и, в части проб, нефелинового концентрата составила 50 тыс. руб. (менее 0,5 % от стоимости разведки); то на месторождении Партомчорр (1972—1978) затраты на лабораторные и полупромышленные испытания 15 проб с выделением всех минеральных концентратов в условиях полного водооборота достигли 700 тыс. руб. (или 18 % от общей стоимости геологоразведочных работ).

Для отбора полупромышленной пробы массой 47 т из рудной зоны Партомчоррского месторождения были пробурены 32 скважины крупного диаметра объемом до 6000 м. На современном этапе в связи с вовлечением в разведочный процесс глубокозалегающих рудных тел становится все более сложной проблема обеспечения необходимой для исследования массы технологических проб, исходным материалом для которых может служить только керн разведочных скважин. Так, подсчитано, что для отбора 100-тонной пробы из рудного керна Эвеслогчоррского месторождения (средняя мощность рудной зоны 50 м, глубина залегания 1 км) потребовалось бы пробурить не менее 60 скважин сметной стоимостью, сопоставимой с затратами на детальную разведку.

В ранний период освоения хибинских месторождений работы технологического характера были направлены на изучение возможности:

а) применения сырой руды в молотом виде в качестве удобрений (обогащение добытой руды осуществлялось рудоразборкой);

б) выделения «чистого» апатита в процессе избирательного дробления, основанного на различной хрупкости апатита и силикатных минералов;

в) получения апатитового концентрата путем флотационного обогащения (с опытами по замене олеиновой кислоты торфяными смолами и нефтяными кислотами). В процессе испытаний были установлены преимущества флотации перед другими способами переработки руд.

Одновременно проводились опыты по электровозгонке фосфора, по переводу апатита в растворимую форму при высоком давлении и методами экстракции фосфорной кислоты, изготовления термофосфатов, про-

стых и обогащенных суперфосфатов. Эти исследования носили многоплановый и комплексный характер и выполнялись с целью:

1) использования апатита в туковой, металлургической (в качестве флюса), химической (красный фосфор, фтор, редкие земли) и керамической (молочное стекло, эмаль) отраслях промышленности;

2) применения нефелина для удобрения кислых почв, для замены полевого шпата в керамике, производства цемента, пермутита, стекла, ультрамарина (всего до 15 областей применения);

3) утилизации титаномагнетита для получения ферротитана и ванадиевых соединений в металлургии, а также титаномагнетита и сфена для переработки на титановые белила.

Технологическая изученность руд

Три обогатительные фабрики ПО «Апатит» — АНОФ-(1—3) перерабатывают руды, поступающие из пяти разрабатываемых месторождений, поэтому их минеральный состав, а следовательно, и технологические свойства не остаются постоянными. Добытая руда обогащается по общей технологической схеме, основу которой составляют трехстадийное дробление, измельчение с предварительной классификацией материала, флотация апатита, обезвоживание и сушка концентрата. На флотацию поступает руда, содержащая 52—55 % класса крупности —0,074 мм. Схема включает основную и контрольную флотации и три перестыки концентрата (рис. 36). В качестве собирателя используется омыленная смесь из дистиллированного и сырого талловых масел, вторичного масляного гудрона, окисленного петролатума и технических жирных кислот; для депрессии нефелина, полевых шпатов, сфена, эгирина и титаномагнетита применяется жидкое стекло, а регулятором флотации является ОП-4 и каустическая сода.

Апатитовый концентрат содержит не менее 39,4 % P_2O_5 , крупность не превышает 11,5 % класса +0,16 мм, влажность не более 1 % (ГОСТ 5.1182—72). Качественные показатели обогащения руд на АНОФ приведены в табл. 19.

За более чем 50-летний период технологического изучения и промышленного освоения хибинских месторождений накоплен большой опыт технологии обогащения апатито-нефелиновых руд в лабораторном, опытно-промышленном и в производственном масштабах. Лабораторные и опытно-промышленные испытания выполнялись институтами Механобр, ГИГХС, Горным институтом Кольского филиала АН СССР и Центральной лабораторией производственного объединения «Апатит» на материале более 250 проб массой от 0,5 т до нескольких сотен тонн. По составу руды представлены балансными и забалансовыми, отдельными природными (текстурными) типами и их смесями в разных сочетаниях, неизменными и подвергнутыми вторичным процессам (шпреуштейнизации), а также разубоженными вмещающими породами.

По месту отбора исследованные пробы охватывают как эксплуатируемые, так и новые месторождения, каждое из рудных тел в контурах открытой и подземной отработки.

В процессе испытаний изучены минеральный и химический состав исходного материала проб; физико-химические, гравитационные и флотационные свойства минералов; состав, строение и дефекты их кристаллических решеток, наличие изоморфных примесей; параметры технологических процессов; возможные варианты технологических схем; различные методы обогащения и типы флотационных реагентов.

На ранних этапах исследования ограничивались получением только апатитового, в отдельных случаях также нефелинового концентратов с использованием свежей воды. По мере вовлечения в переработку относительно бедных руд и руд более сложного минерального состава перед

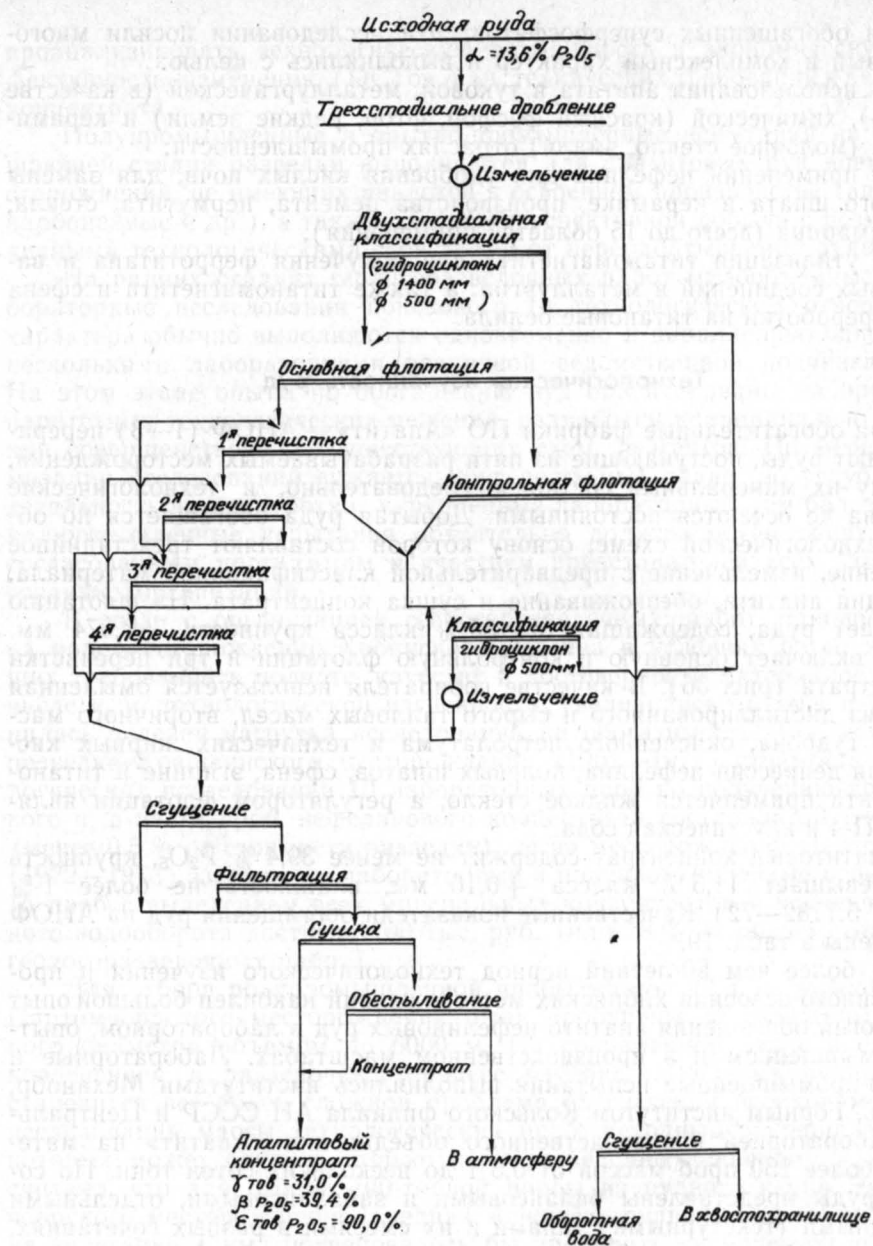


Рис. 36. Технологическая схема получения апатитового концентрата на обогатительной фабрике (АНОФ-3)

испытаниями по обогащению ставились более сложные задачи по получению всех минеральных концентратов с применением новых реагентов, технологических режимов и оборотной воды. Этими исследованиями установлено, что кондиционный апатитовый концентрат может быть получен из любых типов руд и апатитсодержащих пород. Для убогих руд с содержанием P_2O_5 менее 4 % для получения кондиционного концентрата требуется увеличение числа перечисток до 4—5.

По мере увеличения масштабов добычи и переработки руды произошли значительные изменения состава товарной руды, поступающей на обогатительные фабрики, в сторону снижения содержаний апатита за счет увеличения нефелина и других минералов (табл. 20).

Таблица 19

Среднегодовые показатели обогащения на фабриках ПО «Апатит»

Показатель	АНОФ-1	АНОФ-2
Содержание P_2O_5 , %:		
в руде	15,62	16,33
в концентрате	39,49	39,48
в технологических хвостах	1,28	1,83
в отвальных хвостах	2,04	3,11
Извлечение P_2O_5 в концентрат, %:		
технологическое	94,87	93,12
товарное	93,63	89,11
Влажность, %:		
руды	1,92	2,66
концентрата	1,16	1,05
Содержание класса, %		
+0,25 мм в дробленой руде	4,65	5,05
+0,16 мм в сливе классификатора	21,88	22,25
+0,16 мм в концентрате	10,53	10,72

В первые годы освоения месторождений добывались исключительно богатые руды с содержанием более 25—30 % P_2O_5 . В до- и послевоенный периоды содержание P_2O_5 в рудах принималось равным 18 % при среднем по месторождению не менее 20 %; в дальнейшем эти показатели были снижены соответственно до 12 и 18 %, затем кондиционные требования к руде были вновь пересмотрены в сторону снижения бортового содержания P_2O_5 для подземной и открытой добычи до 8 и 6 %, а среднего по блоку до 13,5 и 11 %. В настоящее время для руд новых и эксплуатируемых месторождений действуют кондиции, предусматривающие бортовое содержание P_2O_5 для балансовых руд 4 %, при среднем для подсчетного блока 8 %. Руды с содержанием 4—2 % P_2O_5 относятся к группе забалансовых.

Таблица 20

Динамика объемов добычи, переработки руд и изменение их состава за периоды 1930—1985 гг.

Год	Объемы добычи, млн. т	Содержание P_2O_5 , %	Выработка концентрата, млн. т		Расчетный минеральный состав, мас. %				
			Апатит	Нефелин	Апатит	Нефелин	Пироксен	Титаномагнетит	Сфен
1930	0,1	32,30	—	—	79,1	13,2	4,0	1,7	2,0
1935	1,5	26,75	1,0	—	65,4	24,0	6,7	1,8	1,9
1940	1,8	25,01	1,1	—	61,2	27,3	7,5	1,9	1,9
1950	2,9	23,45	1,5	0,1	57,3	31,5	7,4	1,6	2,2
1955	5,3	21,53	2,6	0,2	52,7	35,9	7,6	2,2	1,5
1960	8,5	19,51	3,8	0,6	47,8	38,0	7,9	2,2	2,0
1965	19,8	17,62	7,5	1,1	43,1	44,0	8,9	1,9	1,9
1970	27,2	17,57	11,3	1,3	42,9	42,5	9,0	1,9	2,1
1975	38,1	17,07	15,8	1,5	41,9	43,2	9,1	2,0	1,9
1980	46,5	16,22	17,1	1,6	38,7	45,1	9,5	2,5	2,0
1985	53,9	15,78	19,1	1,6	37,1	45,7	9,7	2,6	2,0

Примечание. Тире означает отсутствие данных.

В связи с пересмотром кондиций среднее содержание пятиоксида фосфора в балансовых рудах эксплуатируемых месторождений снизилось с 18—17 до 15,6—14,7 %, а по новым месторождениям до 16,2—7,5 % (среднее 12,0 % P_2O_5).

До вовлечения в разведку новых месторождений юго-восточного и северного рудных полей лабораторные исследования на обогатимость апатито-нефелиновых руд выполнялись эпизодически, для решения отдельных вопросов, возникающих в производственной практике. Так, в 1954 г. в ЦЛ ПО «Апатит» изучались технологические свойства природных типов руд: пятнистой, брекчиевой, полосчатой и сетчатой, а также их смеси в соотношении, близком к установленному в рудах текущей добычи. Позднее, в 1959—1960 гг., в связи с увеличением доли «окисленных» руд в объеме добычи Юкспорского рудника в ЦЛ и ГИГХС проводились лабораторные исследования неизмененных руд в сравнении с рудами из зон гипергенеза различной интенсивности. Опыты ограничивались получением апатитового и нефелинового концентратов, при этом установлено, что для извлечения кондиционного апатитового концентрата из окисленных руд необходимо введение дополнительных перечистных операций и использование более селективных собирателей — смеси сырого таллового масла (85 %) и окисленного петролатума (15 %).

В 1962—1967 гг. при разведке Коашвинского месторождения изучалась возможность получения из брекчиевых руд апатитового и нефелинового концентратов по технологической схеме АНОФ-1. Эти исследования проводились на лабораторных пробах массой 0,5—2,2 т, отобранных из всех рудных горизонтов и в различных комбинациях. Впервые были проведены опыты по извлечению апатита и нефелина из вмещающих ийолитов и внутрирудных уртитов.

С 1972 г. в связи с организацией планомерных геологоразведочных работ на новых месторождениях Ньоркпахк, Партомчорр, Эвеслогчорр и Олений Ручей, а также коренной комплексной переоценкой эксплуатируемых месторождений по перспективным кондициям технологические исследования приобрели комплексный характер и стали выполняться с целью поисков новых технологических решений. В зависимости от целевого назначения лабораторных проб изучались свойства минералов, параметры технологических процессов, проверялись различные варианты схем и режимов, испытывались различные типы реагентов и методы обогащения. На стадии отбора и рудоподготовки проб изучался минеральный и химический состав исходного материала, а в процессе технологических испытаний выполнялся полный химический анализ минеральных концентратов, промпродуктов и хвостов обогащения для расчета баланса распределения полезных компонентов.

Научно-исследовательские и опытные работы по совершенствованию технологии обогащения сфено-apatитовых, апатито-нефелиновых руд разного состава и качества, руд из бортовых «прирезок», разубоживающих и вмещающих пород на эксплуатируемых и разведываемых месторождениях выполнялись по согласованным программам институтами Горным Кольского филиала АН СССР, Механобр, ГИГХС и ЦЛ ПО «Апатит». На рис. 37 показано, как по мере организации геологоразведочных работ на новых и доразведки (коренной переоценки) эксплуатируемых месторождений увеличивались объемы технологических испытаний, особенно по обогащению относительно бедных руд.

На основании опытных данных установлено, что полное раскрытие сростков достигается при измельчении до 0,2—0,3 мм, а оптимальная крупность помола составляет 17—20 % класса +0,16 мм и 36—50 % класса —0,074 мм. При флотации апатито-нефелиновых руд и апатитосодержащих пород возможно получение кондиционного апатитового концентрата (39,4 % P_2O_5) вне зависимости от содержания пятиоксида

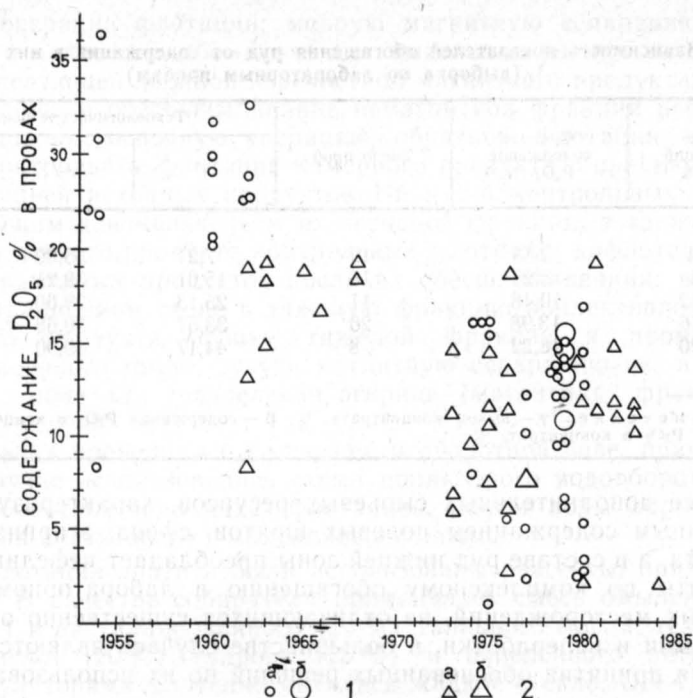


Рис. 37. Диаграмма технологического опробования апатито-нефелиновых руд.

1 — лабораторные (а) и полупромышленные (б) пробы руд эксплуатируемых месторождений; 2 — то же, руд разведываемых месторождений.

фосфора в исходном сырье. Однако для обеспечения требований ГОСТа к качеству апатитового концентрата из убогих руд и ийолит-уртитовых пород с бедной апатитовой минерализацией (менее 4 % P_2O_5) требуется повышенный расход реагентов и введение дополнительных перечистных операций для снижения потерь апатита.

В связи с очень высокими показателями апатитовой флотации в промышленных условиях и в лабораторных опытах перед научно-исследовательскими работами не ставилась задача поисков принципиально новых технологических решений по основному производству. Поэтому любой из вариантов технологии комплексного обогащения по безотходной переработке апатито-нефелиновых руд, где апатит является главным минералом, начинается с цикла апатитовой флотации по реагентному режиму, принятому на АНОФ. Исключение составляют технологические схемы переработки забалансовых руд и пород, в которых апатит является второстепенным минералом (менее 10 %).

Извлечение P_2O_5 в концентрат в цикле апатитовой флотации зависит от качества исходной руды: снижение содержания P_2O_5 на 1 % в руде эквивалентно потере 0,25—0,3 % компонента при технологическом извлечении (табл. 21). Однако при правильном выборе технологической схемы и реагентного режима обеспечивается кондиционное содержание P_2O_5 в концентрате и извлечение не ниже 90 %.

В 1978—1981 гг. завершен цикл исследований вещественного состава и обогатимости руд бортовых «прирезок» со стороны всячего и лежачего боков рудных залежей эксплуатируемых месторождений в интервалах бортовых содержаний 2—4, 4—6 и 6—8 % P_2O_5 . Выявлены существенные различия минерального состава руд со стороны кровли и подошвы рудных тел для каждого месторождения. Руды верхней зоны («прирезки» всячего бока), составляющие незначительную долю

Зависимость показателей обогащения руд от содержания в них P_2O_5
(выборка по лабораторным пробам)

Класс содержаний P_2O_5 , %	Среднее содержание P_2O_5 , %	Число проб	Технологические показатели		
			γ	β	ϵ
До 4	2,88	19	7,21	35,80	89,67
4—8	6,29	16	15,01	39,21	93,55
8—12	10,48	11	25,13	39,60	94,95
12—16	13,98	26	33,57	39,68	95,28
16—20	18,22	8	44,17	39,90	96,72

Примечание. γ — выход концентрата, %; β — содержание P_2O_5 в концентрате, %; ϵ — извлечение P_2O_5 в концентрат, %.

в балансе дополнительных сырьевых ресурсов, характеризуются резко повышенным содержанием полевых шпатов, сфена, эгирина и титаномагнетита, а в составе руд нижней зоны преобладает нефелин.

Опыты по комплексному обогащению в лабораторном масштабе руд новых месторождений, не отличающихся существенно от руд текущей добычи и переработки, в большинстве случаев являются недостаточными для принятия обоснованных решений по их использованию.

Опытно-промышленные испытания по комплексному обогащению

Необходимость выполнения технологических испытаний в полупромышленном масштабе на стадии геологоразведочных работ возникает при подготовке месторождений, руды которых по составу и технологическим свойствам существенно отличаются от освоенных на действующих фабриках, при проектировании строительства новых обогатительных производств (цехов, фабрик), а также при переходе на безотходную переработку и внедрении полного водооборота.

Полупромышленные испытания комплексной обогатимости в условиях замкнутого водооборота проводились на опытной установке в Горном институте Кольского филиала АН СССР по согласованным программам и при участии исполнителей от геологоразведочной организации, проектных и научно-исследовательских институтов (Механобр, ГИГХС, ЦЛ ПО «Апатит»). Цель полупромышленных испытаний заключается в проверке особенностей обогащения руд, выявленных в ходе лабораторных исследований, в условиях, максимально приближенных к производственным.

Программой технологических исследований бедных апатитовых руд Партомчоррского месторождения, обогащенных сфеном и титаномагнетитом, предусматривалось испытание предложенных схем на пробе-аналоге с целью отладки технологического процесса и формирования состава оборотной воды. Проба-аналог массой 127 т составлена путем шихтовки бедных сетчатых руд (9 % P_2O_5), сфено-apatитовых руд (11 % P_2O_5) и уртитов с вкрапленностью апатита (2 % P_2O_5) в соотношении 50:20:30, отобранных из действующих карьеров. Проба-аналог по минеральному составу соответствовала основной пробе, составленной из керна специально пробуренных скважин большого диаметра.

Для выявления оптимальной технологии обогащения на пробе-аналоге были проверены три варианта схемы. В общем виде они включали в апатитовом цикле основную, три-четыре перечистные и две-три кон-

трольные операции флотации; мокрую магнитную сепарацию хвостов апатитового цикла в слабом поле для выделения из них титаномагнетита с последующей двойной перемывкой магнитного продукта, а также классификацию и обесшламливание немагнитной фракции перед нефелиновым циклом, основную операцию обратной флотации нефелина, одну-две контрольные флотации камерного продукта с предварительной классификацией исходных продуктов 1-й и 2-й контрольных операций с последующим доизмельчением их песчаной фракции, а также две-три перемывки пенного продукта контрольных флотаций; дофлотацию объединенных камерных продуктов после их обесшламливания; выделение на концентрационном столе в тяжелую фракцию коллективного сфеноэгиринового продукта, сушку тяжелой фракции и промпродукта концентрационного стола, сухую магнитную сепарацию их в сильном магнитном поле для разделения эгирина (магнитная фракция) от сфена.

Испытания проводились на свежей и оборотной воде, причем в последнем случае использовалась схема поцикловой водооборота с подготовкой оборотной воды перед флотацией. Состав воды формировался отдельно для апатитового и нефелинового циклов.

Для флотации апатита были использованы реагенты, применяемые на АНОФ. В качестве собирателя применялась смесь омыленного сырого (30 %) и дистиллированного (20 %) таллового масла, технических жирных кислот (20 %), гудрона (25 %) и окисленного петролатума (5 %). Регуляторами флотации являлись жидкое стекло, ОП-4, а также новый реагент ОКС (смесь полиэтиленгликолевых эфиров синтетических жирных спиртов $C_{17} - C_{18}$), который сравнивался с ОП-4. В качестве собирателя (коллективной флотации темноцветных минералов) использовалось мыло сырого таллового масла в сочетании с ВАС, активатором флотации служил хлористый кальций. Расход реагентов корректировался в ходе испытаний по данным экспресс-анализов.

В период работы на пробе-аналоге изучались режим и крупность измельчения, оптимальная ситовая характеристика шаровой нагрузки мельниц апатитового и нефелинового циклов, степень обесшламливания хвостов апатитовой флотации, количество перемывочных и контрольных операций и продолжительность флотации, условия и методы доводки сфеноэгириновых продуктов с получением мономинеральных концентратов. Определялись расходы и точки подачи реагентов, проверялась система сбора, подготовки и подачи воды, корректировался ее состав и расход, проводилось опробование процесса с целью фиксации качественных и количественных показателей и режимных условий отдельных операций.

В результате отработки вариантов технологических схем комплексного обогащения бедных руд на пробе-аналоге (8,47 % P_2O_5 , Al_2O_3 — 18,1 %), представляющей, по существу, отвалы добычи, было не только обеспечено формирование оборотной воды, подготовлено технологическое оборудование для испытаний основной пробы, но также получены пять высококачественных минеральных концентратов при достаточно высоких технологических показателях, %:

- а) апатитовый концентрат (содержание P_2O_5 39,6, выход 19,1, извлечение 89,6);
- б) нефелиновый концентрат (содержание Al_2O_3 30,2, выход 42,3, извлечение 70,0);
- в) титаномагнетитовый концентрат;
- г) сфеновый концентрат;
- д) эгириновый концентрат.

Полупромышленная проба бедных апатитовых руд Партомчоррского месторождения, отобранная из керна 32 специально пробуренных скважин большого диаметра, массой 47 т представлена всеми природ-

ными типами руд и пород: сфено-апатитовыми (15—17 %), апатито-нефелиновыми (60 %), внутрирудными породами (23—25 %), в том числе разубоживающими породами висячего и лежащего боков и моренным материалом. На установку проба доставлена без смешивания: ее шихтовка производилась на специальной площадке опытного цеха. Средний минеральный состав рудной массы соответствовал руде при бортовом содержании 2 % P_2O_5 .

В соответствии с программой испытаний и на основании результатов комплексного обогащения пробы-аналога была принята комбинированная схема, включающая флотацию апатита, нефелина и выделение коллективного сфено-эгиринового продукта, который затем перещищался на концентрационном столе. Титаномагнетитовый и эгириновый продукты выделялись магнитной и электромагнитной сепарацией. При переходе на основную пробу оборотная вода была уже подготовлена, состав ее стабилизирован. Расход оборотной воды фиксировался расходомером, а свежей — количественными измерениями. Объем свежей воды, подаваемой в перечистные операции апатитового цикла, составлял 5 %, в нефелиновом цикле — до 15 % от общего расхода воды. Для уменьшения отрицательного влияния на флотацию апатита и нефелина ионов SO_4^{2-} , HCO_3^+ , SiO_2 , Al_2O_3 и органических соединений, накапливающихся в составе оборотной воды при ее многократных контактах с рудой и воздухом, состав воды корректировался добавкой едкого натра до $pH = 11 \pm 0,2$ и извести до концентрации ионов кальция (20 ± 5) г/л. В связи с низким содержанием апатитасократился объем сливов сгустителей апатитового концентрата, что привело к уменьшению расхода едкого натра от 150 до 40 г/м³, но повысился расход извести от 200 до 300 г/м³.

Содержание ионов кальция в нефелиновом цикле не должно превышать 30 г/л, что обеспечивается подачей хлористого кальция в операцию обезвоживания и количестве 1,5 кг/т нефелинового концентрата.

В соответствии с картой опробования через каждые 30 мин контролировался расход реагентов, производились отбор проб, определение гранулометрического состава и плотности основных потоков, а также дважды в смену выполнялся экспресс-анализ на P_2O_5 в руде, хвостах и концентрате, анализ на Al_2O_3 в операциях нефелинового цикла. Нагрузки на мельницу контролировались взвешиванием проб руды с маятникового питателя через 15 мин, выход концентратов и смыв обезвоживающих аппаратов каждую смену определялись расчетным и весовым путем.

При генеральном опробовании все пробы от потоков отбирались через определенный отрезок времени. Непрерывно с помощью автоматических pH-метров контролировалась концентрация водородных ионов слива сгустителя апатитового концентрата и оборотной воды. Расход свежей воды определялся с интервалом через 30 мин.

Результаты опытно-промышленных испытаний (табл. 22) полностью подтвердили показатели комплексного обогащения на стадии лабораторных исследований. Предложенная схема обеспечивает на непрерывно действующей установке получение пяти кондиционных концентратов, т. е. практически безотходную технологию переработки бедных руд в условиях замкнутого водооборота. В хвостохранилище сбрасывались только шламы апатитового и нефелинового переделов при формировании оборотных вод. Опытные партии концентратов (по 150—200 кг) исследовались на стадии переработки на конечные продукты (табл. 23).

Полупромышленные испытания руд эксплуатируемых месторождений выполнялись в связи с их коренной комплексной переоценкой по новым кондициям с целью: а) создания оптимальной технологической схемы обогащения руд перспективной добычи в условиях замкнутого водооборота с получением кондиционных концентратов апатита, нефелина

Результаты генерального опробования основной пробы

Продукт	Выход, %	Содержание			Извлечение	
		P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃
Апатитовый концентрат	12,7	39,5	0,24	0,5	85,3	0,2
Шламы апатитовые	11,1	1,8	16,72	—	3,3	12,34
Титаномагнетитовый концентрат	3,0	0,3	1,3	58,0	0,15	0,26
Нефелиновый концентрат	35,1	0,2	30,0	—	1,2	70,0
Шламы нефелиновые	11,1	0,5	14,63	—	0,95	10,8
Слив гидроциклона	1,4	0,3	3,5	—	0,1	0,3
Сфеновый концентрат	3,6	1,0	1,2	2,8	0,6	0,3
Эгириновый концентрат	12,4	1,0	2,8	13,7	0,8	2,3
Хвосты стола I	5,2	2,0	4,6	—	1,8	2,0
Хвосты стола II	4,4	7,7	5,14	—	5,75	1,5
Руда	100,0	5,33	15,04	6,2	100	100

лина, сфена, титаномагнетита и эгирина; б) выявления особенностей технологического процесса переработки руд, оконтуренных по бортовым содержаниям P₂O₅ 2—4—6—8 %; в) наработки крупных партий минеральных концентратов для передела на конечные продукты.

Крупнотоннажным испытаниям предшествовали лабораторные исследования руд каждого месторождения в отдельности, соответствующих по среднему составу четырем вариантам кондиций, забалансовых руд бортовых «прирезок» 2—4, 4—6 и 6—8 % P₂O₅ отдельно со стороны висячего и лежащего боков залежей. Лабораторные опыты носили поисковый характер по оптимизации технологического процесса, последовательности операций, подбору реагентных рецептур.

По предложению геологоразведочной организации программой были предусмотрены «сквозные» испытания руд с последовательно меняющимся составом, соответствующим различным вариантам кондиций. Для испытаний из подземных выработок горизонта +460 м и из действующего карьера Юкспорского рудника была отобрана крупнотоннажная (400 т) проба руд текущей добычи со средним содержанием 17,6 % P₂O₅ и отдельно разубоживающие добавки (60 т), состоящие на

Таблица 23

Химический состав опытных партий концентратов

Компонент	Концентрат				
	apatитовый	нефелиновый	титаномагнетитовый	сфеновый	эгириновый
P ₂ O ₅	39,40	0,24	Следы	0,40	0,26
Al ₂ O ₃ (общ.)	0,51	29,83	1,32	1,53	1,78
Al ₂ O ₃ (к. р.)	0,51	27,92	1,20	1,32	1,02
CaO	52,32	1,22	0,55	26,04	15,12
MgO	—	0,71	Следы	0,20	7,20
Fe ₂ O ₃	0,79	2,49	82,88	3,98	19,65
Fe _{0,6ш}	—	0,95	40,58	0,29	4,25
MnO	—	—	1,69	Следы	0,96
SiO ₂	—	42,77	1,23	30,49	45,81
Na ₂ O	—	12,49	—	—	—
K ₂ O	—	7,68	—	—	—

75 % из покрывающих рискорритов и льявритов и на 25 % из подстилающих апатитовых уртитов. Разубоживающий материал использовался для подшихтовки к основной пробе в количестве, соответствующем объему прирезаемых руд при снижении бортового содержания P_2O_5 от варианта к варианту.

Рудоподготовка проводилась на специальной площадке опытной установки. Испытания начинаются с изучения обогатимости руд текущей добычи (верхний предел бортового содержания 8 % P_2O_5), затем продолжаются на рудах пониженного качества (бортовое содержание 6 и 4 % P_2O_5) и завершаются на рудах с нижним пределом (2 % P_2O_5). На каждом этапе испытаний проводился полный цикл исследований по получению апатитового, нефелинового, сфенового, титаномагнетитового и эгиринового концентратов; кроме того, в процессе опытов нарабатывались различные по сортности апатитовые концентраты с кондиционным (39,4 %) и пониженным (38—36 %) содержанием P_2O_5 .

Преимущества «сквозных» испытаний заключаются в возможности получения сопоставимых технологических показателей в зависимости от заданного состава руд (на одной опытной установке, постоянным составом исполнителей при использовании общей схемы, реагентного режима). Это, с одной стороны, облегчает поиск вариационных закономерностей между показателями комплексного обогащения и исходным составом руд, и, с другой стороны, обеспечивает возможность прогнозирования технологических характеристик при любом варианте кондиционных требований (путем интерполяции в диапазоне 8—2 % P_2O_5 и экстраполяции показателей за пределами этих содержаний).

Полупромышленные испытания проводились на установке производительностью по руде 600—650 кг/ч. В соответствии с программой испытаний была принята схема, включающая трехстадийное дробление руды до крупности — 15 мм, измельчение в замкнутом цикле с классификатором, флотацию апатита с последующим выделением титаномагнетита из хвостов апатитовой флотации, обратную флотацию нефелина с доводкой пенного продукта флотации на концентрационном столе и сухую электромагнитную сепарацию концентратов стола в поле высокой напряженности. Руда измельчалась в одну стадию в шаровой мельнице типа МШР 900×900, работающей в замкнутом цикле с классификатором КСН-5. Доизмельчение камерного продукта основной нефелиновой флотации осуществлялось в шаровой мельнице, работающей в замкнутом цикле с классификатором КСН-3 с подключением, в случае необходимости, гидроциклона ГЦ-5.

Схема получения апатитового концентрата включала две контрольные флотации и три-четыре перечистки концентратов основной флотации. Флотация осуществлялась в машинах механического типа с объемом камер 30 и 12 л. Общее время флотации в апатитовом цикле составило 30—34 мин, в том числе по операциям, мин: основная флотация — 6—4, 1-я перечистка — 9—8; 2-я перечистка — 7, 3-я перечистка — 6, 4-я перечистка — 4, контрольные перечистки соответственно 3, 3 и 4—5 мин.

В нефелиновом цикле основная, контрольная и перечистные операции осуществлялись в машинах с объемом камер 12 л. Число камер: основная — 10, контрольная — 10, 1-я и 2-я перечистки — по 4 камеры. Продолжительность флотации, мин: основной — 7—8, контрольной — до 10, перечисток — по 4.

В апатитовой флотации использовалась фабричная смесь собирателей (%): сырое (20) и дистиллированное (30) талловые масла, вторичный масляный гудрон (15), технические жирные кислоты (25) и окисленный петролатум (5). Фабричная смесь приготавливалась с избыточной щелочностью раствора (10—15 %).

Результаты полупромышленных испытаний на оборотной воде

Смена	Руда		Концентрат			
	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅		Al ₂ O ₃	
	а	а	а	ε	а	ε
Руда текущей добычи	16,04	13,64	39,54	92,89	29,09	52,67
Борт 8 % P ₂ O ₅ :						
подряд	15,34	13,71	39,52	93,23	29,09	50,67
выборочно	15,51	13,60	39,52	93,42	29,00	48,66
генеральное опробова- ние	15,59	13,38	39,47	99,07	29,08	53,40
Борт 6 % P ₂ O ₅ :						
подряд	При подготовке пробы содержание P ₂ O ₅ оказалось менее 14 %					
выборочно	14,36	14,20	39,44	92,53	29,01	50,72
генеральное опробо- вание	14,42	14,23	39,55	97,37	29,17	48,38
Борт 4 % P ₂ O ₅ :						
подряд	13,77	14,27	39,45	92,59	28,95	48,93
выборочно	13,48	14,35	39,42	92,17	28,98	48,55
генеральное опробо- вание	13,60	14,33	39,26	94,26	28,86	48,23
Борт 2 % P ₂ O ₅ :						
подряд	12,57	15,07	39,44	92,84	29,10	47,35
генеральное опробо- вание	12,83	15,15	39,40	92,93	29,10	47,42
Работа на достижение высокого извлечения	13,83	14,27	38,57	95,60	28,85	50,97

Примечание. а — содержание компонента, %; ε — извлечение компонента в концентрат, %.

Хвосты апатитовой флотации направлялись на магнитную сепарацию для выделения титаномагнетита. Немагнитная фракция хвостов обесшламливалась в две стадии — на спиральном классификаторе и в гидроциклоне. Пески классификатора и гидроциклона направлялись на нефелиновую флотацию с применением реагентного режима, разработанного Горным институтом Кольского филиала АН СССР.

Показатели «сквозных» полупромышленных испытаний приведены в табл. 24. В связи с низким содержанием сфена в руде Юкспорского месторождения получение качественного сфенового концентрата оказалось практически невозможным.

В процессе исследований состав оборотной воды формировался с учетом вещественного состава рудной пробы. Показатели обогащения в условиях замкнутого водооборота оказались весьма близкими с получаемыми на АНОФ-2.

В процессе «сквозных» испытаний установлено, что расход реагентов в апатитовом и нефелиновом циклах в пробах с различным содержанием апатита и нефелина зависит от количества флотируемых минералов: при переходе от руд с бортовым содержанием 8 % P₂O₅ к относительно бедным (т. е. при уменьшении среднего содержания апатита и увеличении нефелина) сокращается на 5—10 % расход фабричной смеси для апатитовой флотации и, наоборот, на 25—30 % увеличивается расход омыленной смеси и сульфоната в нефелиновом цикле, а также активатора темноцветных минералов — хлористого кальция.

При сравнении результатов полупромышленных испытаний в замкнутом водообороте и в «сквозном» цикле выявлены весьма несущественные различия в качестве минеральных концентратов и в технологиче-

Качественная характеристика минеральных концентратов
и технологических показателей их получения, %

Компо- нент	Выход концентрата γ				Содержание компонента в концентрате α				Извлечение в концентрат ϵ			
	8%	6%	4%	2%	8%	6%	4%	2%	8%	6%	4%	2%
Апатитовый концентрат												
P_2O_5	37,0	33,7	32,7	31,9	39,5	39,5	39,4	39,4	93,0	92,0	91,0	90,0
Нефелиновый концентрат												
Al_2O_3	24,6	23,6	24,0	24,6	29,2	29,2	29,1	29,0	51,0	49,0	46,5	48,5
Титаномагнетитовый концентрат												
TiO_2	1,3	1,2	1,2	1,1	13,3	13,3	13,4	13,5	9,6	9,6	9,2	9,9
Fe_2O_3					81,0	81,0	82,0	82,2	19,4	23,2	17,4	16,0
Черновой эгириновый продукт												
TiO_2	23,1	22,0	20,4	22,4	5,0	4,6	5,2	4,6	59,8	60,6	56,0	62,6
Fe_2O_3					11,0	9,9	11,8	10,6	39,0	39,7	42,0	44,6

ских показателях из руд, оконтуренных по различным вариантам бортового содержания P_2O_5 (табл. 25).

Обобщение многолетнего опыта лабораторных, полупромышленных исследований комплексной обогатимости апатито-нефелиновых руд, а также производства апатитового и нефелинового концентрата на АНОФ объединения «Апатит» приводит к следующим выводам.

1. Апатито-нефелиновые руды хибинских месторождений характеризуются широкими вариациями минерального и химического состава с устойчивыми внутренними связями, что предопределяет возможность их усреднения и переработки по общей технологической схеме и реагентному режиму на действующих фабриках.

2. Апатито-нефелиновые руды являются легкообогатимыми, в связи с чем снижение содержания в них апатита в связи с пересмотром кондиций и вовлечением в переработку руд новых месторождений не отразилось заметным образом на технологических показателях. Этому способствовало постоянное совершенствование технологического процесса, предпосылки к чему далеко не исчерпаны.

3. В лабораторных условиях разработаны и в опытно-промышленном масштабе проверены различные варианты комбинированных магнитно-флотационных схем, основанные на высокой активности главных рудообразующих минералов к разделению этими методами.

4. Высокая степень технологической изученности апатито-нефелиновых руд смешанного состава обеспечивает возможность выбора оптимального варианта схемы обогащения и реагентной рецептуры применительно к рудам заданного состава, что позволяет на стадии поисковой оценки ограничиваться малообъемным технологическим картированием, а при предварительной и детальной разведке — лабораторными или укрупненными лабораторными испытаниями.

5. Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиски принципиально новой эффективной технологии для наиболее полного извлечения всех минералов по схеме безотходной переработки.

**Геолого-технологическое картирование
(на примере месторождений Плато Расвумчорр
и Олений Ручей)**

Технологическая оценка запасов осуществляется на всех стадиях разведки и эксплуатации месторождений. Основной задачей исследований является получение полной и достоверной информации по обогатимости руд для обоснованной блокировки запасов при разведке и решения задач горно-обогатительного передела: составления календарных планов горных работ, шихтовки рудопотока, оптимального усреднения руд и управления процессом флотации.

Геолого-технологическое опробование, исследование и картирование месторождений по результатам экспресс-анализов рудных проб малого объема в контурах разведанных запасов представляет собой комплекс методов изучения пространственной изменчивости свойств полезного ископаемого, влияющих на оценку обогатимости. Перспективность этих методов вытекает из вывода о невозможности получения достоверных технологических характеристик руд по ограниченному числу лабораторных проб. Малообъемное технологическое исследование основано на изучении вещественного состава, текстурно-структурных особенностей, физико-механических и технологических свойств руд по большому (десятки — сотни) числу проб из рудных пересечений по выработкам. Эти исследования должны проводиться в комплексе с другими видами геологоразведочных работ: геологической документацией выработок, химико-минералогическим изучением руд.

Для исследования используются дубликаты рядовых керновых или объединенных (групповых) проб, характеризующих однородный рудный интервал. Анализируется наличие корреляционных связей вещественного состава и технологических показателей обогатимости руд. При выявлении такой связи (при коэффициенте корреляции не менее 0,8) на геологической схеме выделяются границы распространения технологических типов и сортов руд. Корректировка расчетных технологических показателей осуществляется по результатам прямых опытов по изучению обогатимости.

Требования ГКЗ СССР к разведанным запасам предусматривают проведение исследований по комплексной обогатимости на основе прогрессивной технологии переработки руд с обязательным геолого-технологическим картированием природных типов и промышленных сортов, сопоставление существующих и рекомендуемых схем технологического передела. Методика геолого-технологического картирования основана на изучении минерального состава и технологических свойств текстурных типов апатито-нефелиновых руд, надежно диагностируемых при документации скважин в тесной связи с геологическими условиями их размещения и залегания. Эффективность применения этой методики зависит от ее внедрения на ранних стадиях геологического изучения месторождений, особенно месторождений, руды которых технологически недостаточно изучены.

В комплексе работ по коренной комплексной переоценке эксплуатируемого месторождения Плато Расвумчорр (1983 г.) и детальной разведке нового месторождения Олений Ручей (1985 г.) впервые применена методика геолого-технологического картирования, разработанная в Горном институте Кольского филиала АН СССР. Она включает:

а) отбор малообъемных (массой до 50 кг) технологических проб из рудного керна и обеспечение их представительности по типовой принадлежности к определенной природной разновидности (пятнистые, полосчатые, массивные и др.), по месту отбора (рудные тела Верхнего и Нижнего ярусов) и равномерности расположения по гипсометрическим уровням и по площади месторождения;

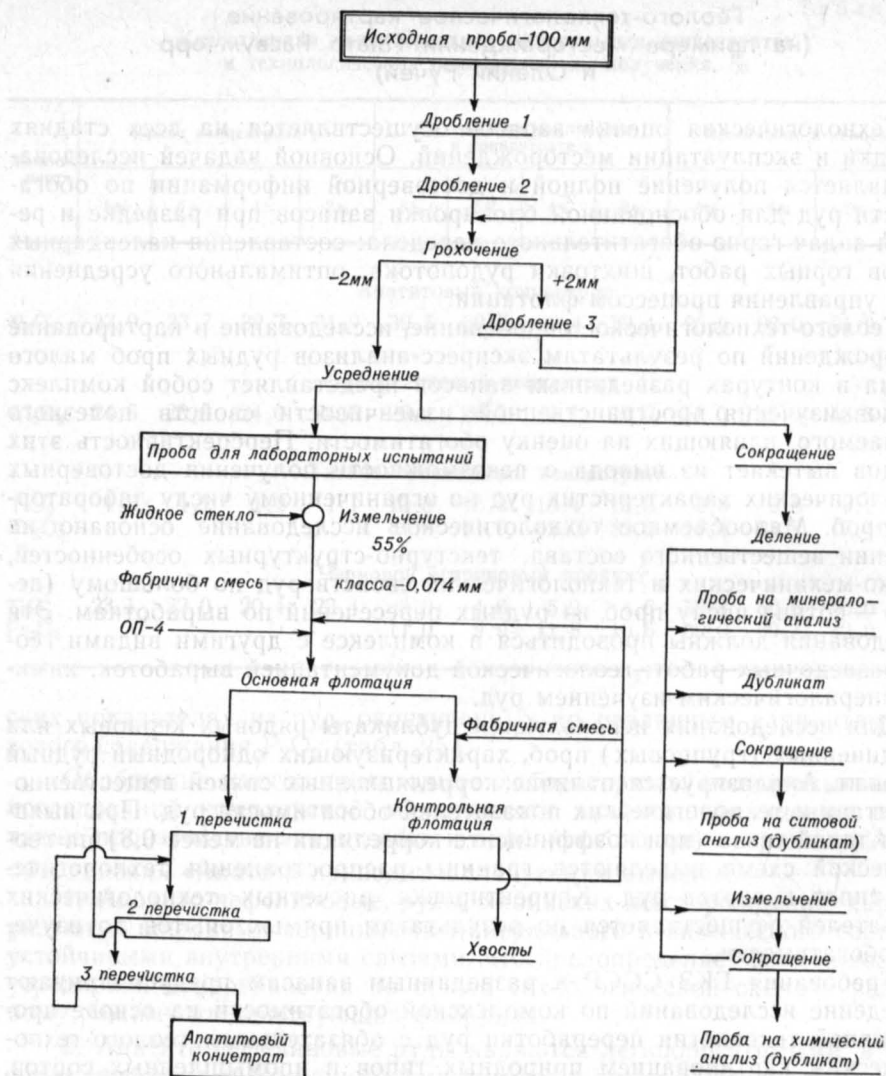


Рис. 38. Схема лабораторных технологических испытаний (апатитовый цикл).

б) выявление закономерностей пространственного размещения природных типов руд как устойчивой и обособленной минеральной ассоциации апатита, нефелина, эгирина, сфена, титаномагнетита и полевого шпата с примесью вторичных минералов. Размещение рудных разновидностей в объеме апатитовой залежи месторождения Плато Расвумчорр подчиняется четкой вертикальной зональности, в многоярусной рудной зоне месторождения Олений Ручей природные типы руд локализируются без видимой закономерности;

в) подготовку технологических проб для исследования (стадиальное дробление до 1 мм, перемешивание, сокращение, химический и спектральный анализ дубликатов проб);

г) отработку единой моделирующей технологической схемы обогащения с получением кондиционного апатитового концентрата. Схема (рис. 38) предусматривает: измельчение до крупности 55% класса —0,074 мм, флотацию по принципу непрерывного процесса на шести навесках, включающую основную и контрольную операции, две — четыре перечистки черного концентрата (число перечисток определялось для

ШКАЛА
ОПТИМАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

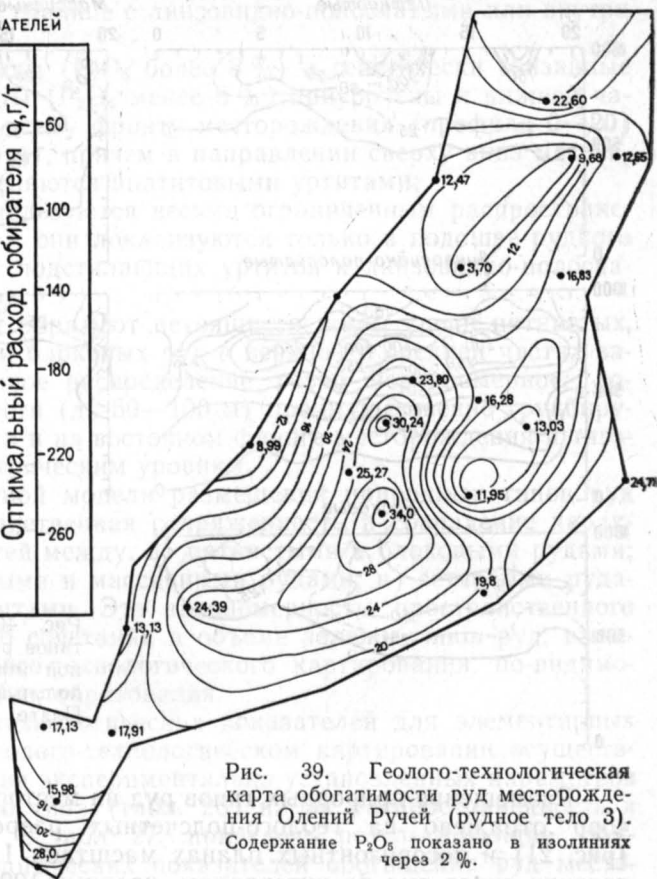
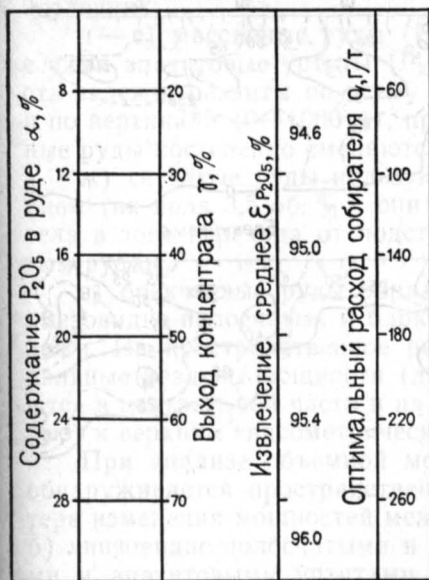


Рис. 39. Геолого-технологическая карта обогатимости руд месторождения Олений Ручей (рудное тело 3). Содержание P_2O_5 показано в изолиниях через 2%.

каждой пробы в зависимости от исходного содержания P_2O_5). Состав реагентов флотации соответствовал применяемому на АНОФ;

д) создание информационного банка данных по обогатимости типов руд и руд, различных по содержанию P_2O_5 . Для геолого-технологического картирования используются усредненные результаты испытаний проб природных типов руд и проб по классам содержаний P_2O_5 , выполненных в оптимальных режимах, наиболее полно учитывающих особенности вещественного состава проб.

В качестве обобщающего показателя обогатимости руды принят установленный опытным путем удельный расход собирателя и депрессора. Для выбора оптимального режима флотации апатито-нефелиновых руд определенного качества необходима корректировка этих расходов. Для этого на подготовительном этапе работ до выполнения исследований малообъемных проб проводилась серия опытов для определения оптимальных расходов реагентов флотации всех природных типов руд разных месторождений Хибинского массива. В процессе обработки опытных данных были установлены эмпирические зависимости между расходом собирателя и содержанием P_2O_5 по типам руд (рис. 39) и между расходом депрессора и суммарным содержанием темноцветных минералов (эгирина, сфена, титаномагнетита);

е) схему обработки данных геологической документации (размещение типов руд на планах и разрезах) для подготовки исходной основы геолого-технологической карты. Приемы обработки геологической информации различны для месторождений простого (Плато Расвумчорр) и сложного (Олений Ручей) строения.

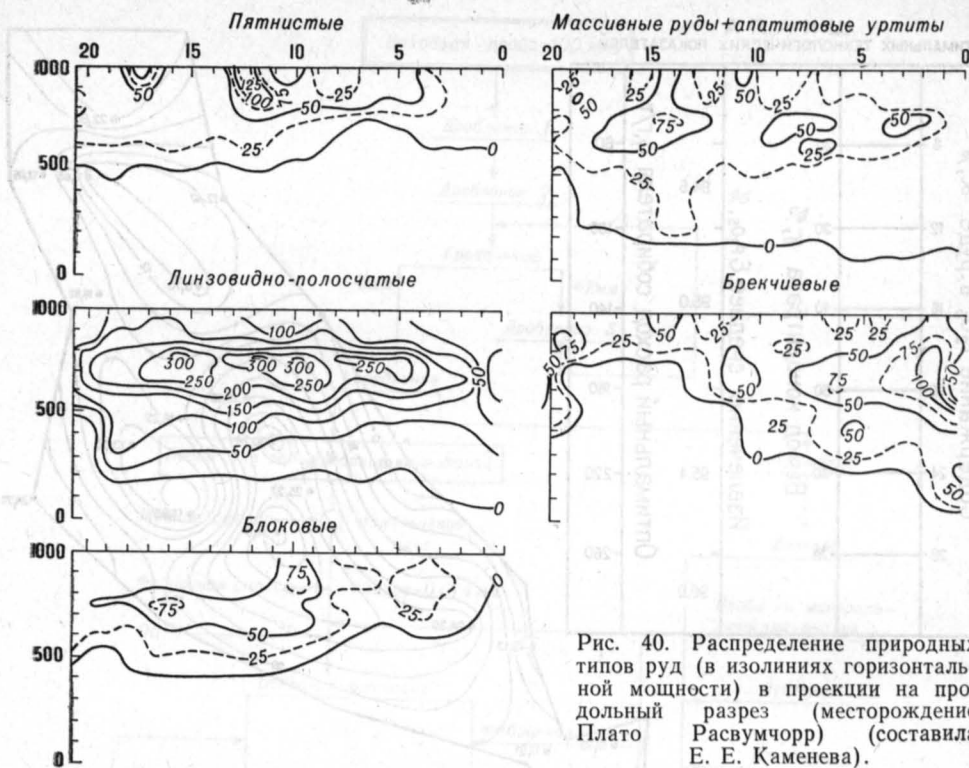


Рис. 40. Распределение природных типов руд (в изолиниях горизонтальной мощности) в проекции на продольный разрез (месторождение Плато Расвумчорр) (составила Е. Е. Каменова).

Размещение природных типов руд на месторождении Плато Расвумчорр отражено на геолого-подсчетных разрезах масштаба 1:2000 (рис. 21) и погоризонтных планах масштаба 1:5000 (графики распределения типов руд по интервалам, кратным 100 м по гипсометрии, см. на рис. 10), служащие основой для геолого-технологического картирования. Эти же данные преобразуются для изображения в проекции на продольную плоскость в системе координат абсолютная отметка — линия профиля. В зависимости от требуемой детальности гипсометрические уровни для составления проекции проводятся через 100 м (мелкий масштаб), 50 м (средний масштаб) и 25—10 м (крупный масштаб). Распространенность природных типов руд отображается на вертикальной проекции в изолиниях мощности (рис. 40). Сечения изолиний определяются масштабом проекции и степенью изменчивости изучаемого параметра.

При геолого-технологическом картировании выявлены определенные закономерности пространственного распределения типов руд:

а) сфено-apatитовые руды малой мощности (10—20 м) локализуются в кровле апатитовой залежи на глубоких горизонтах (ниже отметок +400—500 м);

б) пятнистые руды мощностью до 50—75 м (в раздувах до 100 м) залегают в верхней части рудного тела выше горизонта +400—500 м (т. е. отмечается пространственная разобщенность участков локализации сфено-apatитовых и пятнистых руд);

в) линзовидно-полосчатые руды составляют центральную (осевую) и нижнюю части залежи в пределах гипсометрических уровней от 0 до +1000 м. Наибольшая мощность их достигает 250—300 м на горизонте между +700—800 м; с глубиной они постепенно выклиниваются;

г) блоковые руды пространственно тесно сопряжены с пятнистыми (горизонты выше +400—500 м) и залегают в виде маркирующего прослоя мощностью 10—25 м (горизонтальная мощность 25—75 м) непо-

средственно под ними на границе с линзовидно-полосчатыми или внутри последних;

д — е) массивные руды (P_2O_5 более 8 %) и генетически связанные с ними апатитовые уртиты (P_2O_5 менее 8 %) приурочены к нижней части залежи, развиты по всему фронту месторождения (профили 0—20) и по вертикали (0—1000 м), причем в направлении сверху вниз массивные руды постепенно сменяются апатитовыми уртитами;

ж) сетчатые руды пользуются весьма ограниченным распространением (их доля 3,5 об. %): они локализируются только в подошве рудного тела в зоне перехода от подстилающих уртитов к линзовидно-полосчатым рудам;

з) брекчиевые руды образуют ветвящиеся жилы среди пятнистых, линзовидно-полосчатых и блоковых руд в верхней и средней частях залежи. Их пространственное распределение резко неравномерное: локальные раздувы мощности (до 50—100 м) преимущественно группируются в центральной части и на восточном фланге месторождения и тяготеют к верхним гипсометрическим уровням.

При анализе объемной модели размещения природных типов руд обнаруживается пространственная сопряженность и совпадение характера изменения мощностей между: а) пятнистыми и блоковыми рудами; б) линзовидно-полосчатыми и массивными рудами; в) сетчатыми рудами и апатитовыми уртитами. Эта закономерность пространственного размещения и попарного сочетания в объеме залежи типов руд, выявленная в процессе геолого-технологического картирования, по-видимому, связана с условиями их образования.

Расчет ожидаемых технологических показателей для элементарных участков залежи при геолого-технологическом картировании осуществляется путем взвешивания экспериментально установленных параметров для каждого природного типа (табл. 26) на их распространенность в объеме таких участков. В табл. 27 приведены результирующие данные по прогнозу технологических показателей обогащения руд месторождения Плато Расвумчорр по 100-м горизонтам.

Апатитовые залежи многоярусной рудной зоны месторождения Олений Ручей представлены обычными для всех хибинских месторождений природными типами руд (кроме сфено-apatитовых). Однако, отсутствие закономерностей их пространственной локализации в объеме залежей предопределяет некоторые изменения в методике подготовки исходных данных для геолого-технологического картирования. Для каждого рудного пересечения по разведочным скважинам (в пределах картируемой залежи) определяется соотношение типов руд пропорционально их линейным мощностям, по содержанию P_2O_5 (α) рассчитываются выход (γ) и извлечение (ϵ) P_2O_5 в апатитовый концентрат методом средневзвешенного на распространенность типов руд по формулам, %:

$$\alpha = \frac{\sum_i^n m_i \alpha_i}{\sum_i^n m_i}; \quad \gamma = \frac{\sum_i^n m_i \gamma_i}{\sum_i^n m_i}; \quad \epsilon = \frac{\sum_i^n m_i \epsilon_i}{\sum_i^n m_i},$$

где m — доля i -го типа руды, %; n — число типов руд в рудном пересечении по скважинам.

По этому же принципу производится вычисление удельных расходов собирателя и депрессора по каждому рудному пересечению.

Геолого-технологические карты по каждой залежи (рис. 40) изображаются в масштабе 1:2000—1:5000 в изолиниях содержаний через 1—2 % P_2O_5 , оптимальных для обогащения руд с такими содержаниями, удельных расходах реагентов и расчетных технологических показателей обогащения.

Усредненные показатели обогащения природных типов руд

Природный тип руды	Технологические показатели, %				Расход реагентов, г/т	
	α	γ	β	ϵ	Собира- тель	Депрессор
Пятнистая	25,5	63,9	39,4	98,2	275	25
Линзовидно-полосчатая	14,6	35,2	39,4	94,9	210	30
Блоковая	12,8	30,6	39,4	94,2	180	50
Массивная	12,1	29,2	39,4	95,1	270	50
Апатитовый уртит	4,6	10,8	39,4	92,3	100	100
Сетчатая	10,2	24,1	39,4	93,1	150	75
Брекчиевая	15,1	37,1	39,4	96,8	300	30

Примечание. γ — выход концентрата, %; α — содержание P_2O_5 в руде; β — то же, в концентрате, %; ϵ — извлечение P_2O_5 в концентрат.

Таблица 27

Ожидаемые (расчетные) технологические показатели обогащения апатито-нефелиновых руд месторождения Плато Расвумчорр

Горизонт (абс. отметки, м)	Технологические показатели, %			Расход реагентов, г/т	
	α	γ	ϵ	Собира- тель	Депрессор
900—800	15,2	36,7	95,1	280	25
800—700	14,8	35,7	95,0	260	30
700—600	14,6	35,0	94,5	250	35
600—500	14,2	33,6	93,2	240	40
500—400	14,1	33,4	93,0	230	45
400—300	13,8	32,4	92,6	220	50
300—200	12,9	30,2	92,3	180	65
200—100	12,3	28,8	92,0	150	75

Технологические исследования по переработке минеральных концентратов на конечные продукты

Опытные работы по получению конечных продуктов из минеральных концентратов стали проводиться на стадии детальной разведки в связи с комплексной геолого-промышленной оценкой новых и эксплуатируемых месторождений. Опытные партии апатитового, нефелинового, сфенового, титаномагнетитового и эгиринового концентратов (по 0,2 т), наработанные в процессе полупромышленных испытаний, исследовались специализированными организациями: НИУИФ (apatитовый), ВАМИ, НИОХИМ, УНИХИМ, затем ИХТРЭМС Кольского филиала АН СССР (нефелиновый), ИХТРЭМС (сфеновый), ИМЕТ им. А. А. Байкова АН СССР (титаномагнетитовый и эгириновый).

Минеральный состав опытных концентратов приведен в табл. 28, а химический (в сравнении с составом концентратов из руд текущей добычи) — в табл. 29. При сравнении анализов обнаруживается сходство составов апатитового концентрата из руд нового и эксплуатируемых месторождений, несколько лучшее качество нефелинового концентрата (ан. 3), сфенового (ан. 5) и титаномагнетитового (ан. 7) концентратов из руд новых месторождений по сравнению с концентратами добываемых руд (ан. 4, 6, 8). Только эгириновый концентрат из руд нового месторождения значительно отличается от концентрата из добываемых руд (ан. 9 и 10).

Минеральный состав опытных партий концентратов

Минерал	1	2	3	4	5
Апатит	96,4	0,2	1,5	—	1,3
Нефелин	2,2	91,3	3,0	—	3,0
Сфен	0,1	0,1	89,5	—	5,4
Титаномагнетит	—	1,7	—	70,0	0,8
Эгирин	0,1	0,6	3,9	2,0	79,5
Полевой шпат	—	6,3	0,5	—	0,1
Амфибол	—	0,1	0,2	—	2,6
Энигматит	—	—	0,3	—	2,5
Биотит	—	0,1	—	—	0,1
Гидрослюдь	0,3	0,3	—	—	0,1
Натролит	—	—	1,5	—	—
Лампрофиллит	1,0	—	—	—	0,1
Ильменит	0,2	—	0,8	27,0	4,5
Сумма	100,3	100,7	101,2	99,0	100,0

Примечание. Концентраты: 1 — апатитовый; 2 — нефелиновый; 3 — сфеновый; 4 — титаномагнетитовый; 5 — эгириновый.

Таблица 29

Химические составы опытных партий концентратов из руд нового месторождения (ан. 1, 3, 5, 7, 9) и концентратов из руд текущей добычи (ан. 2, 4, 6, 8, 10)

Компонент	Апатит		Нефелин		Сфен		Титаномагнетит		Эгирин	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P ₂ O ₅	39,40	39,53	0,24	0,20	0,40	1,10	0,10	0,10	—	—
CaO	52,05	51,48	0,42	1,36	26,04	25,40	0,45	1,38	13,2	12,00
F	3,10	3,00	—	—	—	—	—	—	—	—
Al ₂ O ₃	0,25	0,46	30,33	29,21	1,58	2,20	1,84	1,54	2,94	2,90
SiO ₂	—	—	42,77	43,00	30,49	30,60	1,69	2,70	42,30	44,00
Na ₂ O	—	—	13,95	14,10	—	—	0,46	0,50	3,90	4,90
K ₂ O	—	—	7,25	6,76	—	—	—	—	0,39	0,40
TiO ₂	0,77	—	0,13	0,15	36,40	29,30	14,35	14,50	8,17	1,50
Fe ₂ O ₃	0,51	0,36	2,46	3,56	3,98	4,10	40,28	39,04	21,00	28,30
FeO	—	—	0,95	—	0,29	0,25	39,13	35,56	—	—
MgO	0,20	—	0,29	1,66	0,20	0,18	0,19	0,57	7,45	5,10
MnO	—	0,10	—	—	—	—	0,80	1,42	0,72	0,72
V ₂ O ₅	—	—	—	—	—	—	0,56	0,60	—	—

1. Апатитовый концентрат исследовался в традиционных направлениях для получения двойного суперфосфата, экстракционной фосфорной кислоты и аммофоса из нее, а также сложных удобрений азотнокислотным методом с попутным извлечением полезных компонентов.

Двойной суперфосфат получен камерным методом при разложении апатитового концентрата фосфорной кислотой. Степень разложения увеличивается от 87 до 92 % при измельчении сырья до крупности, соответствующей снижению содержания фракции +0,075 мм с 35 до 8 %. Оптимальные технологические показатели: а) время перемешивания с фосфорной кислотой 1,5 мин при температуре 50—70 °С; б) концентрация фосфорной кислоты 50—52 % P₂O₅, расход ее 105 % от стехиометрического; в) время камерного разложения 1,5 мин при температуре 95—

100 °С; г) время дозревания суперфосфата 10—15 сут. Готовый продукт содержит 48,5—50,0 % усвояемой P_2O_5 .

В опытах по получению экстракционной фосфорной кислоты в режиме, обеспечивающем кристаллизацию гипса, определены технологические параметры процесса: а) степень вскрытия сырья и отмывки фосфогипса 97—98 %; б) выход P_2O_5 в экстракционную кислоту 95—96 %; в) расходные коэффициенты на 1 т P_2O_5 в продукте: серной кислоты 2,5 т, апатитового концентрата 2,75 т. На вакуум-выпарной установке изучен процесс выпаривания, сопровождающийся обесфториванием экстракционной фосфорной кислоты, при этом достигнуто повышение концентрации P_2O_5 от 31,6 до 54,0 % и снижение содержания фтора от 1,56 до 0,28 %.

Для получения аммофоса использовалась экстракционная фосфорная кислота до и после упарки. Схема процесса: нейтрализация кислоты газообразным аммиаком, упарка аммонизированной суспензии и сушка продукта. Режим процесса: рН в реакторе 0,5, содержание H_2O в суспензии 25—27 %, остаточная влажность продукта после сушки не выше 1 %. Содержание в аммофосе усвояемых P_2O_5 52,5 %, азота 12,0—13,0 %.

Для производства сложных удобрений использовался азотнокислотный метод, обеспечивающий извлечение в фосфогипс попутных полезных компонентов. Технико-экономическими расчетами именно этот метод переработки апатитового концентрата определен как наиболее эффективный.

2. Нефелиновый концентрат исследовался с целью получения: а) глинозема путем спекания с известняком и последующим выщелачиванием; б) содопродуктов из растворов после выделения глинозема; в) очищенного и неочищенного коагулянтов и алюмокалиевых квасцов, а также при освоении комплексной переработки концентрата азотнокислотным методом.

В составе концентрата 86,4 % глинозема, 90,6 % оксида натрия и 62,2 % оксида калия приходится на долю нефелина. Оптимальный режим спекания нефелинового концентрата с известью при соотношении $CaO/SiO_2=2:1$ и щелочей к Al_2O_3 как 1:1 в течение 4 ч при температуре 1300 °С и выщелачивании при $T:Ж=1,4$ в течение 15 мин обеспечивает извлечение в раствор алюминия и щелочей на 90 %.

Технологическая схема получения содопродуктов включает следующие операции: маточный раствор после выщелачивания используется для растворения непродуцированной соды и последовательно упаривается под вакуумом. В процессе упарки, сопровождающейся повышением плотности раствора от 1,25 до 1,42 г/см³, выделяется сода (моногидратный продукт 1-го сорта), затем при достижении плотности раствора 1,52 г/см³ осаждаются непродуцированная сода, возвращающаяся в маточный раствор. В оставшуюся фазу добавляется хлористый калий, раствор доводится до плотности 1,65 г/см³, при этом в осадок выпадает фаза $(Na, K)_2CO_3$, из которой получается поташ 1-го сорта.

Нефелин является нетрадиционным видом сырья для получения алюминиевых коагулянтов. Неочищенный коагулянт получен по двум методам.

При шнековом способе концентрат взаимодействует в течение 1,5 мин с концентрированной серной кислотой (93 % H_2SO_4), а при камерном — с разбавленной серной кислотой (70 % H_2SO_4), но увеличивается время взаимодействия до 1 ч и температура реакции до 140° С. Коагулянты, выработанные обоими методами, соответствуют требованиям ГОСТ 5155—74: содержание водорастворимого глинозема составило 10,0—10,5 %, извлечение Al_2O_3 в коагулянт 83,7—89,3 %.

Для получения очищенного коагулянта и алюмокалиевых квасцов нефелиновый концентрат растворяется в 70—75 %-ной серной кислоте

с выдержкой при температуре 135 °С в течение 1 ч, после чего проводится выщелачивание обратными растворами при температуре 90—95 °С (15 мин) в условиях непрерывного перемешивания. Образовавшаяся при этом суспензия фильтруется, осадок промывается горячей водой, которая используется в качестве обратного раствора для выщелачивания. Продукционный раствор после грануляции представляет собой готовый коагулянт.

Из продукционного раствора возможно путем кристаллизации выделение алюмокалиевых квасцов 1-го сорта. Схема проверена в лабораторных условиях и на крупномодельной установке в замкнутом цикле. На промплощадке АНОФ-2 ПО «Апатит» с 1985 г. функционирует пилотная установка «Глинозем», на которой ведется отработка комплексной азотнокислотной технологии переработки нефелинового концентрата с получением алюминиевых, щелочных и силикатных продуктов, предложенной ИХТРЭМС Кольского филиала АН СССР.

Получение неочищенного коагулянта при сернокислотной обработке нефелинсодержащей пульпы хвостов апатитовой флотации прошло в 1986 г. стадию промышленного опробования с его использованием непосредственно на ПО «Апатит» для сгущения суспензии апатитового концентрата. Результаты положительны.

3. Качество сфенового концентрата определяется содержанием вредных примесей апатита и нефелина. Разработка способов химической очистки от этих минералов создала условия для освоения технологических схем получения титановых пигментов из сфенового концентрата. Очищенный от апатита и нефелина сфеновый концентрат проходит двухстадийную сульфатизацию с переводом титана в моногидрат титанилсульфата, который затем переводится в раствор для термогидролитического выделения титано-кальциевого пигмента или пигментного диоксида титана. Твердый остаток обрабатывается с получением кальциево-кремнеземного пигментного наполнителя.

Титансодержащие пигменты характеризуются высоким качеством. Принципиальная схема сернокислотной переработки сфенового концентрата на титановые пигменты представлена на рис. 41.

Из 1 т сфенового концентрата можно получить 0,4 т титано-кальциевого пигмента и 0,8 т кальциево-кремнеземного пигментного наполнителя. Технологические аспекты сернокислотной переработки сфенового концентрата изложены в книге Д. Л. Мотова и Г. К. Максимовой [28].

В 1984 г. на промплощадке АНОФ-2 вступил в строй действующих опытно-промышленный цех для переработки сфенового концентрата из флотационных хвостов обогащения апатито-нефелиновых руд по сернокислотной технологии ИХТРЭМС на титановые пигменты. Показатели работы этого цеха будут положены в основу создания крупного промышленного производства с использованием сфенового концентрата как нового вида сырья для титановых пигментов.

4. Из титаномagnetитового концентрата методом электроплавки получен ванадиевый чугун (выход около 60 %) и титановый шлак (выход 21 % от массы титаномagnetита).

5. Исследования областей практического применения эгиринового концентрата еще далеки до завершения. Поиски ведутся в нескольких направлениях: для металлургии могут представлять интерес содержащиеся в минерале титан и железо, в стекольной промышленности — кремнезем и щелочи. ИМЕТом им. А. А. Байкова АН СССР предложены два способа использования эгирина из апатито-нефелиновых руд: а) по первому способу эгирин подвергается восстановительному обжигу при температуре 1250—1300 °С с последующим дроблением, измельчением и магнитной сепарацией обожженного продукта для выделения железа (магнитная фракция) и кремнезема. Последний сплавляется с известью и сплав выщелачивается для выделения щелочей и двукальциевого си-

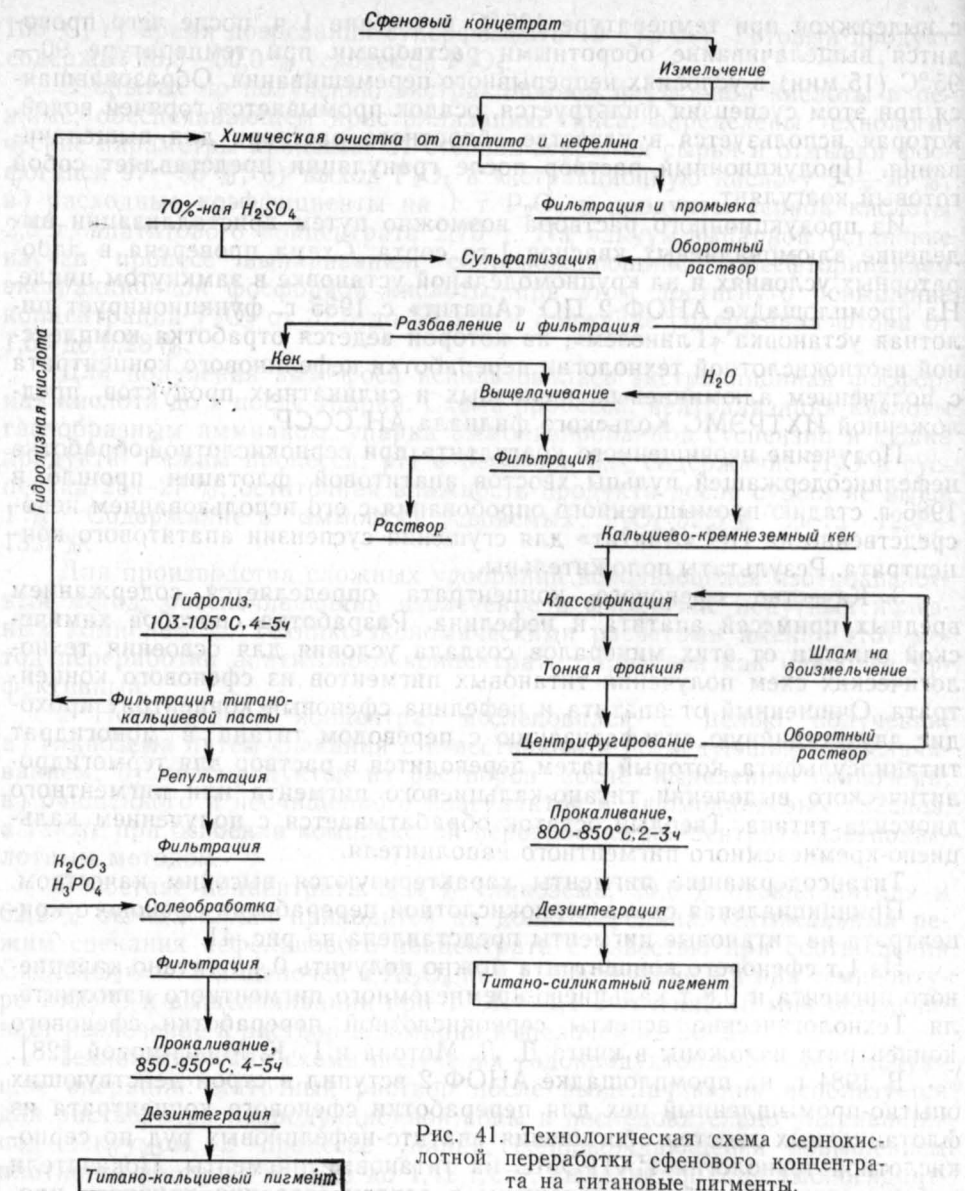


Рис. 41. Технологическая схема сернокислотной переработки сфенового концентрата на титановые пигменты.

ликата; б) второй способ состоит в совместном восстановлении и плавке эгирина с титаномагнетитом для получения титанового шлака и железа.

В ИХТРЕМС Кольского филиала АН СССР выполнена работа по применению эгирина как материала каменного литья. Результаты положительные.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СКВАЖИН

В настоящее время, когда степень геолого-геофизической изученности Хибинского массива с поверхности достаточно высока, основным видом поисковых и разведочных работ является бурение преимущественно глубоких (1,5—2,5 км) скважин. В связи с этим резко возросло значение скважинных геофизических методов исследований при комплексной геолого-промышленной оценке апатито-нефелиновых месторождений.

Планомерные опытно-производственные работы с целью выбора оптимального комплекса каротажных методов выполнялись специализированной геолого-геофизической партией в 1967—1972 гг. на детально разведанном в этот период Коашвинском месторождении. В подготовительный период были изучены физические свойства руд и пород (плотность, магнитная восприимчивость, радиоактивность, электропроводность и др.), разработаны методика, рациональные технические приемы и обоснован комплекс скважинных геофизических методов. С 1972 г. комплекс геофизических исследований скважин, включающий интегральный гамма-каротаж (ГК), нейтронно-активационный каротаж по изотопу азот-16 (НАК ^{16}N), каротаж магнитной восприимчивости (КМВ), плотностной гамма-гамма каротаж (ГГК-п), а также расходо-, термо-, каверно- и резистивиметрию, газометрию и инклинометрию, был внедрен в практику геологоразведочных работ.

Методы скважинной геофизики применяются для решения следующих геологических задач (табл. 30).

Таблица 30

Использование методов комплексного каротажа скважин для решения геологических задач

Геологическая задача	Методы	
	основные	вспомогательные
1. Расчленение разреза при бескаверновом бурении, уточнение глубин контактов	ГК, КМВ, ГГК-п	НАК ^{16}N , расходо- и кавернометрия
2. Выделение рудных тел по содержанию P_2O_5 и фтора	НАК ^{16}N	КМВ, ГГК-п, ГК, кавернометрия
3. Изучение гидрогеологических условий и геотермия	Расходо-, термо- и кавернометрия	Резистивиметрия
4. Изучение естественной радиоактивности, поиски рассеянных элементов	ГК, СГК	РРК
5. Анализ и прогноз газового режима	Газовый каротаж	Газометрические исследования
6. Определение плотностных и магнитных свойств	ГГК-п, КМВ	—
7. Контроль за искривлением скважин	Инклинометрия	КМВ, кавернометрия
8. Расширение области применения методов каротажа	Опытно-методические работы по ядерно-физическим методам на эталонных скважинах	

Физические свойства пород и руд Хибинского массива

Породы и руды	Число определений	Плотность, г/см ³	Магнитная восприимчивость, 10 ⁻⁶ ед. СГС	Радиоактивность, мкР/ч
Фойяиты	80	2,60—2,74	0—130	12—60
Лявочорриты	190	2,65—2,74	0—140	30—40
Уртиты пострудные	80	2,70—2,82	10—2 000	10—20
Ййолиты пострудные	125	2,88—3,05	15—3 000	10—18
Апатитовые руды	300	2,80—3,20	0—8 000	15—25
Уртиты массивные	240	2,70—2,80	0—1 000	18—25
Уртиты дорудные	26	2,69—2,82	15—3 000	10—22
Ййолиты дорудные	47	2,85—3,00	15—10 000	10—18
Рисчорриты	320	2,62—2,72	0—40	25—45
Хибиниты	190	2,64—2,75	0—50	20—35

1) расчленение разреза в интервалах бескернового бурения, на участках с низким выходом керна или на объектах со скрытой расслоенностью для уточнения глубин контактов между породами;

2) выделение рудных интервалов, зон апатитовой минерализации, количественное определение содержаний фтора и Р₂О₅;

3) исследование гидрогеологических условий, геотермического режима, выделение зон водообмена и интенсивной трещиноватости;

4) изучение естественной радиоактивности руд и пород, массовые поиски рассеянных элементов;

5) анализ газового режима, прогнозирование проявлений горючих газов при бурении скважин и эксплуатации месторождения;

6) определение плотности и магнитной восприимчивости;

7) контроль за искривлением скважин в процессе бурения и после их закрытия, определение глубин обсадных труб;

8) изучение информативности новых методов комплексного каротажа.

Породы и руды хибинских месторождений характеризуются широким диапазоном физических свойств (табл. 31), что служит предпосылкой и для использования комплекса каротажных методов с целью расчленения и детализации разрезов, оценки содержаний полезных компонентов и для подсчета их запасов.

Плотность, г/см³, лейкократовых нефелиновых сиенитов, ювитов, уртитов и пегматитов не превышает 2,60—2,82; мезократовых ййолитов, малингитов, луввритов 2,82—3,00; меланократовых мельтейгитов и якупирангитов 3,00—3,50 и более. Плотность руд зависит от содержания апатита и повышается от 2,8—2,9 в относительно бедных рудах до 3,0—3,2 г/см³ — в богатых. Высокой плотностью (3,0—3,1 г/см³) обладают также сфено-апатитовые руды, которые, кроме того, обогащены титаномагнетитом.

Гамма-активность апатито-нефелиновых руд варьирует от 15 до 25 мкР/ч; рудовмещающие уртиты и ййолиты (10—25 мкР/ч) отчетливо выделяются на фоне нефелиновых сиенитов (25—60 мкР/ч).

Магнитная восприимчивость руд и пород определяется в основном присутствием титаномагнетита и изменяется от $n \cdot 10^{-4}$ до $n \cdot 10^{-2}$ ед. СГС. Распределение титаномагнетита в рудах и породах дифференцировано: наиболее обогащены им мельтейгиты и якупирангиты — $2 \cdot 10^{-2}$ ед. СГС; промежуточные значения характерны для ййолитов и некоторых типов руд — $(5—7) \cdot 10^{-3}$ ед. СГС, а нефелиновые сиениты, ювиты и уртиты практически немагнитны.

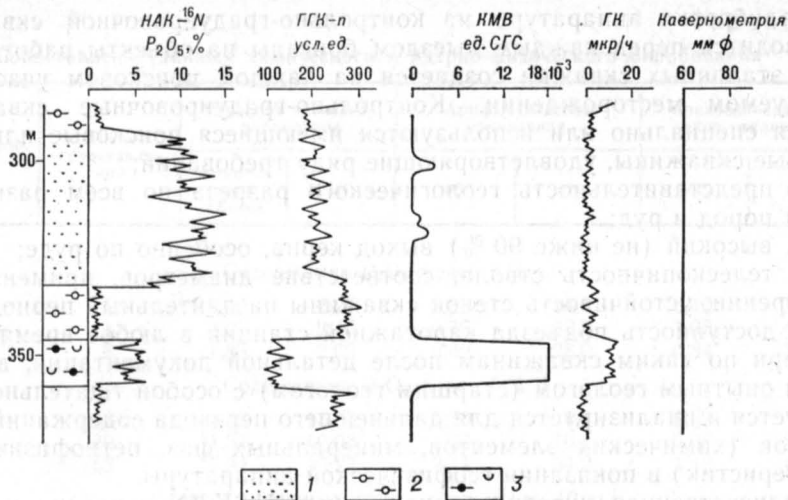


Рис. 42. Разбраковка интервалов апатито-нефелиновых руд и фторсодержащих слюдяных мельтейгитов методами НАК ^{16}N , ГГК-п, КМВ и ГК.
 1 — апатито-нефелиновая руда; 2 — трахитоядный ийолит; 3 — слюдяной мельтейгит.

Апатито-нефелиновые руды и вмещающие породы отличаются низкой пористостью (0,8 %) и малой естественной влажностью (0,2 %).

Известно, что между содержаниями фосфора и фтора — главных компонентов рудообразующего апатита хибинских месторождений — существует прямая и тесная корреляционная связь ($r=0,98$). Фтор, концентрирующийся в апатите и частично в биотите, содержание которого в рудах ничтожно, надежно определяется нейтронно-активационным анализом, основанным на ядерной реакции $^{19}\text{F}(n, \alpha)^{16}\text{N}$ при активации полоний-бериллиевым источником. Образующийся при реакции радиоактивный изотоп азот-16 имеет период полураспада 7,35 с и энергию гамма-излучения 6,14 и 7,11 МэВ. Это позволяет регистрировать его излучение на фоне естественного гамма-излучения и захвата нейтронов, а также измерять наведенный эффект при непрерывном перемещении каротажного снаряда в скважине.

При активационном каротаже фиксируются также ослюденелые породы (слюдяные мельтейгиты), в состав которых входит фторсодержащий биотит. Для разбраковки мельтейгитов и рудных интервалов в комплексе НАК ^{16}N применяются ГК, ГГК-п и КМВ, способствующие однозначной интерпретации разреза (рис. 42).

НАК ^{16}N выполняется серийной отечественной аппаратурой СГСЛ-2, снабженной автоматической стабилизацией энергетической шкалы, что повышает точность метода и производительность при поверке и настройке аппаратуры. Для повышения порога чувствительности по фтору до 0,1 % и по P_2O_5 до 2,5 % внесены частичные изменения в методику и технику измерений:

а) применение в стандартной аппаратуре СГСЛ-2 с диаметром скважинного прибора 50 мм детекторов большего объема — CsI (Тl) 40×80 мм и CsI (Na) 30×160 мм;

б) для снижения влияния фона в суммарном сигнале установление режима регистрации E выше 4,0 МэВ с контролем фона на спуске скважинного прибора;

в) применение полоний-бериллиевых источников нейтронов с выходом не менее $2 \cdot 10^7$ н/с.;

д) увеличение числа детализаций до 10 вместо ранее рекомендованных 5.

Калибровка аппаратуры на контрольно-градуировочной скважине производится перед каждым выездом бригады на объекты работ. Сеть таких эталонных скважин создается на каждом поисковом участке и разведваемом месторождении. Контрольно-градуировочные скважины бурятся специально или используются имеющиеся поисковые или разведочные скважины, удовлетворяющие ряду требований;

а) представительность геологического разреза по всем разновидностям пород и руд;

б) высокий (не ниже 90 %) выход керна, особенно по руде;

в) телескопичность ствола, соответствие диаметров, применяемых при бурении, устойчивость стенок скважины на длительный период;

г) доступность подъезда каротажной станции в любое время года.

Керн по таким скважинам после детальной документации, выполненной опытным геологом (старшим геологом) с особой тщательностью, опробуется и анализируется для дальнейшего перевода содержаний компонентов (химических элементов, минеральных фаз, петрофизических характеристик) в показания геофизической аппаратуры.

Количественная интерпретация данных НАК ^{16}N основана на экспериментально установленной связи между интенсивностью гамма-излучения наведенной активности ($J_{\text{н.а}}$) и содержанием P_2O_5 в рудном интервале:

$$J_{\text{н.а}} = K_0 (C_{\text{P}_2\text{O}_5} + A),$$

где K_0 — коэффициент пропорциональности, равный интенсивности гамма-излучения наведенной активности над насыщенным по мощности рудным интервалом с содержанием P_2O_5 1 %; $C_{\text{P}_2\text{O}_5}$ — содержание P_2O_5 в рудном интервале, %; A — коэффициент, выраженный в процентах P_2O_5 и учитывающий содержание фтора, не связанного с апатитом.

Мощности рудных интервалов с четкими границами определяются по экстремальным точкам; границы интервалов с неравномерным обогащением (брекчии, переслаивание) уточняются по заданной интенсивности на бортовое содержание P_2O_5 , установленной кондициями. При количественной интерпретации результатов НАК ^{16}N вносились поправки на изменения диаметра скважины, изменения чувствительности аппаратуры при замене детектора, гамма-квантов и распада Po^{210} в источнике нейтронов.

Для оценки достоверности определения содержаний P_2O_5 и мощностей рудных интервалов данные НАК ^{16}N сравнивались с результатами химических анализов керновых проб при различном выходе керна (табл. 32).

В 1975 г. НАК ^{16}N был апробирован экспертно-техническим советом ГКЗ СССР в качестве одного из основных методов (наряду с химическим опробованием) для подсчета запасов апатито-нефелиновых руд с содержанием P_2O_5 в группе краевых проб более 6 %. Вместе с тем было рекомендовано продолжить исследования на сравнительно бедных рудах (2—6 % P_2O_5), где корреляционные связи между фосфором и фтором ослаблены.

Метод НАК ^{16}N внедрен в практику разведки и подсчета запасов по месторождениям Ньюоркпакх (рис. 43), Партомчорр, Коашва и Олений Ручей. Расхождение в запасах, подсчитанных с использованием ядерно-физических методов, по сравнению с запасами, вычисленными только по данным химического опробования, составило, отн. %: по руде +1,5—2,5, по P_2O_5 +0,91—1,57 по содержанию P_2O_5 — 0,53—0,82. Применение НАК ^{16}N позволило повысить достоверность и точность подсчета запасов апатито-нефелиновых руд, поскольку НАК ^{16}N более информативен, чем химическое опробование, так как содержания P_2O_5 устанавливаются не для узкого керна (диаметр 4 см), к тому же частично разбуренного, а в окоскважинном пространстве зоны насыщенной мощно-

Сопоставление данных химического и ядерно-физического опробования

Выход зерна, %	Число сопоставлений	Средние значения параметров		Арифметическое отклонение		Среднеквадратическое отклонение	
		химический анализ	НАК ¹⁶ N	абс.	отн.	абс.	отн.
Содержание P ₂ O ₅ менее 6 %							
80	8	2,30	2,27	0,33	14,4	0,40	17,5
80—70	11	2,25	2,45	0,76	32,3	1,09	46,4
70	8	1,83	2,60	0,62	28,0	0,84	38,0
Содержание P ₂ O ₅ более 6 %							
80	68	13,83	13,88	0,70	5,1	0,89	6,4
80—70	30	11,51	12,03	1,22	10,4	2,38	20,2
70	52	7,94	10,27	3,11	34,2	4,12	45,3
Мощность рудных интервалов менее 10 м							
80	24	6,86	7,50	0,81	11,3	1,03	14,3
80—70	12	6,87	8,14	1,51	20,1	2,37	31,6
70	24	6,54	7,86	2,39	33,2	3,16	43,9
Мощность рудных интервалов более 10 м							
80	46	26,99	27,42	1,20	4,4	1,58	5,8
80—70	29	22,65	22,37	1,32	5,9	1,87	8,3
70	36	18,13	18,42	4,08	22,4	5,75	31,5

сти. При этом исключаются ошибки, связанные с определением глубин контактов и мощностей рудных тел, а также погрешности, вызванные избирательным истиранием зерна, ручным способом опробования, обработки проб и химического анализа.

Метод НАК¹⁶N одновременно используется для прямого определения содержаний фтора — одного из попутных компонентов апатито-нефелиновых руд. Внедрение НАК¹⁶N для определения фтора ранее сдерживалось несовершенством и низкой точностью аналитических методов. Разработка нейтронно-активационного анализа и ионоселективных электродов (ЛГУ, ОПИГФМ АН УССР) и применение этих методик для оценки содержаний фтора в рудах хибинских месторождений (интервал содержаний фтора 0,12—2,77 %) позволили расширить область применения НАК¹⁶N.

Контрольный каротаж проводится периодически в объеме не менее 5 % с целью оценки точности и достоверности результатов первичных измерений (табл. 33).

Обработка данных измерений первичного и контрольного каротажа выполняется по стандартной методике:

$$\bar{J} = \frac{\sum \bar{J}_1 + \sum \bar{J}_2}{2n} = \frac{6907 + 6957}{20} = 693;$$

$$\bar{\rho} = \frac{\sum \bar{\rho}_1 + \sum \bar{\rho}_2}{2n} = \frac{99\,950 + 99\,544}{20} = 9975;$$

$$\bar{\Delta} = \sum \Delta : n = 238 : 10 = 23,8;$$

$$\bar{\Delta} = \sum \Delta : n = 3244 : 10 = 324,4.$$

Относительное расхождение $\bar{\Delta} : J \cdot 100 = 3,44 \%$; $\bar{\Delta} : \bar{\rho} \cdot 100 = 3,25 \%$.

Результаты обработки аналитических данных определений фтора методами ионоселективных электродов и НАК¹⁶N приведены в табл. 34.

Пересчетные коэффициенты для перехода от показаний аппаратуры к содержанию фтора в рудах определялись путем сопоставления

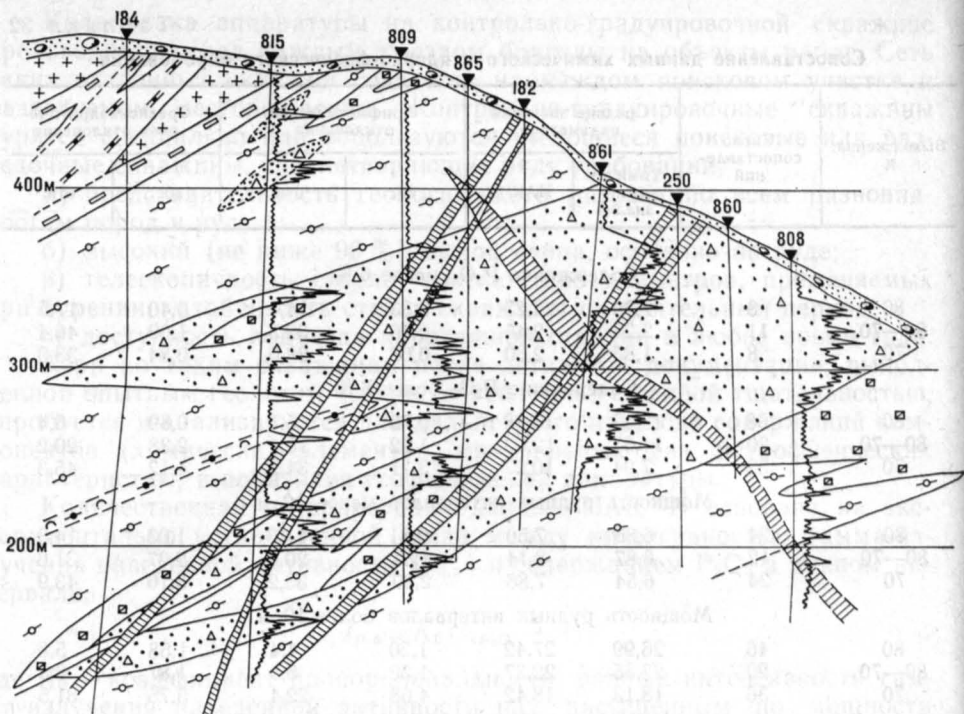


Рис. 43. Геолого-геофизический разрез по рудной зоне месторождения Ньоркпах (графики интенсивности НАК ^{16}N).
Условные обозначения — см. рис. 4.

интенсивности НАК ^{16}N над опорными пластами по контрольно-градуировочной скважине. Эта зависимость аппроксимируется прямой вида $C_F = J/K$, где K — коэффициент пропорциональности, равный интенсивности НАК над насыщенным по мощности пластом с содержанием фтора 1% (значение K при выбранных режимах измерений составляет 300—600 имп/мин на 1% фтора).

Таблица 33

Сопоставление результатов первичного и контрольного каротажей

Интервал, м	НАК ^{16}N (СГСЛ-2)			ГГК-п (РСКН)		
	Первичный (J_1)	Контрольный (J_2)	Абс. расхождение Δ	Первичный (ρ_1)	Контрольный (ρ_2)	Абс. расхождение Δ
	26.03.81	15.06.82		19.02.81	15.06.82	
380,3—383,9	577	588	—11	7 460	7 500	—40
393,9—386,9	135	125	+10	16 250	15 265	+985
386,9—395,8	879	936	—59	8 550	8 490	+60
395,8—406,2	423	419	+4	10 350	10 150	+200
406,2—413,5	177	169	+8	13 100	12 540	+560
413,5—419,6	453	494	—41	10 650	10 600	+50
419,6—431,5	1682	1681	+1	6 450	6 830	—380
431,5—442,9	1256	1212	+44	7 650	7 900	—250
442,9—460,0	951	984	—33	8 400	6 794	—394
460,0—465,5	374	347	+27	11 090	11 415	+325
Сумма	6907	6957	238	99 950	99 544	3244

Сопоставление данных опробования на фтор методами ионоселективных электродов и НАК ^{16}N

Показатель	Класс содержаний F, %		
	0,1—0,5	0,5—2,0	2,0—2,8
Число сопоставлений	2,87	34	11
Среднее содержание F по выборке	0,30	0,98	2,32
Среднеквадратическое отклонение, %			
абс.	0,03	0,08	0,06
отн.	10,0	8,0	2,4
Допустимое расхождение, %	34	22	18
Запас точности	1,2	0,95	2,6
Систематическая ошибка, %			
абс.	—	—	0,035
отн.	—	—	1,7
Критерий значимости ошибки, %			
расчетный	—	—	1,9
табличный	—	—	1,9

В соответствии с требованиями ГКЗ СССР по подсчету запасовпутных полезных компонентов границы рудных интервалов для определения фтора принимаются по бортовому содержанию основного компонента (P_2O_5). Интенсивность НАК, не связанная с фторапатитом (J_0), вычислялась из J наблюдаемой.

В результате дальнейших опытно-производственных разработок расширена область применения НАК ^{16}N для оценки содержаний F_2O_5 и фтора в бедных рудах (3—6 % P_2O_5), выявлена возможность его применения для определения содержаний алюминия и рентгенорадиометрического каротажа (РПК) на редкоземельные элементы и стронций. Обе методики апробированы Научным советом по аналитическим методам ВИС и экспертно-техническим советом ГКЗ СССР и аттестованы с правом использования при подсчете запасов апатито-нефелиновых руд.

Гамма-гамма каротаж (ГГК-п) основан на зависимости рассеянного гамма-излучения от плотности среды, которая устанавливается лабораторными измерениями плотности образцов из эталонной (контрольно-градуировочной) скважины. ГГК-п выполняется радиометрами типа РСК с коллимированными источником и приемником излучения. Запись диаграмм ведется со скоростью 600—700 м/ч в масштабе 1:200 с постоянной времени 2 с. Масштаб регистрации выбирается с учетом того, что весь диапазон плотностей пород и руд при мощности рабочего гамма-источника цезий-137 в $2,5 \cdot 10^{-2}$ Ки полностью укладывался на диаграммную ленту. Измерения проводились с заинверсионным зондом длиной 25 см, чтобы максимально исключить влияние эффективного атомного номера на интенсивность рассеянного гамма-излучения. Периодическая градуировка аппаратуры производилась по опорным пластам эталонной скважины.

Погрешность ГГК-п по результатам основных и контрольных наблюдений составила $\pm 1,5$ отн. %. Расхождения объемной массы по сопоставлениям с лабораторными измерениями ядерного материала не превышают $\pm 0,05$ г/см³.

Каротаж магнитной восприимчивости (КМВ) выполнялся с использованием трехкомпонентного скважинного магнитометра ТСМК-30 со скоростью 600—800 м/ч. Масштаб записи диаграмм: по шкале глубин 1:200, по интенсивности $850 \cdot 10^{-6}$ ед. СГС в 1 см. Погрешность определения магнитной восприимчивости составила $\pm 4,2$ отн. %.

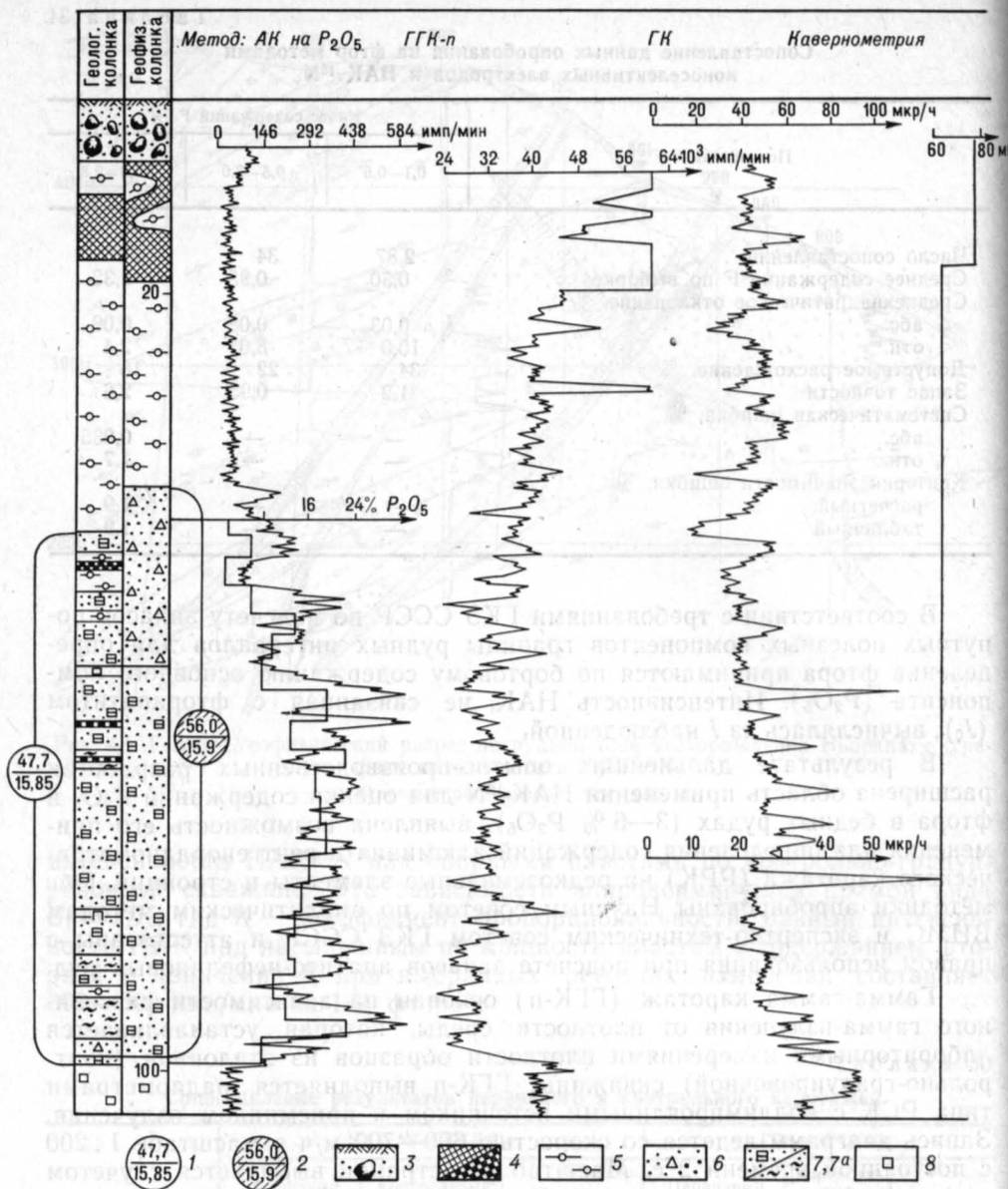


Рис. 44. Геолого-геофизическая колонка с результатами комплексного каротажа (месторождение Ньоркпахк).

1 — мощность рудного интервала (числитель) и содержание P_2O_5 (знаменатель) по данным химического опробования; 2 — то же, по данным НАК ^{16}N ; 3—8 — обозначения см. на рис. 4.

Гамма-каротаж (ГК) и радиометрическое опробование являются обязательными методами геофизических исследований разведочных и поисковых скважин. Для проведения ГК используется радиометр типа РСК. Относительная погрешность в оценке интенсивности гамма-излучения по данным основных и контрольных наблюдений составляет $\pm 6,2\%$.

Геолого-геофизическая колонка по скважине с данными комплексного каротажа показана на рис. 44.

Использование расходомерии в комплексе с термо- и кавернометрией эффективно для выявления водоносных горизонтов, определения их статического уровня, количественной оценки удельного расхода и

коэффициента фильтрации. Для обнаружения зон слабых водопритоков с расходом менее 0,1 л/с, которые нельзя зафиксировать методом расходомерии, целесообразно проводить резистивиметрию. Применяется расходомер РЭТС-34, шаг наблюдений, м: поисковый 20—50, детализационный 0,5—5. Погрешность определения расхода жидкости через прибор ± 5 отн. %.

Термокаротаж глубоких (более 1 км) скважин проводится для расшифровки гидрогеологических условий, изучения температурного режима, определения геотермических параметров, необходимых для проектирования глубоких подземных рудников. Измерения выполнялись после установления в скважинах естественного температурного режима, т. е. спустя 10—12 дней после окончания бурения. Термограмма записывалась при спуске датчика. При расчете геотермических параметров необходимо вносить поправку к гипсометрическому уровню за счет искривления скважин. Анализ термограмм показывает, что в зоне климатической зависимости, простирающейся на глубину 300—500 м, температурное поле нарастает медленно и не всегда равномерно в связи с влиянием водопритоков. Поэтому наиболее надежны результаты полученные по самым глубоким скважинам, пересекающим нижнюю границу этой зоны. Вычисленные значения градиента ($2,68 \pm 0,32$) °C/100 м, а геотермической ступени соответственно ($37,4 \pm 5,0$) м/1 °C.

Для термокаротажа применяется скважинный термометр ЭТС-2У, обеспечивающий погрешность измерения $\pm 0,5$ °C. Учитывая повышенные требования к стабилизации тока питания при термокаротаже, работы проводят с применением четвертой жилы (отдельного провода или кабеля).

Для повышения точности количественной интерпретации данных комплексного каротажа вносятся поправки на изменение диаметра скважин. Кроме того, анализ кавернограмм дает информацию о наличии зон повышенной трещиноватости, открытых полостей. Поправки к показаниям аппаратуры вносятся по градуировочным графикам, отражающим зависимость показателей аппаратуры от диаметра ствола.

Точность определения диаметра скважины малогабаритным кавернометром КМ-2 составляет ± 4 мм.

В связи с неоднократными проявлениями взрывоопасных газов при бурении скважин и проходке горных выработок на рудниках в процессе разведки месторождений систематически проводятся газовый каротаж и газометрические исследования. Методика этих работ заключается во всестороннем изучении газов свободной фазы и закрытых полостей минералов. Эти газы (метан, водород, тяжелые углеводороды) в процессе бурения скважины поступают в промывочную жидкость, растворяются в ней и вызывают появление аномальных зон. В процессе газового каротажа изучаются состав, содержание и распределение газов, устанавливается связь их с определенным комплексом пород и руд, разрабатываются методы прогноза и предупреждения внезапных выбросов горючих газов. Помимо прикладного использования, данные газового каротажа могут быть привлечены в качестве дополнительной информации при геометризации разрезов по скважинам, характеризующихся частой перемежаемостью пород и руд с контрастными значениями концентраций газов.

Инклинометрия скважин лишь по традиции считается одним из методов геофизических исследований. На самом же деле искривление скважин вызвано совокупным влиянием факторов технологии бурения (скорости вращения и типа бурового наконечника, давления на забой и др.) и в меньшей мере состава и свойств горных пород. К тому же инклинометрия, как один из видов комплексного каротажа, не основана на изучении физических свойств геологической среды.

Измерения траектории скважин осуществляются инклинометрами МИ-30, МИР-36, УМИ-25 и другими как в процессе бурения для управления траекторией ствола, так и после закрытия скважин в комплексе с другими методами каротажа. Шаг измерений 25, реже 50 м, на интервалах искусственного искривления скважин проводилась детализация со сгущением точек измерений до 1—5 м. Данные инклинометрии обрабатываются на ЭВМ по стандартной программе. Для оперативной работы используются специальные таблицы и палетки.

Геологическая интерпретация данных комплексного каротажа включает ряд последовательных операций. В первую очередь на диаграммах НАК ^{16}N выделяются аномальные интервалы, соответствующие апатито-нефелиновым рудам или фторсодержащим слюдяным мельтейгитам. Для их разбраковки привлекаются данные плотностного и магнитного каротажей. Плотность апатито-нефелиновых руд при одинаковых классах содержаний фтора на 0,2—0,3 г/см³ ниже плотности слюдяных мельтейгитов, характеризующихся к тому же аномальной магнитной восприимчивостью — до $(20 \div 30) \cdot 10^{-3}$ ед. СГС. По сравнению со слюдяными мельтейгитами магнитная восприимчивость руд меняется от субнулевых значений до $(10 \div 15) \cdot 10^{-3}$ ед. СГС, что связано с крайне неравномерным распределением титаномагнетита.

После выделения рудных интервалов по заданной интенсивности НАК ^{16}N по совокупности данных ГГК-п и КМВ расчленяются породы ийолит-уртитовой серии (уртиты, ийолиты, мельтейгиты и существенно эгириновые якупирангиты), различающиеся контрастной плотностью (граничные значения 2,8—3,0—3,5 г/см³) и особенно магнитной восприимчивостью. Полевешпатовые аналоги уртитов (ювиты) и ийолитов (малиньиты, льявриты) диагностируются по повышенным значениям гамма-активности.

Нефелиновые сиениты (хибиниты, рисчорриты, льявочорриты и фойяиты) по физическим свойствам не отличаются друг от друга и от уртитов, что снижает информативность геофизических методов. Эти породы в разрезе скважин слагают мощные, измеряемые сотнями метров, однородные по составу и свойствам толщи и, за редкими исключениями, не переслаиваются между собой. Хибиниты и рисчорриты являются подстилающими породами продуктивного комплекса, льявочорриты и фойяиты залегают всегда со стороны кровли рудовмещающих ийолит-уртитов. С учетом этой особенности пространственного размещения интрузий нефелиновых сиенитов в структуре массива для их диагностики привлечение результатов комплексного каротажа не является обязательным.

Некоторые затруднения возникают при интерпретации графиков ГГК-п, КМВ и ГК для разбраковки уртитов и их полевешпатовых аналогов от нефелиновых сиенитов, встречающихся совместно в рудной зоне месторождения Олений Ручей. При достаточном опыте геофизиков и геологов-интерпретаторов все же удается идентифицировать эти породы по характеру графиков плотностного, магнитного и гамма-каротажей. По материалам геологической и геофизической документации составляется геолого-геофизическая колонка, уточняется геологический разрез.

Из приведенного обзора следует, что методы комплексного каротажа эффективны при поисках и геолого-промышленной оценке месторождений комплексных апатитовых руд. Опытно-методические работы по выбору оптимального комплекса скважинных геофизических методов целесообразно проводить на стадии поисково-оценочных работ с учетом конкретных особенностей геологического строения и вещественного состава руд. При переходе к предварительной, а в последующем и детальной разведке комплексный каротаж, особенно ядерно-физиче-

ские методы исследования, следует рассматривать как основные виды работ.

Экономическая эффективность применения комплексного каротажа оценивается по разнице затрат на выполнение его и тех видов работ, необходимость в которых отпадает (химические анализы, определение физико-механических свойств пород и руд, некоторые виды гидрогеологических исследований, замена бурения скважин с отбором керна на бескерновое бурение, хранение керна и др.). Рассчитанный таким образом условный экономический эффект от внедрения только одного НАК¹⁶N при разведке Ньюоркпахкского месторождения составил 269,9 тыс. руб., или 8,7 % от фактических затрат. Если же учесть фактор повышения полноты, качества и достоверности геологоразведочной информации, то общая геолого-экономическая эффективность применения геофизических методов исследования значительно повысится.

В настоящее время рациональный комплекс геофизических методов исследования скважин для оценки содержаний основных (P_2O_5 и Al_2O_3) и попутных компонентов апатито-нефелиновых руд при подсчете запасов апробирован экспертно-техническим советом ГКЗ СССР. Мингео СССР рекомендовано распространить положительный опыт использования ядерно-физических методов при разведке других апатитовых месторождений Союза ССР.

ОПТИМАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ И РАЦИОНАЛЬНЫЕ ПРИЕМЫ
ПОДСЧЕТА ЗАПАСОВ

Количественная оценка запасов полезных ископаемых в недрах осуществляется на всех стадиях геологического изучения — от определения прогнозных ресурсов (категории P_1 — P_3) вплоть до учета движения разведанных запасов (категории А, В, C_1 , C_2) при добыче. В зависимости от степени изученности геологических условий залегания рудных тел, качественных и технологических характеристик полезного ископаемого, горнотехнических параметров эксплуатации применяются различные методические приемы при подсчете запасов.

Прогнозные ресурсы оцениваются по материалам комплексного геолого-геофизического обследования территории по аналогии с известными месторождениями того же формационно-генетического типа, причем учитывается степень соответствия предпосылок выявления полезного ископаемого с эталонной моделью (объектом).

При подготовке проектов на поисковые и разведочные работы для подсчета ожидаемых запасов используются представления о промышленном типе месторождения (поисково-оценочные работы), а также фактические данные по ограниченной сети разведочных выработок с включением зоны геологически обоснованной экстраполяции (на стадии разведки). При проектировании предварительной и детальной разведки оценивается возможный прирост запасов, а также определяются площади для перевода части запасов в высокие категории.

По результатам выполненных поисково-оценочных работ производится оперативный подсчет запасов для получения технико-экономических соображений (ТЭС), необходимых для предварительного вывода о промышленной значимости выявленного рудного объекта и целесообразности его более детального изучения. На завершающих этапах разведки осуществляется повариантный подсчет запасов основных и сопутствующих полезных компонентов с использованием различных параметров исходных данных, соответствующих возможным требованиям промышленности к комплексному освоению месторождения. По материалам повариантного подсчета составляются технико-экономические обоснования (ТЭО) временных и постоянных кондиций.

В процессе проведения разведочных работ неоднократно возникает необходимость оперативного подсчета запасов, подготовленных на заданный период времени в целом по месторождению или по его части для учета выполнения геологического задания по приросту (переводу) запасов. Взаимосвязанные исходные параметры, положенные в основу утвержденных в установленном порядке временных или постоянных кондиций, используются для подсчета запасов основных и сопутствующих компонентов в балансовых и забалансовых рудах по категориям разведанности и способам отработки на завершающих этапах предварительной и детальной разведки.

Наконец, в течение всего срока эксплуатации месторождения осуществляется периодический учет движения запасов, их потерь и разубоживания, определение достоверности данных разведки.

Таким образом, количественная оценка минерального сырья является стержневой операцией, сопровождающей весь период изучения и промышленного освоения каждого месторождения от его открытия и до полного погашения запасов.

Подсчет запасов включает ряд последовательных методических приемов и операций по подготовке, обработке исходных данных, оформлению и анализу конечных результатов. В работе обращается внимание на освещение тех методических приемов обработки и преобразования геологоразведочных данных, которые используются в практике подсчета запасов хибинских месторождений, но не рассмотрены в опубликованной литературе.

Кондиции для подсчета запасов

Ранее, до 1965 г., требования промышленности к апатито-нефелиновым рудам устанавливались отраслевым министерством на основе многолетнего опыта освоения Кукисвумчоррского месторождения без должных технико-экономических проработок. Прежние кондиции предусматривали только два основных параметра: бортовое и минимально допустимое для подсчетного блока (иногда, среднее по месторождению) содержание P_2O_5 в балансовых рудах (соответственно 18—12 и 20—18 %). Руды, не удовлетворяющие этим требованиям, относились к забалансовым.

В последние годы кондиции для подсчета запасов, проектирования рудников и учета запасов при добыче для руд эксплуатируемых и новых хибинских месторождений неоднократно пересматривались в ГКЗ СССР в установленном порядке. Введение новых кондиций вызвано резким увеличением потребности промышленности минеральных удобрений в высококачественном апатитовом концентрате, значительными изменениями в балансе запасов за счет подготовки новых месторождений комплексных апатито-нефелиновых руд, совершенствованием техники и технологии их добычи и обогащения, пересмотром оптовых цен на апатитовый концентрат.

В настоящее время для руд хибинских месторождений действуют кондиции, предусматривающие:

а) бортовое содержание P_2O_5 для оконтуривания запасов балансовых руд — 4, забалансовых руд — 2 %;

б) минимальное промышленное содержание P_2O_5 в подсчетном блоке: по эксплуатируемым месторождениям — 8,0—8,4, Ньюркпахк — 10, Олений Ручей — 8, Коашва — 7, Партомчорр — 4 %;

в) минимальную мощность рудных тел 6—8 м (для разных месторождений);

г) максимально допустимую мощность внутрирудных прослоев пустых пород и некондиционных руд, включаемых в контур балансовых запасов — 6—10 м.

Новые кондиции включают требования по комплексной оценке апатито-нефелиновых руд, по учету выхода труднообогатимых «окисленных» (шпреуштейнизированных) руд по каждому подсчетному блоку, устанавливают предельную глубину подсчета запасов (от абс. отметки — 600 м для месторождения Партомчорр до — 1000 м — для Коашвинского месторождения), предусматривают предельный коэффициент вскрыши для запасов открытой добычи, а также необходимость учета запасов вскрышных пород.

Геологические обоснования временных и постоянных кондиций по материалам предварительной и детальной разведок включают повариантный подсчет запасов основных и попутных полезных компонентов апатито-нефелиновых руд при бортовых содержаниях P_2O_5 от 2 до 8 % (четыре варианта подсчета). В ТЭО кондиций для бедных руд Партом-

чоррского месторождения рассмотрены пять вариантов подсчета (от 2 до 6 % с шагом через 1 % P_2O_5). Нижний предел бортового содержания принимается равным среднему содержанию P_2O_5 в продуктах обогащения действующих АНОФ; верхний вариант бортового содержания соответствует кондициям, установленным на период подготовки ТЭО. Разделение запасов по способам обработки (открытая и подземная добыча) производится не на стадии повариантного подсчета, а при составлении ТЭО.

Повариантный подсчет запасов для ТЭО кондиций выполняется по принятой в геологоразведочной практике методике, однако специфика подготовки и обработки исходных данных, а также оформления результатов подсчета вызвали необходимость рационализации некоторых методических приемов, вычислительных операций и способов графического отображения.

Выбор оптимального метода подсчета запасов

В отечественной геологоразведочной практике известно около 20 методов подсчета запасов и их модификаций, основанных на принципах: а) замены (преобразования) сложных природных форм рудных залежей (пластов, линз, складок и др.) равновеликими по объему и простыми геометрическими фигурами; б) экстраполяции геологоразведочных данных (мощности, содержания компонентов) по выработке (рудному пересечению) на соседние участки.

Достоверность результатов подсчета, таким образом, находится в тесной зависимости от адекватности выбранного метода установленной в процессе разведки геологической модели месторождения и от применявшейся системы разведки, т. е. от взаимного расположения разведочных выработок. Использование того или иного метода определяется не простотой или удобством выполнения подсчетных операций, а зависит от учета объективных факторов.

Среди геологов-разведчиков укоренилось мнение о том, что все запасы конкретного месторождения должны быть подсчитаны одним из выбранных методов, о недопустимости применения разных методов для оценки запасов на отдельных участках, даже если такие участки отличаются между собой по морфологии рудных тел, по характеру распределения полезных компонентов, по геометрии разведочной сети. Вместе с тем ошибочность этого требования очевидна: трудно представить себе природный объект, в пределах которого все участки (апикальные части, корневые зоны, фланги) по особенностям строения или по изменчивости качества руд не отличались бы от центральных частей месторождения. Кроме того, в процессе разведки приходится отступать от формального принципа соблюдения строгой упорядоченности взаимного расположения выработок, сгущать их на участках сложного строения или разрывать разведочную сеть, где это возможно. В условиях резко расчлененного горного рельефа не всегда представляется необходимым закладывать скважины в узлах разведочной сети, широко применяется многоствольное и наклонно-направленное бурение скважин. В этих случаях в связи со значительными зенитными и азимутальными искривлениями не всегда удается соблюсти без искажения параметры разведочной сети. Особенно видоизменяется порядок взаимного расположения рудных пересечений при разведке многоярусных рудных зон (рис. 45).

Таким образом, использование комбинированных методов не только не противоречит, а наоборот, полностью согласуется с методическими принципами подсчета запасов (адекватность метода геологической модели и системы разведки). В практике геолого-промышленной оценки хибинских месторождений в разные периоды применялись различные методы подсчета запасов (табл. 35), в том числе комбинированные.

Например, в 1965—1966 гг. при пересчете запасов месторождений юго-западного рудного поля по новым кондициям запасы категорий А и В, разведанные по системе параллельных профилей на стадии эксплуатационной разведки, подсчитывались методом разрезов, а запасы категорий С₁ и С₂ на глубоких горизонтах с менее упорядоченной сетью скважин оценены методом геологических блоков.

Необычный способ ориентировочной оценки запасов по «формуле полудиска» слабо изученных к тому времени месторождений Хибинского массива использован Л. Б. Антоновым [1]. Запасы

$$Q = (1/3)\pi r^2 md,$$

где r — радиус диска, м, равный 1/2 установленной длины рудной «линзы» по простиранию; m — средняя мощность рудной линзы, м; d — объемная масса руд, 3 т/м³.

Подсчет запасов по этой формуле предполагает, что апатитовая залежь, имеющая форму диска, наполовину эродирована. Понижающий коэффициент 1/3 вместо 1/2 в «формуле полудиска» принят с учетом

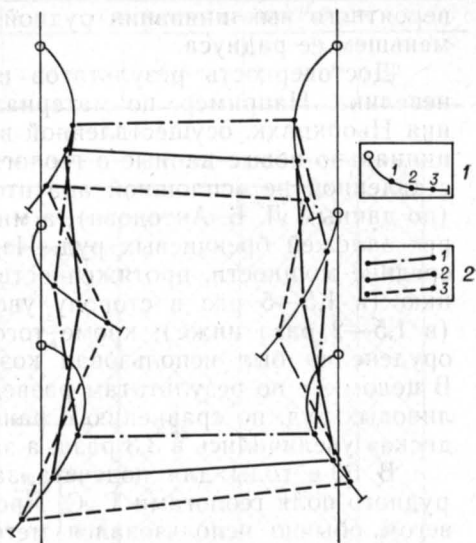


Рис. 45. Влияние искривления скважин на форму блоков рудных тел.

1 — точки пересечения рудных тел 1, 2 и 3 осью скважины; 2 — контуры подсчетных блоков рудных тел 1, 2 и 3.

Таблица 35

Применяемые методы подсчета запасов хибинских месторождений

Метод	Месторождение	Год	Автор
1. Метод изогипс	Кукисвумчорр	1930	М. П. Фивег
2. Формула полудиска	Ньоркпахк и др.	1934	Л. Б. Антонов
3. Метод треугольников	Кукисвумчорр	1935	Л. Б. Антонов
4. Метод вертикальных разрезов	Юкспор	1934	Г. С. Пронченко
5. Метод геологических блоков	Кукисвумчорр	1951	Л. Б. Антонов
	Апатитовый Цирк	1952	Л. Б. Антонов
	Плато Расвумчорр	1956	Л. Б. Антонов
	Коашва	1972	Е. А. Каменев
6. Комбинация методов: разрезов (категории А+В) и блоков (С ₁)	Партомчорр	1978	И. И. Перекрест
	Эксплуатируемые месторождения (пересчет запасов)	1965—1966	А. С. Михенчев, И. И. Перекрест
7. Метод изомощностей*	Эвслогчорр	1979	Е. А. Каменев
8. Метод В. М. Борзунова (однородного геологического разреза)	Ньоркпахк	1975	Е. А. Каменев
	Юкспор	1978	И. П. Паньшин
	Апатитовый Цирк	1983	Е. А. Каменев
	Плато Расвумчорр	1983	Е. А. Каменев
	Олений Ручей	1985	Е. А. Каменев, А. С. Фаныгин

* Подсчет запасов месторождения Эвслогчорр по материалам предварительной разведки выполнялся семью методами: основной метод — изомощностей, контрольные — разрезов, блоков, изогипс, треугольников, многоугольников и среднего арифметического.

вероятного выклинивания рудной «линзы» по падению на расстоянии, меньшем ее радиуса.

Достоверность результатов подсчета этим упрощенным способом невелика. Например, по материалам детальной разведки месторождения Ньюоркпахк, осуществленной в 1972—1975 гг., были получены принципиально новые данные о геологической структуре рудной зоны, представленной не «сплошной апатитовой линзой» богатых пятнистых руд (по данным Л. Б. Антонова), а многоярусной зоной, состоящей из четырех залежей брекчиевых руд. Изменились все подсчетные параметры: средние мощности, протяженность залежей по простиранию и по падению (в 1,5—5 раз в сторону увеличения), содержание P_2O_5 в рудах (в 1,5—2 раза ниже); кроме того, в связи с брекчиевым характером оруденения был использован коэффициент рудоносности (0,88—0,93). В целом же по результатам разведки запасы балансовых апатито-нефелиновых руд, по сравнению с ранее подсчитанными по «формуле полудиска» увеличились в 3,3 раза, а запасы P_2O_5 удвоились.

В 30-е годы для подсчета запасов месторождений юго-западного рудного поля геологами Г. С. Пронченко, С. А. Ступаковым, М. П. Фивегом обычно использовался метод изогипс залежей по простиранию и нижнего контактов апатитовой залежи. Изогипсы проводились на топооснове масштаба 1 : 2000—1 : 10 000 с шагом 10—20 м по редкой сети скважин. Запасы исчислялись путем умножения площадей горизонтальных сечений на расстояния между ними и объемную массу.

Применяемые в настоящее время при разведке хибинских месторождений методы подсчета запасов подробно освещены в специальной литературе и в практических руководствах [23, 33, 34]. Однако многолетний коллективный опыт подготовки к освоению месторождений апатито-нефелиновых руд убеждает в необходимости авторской доработки отдельных приемов и операций для более полного учета особенностей разведываемого объекта.

Исходные данные для подсчета запасов

Подготовка исходных данных для количественной и качественной оценки запасов включает операции по оконтуриванию в трехмерном пространстве (площадь распространения, мощность) балансовых и забалансовых руд, вычисление мощностей рудных и безрудных интервалов по разведочным выработкам, расчет средних содержаний полезных компонентов в соответствии с параметрами кондиций, обоснование величины объемной массы руд, принимаемой для перевода запасов из объемных в весовые единицы.

Операции по оконтуриванию запасов начинаются с выделения рудных и безрудных (с некондиционным содержанием P_2O_5) интервалов по данным опробования разведочной выработки. Если между рудами и околорудными породами имеются резкие контакты или плавные взаимопереходы, фиксируемые по результатам опробования, граница между ними проводится по пробам с заданными кондициями содержаниями P_2O_5 (рис. 46, верхняя часть интервала). В более сложных случаях, при неравномерном распределении оруденения (средняя и нижняя части интервала) алгоритм процедуры по оконтуриванию заключается в выделении рудных и безрудных интервалов и в многократной попарной проверке их на кондиционность с целью исключения группы подряд расположенных некондиционных проб общей мощностью более предельно допустимой для безрудного интервала. В общем виде задача по оконтуриванию рудных интервалов по выработке (пересечению) состоит в том, чтобы обеспечить условия кондиций по совокупности параметров: бортовому содержанию, мощности рудной залежи и не допустить включения в подсчетный контур прослоев некондиционных руд (табл. 36).

Интервал, м			Содержание P_2O_5			Бортовое содержание P_2O_5 , %			
От	До	Длина	%	м. %	Группа проб	8	6	4	2
0	2	2	1	2	—				
2	4	2	3	6	—				
4	6	2	5	10	—				
6	8	2	7	14	—				
8	11	3	13	39	13,00				
11	13	2	16	32	14,20				
13	16	3	20	60	16,38	15			
16	18	2	14	28	15,90	14,47			
18	21	3	10	30	14,54				
21	23	2	14	28	14,47		31		
23	24	1	3	3	3,00		11,65		
24	26	2	6	12	5,00	10		37	
26	28	2	5	10	5,00	6,40		10,65	
28	30	2	9	18	6,14	14			56
30	33	3	7	21	6,40	9,29			9,22
33	34	1	30	30	8,73	4			
34	37	3	12	36	9,29	16,5			
37	40	3	3	9	3,00				
40	41	1	14	14	5,75				
41	44	3	2	6	4,14	12		10	
44	47	3	3	9	3,80	4,00		3,80	
47	49	2	5	10	4,00	17			13
49	52	3	15	45	6,20	7,59			8,15
52	54	2	18	36	7,59	5		7	
54	56	2	3	6	3,00	16,2		13,00	
56	58	2	2	4	2,50				
58	60	2	1	2	—				

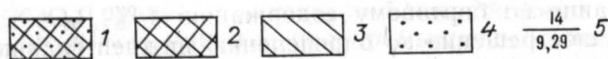


Рис. 46. Оконтурирование рудных интервалов по вариантам кондиций.

1 — кондиционный рудный интервал (при заданном варианте бортового содержания P_2O_5); 2 — рудный интервал с прослоем некондиционных руд; 3 — рудный интервал некондиционной мощности; 4 — внутрирудный прослой с некондиционным содержанием P_2O_5 ; 5 — длина интервала, м (числитель), содержание P_2O_5 , % (знаменатель).

При неравномерном распределении оруденения встречаются сложные комбинации сочетания рудных и нерудных проб, вызывающие неоднозначные решения о правомерности их включения в подсчетный контур. Это связано с тем, что отдельные параметры кондиций действуют не изолированно, а во взаимосвязи, накладывают дополнительные ограничения на применение их в совокупности.

Рассмотрим сложный пример оконтурирования интервала с неравномерным оруденением при условии последовательного снижения бортового содержания P_2O_5 от 8 до 2 % (четыре варианта) при заданных параметрах мощности рудных тел 9 м и безрудных (некондиционных) прослоев 9 м (рис. 46).

На глубине 8—23 м по данным опробования оконтурен рудный интервал мощностью 15 м со средним содержанием P_2O_5 14,47 %. Ниже до глубины 37 м выделяется группа проб с содержанием 9,29 % на мощность 14 м, которая, однако, не удовлетворяет верхнему варианту

**Последовательность операций по оконтуриванию интервалов
с неравномерным оруденением**

Последовательность операций	Соответствие условиям кондиций по мощности и бортовому содержанию P_2O_5	
	Удовлетворяют	Не удовлетворяют
1. Выделение рудного интервала по группе рудных проб (группа А)	Закрепляется верхняя граница группы А	Поиск продолжается
2. Присоединение следующей за рудным интервалом (А) группы безрудных проб (группа В) мощностью менее кондиционной для безрудных прослоев	Группы А+В объединяются в рудный интервал (временно). Поиск продолжается	Группы А+В забраковываются
3. Выделение рудного интервала по группе рудных проб (группа В)	Группы А+Б+В объединяются в рудный интервал (временно закрепляется нижняя граница по группе В)	Поиск возобновляется с выделения рудного интервала по группе В
4. Поиск нижней границы рудного интервала (проверка на кондиционность группы Б+В)	Закрепляется нижняя граница групп А+Б+В, которые рассматриваются как один рудный интервал	Группы Б+В забраковываются

кондиций, так как включает прослой некондиционных руд (23—33 м) с низким содержанием компонента (6,4 % P_2O_5).

По этой же причине неравномерным является включение в контур подсчета при бортовом содержании 6 % P_2O_5 приращиваемого интервала 37—54 м (среднее содержание P_2O_5 7,59 %), включающего некондиционный прослой (4,0 % P_2O_5) мощностью 12 м.

Оконтуривание по бортовому содержанию 4 % P_2O_5 также вызывает неоднозначное решение по определению нижней границы оруденения. С одной стороны, содержание P_2O_5 в интервале 37—41 м удовлетворяет параметрам кондиций в группе краевых проб; однако проведение нижней границы оруденения на глубине 54 м является ошибочным в связи с низким содержанием P_2O_5 в прослое 37—47 м (3,8 %). Методически обоснованным является ограничение интервала на глубине 41 м. Таким образом, при выделении рудных пересечений по выработке с соблюдением совокупности кондиционных требований по различным вариантам подсчета возможны случаи, когда среднее содержание полезного компонента в группе краевых проб превышает заданное кондициями (в приведенном примере среднее содержание P_2O_5 в приращиваемых интервалах между вариантами кондиций составляет: от 8 до 6 % P_2O_5 — 9,29 %; от 6 до 4 % P_2O_5 — 7,59 %; от 4 до 2 % P_2O_5 — 8,15 %).

При определении площади распространения балансовых и забалансовых руд принято различать «нулевые» и «промышленные» контуры. «Нулевыми» контурами являются геологические границы рудных тел (участки выклинивания). «Промышленные» контуры проводятся в соответствии с кондициями внутри геологических границ. Поэтому оконтуриванию запасов должно предшествовать обоснованное геологическое структурное моделирование рудного поля, месторождения, отдельных рудных тел.

Номера вариантов сочетаний подсчетных параметров
(мощности и содержания P_2O_5) в законтурной выработке

Содержание P_2O_5 по рудному интервалу	Мощность рудного интервала		
	Выше кондиционной (M)	Ниже кондиционной (m)	Безрудная выработка
Ниже бортового для балансовых руд	1	2	7
Выше бортового, но ниже минимального для подсчетного блока	3	4	7
Выше бортового и минимального для подсчетного блока	5	6	7

Для проведения внешнего («нулевого») контура используются установленные при разведке данные о характере выклинивания рудных тел по простиранию (на флангах), по падению и по восстанию. Линия, соединяющая опорные точки выклинивания, соответствует контуру с «нулевой» мощностью.

Оконтуривание «промышленных» запасов осуществляется по естественному углу выклинивания на минимальную мощность залежи, предусмотренную кондициями, или методом интерполяции между выработками, вскрытыми кондиционное и некондиционное оруденение. В зависимости от возможного сочетания подсчетных параметров (мощности и содержания P_2O_5) в законтурной выработке используются различные приемы интерполяции (табл. 37).

Опорные точки подсчетного контура между выработками с кондиционной (M) и некондиционной (m) мощностями рудной зоны определяются по формуле:

$$l = \frac{m_{\min} - m}{M - m} L,$$

где l — расстояние опорной точки от законтурной выработки, м; L — расстояние между рудной и законтурной выработками (интервал интерполяции), м; m_{\min} — минимальная промышленная мощность рудной залежи, м.

Вариант 1. Рудное пересечение включается в контур забалансовых руд; внешний контур забалансовых запасов экстраполируется за краевую выработку по естественному углу выклинивания.

Вариант 2. Внешний контур забалансовых запасов определяется интерполяцией от краевой на внутриконтурную выработку; в последней для расчета принимается суммарная мощность балансовых и забалансовых руд.

Вариант 3. Включение в контур подсчета балансовых запасов краевой выработки с содержанием P_2O_5 ниже минимального промышленного для подсчетного блока недопустимо, так как при этом присоединяется часть запасов низкого качества, отработка которых не рентабельна. В. М. Борзунов [3] считает методически оправданным приемом включение в подсчетный контур единичных выработок с содержанием P_2O_5 ниже минимального промышленного (или выработок, вскрывших некондиционное по мощности оруденение) только в том случае, если по их взаимному расположению нельзя выделить часть запасов (подблок) некондиционных руд. Это правило не распространяется на краевые выработки.

В практике подсчета запасов хибинских месторождений используется прием оконтуривания по методу «блуждающего борта». Он заключается в том, что в пределах рудного пересечения с непромышленным (для подсчетного блока) оруденением выделяется интервал меньшей мощности, но с кондиционным качеством. При этом возможны случаи, предусмотренные вариантами 5 или 6.

Вариант 5. Рудное пересечение включается в контур балансовых запасов, внешняя граница определяется экстраполяцией.

Вариант 6. Проводится интерполяция на минимальную мощность (m_{\min}), установленную кондициями между краевой (m) и ближайшей внутриконтурной (M) выработками.

Вариант 7. Для построения внешнего контура между рудной и полностью безрудной выработками используется способ «ограниченной» интерполяции [34]: на 1/2 расстояния между такими выработками находится опорная точка с условной «нулевой» мощностью, от которой производится интерполяция в сторону рудной выработки на «промышленную» мощность (M_{\min}). Однако этот способ имеет ограничения, не допускающие интерполяции между выработками, удаленными на расстояние, превышающее параметры разведочной сети для данной категории запасов. Например, при плотности разведочных выработок $200 \times 100 - 200$ м, необходимой для оконтуривания запасов категории C_1 , расстояние между рудной и полностью безрудной выработками не должно превышать $200 - 400$ м по простиранию и $100 - 200$ м в направлении вкрест простирания. Если это условие не обеспечивается, необходимо понижать категорию разведанности в контуре интерполяции.

На рис. 47 показано изменение «промышленного» контура 1-го рудного горизонта Коашвинского месторождения при вариантах бортовых содержаний P_2O_5 8—6—4—2 %.

Вычисление средних значений мощностей рудной залежи и содержаний полезных компонентов P_2O_5 и Al_2O_3 (общей и кислотнорастворимой) для подсчета запасов осуществляется разными методами:

а) по выработке (рудному пересечению) по данным опробования или интерпретации каротажных диаграмм в соответствии с требованиями кондиций (бортовое содержание P_2O_5 , минимальная мощность рудной залежи и максимально допустимая мощность внутрирудных прослоев). Сложные случаи оконтуривания неравномерного оруденения по выработке рассмотрены выше (рис. 44, табл. 36).

Для пересчета пересеченной скважиной мощности на вертикальную ($m_{\text{верт}}$) применяется формула

$$m_{\text{верт}} = m (\cos \alpha \pm \sin \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta \cdot \cos \gamma),$$

где m — пересеченная мощность, м; α — зенитный угол скважины на интервале рудного тела, β — угол падения рудного тела на том же интервале; γ — угол между азимутом скважины (апсидальной плоскостью) и азимутом падения рудного тела ($0^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$). Знак (+) применяется в том случае, когда ось скважины направлена навстречу падению рудного тела, знак (—) — если ось скважины направлена в сторону падения (т. е. «вдгонку» рудного тела).

В пределах разведываемого месторождения азимуты простирания и падения залежи изменяются в среднем на 4° на 1-км отрезке длины, поэтому для расчета обычно применяется средний азимут падения (по направлению разведочного профиля). Угол падения залежи на интер-

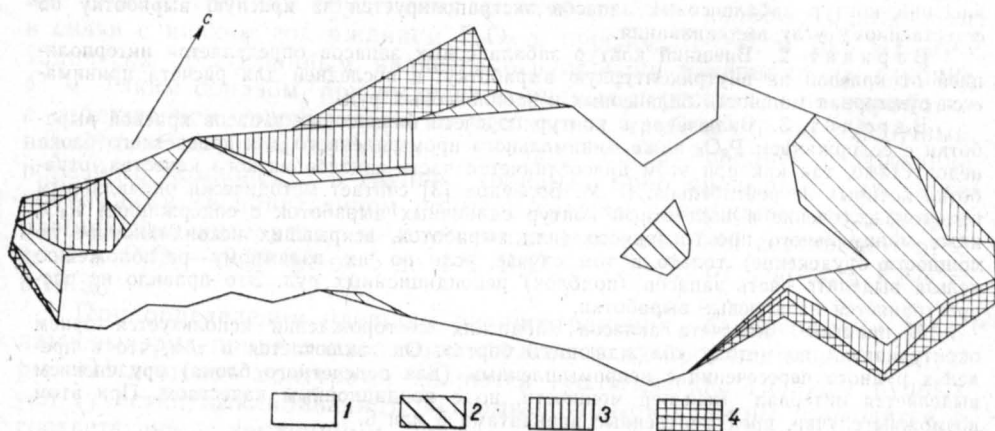


Рис. 47. Изменение площади распределения руд в зависимости от варианта бортового содержания P_2O_5 .

P_2O_5 , %: 1—8, 2—6, 3—4, 4—2.

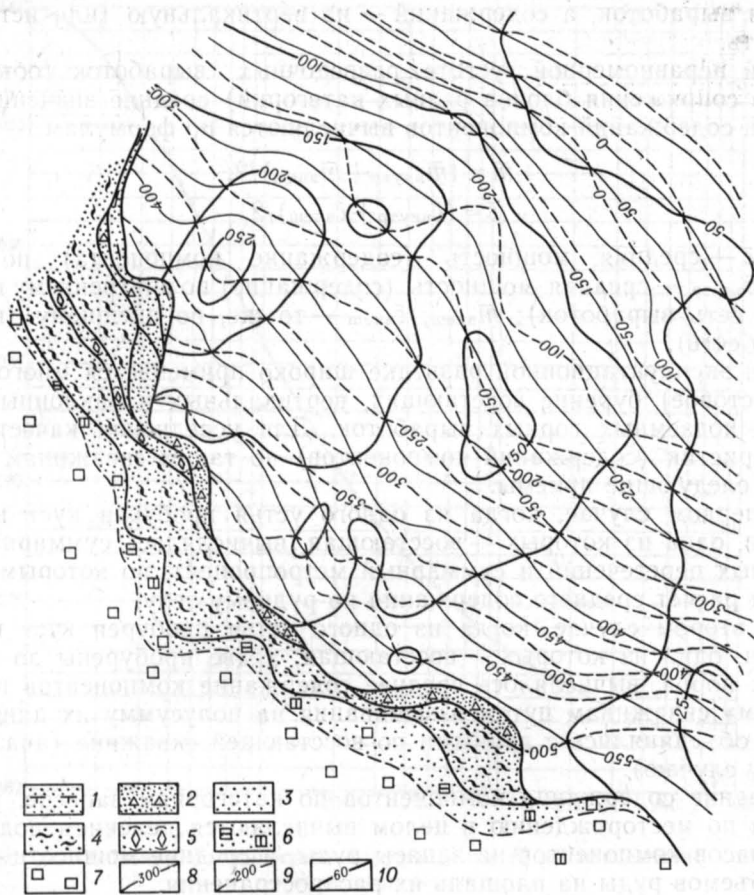


Рис. 48. Пример построения плана изомощностей рудной залежи (10) по точкам пересечения изогипс ее кровли (8) и подошвы (9).

1—7 — обозначения см. на рис. 4; 8 — изогипсы кровли (верхнего контакта); 9 — то же подошвы (нижнего контакта); 10 — изолинии мощности.

вале пересечения определяется интерполяцией по разрезу на ближайšie скважины (по падению и по восстанию).

Вертикальную мощность для подсчета запасов можно определить также графически (рис. 48). Для этого по точкам входа и выхода оси скважины в (из) рудное тело отстраиваются планы изогипс верхнего и нижнего контактов. В точках пересечения изогипс по разнице абсолютных отметок определяется вертикальная мощность залежи, используемая для построения планов изолиний равных мощностей (изопахит). Графический способ обладает рядом преимуществ перед расчетным, так как планы изогипс и изопахит дают наглядное представление о морфологии залежи, облегчают выделение геологически однородных подсчетных блоков;

б) по подсчетному блоку — методами среднеарифметического (по количеству рудных пересечений) или средневзвешенного (на длину влияния замера по выработке). Метод среднеарифметического рекомендуется применять при равномерном размещении выработок на площади блока и при незакономерном (случайном) распределении значений мощности и содержания P_2O_5 по выработкам. Если в процессе разведки установлено направленное изменение одного или обоих подсчетных параметров, необходимо взвешивать величины мощностей на длину

влияния выработок, а содержаний — на вертикальную (или истинную) мощность.

При неравномерной густоте разведочных выработок (обычно на границе сопряжения блоков разных категорий) средние значения мощностей и содержаний компонентов вычисляются по формулам:

$$\bar{m} = (\bar{m}_{\text{внутр}} + \bar{m}_{\text{внеш}}) / 2;$$

$$\bar{c} = (\bar{c}_{\text{внутр}} + \bar{c}_{\text{внеш}}) / 2,$$

где \bar{m} , \bar{c} — средняя мощность (содержание компонента) по блоку; $\bar{m}_{\text{внутр}}$, $\bar{c}_{\text{внутр}}$ — средняя мощность (содержание) по внутреннему контуру (густая сеть выработок); $\bar{m}_{\text{внеш}}$, $\bar{c}_{\text{внеш}}$ — то же, по внешнему контуру (редкая сеть).

При эксплуатационной разведке широко применяется многоствольное (кустовое) бурение восстающих, вертикальных и наклонных скважин из подземных горных выработок. Для усреднения качественных характеристик (содержаний компонентов) по таким скважинам применяются следующие приемы.

В первом случае, когда из одного устья пробурен куст из двух скважин, одна из которых — восстающая, вычислялась суммарная длина рудных пересечений и суммарный метропроцент, по которым производился расчет среднего содержания по рудному телу.

Во втором случае, когда из одного устья пробурен куст из трех скважин, одна из которых — восстающая, а две пробурены до подстилающих пород, вычислялось среднее содержание компонентов по двум «нижним» скважинам путем взвешивания на полусумму их длин и эти данные объединялись с данными по восстающей скважине (аналогично первому случаю).

Средние содержания компонентов по категориям запасов, рудным телам и по месторождению в целом вычисляются делением подсчитанных запасов компонентов на запасы руды, а средние мощности — делением объемов руды на площадь их распространения.

Измерения площадей блоков или рудных сечений выполняются на геолого-подсчетных планах или разрезах масштаба 1:2000 графически (путем разбивки на простые фигуры) или планиметрированием двумя исполнителями. В расчет принимается среднее значение площади, если расхождение между двумя измерениями не превышает ± 1 отн. %. При автоматизированном подсчете запасов расчет площадей выполняется на ЭВМ по координатам x и z угловых точек (k) замкнутого контура по формуле

$$S = (1/2) \sum x_k (z_{k+1} - z_{k-1}),$$

где S — площадь, м².

При расчете средних площадей между двумя или n сечениями применяется поправочный коэффициент K , учитывающий неравенство сечений (рис. 49). При использовании метода однородного геологического разреза [3] коэффициент K применяется $n-1$ число раз.

Вычисление объемов блоков производится по обычной методике.

При сложной конфигурации подсчетных блоков объемы определяются суммированием подблоков простой формы.

Применяемые в практике подсчета запасов методом геологических разрезов формулы конуса (пирамиды) или клина для вычисления объемов блоков, заключенных между сечением S и краевой выработкой, вскрывшей m — мощность, дают искаженные (заниженные) результаты, так как не учитывают мощность залежи по такой выработке (рис. 50). Для более правильного учета объемов рекомендуется разбивка блока ($V_{\text{бл}}$) на два подблока (V_1 и V_2):

$$V_{\text{бл}} = V_1 + V_2 = (1/3)Sl + (1/3)Pm,$$

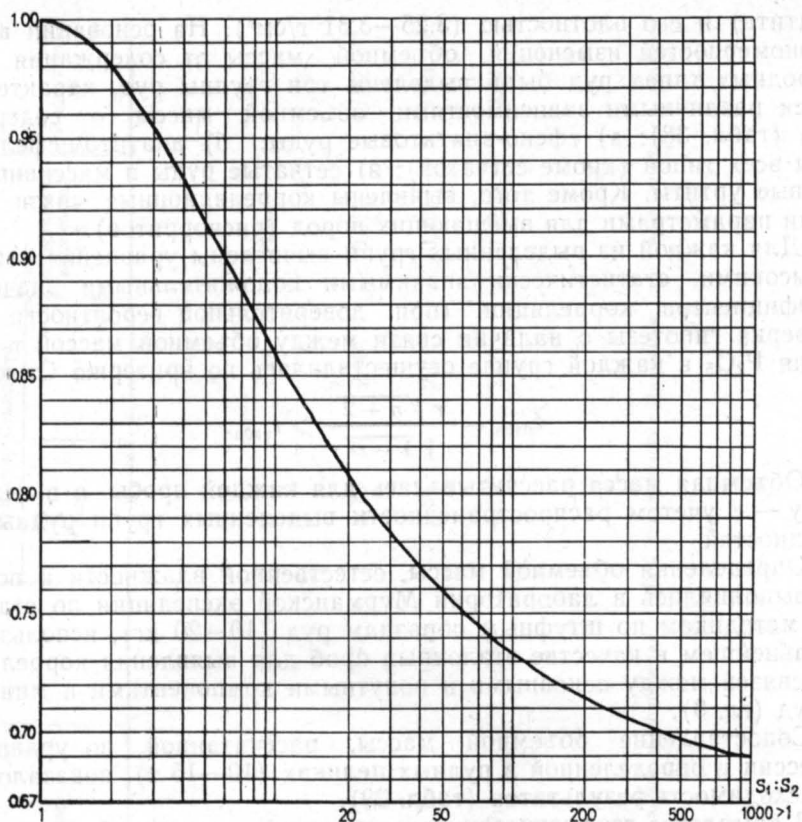


Рис. 49. Значения поправочного коэффициента K на неравенство площадей рудных сечений.

где $V_{\text{бл.}}$, V_1 , V_2 — объемы блока и составляющих его подблоков, м^3 ; S — площадь подсчетного сечения (на разрезе), м^2 ; l — расстояние между сечением и краевой выработкой, м ; P — площадь треугольника (на плане) между сечением и выработкой, м^2 ; m — вертикальная мощность залежи по выработке, м .

Методика определения объемной массы руд (σ) основана на использовании функциональной зависимости между содержанием P_2O_5

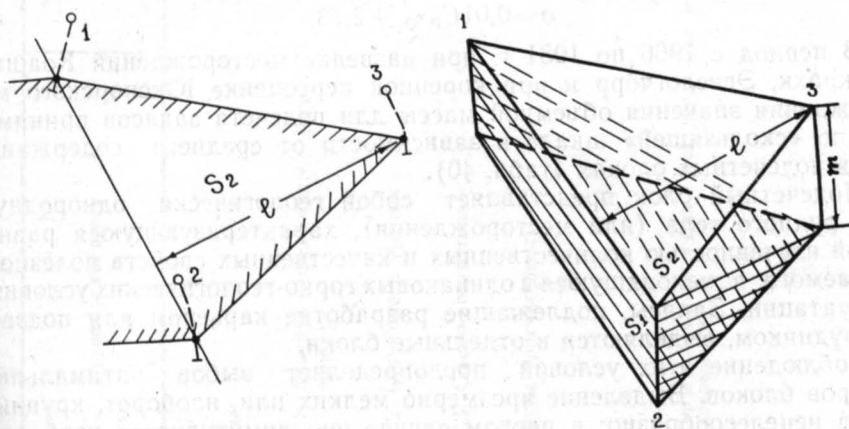


Рис. 50. Схема разделения подсчетного подблока, опирающегося на сечение и выработку, на простые фигуры (клина на две пирамиды).

(апатита) и его плотностью (3,25—3,31 г/см³). На основании анализа закономерностей изменения объемной массы от содержания P₂O₅ в природных типах руд были выделены три группы руд, характеризующиеся различными зависимостями объемной массы от содержания P₂O₅ (табл. 38): а) сфено-апатитовые руды; б) апатито-нефелиновые руды всех типов (кроме сетчатой); в) сетчатые руды и массивные апатитовые уртиты. Кроме того, выявлены корреляционные связи между этими параметрами для вмещающих пород (рисчорритов).

Для каждой из выделенных групп вычислены уравнения регрессии с высокими, статистически значимыми положительными значениями коэффициентов корреляции (при доверительной вероятности 95 %). Проверка гипотезы о наличии связи между объемной массой и содержанием P₂O₅ в каждой группе осуществлялась по критерию Стьюдента:

$$t_{\text{расч}} = \frac{r \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} > t_{\text{табл.}}$$

Объемная масса рассчитывалась для каждой пробы, а в целом по блоку — с учетом распространенности выделенных групп рудных разновидностей.

Определения объемной массы, естественной влажности и пористости выполнялись в лаборатории Мурманской экспедиции по стандартным методикам по штучным образцам руд (10—20 кг), используемым в дальнейшем в качестве эталонных проб для выявления корреляционных связей между основными и попутными компонентами и минералами руд (гл. 8).

Сопоставление объемной массы, рассчитанной по уравнениям регрессии и определенной в рудных целиках (10—15 т), показало хорошую сходимость результатов (табл. 39).

В комплексе геофизических исследований скважин объемная масса руд и вмещающих пород определяется методом гамма-гамма плотностного каротажа (ГГК-п), апробированным экспертно-техническим советом ГКЗ СССР в качестве основного для подсчета запасов апатито-нефелиновых руд.

Ранее, до 1966 г., при подсчете запасов применялись средние значения объемной массы в целом по месторождению для балансовых руд 2,92 т/м³, для забалансовых 2,80 т/м³, которые использовались на рудниках объединения «Апатит» при списании запасов при добыче. Однако, если среднее содержание P₂O₅ (С) в учетной единице запасов отличалось более чем на 3 абс. % от среднего по месторождению, объемная масса (σ) рассчитывалась по формуле; т/м³,

$$\sigma = 0,01C_{P_2O_5} + 2,73.$$

В период с 1966 по 1981 г. при разведке месторождений Коашва, Ньюрпахк, Эвеслогчорр и при коренной переоценке Юкспорского месторождения значения объемной массы для подсчета запасов принимались по «скользящей» шкале в зависимости от среднего содержания P₂O₅ в подсчетных блоках (табл. 40).

Подсчетный блок представляет собой геологически однородную часть рудного тела (или месторождения), характеризующуюся равномерной изученностью количественных и качественных свойств полезного ископаемого и находящуюся в одинаковых горно-геологических условиях эксплуатации. Запасы, подлежащие разработке карьером или подземным рудником, выделяются в отдельные блоки.

Соблюдение этих условий предопределяет выбор оптимальных размеров блоков. Выделение чрезмерно мелких или, наоборот, крупных блоков нецелесообразно: в первом случае оно лимитируется необходимым объемом разведочной информации для достоверного определения подсчетных параметров; во втором случае укрупнение блоков может

Уравнения регрессии между объемной массой и содержанием P_2O_5

Группа руд и пород	n	Уравнение регрессии	r	Критерий Стьюдента		Естественная влажность, отн. %	Пористость, %
				t _{расч}	t _{табл}		
Руды:							
1. Апатито-нефелиновые (всех типов)	143	$2,757 + 0,011 P_2O_5$	0,85	26,06	1,98	0,195	1,32
2. Сегчатые и ургиты	65	$2,74 + 0,02 P_2O_5$	0,74	8,73	2,00	0,312	1,337
3. Сфено-апатитовые	24	$2,94 + 0,02 P_2O_5$	0,49	2,64	2,07	0,227	1,69
Породы (рисчорриты)	28	$2,634 + 0,092 P_2O_5$	0,55	4,18	2,06	0,62	2,24

Примечание. Для всех групп руд и пород связь между объемной массой и содержанием P_2O_5 статистически значимая; n — число проб; r — коэффициент корреляции.

Сопоставление расчетных данных и результатов определения
объемной массы в рудных целиках

Кратное определение природных типов руд и содержание в них P_2O_5 , %	Объемная масса, т/м ³	
	Расчетная (штуфы)	Фактическая (целик)
Брекчия: ксенолиты — апатито-нефелиновые руды; це- мент — сфено-apatитовые руды (10,18)	2,87	2,99
Линзовидно-полосчатая руда (22,05)	3,14	2,98
Пятнистая руда с жилами уррита (27,09)	3,00	3,07
	3,05	3,07

Примечание. Естественная влажность в рудных целиках 0,5 отн. %.

привести к нарушению принципа однородности свойств полезного ископаемого или условий добычи на отдельных участках блока. В зависимости от категорий разведанности оптимальные размеры блоков (применительно к хибинским месторождениям) должны соответствовать производительности рудников за периоды: 1—2 года (категория А); 3—5 лет (категория В) и 5—10 лет (категория С₁).

Запасы блоков высоких категорий (А и В) оконтуриваются по выработкам и не интерполируются; для категории С₁ допускается частичная интерполяция запасов между выработками или ограниченная экстраполяция (не более чем на 1/2 расстояния между ними); запасы категории С₂, как правило, находятся в зоне геологически обоснованной экстраполяции.

Данные о плотности разведочной сети для подсчета запасов апатито-нефелиновых руд хибинских месторождений 1-й и 2-й групп сложности приведены в табл. 41.

Разведка запасов высоких категорий проводится на участках первоочередной отработки, которые согласовываются с проектирующей организацией по результатам предварительной разведки на стадии подготовки ТЭО временных кондиций. Требования к детальности изучения морфологии и внутреннего строения месторождений, качества и технологических свойств руд, горно-геологических и других природных условий их освоения регламентируются «Классификацией запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» (ГКЗ СССР, 1981). Соотношение между запасами категорий А : В : С₁ для месторождений 1-й группы (10 : 20 : 70) и категорий В : С₁ для 2-й группы (20 : 80) должно быть обеспечено для запасов, подлежащих как открытой, так и подземной отработок.

Таблица 40

Зависимость объемной массы руд от содержания в них P_2O_5
(по результатам измерений в образцах керна)

Класс содержаний P_2O_5 , %	Объемная масса, т/м ³	Класс содержаний P_2O_5 , %	Объемная масса, т/м ³	Класс содержаний P_2O_5 , %	Объемная масса, т/м ³
До 2	2,67	7—8	2,79	13—14	2,91
2—3	2,69	8—9	2,81	14—15	2,92
3—4	2,71	9—10	2,83	15—16	2,93
4—5	2,73	10—11	2,85	16—17	2,94
5—6	2,75	11—12	2,87	17—18	2,95
6—7	2,77	12—13	2,89	18—19	2,96

Таблица 41

Нормативные и применяемые параметры разведочной сети, м

Группа месторождений по сложности строения (месторождения)	Направление (по падению, простиранию)	Параметры сети для категорий		
		A	B	C ₁
1-я, норматив	Падение	100—150	200—300	300—400
	Простирание	150—250	400—500	600—800
Кукисумчорр, Юкс-пор	Падение	50—100	100—200	200—300
Апатитовый Цирк, Плато Расвумчорр	Простирание	100—150	250—300	500—600
Партомчорр	Падение	50—100	100—200	300—400
Эвеслогчорр	Простирание	150—250	300—400	500—600
2-я, норматив	Падение	—	50—100	100—200
	Простирание	—	100—200	200—400
Коашва, Ньюрпахк, Олений Ручей	Падение	—	50—75	100—150
	Простирание	—	150—200	300—400

Таблица 42

Нормативное и фактическое соотношение запасов по категориям разведанности хибинских месторождений

Группа месторождений	A : B : C ₁	Группа месторождений	A : B : C ₁
1-я, норматив	10 : 20 : 70	2-я, норматив	— : 20 : 80
Юкс-пор	21 : 38 : 41	Коашва	35 : 65
Апатитовый Цирк	41 : 34 : 25	Ньюрпахк	38 : 62
Плато Расвумчорр	24 : 30 : 46	Олений Ручей	24 : 76
Партомчорр	10 : 20 : 70		

Фактическая разведанность эксплуатируемых и большинства новых хибинских месторождений значительно выше нормативной (табл. 42). Высокая степень разведанности хибинских месторождений объясняется разными причинами. На эксплуатируемых месторождениях она вызвана опережением темпов эксплуатационной разведки для обеспечения фронта добычных работ на участках, характеризующихся к тому же значительной мощностью залежей. При разведке новых месторождений 2-й группы, имеющих многоярусное строение, для обеспечения требуемого соотношения между категориями B и C₁ для запасов подземной отработки скважины попутно вскрывали и верхние рудные залежи, поэтому практически все запасы открытой добычи оцениваются по категории B.

Запасы категории C₂ на новых месторождениях выявлены до глубин, установленных кондициями; на освоенных месторождениях такие запасы практически отсутствуют.

Оформление материалов подсчета запасов

Порядок представления, требования к содержанию и оформлению материалов подсчета запасов регламентируются Инструкцией ГКЗ СССР (1983). Эти требования включают перечни необходимых материалов и документов, обеспечивающих возможность экспертной проработки результатов подсчета запасов.

При составлении отчетов с подсчетом запасов целесообразно придерживаться единых принципов и способов подготовки и оформления

текстовых, расчетных и графических материалов, соблюдение которых облегчает пользование, повышает наглядность и позволяет выполнять экспертную проверку результатов подсчета, а при необходимости и пересчет запасов в отсутствии авторов.

В целях сокращения объема графических приложений, исключения дублирования чертежей рекомендуется совмещение геолого-структурной и подсчетной информации на разрезах и планах. Эти материалы составляются в масштабе 1 : 2000, что вполне обеспечивает наглядность и необходимую детальность геолого-подсчетной основы. На планах подсчета запасов контуры блоков по искривленным скважинам изображаются двойными линиями: сплошной, соединяющей точки входа скважин в рудное тело (верхний контур блока), и прерывистой, проведенной через точки выхода (нижний контур блока). При подсчете запасов методом геологических блоков измеряются площади по обоим контурам, затем вычисляется средняя площадь. Сопряженная поверхность блоков (полоса перекрытия между сплошной и прерывистой линиями) показывается штриховкой и цветовой раскраской, принятыми для соответствующих категорий запасов (категории: А — красный, В — голубой, С₁ — зеленый, С₂ — желтый цвета). В случаях, когда сопрягаются блоки разных категорий, применяется комбинирование штриховки и цветowych полос (рис. 51).

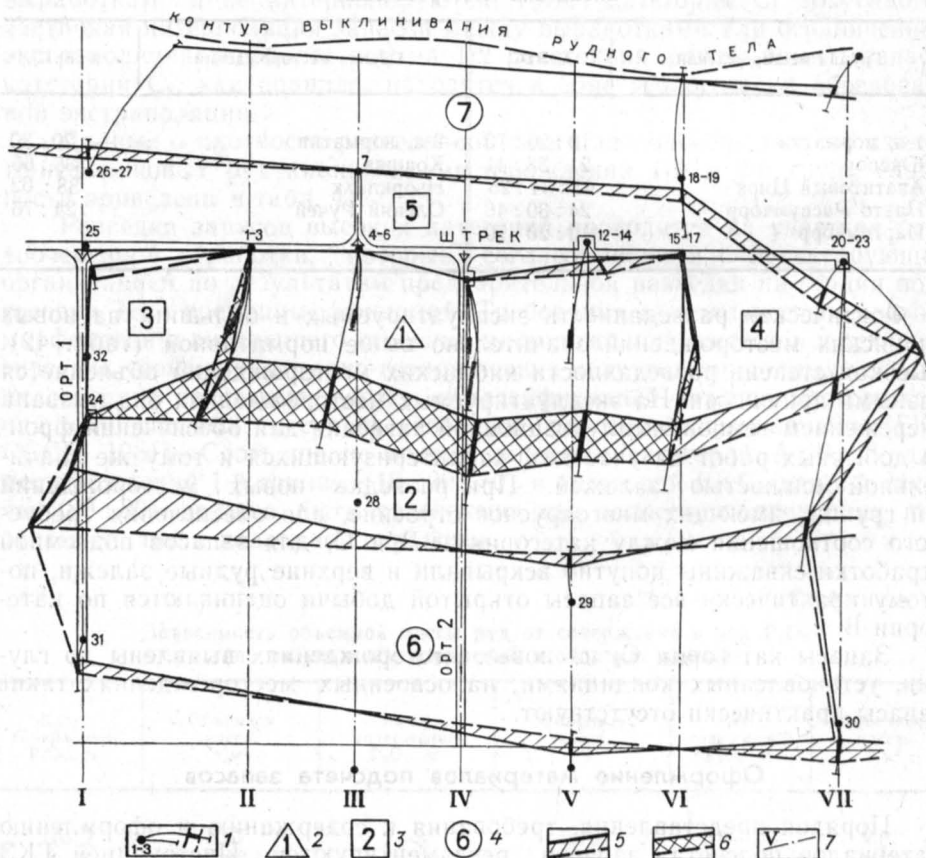


Рис. 51. Пример выделения подсчетных блоков по вертикальным и наклонным скважинам.

1 — проекция оси скважины с рудными интервалами; 2—4 — подсчетные блоки по категориям А (2), В (3) и С₁ (4); 5—6 — участки сопряжения блоков категорий В и С₁ (5) и А и В (6); 7 — разведочные профили.

Рис. 52. Пример разделения запасов по способам отработки (I — открытая, II — подземная) с использованием метода структурного анализа.

1 — изогипсы борта карьера; 2 — изогипсы кровли (а) и подошвы (б) рудной залежи; 3 — «нулевой» (а) и промышленный (б) контуры рудной залежи; 4 — граница открытой и подземной отработки по кровле (а) и подошве (б) залежи.

Запасы, подлежащие открытой и подземной добыче, выделяются в отдельные блоки. Для разделения таких блоков по способам отработки используются методы геолого-структурного анализа:

а) составляются планы изогипс бортов карьера и изогипс верхнего и нижнего контактов залежи (масштаб 1:2000, сечение горизонталей 10 м);

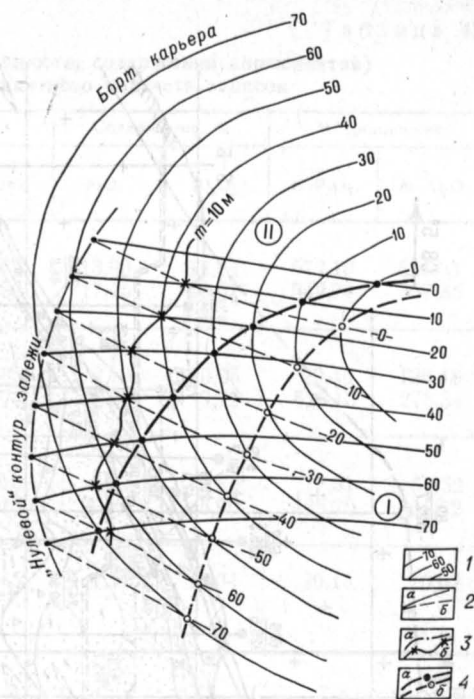
б) точки пересечения равных изогипс карьера и залежи соединяются плавными линиями, соответствующими границам открытой и подземной отработки (рис. 52).

Для подтверждения обоснованности авторской блокировки запасов по принципу геологической однородности участков и однотипности качества и технологических свойств руд рекомендуется наносить контуры блоков на геолого-структурные планы (изогипс контактов, изомощностей) и на геолого-технологические карты.

Совмещенные геолого-подсчетные разрезы должны отражать внутреннее строение залежей как основы для блокировки запасов (характер контактов с вмещающими породами, границы распространения типов руд, их вторичные изменения, масштабы и направления выявленных тектонических нарушений и др.) и содержать подсчетную информацию (данные о мощностях залежи и внутрирудных прослоев, распределение полезных компонентов по рудным интервалам и пробам, графики комплексного каротажа, номера проб и др.). На планах и разрезах по разрабатываемым месторождениям или по месторождениям, запасы которых ранее утверждались в ГКЗ СССР, кроме того, должны быть показаны контуры погашенных в результате добычи и ранее утвержденных запасов. Оформление геолого-подсчетных планов и разрезов должно соответствовать их назначению: геологическая нагрузка является фоном для блокировки запасов.

На разрезах по оси скважин наносятся графики распределения проб по содержанию P_2O_5 (если качество руд оценивается по данным химических анализов) или графики активационного каротажа НАК ^{16}N (в масштабе 1% P_2O_5 в 1 мм). Для разгрузки графической основы допускается перенесение графиков распределения P_2O_5 за пределы подсчетных контуров (рис. 53).

В комплект графических приложений к подсчету запасов хибинских месторождений включается картограмма геолого-геофизической изученности и опробования, составляемая в масштабе 1:2000. В ней содержится вся исходная информация о выработках, методах и технических средствах разведочных работ (типы выработок, их назначение, дата проходки, координаты устьев, траектория скважин, интервалы



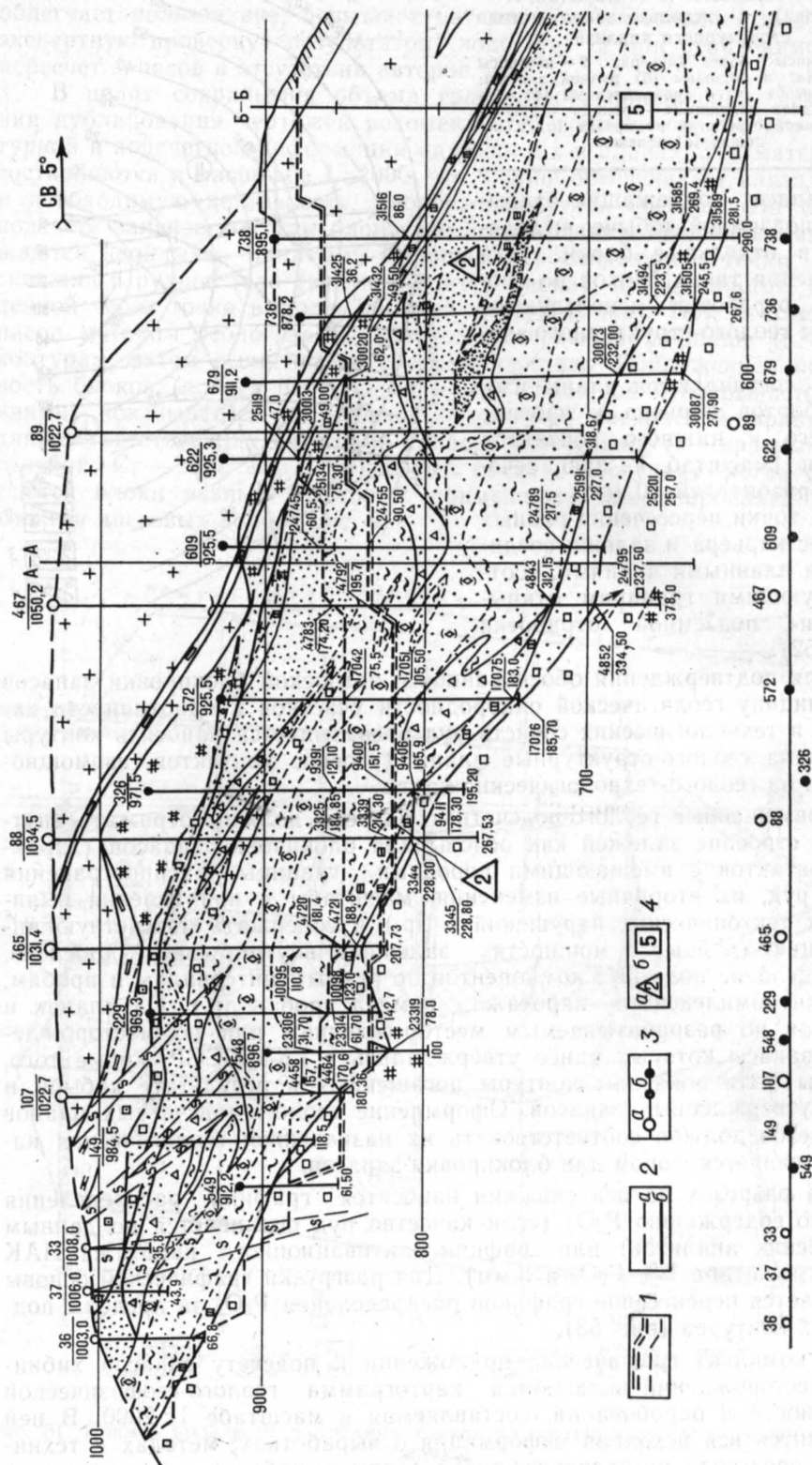


Рис. 53. Совмещение геологической и подсчетной информации (геолого-подсчетный разрез, деталь).

1 — контур карьера на разные периоды отработки; 2 — контуры забалансовых (а) и балансовых (б) руд; 3 — расположение скважин детальной (а) и эксплуатационной (б) разведки на профиле; 4 — номера подсчетных блоков категорий А (а) и В (б).

Таблица 43

**Формуляр исходных данных (мощность, содержания компонентов)
по скважинам для повариантного подсчета запасов**

Номер скважины	Борт P_2O_5 , %	Интервал, м	Мощность, м		Содержание, %		Метропроцент	
			$m_{скв}$	$m_{верт}$	P_2O_5	Al_2O_3	$m \cdot P_2O_5$	$m \cdot Al_2O_3$
1	2	29,65—70,80	41,15	42,65	13,90	12,84	572,19	528,34
	4	33,15—64,80	31,65	32,80	17,15	10,67	542,74	337,86
2—4			9,50	9,85	3,10	20,05	29,45	190,48
	6	36,15—64,80	28,65	29,70	18,33	9,72	525,13	278,34
4—6			3,00	3,10	5,87	19,84	17,61	59,52
	8	37,75—61,15	23,40	24,15	20,76	8,90	485,70	208,32
6—8			5,25	5,45	7,51	13,34	39,43	70,02
2								

Таблица 44

**Формуляр расчета исходных данных (мощность, содержания компонентов)
по блокам для повариантного подсчета запасов)**

Номер блока, категория запасов	Номер скважины	Мощность, м	Содержание, %		Метропроцент	
			P_2O_5	Al_2O_3	$m \cdot P_2O_5$	$m \cdot Al_2O_3$
Бортовое содержание 8 % P_2O_5						
1-А 8	1	23,40	20,76	8,90	485,70	208,32
	2	22,50	18,11	13,59	407,48	305,78
	3 10	29,45	17,02	12,94	501,24	381,08
	Сумма	266,60	—	—	5273,35	3121,89
	Среднее	26,60	19,78	11,71	—	—
Бортовое содержание 6 % P_2O_5						
1-А 6	1					

рудных пересечений, номера проб, в том числе использованных при подсчете запасов, проекции замеров искривления скважин (через 50 м), выполненные методы геофизических исследований скважин, места отбора технологических проб и другие данные, необходимые для экспертизы и облегчающие пользование отчетными материалами.

Все вычислительные операции от подготовки исходных параметров по выработкам в соответствии с показателями кондиций вплоть до получения итоговых результатов подсчета запасов должны выполняться с соблюдением их логической последовательности, так, чтобы конечная информация на предыдущей стадии являлась бы исходной для последующих расчетов. Особенно важно придерживаться очередности

Формуляр расчета площадей рудных сечений по блокам
 Бортовое содержание 8 % P₂O₅

Номер блока, категория запасов	Номер профиля	Площадь сечения			Коэффициент К	SK	Средняя площадь по блоку S _{ср.} м
		S ₁ , S ₂ , ... S _n	$\frac{S_{n-1}+S_n}{2}$	S _{n-1} /S _n			
Бортовое содержание 8 % P ₂ O ₅							
1-A	IX	704					708
8	X	684	694	1,03	1,00	694	
	XI	716	700	1,05	1,00	700	
	XII	744	730	1,04	1,00	730	
2-A							6024
8	I	4635					
5-B	II	8631	6633	1,9	0,98	6500	
8	III	6539	7585	1,3	0,99	7410	
	IV	2139	4339	3,0	0,95	4165	

Таблица 46

Формуляр расчета объемов подсчетных блоков

Номер блока, категория запасов	Варианты бортовых содержаний P ₂ O ₅ , %											
	8			6			4			2		
	S _{ср} ⁸	l	V ³	S _{ср} ⁶	l	V ⁶	S _{ср} ⁴	l	V ⁴	S _{ср} ²	l	V ²
1-A	3540	200	708	3840	200	768	3990	200	798	4550	200	910
2-A												
5-B	6024	735	4428	6556	735	4819	8246	735	6061	9400	735	6900

Примечание. S_{ср}, l, V — площадь, длина, объем блока.

операций по преобразованию геологоразведочных данных при выполнении подсчета по нескольким вариантам бортовых содержаний P₂O₅ на стадии подготовки временных и постоянных кондиций.

Опыт разведки хибинских месторождений показывает, что повариантный подсчет запасов целесообразно выполнять не автономно, т. е. для каждого варианта в отдельности, а «кумулятивно», путем последовательного приращения запасов от наибольшего к низким показателям бортового содержания. В этом случае достигается сокращение затрат времени и труда, исключается неизбежное при автономном подсчете дублирование части материала, снижается вероятность просчетов, связанных с неправильным оконтуриванием рудных интервалов по выработкам, поскольку обеспечивается их повариантная проверка на кондиционность.

Последовательность выполнения подсчетных операций и рациональная форма заполнения формуляров для повариантного подсчета показана в табл. 43—51. Цифровые данные не соответствуют параметрам какого-либо конкретного месторождения.

Формуляр расчета объемов запасов в интервалах бортовых содержаний P_2O_5

	Борт P_2O_5 , %	Объем блока, тыс. м ³	Сумма мощностей по блокам, М	Среднее содержание компонентов					
				Метропроцент	P_2O_5 , %	Метропроцент	Al_2O_3 , %		
				Блок 1-А					
2	911	114	320,00	5638,93	117,94	3,93	3904,96	432,52	14,42
4	797	29	290,00	5520,99	36,82	4,81	3472,44	154,19	20,16
6	768	60	282,35	5484,17	110,82	7,04	3318,25	196,36	12,47
8	708		266,60	5373,35			3121,89		
				Блок 5-В					
2	6909	848	278,90	2831,02	171,27	2,74	4176,15	1135,15	18,19
4	6061	1242	216,50	2659,75	208,78	6,86	3041,00	422,99	13,89
6	4819	391	186,05	2450,97	47,46	6,55	2618,01	79,79	11,01
8	4428		178,80	2403,51			2538,22		

Формуляр подсчета запасов апатито-нефелиновых руд и компонентов по блокам, категориям и по месторождению (при бортовом содержании 8% P_2O_5)

Номер блока	Длина, м	Объем, м ³	Объемная масса, т/м ³	Запасы, тыс. т			Содержание, %	
				Руда	P_2O_5	Al_2O_3	P_2O_5	Al_2O_3
1-А	200	708	2,96	2096	414,6	245,4	19,78	11,71
2-А								
Всего по категории А				10 179	2304,6	1051,5	22,64	10,33
5-В								

Формуляр подсчета запасов апатито-нефелиновых руд и компонентов по блокам (по вариантам кондиций)

Номер блока	Борт P_2O_5 , %	Запасы, тыс. т			Содержание, %	
		Руда	P_2O_5	Al_2O_3	P_2O_5	Al_2O_3
1-А	8	2 096	414,6	245,4	19,78	11,71
	6—8	170	12,0	21,2	7,04	12,47
	6	2 266	426,6	266,6	18,83	11,77
	4—6	81	3,9	16,3	4,81	20,16
	4	2 347	430,5	282,9	18,34	12,05
	2—4	318	12,5	45,9	3,03	14,42
	2	2 665	443,0	328,8	16,62	12,34
2-А						
Всего по категории А	8	10 179	2 304,6	1 051,5	22,64	10,33
	6	10 709	2 339,1	1 134,1	21,84	10,59
	4	11 862	2 416,0	1 327,4	20,37	11,19
	2	13 077	2 751,9	1 528,7	18,05	11,69
5-В	8	12 797	1 719,9	1 817,2	13,44	14,20
	6—8	1 107	72,5	121,9	6,55	11,01
	6	13 904	1 792,4	1 939,1	12,89	13,95
	4—6	3 515	241,1	488,2	6,86	13,89
	4	17 419	2 033,5	2 427,3	11,67	13,93
	2—4	6 421	175,9	1 168,0	2,74	18,19
6-В						
Всего	8	44 407	7 678,0	5 484,4	17,29	12,35
	6	57 371	8 665,4	7 177,1	15,10	12,51
	4	77 365	9 729,5	9 902,6	12,58	12,80
	2	99 760	10 473,0	13 796,8	10,50	13,83

Изменение площадей рудных сечений, соответствующих вариантам подсчета, целесообразно отражать на совмещенных (для всех вариантов) геолого-подсчетных разрезах и планах (рис. 47, 53). Итоговые результаты подсчета запасов руды, компонентов, их средних содержаний для наглядности иллюстрируются круговыми диаграммами (рис. 54).

Формуляр подсчета запасов апатито-нефелиновых руд и компонентов в интервалах бортовых содержаний P_2O_5

Таблица 50

Номер блока, категория запасов	Борт P_2O_5 , %	Объем, тыс. м ³	Объемная масса, т/м ³	Запасы, тыс. т			Содержание, %	
				Руда	P_2O_5	Al_2O_3	P_2O_5	Al_2O_3
1-A	8-6	60	2,83	170	12,0	21,2	7,04	12,47
	6-4	29	2,81	81	3,9	16,3	4,81	20,16
	4-2	114	2,79	318	12,5	45,9	3,93	14,42
2-A								
Всего по категории А	8-6			530	34,5	82,6	6,51	15,58
	6-4			1153	76,9	193,3	6,67	16,76
	4-2			1253	35,9	201,3	2,95	16,57
5-B	8-6	391	2,83	1107	72,5	121,9	6,55	11,01
	6-4	1242	2,83	3515	241,1	288,2	6,86	13,89
	4-2	2318	2,77	6421	175,9	1168,0	2,74	18,19
6-B								

Формуляр результатов подсчета запасов по вариантам кондиций

Таблица 51

Борт P_2O_5 , %	Запасы, тыс. т		Содержание, %		Приращение запасов, тыс. т		Содержание, %	
	Руда	P_2O_5	P_2O_5	Al_2O_3	Руда	P_2O_5	P_2O_5	Al_2O_3
8	620 270	123 304	19,88	11,81				
6	678 950	127 440	18,77	11,99	58 680	4136	7,05	13,98
4	777 326	132 650	17,07	12,36	98 376	5210	5,30	14,88
2	893 644	135 996	15,22	13,20	116 318	3346	2,88	18,79

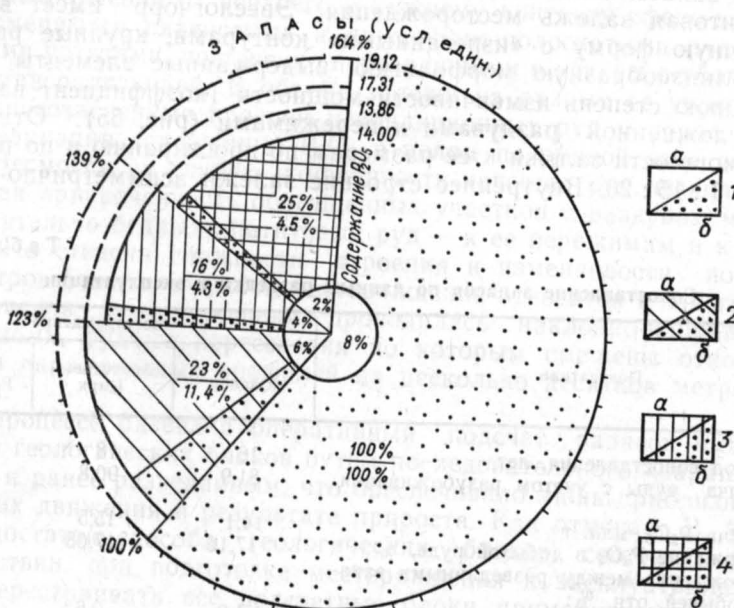


Рис. 54. Круговая диаграмма изменения запасов руды (а) и апатита (б) при различных вариантах бортового содержания P_2O_5 .

P_2O_5 , %: 1-8, 2-6, 3-4, 4-2.

Единственным объективным критерием оценки достоверности геометризации контуров балансовых руд и точности всех параметров подсчета запасов является эксплуатационная практика. Весьма представительный материал для сопоставления данных разведки и эксплуатации получен при анализе добычи на Юкспорском, Расвумчоррском и Центральном рудниках за многолетний период (с 1966 по 1980—1982 гг.), разрабатывающих месторождения Юкспор, Апатитовый Цирк и Плато Расвумчорр. Объем сопоставлений по каждому руднику (месторождению) составляет десятки—сотни миллионов тонн руды.

За этот период добыча руды производилась в контурах запасов категории А. Поскольку существующая на рудниках система отработки предусматривает нарезку эксплуатационных блоков независимо от контуров подсчетных блоков, сопоставление выполнено в целом по категории А. Для этого запасы, подсчитанные на начало периода, сравнивались с добычей и остатком запасов в недрах, специально для этой цели оконтуренных и подсчитанных. В сумму запасов, списанных с баланса, входят как добытая руда с учетом разубоживания, так и плановые (фактические) потери в недрах, определяемые геолого-маркшейдерской службой.

Результаты сопоставления приведены в табл. 52. Выявленные расхождения между подсчитанными и извлеченными запасами настолько несущественны, что не требуют анализа причин.

Сравнение результатов подсчета запасов разными методами не позволяет объективно оценить преимущества любого из них. Такой анализ может дать лишь косвенную информацию о расхождении параметров подсчета (мощностей, средних содержаний компонентов, объемов и запасов), вычисленных различными методами по отношению к основному, обоснованность применения которого сохраняется неопределенной вплоть до погашения запасов при добыче.

По материалам предварительной разведки Эвеслогчоррского месторождения запасы были подсчитаны семью различными методами.

Апатитовая залежь месторождения Эвеслогчорр имеет в плане изометричную форму с «изрезанными» контурами, крупные размеры, пластово-линзообразную морфологию, выдержанные элементы залегания, среднюю степень изменчивости мощности (коэффициент вариации 66%), осложненной раздувами и пережимами (рис. 55). Отношение средней мощности залежи к ее размерам по простиранию и по падению близко к 1 : 15 : 20. Внутреннее строение залежи асимметрично-зональ-

Таблица 52

Сопоставление запасов по данным разведки и эксплуатации

Показатель	Месторождение		
	Юкспор	Апатитовый Цирк	Плато Расвумчорр
1. Период сопоставления, лет	16	18	18
2. Добыча руды с учетом разубоживания, млн. т	81,9	90,8	282,8
3. Добыча P_2O_5 , млн. т	14,1	15,5	51,7
4. Содержание P_2O_5 в добытой руде, %	17,16	17,08	18,27
5. Расхождение между разведанными запасами и добычей, отн. %:			
по запасам руды	+1,9	-0,6	+1,9
по запасам P_2O_5	+0,3	-4,1	+1,5
по содержанию P_2O_5	-1,6	-3,4	-0,4

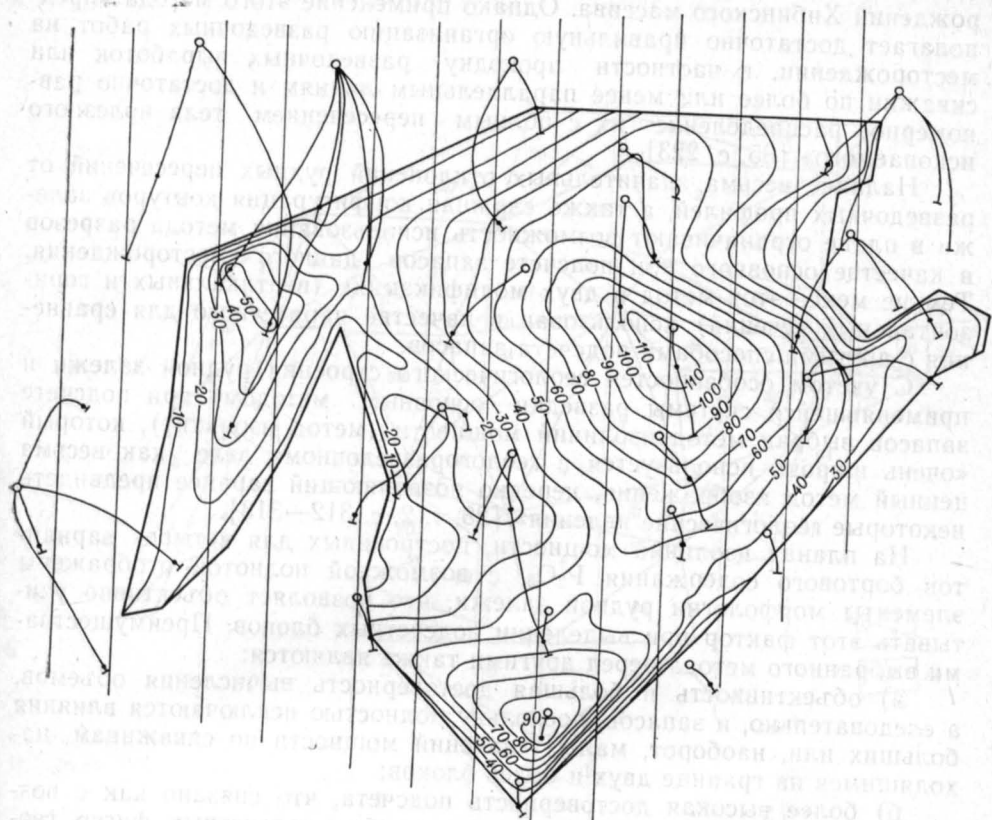


Рис. 55. Схема подсчета запасов методом изолиний мощности.

ное: в направлении от верхнего к нижнему контакту сфено-apatитовые руды сменяются пятнистыми и линзовидно-полосчатыми рудами, апатитовыми уртитамы, постепенно переходящими в уртиты с убогой апатитовой минерализацией. В объеме залежи на разных ее уровнях выявлены многочисленные прослои некондиционных руд и пород. Коэффициент вариации содержания P_2O_5 в целом по рудной зоне составляет 28 %. Несмотря на слабую изменчивость качества руд, выявлена закономерная приуроченность обогащенных участков к раздувам мощности, а относительно бедных апатитовых руд — к ее пережигам и к краевым зонам. По степени сложности строения и изменчивости подсчетных параметров Эвеслогчорское месторождение относится к 1-й группе.

Разведка месторождения проводилась наклонно-направленными скважинами, рудные пересечения по которым смещены относительно системы параллельных профилей на несколько десятков метров в обе стороны.

В процессе разведки оперативный подсчет запасов выполнялся методом геологических блоков путем последовательного «наращивания» запасов к ранее разведанным, что обеспечивало лишь приблизительную оценку их движения в результате прироста. Как отмечает В. М. Крейтер, недостаток способа геологических блоков состоит в том, что впоследствии, при подготовке месторождения к эксплуатации, придется перестраивать все подсчетные блоки применительно к системе разработок и производить полный пересчет запасов [23, т. 2, с. 299].

Учитывая изложенное, институт Гипроруда и ПО «Апатит» настаивают на применении метода разрезов при подсчете запасов всех место-

рождений Хибинского массива. Однако применение этого метода «предполагает достаточно правильную организацию разведочных работ на месторождении, в частности проходку разведочных выработок или скважин по более или менее параллельным линиям и достаточно равномерное распределение их с полным пересечением тела полезного ископаемого» [35, с. 223].

Наличие весьма значительных отклонений рудных пересечений от разведочных профилей, а также сложная конфигурация контуров залежи в плане ограничивают возможность использования метода разрезов в качестве основного при подсчете запасов данного месторождения. Тем не менее этот метод в двух модификациях (вертикальных и горизонтальных сечений) использован в качестве паритетного для сравнения с другими способами подсчета запасов.

С учетом особенностей геологического строения рудной залежи и применявшейся системы разведки основным методом при подсчете запасов выбран метод изолиний мощности (метод изопакит), который «очень широко используется в геологоразведочном деле как весьма ценный метод изображения, нередко позволяющий заранее предвидеть некоторые геологические явления» [23, т. 2, с. 312—313].

На планах изолиний мощности, построенных для четырех вариантов бортового содержания P_2O_5 , с возможной полнотой отображены элементы морфологии рудной залежи, что позволяет объективно учитывать этот фактор при выделении подсчетных блоков. Преимущества выбранного метода перед другими также являются:

а) объективность и большая достоверность вычисления объемов, а следовательно, и запасов, поскольку полностью исключаются влияния больших или, наоборот, малых значений мощности по скважинам, находящимся на границе двух и более блоков;

б) более высокая достоверность подсчета, что связано как с возможностью соблюдения наибольшего подобия подсчетных фигур геологическим формам рудного тела, так и с усовершенствованием вычислительных операций введением поправочных коэффициентов, учитывающих неравенство площадей между горизонтальными сечениями;

в) наглядность графической основы для подсчета запасов, наибольшее соответствие этой основы геологическим принципам изображения морфоструктуры залежи.

В методических руководствах по подсчету запасов [23, 35] отмечаются следующие недостатки метода изолиний мощности, представляющиеся спорными:

а) громоздкость графических построений. Однако, по мнению автора, этот недостаток компенсируется их наглядностью, «геологичностью» метода, возможностью использования графопостроителя, а во-вторых, окупается точностью конечных результатов.

Кроме того, отмечается, что особенно громоздкими становятся построения для месторождений многокомпонентных руд. Однако это возражение не распространяется на случаи, когда подсчет запасов попутных компонентов производится в контурах блоков основного полезного ископаемого. Поэтому применительно к хибинским апатито-нефелиновым месторождениям не возникает необходимости прибегать к дополнительным построениям;

б) сложность проверки подсчета, для которой требуется произвести полный пересчет запасов. Это возражение в равной мере относится ко любому другому методу подсчета и поэтому не может приниматься во внимание. Применимость любого метода нуждается в геологическом и методическом обосновании, а сложность контрольных проверок и пересчетов ничуть не меньше, чем для метода изолиний;

в) метод изолиний мощности ограничен в применении и может быть использован только для крупных месторождений с ненарушенной

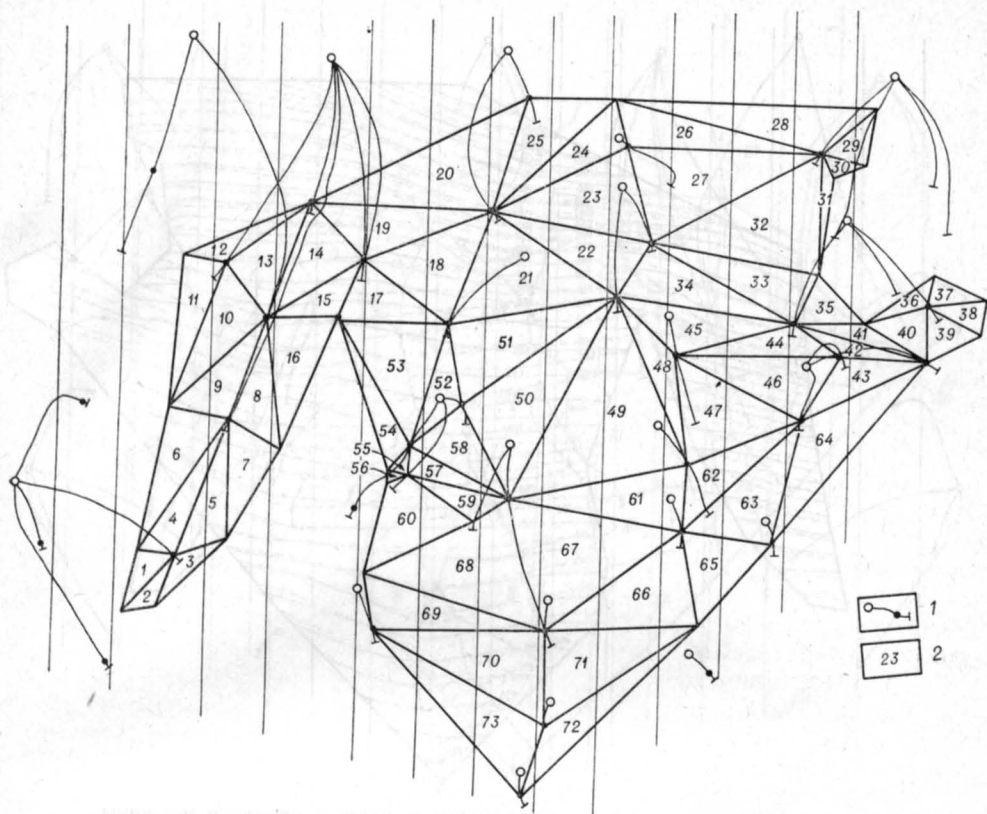


Рис. 56. Схема подсчета запасов методом треугольников.
1 — скважины и рудные интервалы; 2 — номера подсчетных блоков.

структурой и детально разведанных. Он непригоден для подсчета запасов по редкой сети из-за недостаточности данных для построения изолиний путем интерполяции между далеко расположенными выработками. Системы изолиний в этом случае не отражают формы тела и строения его деталей. По мнению автора, нельзя согласиться и с этим возражением, во-первых, потому, что все хибинские месторождения являются крупными, а рассматриваемое, к тому же, и ненарушенным; во-вторых, при одной и той же плотности разведочной сети использование любого из известных методов подсчета предусматривает необходимость знания морфологии залежи и деталей ее строения, и в этом отношении ни один из методов не является предпочтительным.

С учетом изложенного метод изолиний мощности, как наиболее полно отражающий особенности геологической структуры, принятую систему расположения скважин и степень детальности разведки, правомерно использован в качестве основного для месторождения Эвслогчорр. Порядок подготовки исходных данных для подсчета запасов включает следующие операции:

- а) вычисление содержаний основных полезных компонентов P_2O_5 и Al_2O_3 способом средневзвешенного на пересеченную мощность залежи по скважинам по вариантам бортовых содержаний P_2O_5 2, 4, 6 и 8 %;
- б) оконтуривание площади распространения руд по разведочным выработкам способами интер- и экстраполяции;
- в) блокировку запасов по категориям C_1 и C_2 с учетом степени разведанности и выявленных морфоструктурных особенностей залежи;
- г) вычисление средних мощностей и содержаний P_2O_5 и Al_2O_3 по

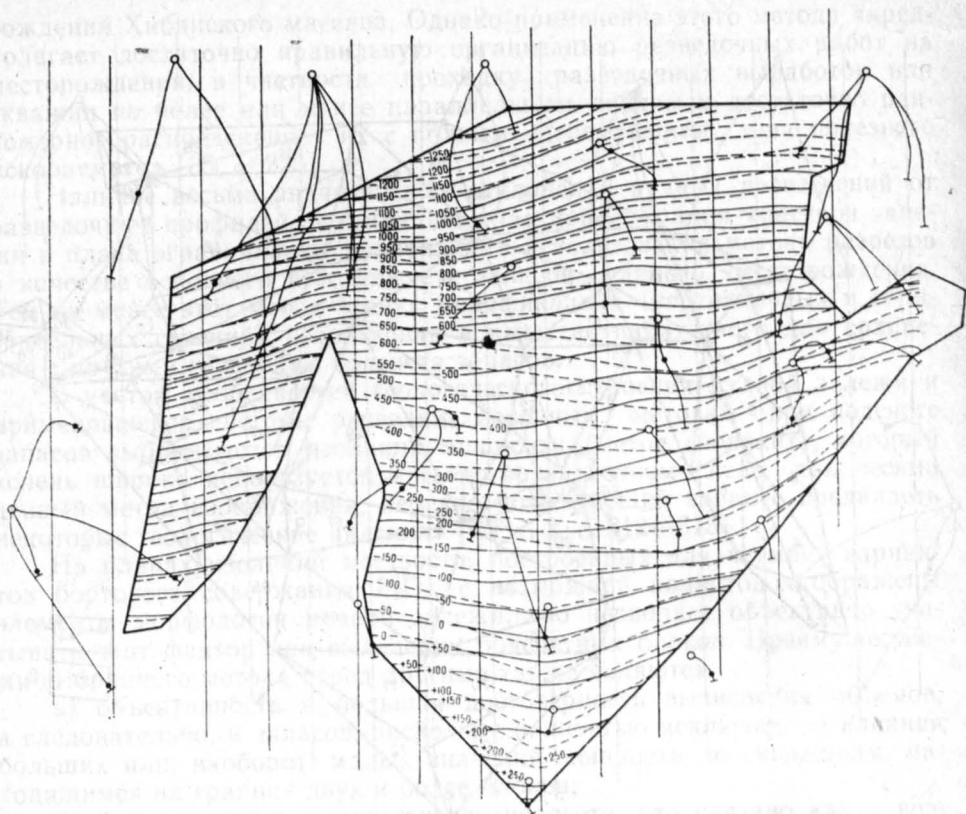


Рис. 57. Схема подсчета запасов методом изогипс кровли и подошвы.

блокам и определение объемной массы руд в зависимости от содержания P_2O_5 ;

д) определение площадей рудных сечений одним из трех способов: планиметрированием на планах (и разрезах) масштаба 1:2000, разбивкой блока на простые фигуры или по координатам (x и y) угловых точек по внешнему обводу рудного контура;

е) подсчет объемов блоков, запасов руды и основных полезных компонентов по блокам, категориям и по месторождению в целом.

Практическими руководствами по применению метода изолиний мощности для вычисления объемов блоков рекомендуется использование любой из трех формул: приближенного интегрирования (формула Симпсона), усеченного конуса или трапеции, каждая из которых основана на уподоблении реальной, полностью не установленной формы залежи геометрически правильному телу.

Для уменьшения приближенных оценок и упрощения расчетных операций определение объемов блоков осуществлялось суммированием объемов, заключенных между изолиниями мощности, кратными 10-метровым интервалам (рис. 55). Объем каждой «пластины» вычислен по формуле

$$v = (1/2) (S_1 + S_2) \cdot 10K,$$

где v — объем, заключенный между двумя изолиниями (через 10 м); S_1, S_2 — площади сечений на плане, m^2 ; K — коэффициент учитывающий неравенство площадей (рис. 49).

Объемная масса, экспериментально установленная по образцам зерна, рассчитывалась по уравнению, $г/м^3$,

$$d = 2,76 + 0,01C_{P_2O_5},$$

где $C_{P_2O_5}$ — содержание P_2O_5 в подсчетном блоке, %.

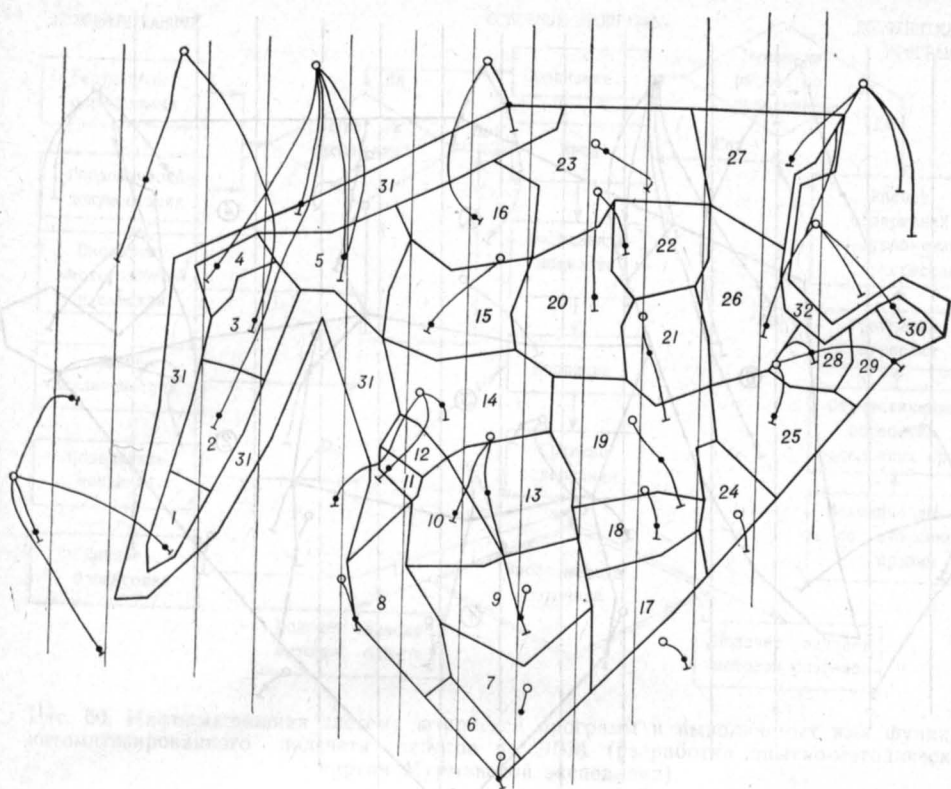


Рис. 58. Схема подсчета запасов методом многоугольников («ближайшего района»).

Паритетные подсчеты выполнялись методами: а) вертикальных разрезов; б) изогипс (горизонтальных сечений); в) геологических блоков; г) треугольников; д) многоугольников; е) статистическим (метод среднего арифметического). Схемы блокировки запасов этими методами показаны на рис. 55—59. Сопоставление результатов подсчетов основным и другими методами приведено в табл. 53.

Анализ табличных данных приводит к следующим выводам.

1. Оценка содержаний P_2O_5 в запасах разными методами обеспечивает высокую сходимость с подсчетом по основному методу.

2. Определение размеров запасов руды и P_2O_5 разными методами по сравнению с основным также дает близкие или удовлетворительные результаты (методы геологических разрезов и геолого-статистический). Минимальные отклонения подсчетных результатов получены теми методами, в основу которых положен принцип наибольшего подобия геометрических фигур подсчетных блоков геологической форме залежи, что достигается геолого-морфологическим моделированием (методы изогипс кровли и подошвы рудного тела) или разделении залежи на множество элементарных блоков, сглаживание которых обеспечивает наибольшее подобие форм (методы треугольников и многоугольников).

Метод разрезов к подсчету запасов данного месторождения на предварительной стадии разведки менее приемлем, поскольку он не полностью соответствует применявшейся системе расположения разведочных скважин. Существенные расхождения в размерах запасов, подсчитанных статистически (в меньшую сторону от основного), связаны с неравномерной плотностью сети в центральной части и на ее флангах, где для оконтуривания она была сгущена.

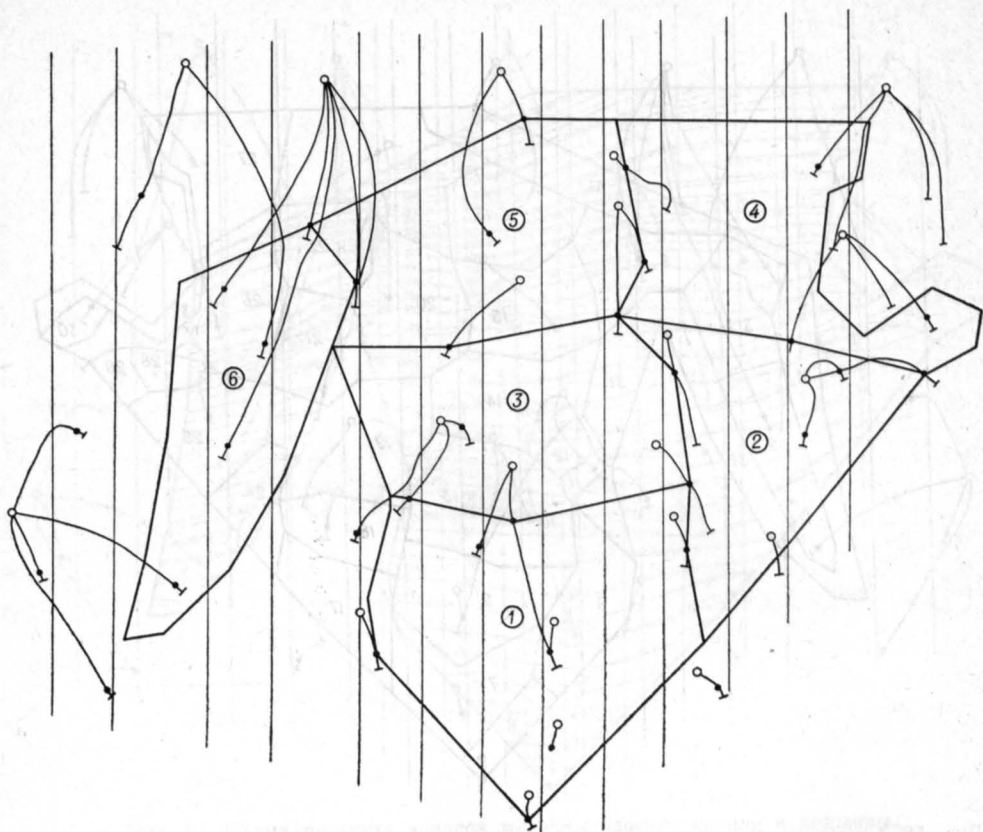


Рис. 59. Схема подсчета запасов методом геологических блоков.

Таблица 53

Сопоставление результатов подсчета запасов Эвселогчорского месторождения основным и контрольными методами

Метод подсчета	Запасы, отн. %		Содержание P_2O_5	
	руды	P_2O_5	абс. %	отн. %
Изолиний мощности (основной)				
Многоугольников	+4,4	+5,5	+0,15	+1,0
Изогипс контактов	+2,7	+1,1	-0,23	-1,6
Треугольников	-1,2	-1,1	+0,02	+0,1
Геологических блоков	-1,4	-1,9	-0,07	-0,5
Вертикальных разрезов	-6,9	-8,7	-0,28	-2,0
Геолого-статистический	-10,2	-10,4	-0,03	-0,2

Разработка методики автоматизированного подсчета

Ускорение темпов подготовки запасов для промышленного освоения, резко возросшие объемы геологоразведочной информации вызвали необходимость поиска принципиально новых форм и способов обработки и преобразования исходных данных для подсчета запасов, сокращающих затраты ручного труда. С этой целью в комплексе программ по коренной комплексной переоценке эксплуатируемых месторождений Хибинского массива сотрудниками Опытно-методической партии Мурманской ГРЭ (И. И. Берман, Н. В. Черных, С. Н. Иванов, И. В. Бога-

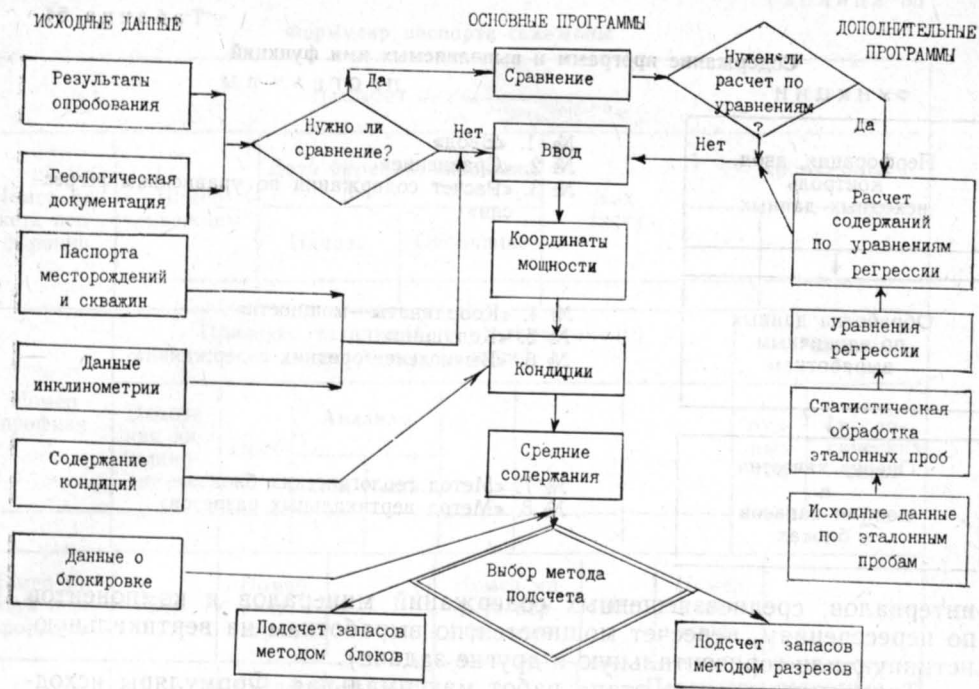


Рис. 60. Информационная система комплекса программ и выполняемых ими функций автоматизированного подсчета запасов на ЭВМ (разработка опытно-методической партии Мурманской экспедиции).

тырев) совместно с геологами-разведчиками Хибинской ГРП (Е. А. Каменев, И. П. Панышин) разработана методика автоматизированного подсчета запасов апатито-нефелиновых руд, обеспечивающая:

- а) сбор, ввод, хранение и преобразование исходных данных;
- б) обработку результатов документации выработок (скважин);
- в) вычисление параметров для подсчета запасов по блокам, рудным телам и по месторождению в целом (оконтуривание рудных интервалов с учетом требований кондиций, оценка и усреднение качественных характеристик);
- г) выполнение операций по подсчету запасов, в том числе повариантных подсчетов для обоснования ТЭО кондиций.

Комплекс программ по подсчету запасов, кроме того, позволяет получать дополнительную информацию: обработку эталонной совокупности данных по вещественному составу руд, пород и минералов, вычисление состава руд по уравнениям парной и множественной регрессий, анализ плотности и параметров разведочной сети и изменчивости этих параметров в рудных телах и подсчетных блоках, изучение пространенности природных типов руд — и решать другие вопросы, связанные с повышением оперативности обработки материалов разведки.

Методика автоматизированного подсчета запасов в установленном порядке апробирована экспертно-техническим советом ГКЗ СССР и внедрена при подсчете запасов эксплуатируемых и новых (Коашва, Олений Ручей) месторождений.

Комплекс работ включает следующую функциональную группировку программ (рис. 60, табл. 54).

1. Подготовка исходных данных для подсчета и блокировки запасов (результаты опробования, координаты выработок, измерения искривления скважин, элементы залегания рудных тел, выделение рудных интервалов для балансовых и забалансовых запасов, некондиционных

Содержание программ и выполняемых ими функций

ФУНКЦИИ	ПРОГРАММЫ
Перфорация, ввод, контроль исходных данных.	№ 1. «Ввод» № 2. «Сравнение» № 3. «Расчет содержаний по уравнениям регрессии»
Обработка данных по единичным выработкам	№ 4. «Координаты—мощности» № 5. «Кондиции» № 6. «Вычисление средних содержаний»
Оценка качества и подсчет запасов в блоках	№ 7. «Метод геологических блоков» № 8. «Метод вертикальных разрезов»

интервалов, средневзвешенных содержаний минералов и компонентов по пересечениям, пересчет мощностей по выработкам на вертикальную, истинную или горизонтальную и другие задачи).

Трудоемкость этого этапа работ максимальная. Формуляры исходных документов максимально приближены к традиционно применяемым в практике «ручного» подсчета запасов, что позволяет в случае необходимости осуществлять проверку на любой стадии.

2. Блокировка и геометризация запасов с учетом требований кондиций (с разделением на балансовые и забалансовые, по категориям разведанности и способам отработки, шахтным полям или другим критериям, предусмотренным кондициями).

На этом этапе работы предусматривается непосредственное участие геолога, формирующего геометризацию подсчетных блоков в соответствии с требованиями к выделению геологически однородных участков рудных тел (блоков) с учетом степени разведанности, изменчивости морфологии и качества руд, горно-геологических условий добычи. На современном этапе исследований решение этих задач не может быть полностью автоматизировано. Варианты блокировки запасов реализуются путем выдачи геологом-разведчиком списка рудных интервалов по выработкам, образующим подсчетный блок.

Автоматизация подсчетных операций не освобождает геолога от необходимости построения геологических разрезов и планов поверхности, горизонтов, поскольку структурно-генетические критерии, находящиеся в распоряжении геолога, также не поддаются формализации.

Вместе с тем существующий порядок взаимодействия геолога и вычислителя обеспечивает перевод первичной геологической документации на машинные носители минуя составление промежуточных документов. Участие геолога на промежуточном этапе обработки подсчетных параметров вытекает также из необходимости внесения обоснованных отклонений от требований кондиций (например, использование метропроцента для включения в контур подсчета интервалов с некондиционной мощностью, но с высоким содержанием основного полезного компонента — P_2O_5).

3. Прямые операции, связанные с подсчетом запасов основных и попутных полезных компонентов и минералов по группам (балансовые и забалансовые), категориям разведанности, способам отработки, рудным телам, подсчетным блокам и по месторождению в целом.

Формуляр паспорта скважины

ПАСПОРТ СКВ. _____									
Номер макета перфорации	Номер скважины	Дата бурения скважины		Код листа	Координаты				
		Начало	Окончание		x	y	z		
Признаки наличия (1) или отсутствия (0) видов исследований							Число		
Номер профиля	Измерения инклинометрии	Проб	Анализы					рудных тел	геологических слоев
			хим.	мин.					
Номер макета перфорации	201	Номер скважины		Номер макета перфорации	203	Номер скважины			
Порядковый номер рудного интервала	Номер рудного тела	Границы рудных тел		Порядковый номер геологического слоя	Параметры залегания геологических слоев				
		От	До		Глубина "до"	Угол падения			
						зенит	азимут		
1				1					
2				2					
3				3					
Номер макета перфорации	202	Номер скважины		Номер макета перфорации	204	Номер скважины			

Программы автоматизированного подсчета запасов разработаны применительно к наиболее распространенным методам оценки запасов — методу геологических блоков и методу вертикальных параллельных разрезов (в том числе модификации этого метода, усовершенствованного В. М. Борзуновым). При необходимости комплекс программ обеспечивает возможность применения относительно «простых» методов подсчета — среднего арифметического, треугольников, многоугольников, геолого-статистического и других методов.

Методика подсчета запасов с использованием ЭВМ может быть внедрена в практику разведки месторождений любых видов твердых полезных ископаемых.

Задачи дальнейших исследований по механизации ручного труда при подсчете запасов, вытекающие из рекомендаций экспертно-технического совета ГКЗ СССР, заключаются в расширении круга вопросов, решаемых с помощью ЭВМ, в частности: а) выделение и оконтурива-

ние подсчетных блоков, исходя из принципа соблюдения их геологической однородности; б) определение параметров для обоснования группы месторождения и категорий запасов на основе «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» с использованием математических моделей и критериев; в) обоснование оптимальных параметров и плотности разведочной сети применительно к конкретному месторождению; г) расчет объемной массы для каждого выделенного на месторождении природного типа (сорта) руд; д) использование графопостроителя для графического отображения геологических и разведочных данных; е) обеспечение преемственности использования промежуточных и итоговых материалов, записанных на машинных носителях, проектирующими и разрабатывающими месторождения организациями.

Исходными для автоматизированного подсчета запасов являются следующие документы и формуляры.

1. Паспорт месторождения. Он содержит сведения о числе скважин, видов исследований, рядовых и групповых проб, элементно- и минералоопределений, результатов измерений искривлений скважин, а также данные о магнитном склонении, о расшифровке кодов геологической документации.

2. Паспорта скважин (табл. 55): их номера, даты бурения, координаты устьев, виды исследований, число рудных тел и их интервалы, параметры залегания геологических слоев (пластов, жил и т. д.), которые определяются по геологическим разрезам, планам.

3. Результаты инклинометрии.

4. Результаты химических анализов рядовых и групповых проб.

5. Материалы геологической документации.

6. Параметры кондиций для подсчета запасов балансовых и забалансовых руд по основным и попутным полезным компонентам (бортное и минимальное промышленное содержание P_2O_5 , предельно допустимые мощности рудных тел и безрудных интервалов, включаемых или исключаемых в подсчет запасов, требования к оценке комплексного состава руд, границы разделения запасов по способам добычи и другие показатели).

7. Данные о блокировке запасов в виде списка выработок, образующих подсчетный блок для каждого рудного тела. Поскольку при выделении подсчетных блоков необходимо соблюдение совокупности признаков, определяющих блок как геологически однородную часть месторождения, эта операция выполняется геологом, так как она не поддается эффективной формализации.

8. Уравнения множественной регрессии для расчета содержаний минералов и попутных полезных компонентов по установленным корреляционным зависимостям с содержанием P_2O_5 и Al_2O_3 (базовые признаки).

На рис. 60 показана информационная схема комплекса, включающая основные и дополнительные программы и выполняемые ими функции.

КОРЕННАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННАЯ ПЕРЕОЦЕНКА ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Увеличение сырьевой базы эксплуатируемых апатито-нефелиновых месторождений за счет пересмотра кондиционных требований на основе вовлечения в промышленное освоение относительно бедных по содержанию апатита, но комплексных руд является одним из главных направлений геологоразведочных работ. Необходимость комплексного использования руд хибинских месторождений в технологически возможных и экономически целесообразных масштабах не только диктуется ростом потребности в большинстве полезных компонентов, содержащихся в рудах, увеличением потерь в недрах и отходах добычи и переработки в связи с большими объемами производства, но и усугубляется требованиями к охране природы.

За весь период с начала освоения хибинских месторождений добыто 1 млрд. т руды из которой получено не менее 450 млн. т апатитового и нефелинового концентратов. Таким образом в отходах обогатительных фабрик накопилось около 550 млн. т песчаной массы, представленной нефелином, эгирином, апатитом (не менее 15—25 млн. т), сфеном, титаномагнетитом, полевыми шпатами и шламом этих и вторичных минералов. Объемы отходов непрерывно увеличиваются.

Проблема народнохозяйственной необходимости и экономической целесообразности комплексного использования апатито-нефелиновых руд впервые была сформулирована А. Е. Ферсманом в 1932 г. [41] как «идея в корне экономическая, создающая материальные ценности с наименьшей затратой средств и энергии, но эта идея не только сегодняшнего дня, это идея охраны наших природных богатств от их хищнического расточения, идея использования сырья для конца, идея возможного сохранения наших природных запасов на будущее» [с. 41,13]. Неоднократно возвращаясь к этой проблеме, А. Е. Ферсман подчеркивал, что она означает «переход... к полному превращению в практические ценности всей горной массы, извлекаемой с таким трудом из недр земли. Утилизация всех отходов, использование мельчайших примесей, комбинирование технологическое, горнотехническое и химическое — таковы те принципы, которые лежат в основе советского хозяйства... Здесь не надо ни общих слов, ни новых установок, нужна конкретная работа над каждым вопросом, над каждой деталью технологического процесса» [41, с. 11].

Геологоразведочные работы на месторождениях Кукисвумчорр-Расвумчоррской группы, начавшиеся вскоре после их открытия, проводились в течение длительного времени со значительными перерывами силами ряда организаций по различным, трудно сопоставимым между собой методикам с целью обеспечения запасов для текущей добычи и на ближайшую перспективу. С позиций современных требований основным недостатком работ этого и последующих этапов (вплоть до 1972 г.) являлось несоблюдение принципа полноты изучения вещественного состава руд и неполное оконтуривание апатитовой залежи по мощности (до выхода во вмещающие породы) и на глубину.

Разведанные за первые 25 лет запасы апатито-нефелиновых руд при достигнутых к тому времени масштабах добычи обеспечивали работу рудников на весьма длительную перспективу и представлялись практически неисчерпаемыми. Значительные прогнозные ресурсы хибинских месторождений в условиях невыясненных потребностей в продуктах комплексной переработки руд не стимулировали развития поисков, разведки и комплексной геолого-промышленной оценки новых апатитовых залежей.

В связи с развитием техники и совершенствованием технологии обогащения апатито-нефелиновых руд, с одной стороны, и ростом потребности сельского хозяйства в фосфатных удобрениях — с другой, неоднократно пересматривались показатели кондиций в сторону снижения бортового и минимального промышленного содержания P_2O_5 в балансовых рудах. Освоение месторождений началось с добычи исключительно богатых руд с содержанием P_2O_5 более 28—30 %; затем бортовое содержание P_2O_5 в рудах принималось равным 18 % при среднем по месторождениям не менее 20 %; в дальнейшем эти показатели были снижены соответственно до 12 и 18 %.

В 1963—1965 гг. была обоснована необходимость пересмотра кондиций для вовлечения в эксплуатацию руд с содержанием пятиоксида фосфора от 12 до 8—6 %, которые ранее безвозвратно терялись при разработке. К тому времени годовая производительность по руде достигла 20 млн. т, а за весь период было погашено около 150 млн. т.

По материалам ТЭО новых кондиций ожидаемый прирост запасов за счет снижения требований к балансовым рудам оценивался в зависимости от варианта кондиций в 250—400 млн. т по руде или в 25—40 млн. т по P_2O_5 . Имеющиеся резервы горного и обогащенного производств, ориентированных на выпуск только апатитового и в ограниченном объеме нефелинового концентратов, при обосновании кондиций не вызвали необходимости проведения дополнительных геолого-разведочных работ и доизучения состава и технологических свойств руд. В результате выполненного пересчета запасов, не сопровождавшегося комплексной переоценкой месторождений, сырьевая база действующих рудников была увеличена более чем на 300 млн. т (30 млн. т P_2O_5).

Вовлечение в сферу освоения относительно бедных руд позволило за период с 1965 по 1975 г. вдвое увеличить добычу руды и выпуск апатитового концентрата.

В связи с ростом потребности в фосфатных удобрениях, выпускаемых из хибинского апатитового концентрата, в 1971—1973 гг. были приняты дополнительные обоснования по дальнейшему снижению бортового содержания P_2O_5 в балансовых рудах от 8—6 до 4 %. Однако новое ТЭО, как и все предыдущие, не учитывало необходимости выявления и практического использования попутных полезных компонентов, содержащихся в апатито-нефелиновых рудах. Учитывая это обстоятельство, а также недостаточную геологическую и технологическую изученность руд, ГКЗ СССР воздержалась от утверждения новых кондиций. За период после перехода на кондиции с бортовым содержанием P_2O_5 8—6 % в составе добываемой и перерабатываемой руды увеличилось содержание полевого шпата, что повлекло дополнительные затраты по выпуску нефелинового концентрата и его переделу на глиноземных предприятиях. Поэтому ГКЗ СССР рекомендовала до разработки ТЭО по использованию бедных и убогих руд выполнить убедительные исследования сырьевой базы по горнодобычным работам, технологии обогащения и экономике комплекса производства.

До подготовки ТЭО была проанализирована полнота изученности состава апатито-нефелиновых руд эксплуатируемых месторождений и возможность использования данных опробования для подсчета запасов.

**Анализ полноты опробования апатито-нефелиновых руд
(по скважинам детальной и эксплуатационной разведки)**

Вариант кондиций, анализы	Общее число скважин, обеспечивающих (+) или не обеспечивающих (-) подсчет запасов по компонентам			
Борт, 8—6 % P ₂ O ₅	$+\frac{835}{842}$			
Борт, 4 % P ₂ O ₅	$+\frac{750}{612}$			$-\frac{85}{230}$
Анализы на Al ₂ O ₃ (общ.)	$+\frac{555}{569}$	$-\frac{195}{43}$	$+\frac{45}{203}$	$-\frac{40}{27}$
Анализы на Al ₂ O ₃ (к. р.)	$+\frac{126}{138}$	$-\frac{429}{431}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{195}{43}$
Минералогические анализы	Отсутствуют			

Примечание. В числителе показано число скважин, вскрывших верхний контакт, в знаменателе — нижний контакт рудной залежи.

основных и попутных полезных компонентов в контурах блоков по действующим (8—6 % P₂O₅) и перспективным (4 % P₂O₅) кондициям.

При анализе учитывались следующие критерии (табл. 56):

а) общее число скважин детальной и эксплуатационной разведки, пробуренных на месторождениях и опробованных на P₂O₅ и Al₂O₃ (общ.), обеспечивающих оконтуривание рудной залежи по бортовому содержанию 8—6 % P₂O₅ и подсчет запасов по основным компонентам;

б) число скважин, опробованных на P₂O₅ и Al₂O₃ (общ.) и обеспечивающих оконтуривание залежи по бортовому содержанию 4 % (т. е. с выходом во вмещающие породы);

в) число скважин, опробованных на P₂O₅, Al₂O₃ (общую и кислоторастворимую) и обеспечивающих подсчет запасов апатита и нефелина;

г) число скважин, опробованных на полный минеральный состав (для подсчета запасов минералов в балансовых рудах).

Из анализа табличных данных следует, что из общего числа пробуренных скважин детальной и эксплуатационной разведки, вскрывших рудную залежь на полную мощность (по действующим кондициям — 8—6 % P₂O₅), для подсчета запасов по бортовому содержанию 4 % P₂O₅ можно использовать 73—90 %, по Al₂O₃ (общ.) только 66—68 %, по Al₂O₃, связанной с нефелином, всего лишь 15—16 %. В материалах ранних периодов разведки полностью отсутствуют систематизированные данные по определению минерального состава руд и содержаний попутных полезных компонентов в рудообразующих минералах.

Таким образом, реализация программы коренной комплексной переоценки запасов апатито-нефелиновых руд по перспективным кондициям и по традиционной методике, т. е. с использованием при подсчете запасов результатов минералогических и химических анализов по скважинам, представлялась практически неразрешимой. Проведение массового доопробования всех скважин с целью определения в рудах содержаний минералов и попутных компонентов также оказалось невозможным, поскольку керн или дубликаты проб по подавляющему большинству скважин не сохранились. Повторное бурение большого числа

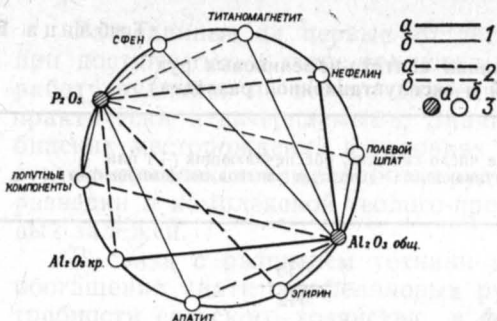


Рис. 61. Схема корреляционных связей между минералами и компонентами апатито-нефелиновых руд.

1 — прямая связь (a — сильная, $r > 0,6$; b — слабая, $r < 0,6$); 2 — обратная связь (a — сильная, b — слабая); 3 — базовые компоненты (a), зависимые (искомые) компоненты и минералы (b).

скважин взамен ликвидированных связано с большими затратами средств и времени и по этой причине практически неосуществимо.

С целью восполнения отсутствующей по материалам ранних периодов разведки информации автором была разработана принципиально новая, не применявшаяся в геологоразведочной практике методика оценки содержаний минералов и компонентов по корреляционным зависимостям с известными (базовыми) данными анализов на P_2O_5 и Al_2O_3 (общ.) по пробам.

В 1944 г. Б. Н. Мелентьев предложил эмпирические формулы для расчета содержаний нефелина (Ne) и пироксенов (Px) в зависимости от P_2O_5 в апатито-нефелиновых рудах разных текстурных типов с широким диапазоном содержаний P_2O_5 (от 8,0 до 39,6 %):

$$Ne = (95,8 - 2,451P_2O_5) \cdot 0,834 - 0,5;$$

$$Px = (142,9 - 2,451P_2O_5) \cdot 0,056.$$

Ошибка в определении нефелина была оценена им в 2,2 абс. %.

А. Б. Вистелиус [6] установил взаимосвязи содержаний апатита (Ap) и сфена (Sph) в сфено-apatитовых рудах сложного состава (коэффициент корреляции от $-0,20$ до $-0,87$).

Позднее Б. Н. Мелентьев с соавторами [1978 г.] для месторождения Апатитовый Цирк вывел уравнения, связывающие содержания нефелина, пироксена, сфена, полевого шпата (Fs) и титаномагнетита (ТМ) в зависимости от количества апатита ($Ap = 2,451 P_2O_5$):

$$Ne = 81,0 - 0,862Ap; \quad Px = 14,0 - 0,149Ap;$$

$$Px = 94,0 - (Ne + Ap); \quad Px = 0,173Ne;$$

$$(Fs + Sph + TM) = 11,0 - 0,12Ap.$$

Эти уравнения рекомендованы для использования в горном производстве при решении ряда практических задач, связанных с организацией автоматизированного выпуска руды заданного качества. Работоспособность расчетного метода количественной оценки минерального состава проверена прямыми анализами крупнотоннажных проб руды (1000 т). Установлено также, что выявленные зависимости нарушаются при разубоживании добытой руды вскрышными породами (рисчорритами, луювритами, ийолитами).

Сущность предложенной методики заключалась в следующем:

а) выявление корреляционных связей (рис. 61) между известными содержаниями P_2O_5 и Al_2O_3 (общ.) (базовые признаки) и всеми сопутными полезными компонентами и минералами (зависимые признаки) на эталонных совокупностях рудных проб, представляющих все природные разновидности, а также внутрирудных (разубоживающих) пород;

б) создание корреляционно-регрессивных моделей по всем типам руд на основе математической обработки на ЭВМ результатов химических и минералогических анализов специально организованных эталонных проб, представляющих каждое месторождение в отдельности;

в) количественная оценка содержаний химических компонентов и минералов в каждом изучаемом объекте (пробе, рудному пересечению, подсчетному блоку) для восполнения отсутствующих аналитических данных по материалам ранних периодов разведки.

Подобный подход предполагает определение каждого типа руд как статистической системы, характеризующейся более сильными внутренними связями, чем внешними. В качестве переменных такой системы приняты содержания главных минералов руд — апатита, эгирина, нефелина и сфена, которые в сумме составляют 94—97 % (табл. 6). Таким образом, каждый тип руды представляет собой четырехкомпонентную систему. Принимая за базовые признаки содержания P_2O_5 и Al_2O_3 , т. е. компоненты, определяющие содержания апатита и нефелина, эту систему условно можно свести к статистически разрешимой трехкомпонентной системе.

Математическая модель связи базовых и зависимых признаков описывается уравнением вида

$$c = a_0 + a_1 P_2O_5 + a_2 Al_2O_3,$$

где c — содержание зависимого признака; P_2O_5 и Al_2O_3 — содержания базовых признаков; a_0 , a_1 , a_2 — коэффициенты линейной регрессии.

Последовательность выполнения видов работ и операций по реализации методики была такой.

1. Отбор эталонных проб, их геологическая документация. В качестве эталонных использовались штучные пробы природных типов руд и разновидностей пород, отобранные из карьеров и горных выработок, рядовые керновые пробы разведочных скважин. По составу пробы характеризуют все классы содержаний P_2O_5 в каждом типе руд и внутри(около)рудных пород, а по месту отбора они охватывают верхние, средние и глубокие горизонты месторождений, их центральные и фланговые зоны, что обеспечивает представительность опробования. Масса штучных проб 20—30, керновых — 5—10 кг. Эталонная совокупность, использованная для построения аналого-статистических моделей, включает 3302 пробы (по месторождениям: Плато Расвумчорр — 1437, Юкспор — 1144, Апатитовый Цирк — 721), отобранные пропорционально распространенности типов руд.

2. Выполнение химических и минералогических анализов эталонных проб и изучение качественных характеристик руд и пород на основе статистической обработки на ЭВМ результатов анализов.

3. Разделение совокупности эталонных проб на две части — основную (обучающую) и контрольную.

4. Выявление корреляционных связей по обучающей совокупности эталонных проб. Обработка результатов анализов выполнялась на ЭВМ ЕС-1022 по программам «Поиск», «Статистика», «Парная корреляция и регрессия», «Множественная корреляция и регрессия».

5. Расчет содержаний минералов и компонентов по контрольной совокупности проб на основе выбранных статистических моделей и сопоставление расчетных данных с результатами минералогических и химических анализов.

Набор программ обеспечивает обработку статистических выборок для каждого типа руд и пород, а при необходимости и по классам содержаний любого признака.

Таким образом, программа обработки эталонных проб предусматривает создание математической модели выделенной совокупности типов руд и пород, включающей: статистические параметры (среднее содержание признака, дисперсию, коэффициент вариации, доверительный интервал, т. е. ошибку определения среднего), матрицы коэффициентов парной корреляции, уравнения парной и множественной линей-

Матрица корреляционных связей между компонентами и минералами апатито-нефелиновых руд и уртитов эксплуатируемых месторождений

Компонент, минерал		Al ₂ O ₃ (общ.)	Al ₂ O ₃ (к. р.)	Апатит	Нефелин	Эгирин	Сфен	Титано-магнетит	Полевой шпат
P ₂ O ₅	Ю	-0,93	-0,92	1,00	-0,93	-0,76	-0,50	0,10	-0,35
	ПР	-0,95	-0,93	1,00	-0,94	-0,66	-0,47	-0,23	-0,27
	АЦ	-0,93	-0,91	1,00	-0,90	-0,71	-0,44	-0,18	-0,19
Al ₂ O ₃ (общ.)	Ю		0,98	-0,93	0,96	0,56	0,30	-0,14	0,30
	ПР		0,99	-0,95	0,98	0,45	0,37	0,25	0,09
	АЦ		0,99	-0,93	0,95	0,49	0,27	0,21	0,03
Al ₂ O ₃ (к. р.)	Ю			-0,92	0,96	0,53	0,27	-0,10	0,23
	ПР			-0,93	0,98	0,41	0,36	0,26	0,01
	АЦ			-0,91	0,96	0,46	0,27	0,24	0,04
Апатит	Ю				-0,93	-0,71	-0,50	0,10	-0,39
	ПР				-0,94	-0,66	-0,47	-0,23	-0,27
	АЦ				-0,91	-0,72	-0,44	-0,18	-0,19
Нефелин	Ю					0,54	0,30	-0,10	0,23
	ПР					0,41	0,35	0,26	0,03
	АЦ					0,43	0,25	0,23	-0,06
Эгирин	Ю						0,51	-0,21	0,42
	ПР						0,36	-0,08	0,46
	АЦ						0,43	-0,10	0,40
Сфен	Ю							-0,18	0,26
	ПР							0,04	0,14
	АЦ							-0,06	0,15
Титаномагнетит	Ю								-0,34
	ПР								-0,23
	АЦ								-0,24

Примечание. Месторождения: Ю — Юкспор, ПР — Плато Расвумчорр, АЦ — Апатитовый Цирк.

ной регрессии для заданных признаков, коэффициенты множественной корреляции.

Взаимосвязи между минералами и компонентами для руд и пород оценивались по эмпирическим уравнениям регрессии с разбивкой на классы содержаний базовых признаков (P₂O₅ и Al₂O₃), а затем по парным и множественным уравнениям регрессии. Расчеты выполнялись на уровне значимости 0,05, что не только позволило получить четкое представление о количественном минеральном и химическом составе руд, но и обеспечило возможность оценки содержаний практически на любом участке месторождения, сопоставимом по размерам с подсчетным блоком, рудным пересечением.

Общее представление о характере связей дают корреляционные матрицы, рассчитанные для всех разновидностей апатито-нефелиновых руд и уртитов месторождений Плато Расвумчорр, Апатитовый Цирк и Юкспор (табл. 57).

С целью выбора уравнений парной регрессии для расчета содержаний минералов и полезных компонентов были сформированы выборки апатито-нефелиновых руд и уртитов по классам содержаний P₂O₅ и Al₂O₃ (общ.). В каждом классе определялось среднее значение признаков и доверительный интервал средних при 95 %-ной доверительной вероятности. Интервал классов изменялся в зависимости от числа проб в классе методом «скользящего среднего» (т. е. 1—3, 2—4, 3—5 % и т. д.). При анализе установлена возможность использования для

Коэффициенты уравнений парной и множественной регрессий
для расчета минерального состава апатито-нефелиновых руд и апатитовых уртитов

Компонент, минерал	Класс P_2O_5 , %	Число проб	r	a_0	a_1	a_2
Al_2O_3 (общ.)	0—16	557	0,75	23,36	-0,464	—
	16—40	528	0,91	25,81	-0,641	—
Al_2O_3 (к. р.)	0—16	557	0,97	-2,47	0,079	1,047
	16—40	528	0,98	3,63	-0,110	0,841
Апатит	0—40	787	1,00	0,13	2,444	1,047
Нефелин	0—16	557	0,87	11,49	-0,215	2,460
	16—40	528	0,96	30,37	-0,828	1,841
Эгирин	0—16	557	0,83	51,04	-1,370	-1,384
	16—40	528	0,70	37,81	-0,894	-0,992
Сфен	0—40	787	0,68	4,44	-0,113	—
Титаномагнетит	0—8	343	—	0,80	—	—
	8—16	251	—	2,13	—	—
	16—22	129	—	1,56	—	—
	22—32	130	—	0,70	—	—
	32—40	9	—	0,27	—	—
Полевой шпат	0—8	343	0,46	2,67	-0,315	—
	8—16	251	—	0,78	—	—
	16—22	129	—	0,78	—	—
	22—32	130	—	1,28	—	—
	32—40	9	—	1,10	—	—

Примечание. r — коэффициент корреляции.

расчетов содержаний минералов и компонентов общих уравнений регрессии для совокупности пятнистых, линзовидно-полосчатых, блоковых, массивных, сетчатых руд и апатитовых уртитов в широких диапазонах классов 0—8, 8—16, 16—22, 22—32 и 32—40 % P_2O_5 (табл. 58, 59). Вместе с тем сфено-apatитовые и брекчиевые руды сложного

Таблица 59

Коэффициенты уравнений парной и множественной регрессий
для расчета минерального состава сфено-apatитовых руд и апатитовой брекчии

Компонент, минерал	Класс P_2O_5 , %	Число проб	r	a_0	a_1	a_2
Сфено-apatитовые руды						
Al_2O_3 (общ.)	0—40	91	—	14,77	-0,462	—
Al_2O_3 (к. р.)	0—40	91	0,71	-0,40	0,027	0,904
Апатит	0—40	91	1,00	0,14	2,450	-0,009
Нефелин	0—40	91	0,86	6,43	-0,171	2,444
Эгирин	0—40	91	0,35	17,04	—	—
Сфен	0—40	91	0,40	18,82	—	—
Титаномагнетит	0—40	91	0,42	4,60	—	—
Полевой шпат	0—40	91	0,29	1,65	—	—
Апатитовая брекчия (брекчиевые руды)						
Al_2O_3 (общ.)	0—40	46	—	19,25	-0,417	—
Al_2O_3 (к. р.)	0—40	46	0,96	-0,18	0,002	0,923
Апатит	0—40	46	1,00	0,54	2,441	-0,019
Нефелин	0—40	46	0,97	7,11	-0,232	2,627
Эгирин	0—40	46	0,88	47,00	-1,076	-1,310
Сфен	0—40	46	0,83	17,76	-0,490	-0,443
Титаномагнетит	0—40	46	0,55	0,85	—	—
Полевой шпат	0—40	46	0,16	2,43	—	—

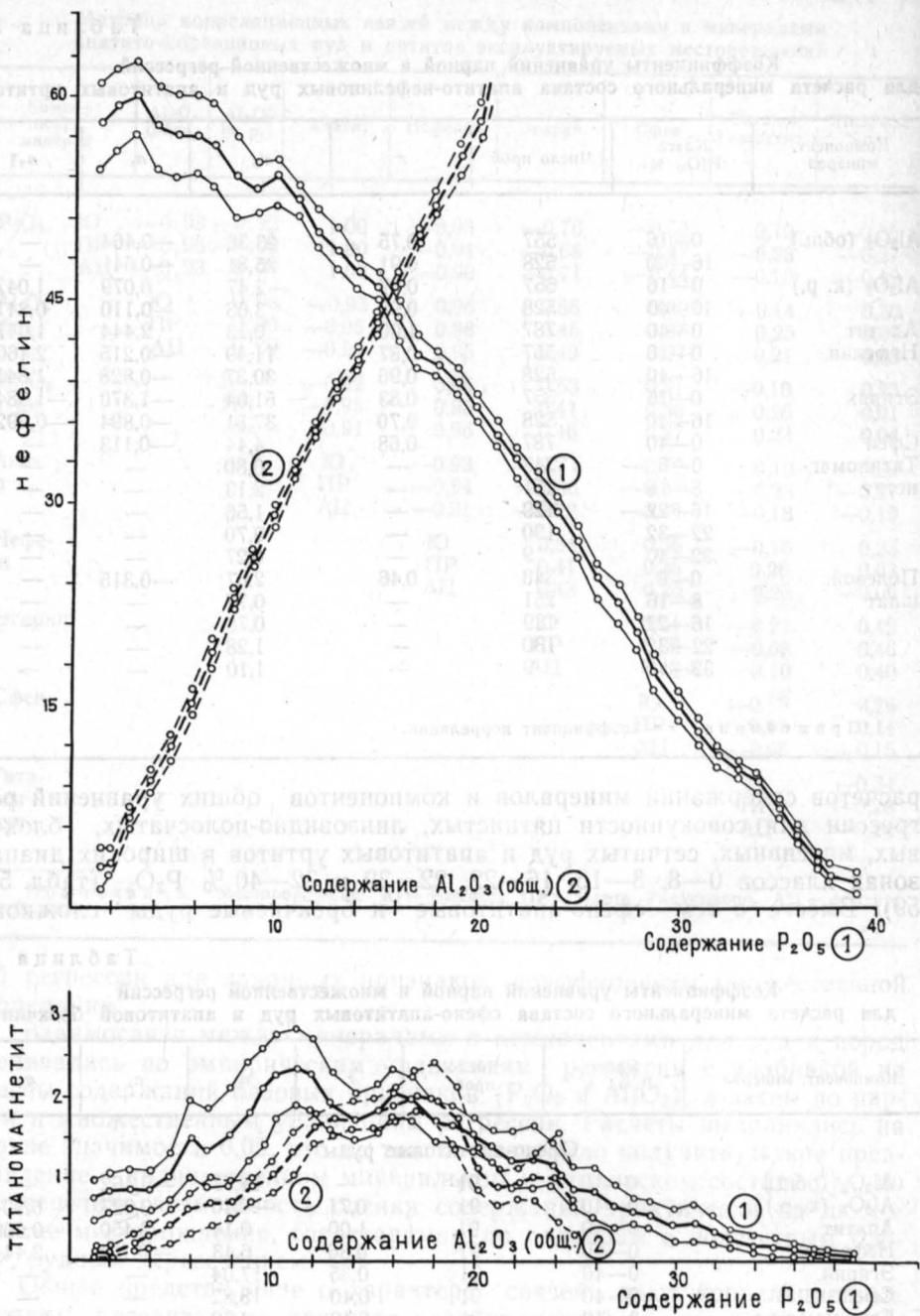


Рис. 62. Зависимости содержаний нефелина и титаномагнетита от содержаний P₂O₅ и Al₂O₃. Показаны границы доверительных интервалов на уровне значимости 95 %.

состава с изменчивым распределением трех—пяти главных минералов характеризуются иными зависимостями.

Выявленные взаимосвязи состава руд отдельных месторождений оказались настолько близкими между собой, что появилась возможность применения уравнений регрессии, рассчитанных по общей совокупности эталонных проб, отобранных на разных месторождениях.

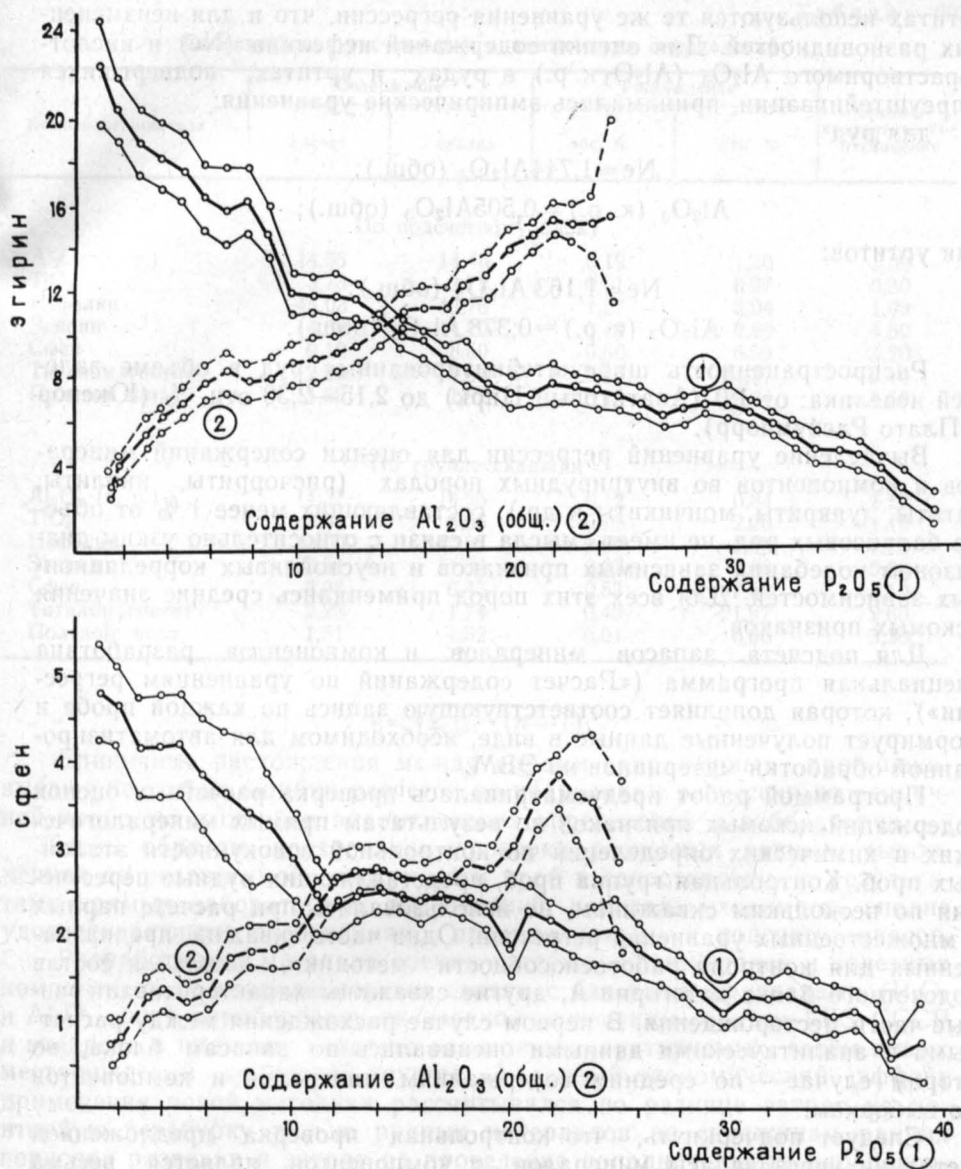


Рис. 63. Зависимости содержаний эгирина и сфена от содержаний P₂O₅ и Al₂O₃.

На рис. 62, 63 совмещены графики распределения содержаний главных рудообразующих минералов по классам содержаний P₂O₅ и Al₂O₃ (общ.). При анализе графиков обнаруживаются изменения линейных зависимостей признаков на интервалах разных классов, причем точки перегибов для базовых признаков (P₂O₅ и Al₂O₃) совпадают. При сужении ширины класса ослабевает сила корреляционных связей между базовыми и искомыми признаками. Уравнения регрессии вычислены только для тех случаев, когда значение коэффициента множественной корреляции превышает 0,6. Для руд с ослабленными связями оценку содержаний минералов и компонентов рекомендуется производить по среднему значению в пределах классов содержаний базового признака (P₂O₅).

Для вычисления содержаний минералов и компонентов (кроме нефелина и связанного с ним Al₂O₃) в шпреуштейнизированных рудах и

уртитах используются те же уравнения регрессии, что и для неизменных разновидностей. Для оценки содержаний нефелина (Ne) и кислотнорастворимого Al_2O_3 (Al_2O_3 к. р.) в рудах и урритах, подвергшихся шпреуштейнизации, принимались эмпирические уравнения:

для руд

$$Ne = 1,744 Al_2O_3 \text{ (общ.)};$$
$$Al_2O_3 \text{ (к. р.)} = 0,505 Al_2O_3 \text{ (общ.)};$$

для урритов:

$$Ne = 1,163 Al_2O_3 \text{ (общ.)};$$
$$Al_2O_3 \text{ (к. р.)} = 0,378 Al_2O_3 \text{ (общ.)}.$$

Распространенность шпреуштейнизированных руд в объеме залежей невелика: от 1,0 (Апатитовый Цирк) до 2,15—2,30 отн. % (Юкспор и Плато Расвумчорр).

Вычисление уравнений регрессии для оценки содержаний минералов и компонентов во внутрирудных породах (рисчорриты, ийолиты, уртиты, луявриты, мончикиты и др.), составляющих менее 1 % от объема балансовых руд, не имеет смысла в связи с относительно узким диапазоном колебаний зависимых признаков и неустойчивых корреляционных зависимостей. Для всех этих пород применялись средние значения искомого признаков.

Для подсчета запасов минералов и компонентов разработана специальная программа («Расчет содержаний по уравнениям регрессии»), которая дополняет соответствующую запись по каждой пробе и формирует полученные данные в виде, необходимом для автоматизированной обработки материалов на ЭВМ.

Программой работ предусматривалась проверка расчетных оценок содержаний искомого признаков по результатам прямых минералогических и химических определений по контрольной совокупности эталонных проб. Контрольная группа проб, представляющих рудные пересечения по нескольким скважинам, не использовалась при расчете парных и множественных уравнений регрессии. Одна часть скважин, предназначенных для контроля работоспособности методики, вошла в состав подсчетного блока категории А, другие скважины характеризовали разные части месторождения. В первом случае расхождения между расчетными и аналитическими данными оценивались по запасам блока, во втором случае — по средним содержаниям минералов и компонентов по выборкам.

Следует подчеркнуть, что контрольная проверка предложенной методики через запасы минералов и компонентов является весьма «жесткой» в связи с большой распространенностью в объеме блока сфено-apatитовых руд и руд, затронутых шпреуштейнизацией, для которых ослаблены корреляционные зависимости между минеральными и химическими компонентами.

Результаты сопоставлений расчетных и аналитических данных приведены в табл. 60.

Среднее абсолютное расхождение ($\bar{\Delta}$) характеризует разность средних содержаний по расчетным (\bar{C}_1) и аналитическим (\bar{C}_2) данным. Среднее относительное расхождение (δ) показывает отклонение средних содержаний компонентов при подсчете запасов с использованием только расчетных и только аналитических данных. Возможные единичные отклонения содержаний компонентов по парам сопряженных проб (Δ_i^2) оцениваются по среднеквадратическому расхождению (ϵ):

$$\bar{\Delta} = (\bar{C}_1 - \bar{C}_2) \text{ абс. \%};$$

$$\delta = (\bar{\Delta} / \bar{C}_1) \cdot 100 \text{ отн. \%};$$

Сопоставление расчетных и аналитических определений

Компонент, минерал	Содержание		Расхождение		Средне- квадратическое отклонение
	расчет	анализ	абс. %	отн. %	
По подсчетному блоку					
Al ₂ O ₃ (к. р.)	14,65	14,46	0,19	1,30	1,09
TiO ₂	3,73	3,72	0,01	0,27	0,30
Нефелин	45,03	43,76	1,27	3,04	1,09
Эгирин	14,30	14,70	0,40	2,80	4,50
Сфен	9,10	8,50	0,60	6,59	3,20
Титаномагнетит	2,22	1,67	0,55	24,77	2,10
Полевой шпат	1,66	1,82	0,16	9,64	3,50
По группе скважин					
Al ₂ O ₃ (к. р.)	14,37	14,25	0,12	0,84	1,22
TiO ₂	3,64	3,56	0,08	2,20	1,10
Нефелин	43,00	42,31	0,69	1,60	7,30
Эгирин	12,51	11,84	0,67	5,36	5,00
Сфен	6,98	6,45	0,53	7,59	4,10
Титаномагнетит	2,23	1,74	0,49	21,97	2,60
Полевой шпат	1,51	1,52	0,01	0,66	3,30

$$\varepsilon = \sqrt{\sum \Delta_i^2 / (n-1)}$$

Единичные расхождения между парами сопряженных проб показывают не только ошибки расчетов по уравнениям регрессии по единичной пробе, но и ошибки аналитических определений в лаборатории.

Таким образом, контрольная проверка расчетных данных, выполненная по независимой совокупности проб в сопоставлении с результатами прямых лабораторных определений, показала сходимость, вполне удовлетворяющую требованиям, предъявляемым к подсчету запасов.

Разработанная методика оценки содержаний минералов и полезных компонентов по корреляционным связям с базовыми признаками (P₂O₅ и Al₂O₃ общ.) апробирована экспертно-техническим советом ГКЗ СССР и внедрена в практику подсчета запасов эксплуатируемых, затем новых месторождений хибинской группы. Условный экономический эффект применения новой методики рассчитывался по разнице затрат на повторную переburку только рудных интервалов по скважинам ранних периодов разведки и затрат на проведение дополнительных лабораторных исследований по совокупности эталонных проб. По укрупненному расчету условная экономическая эффективность коренной комплексной переоценки Юкспорского месторождения по новой методике составила 375 тыс. руб.

Области применения уравнений регрессии для изучения минерального и химического состава апатито-нефелиновых и сфено-apatитовых руд, по-видимому, не ограничиваются только подсчетом запасов. Они могут успешно использоваться для замены трудоемких экспресс-анализов при планировании и учете добычи и переработки руд на действующих рудниках и фабриках, при прогнозировании вещественного состава руд перспективной добычи на любой заранее заданный период, для прямых и обратных химико-минералогических пересчетах состава апатито-нефелиновых руд.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Геологоразведочные работы относятся к сфере материального производства, поскольку они обеспечивают создание сырьевой базы для развития горнодобывающих отраслей промышленности. Затраты на их проведение входят составной частью в полную стоимость готовой продукции и должны возмещаться по ценам, сложившимся на запасы руды в недрах. Оценку геолого-экономической эффективности завершающих на стадии детальной разведки работ принято осуществлять по системе показателей внутриотраслевой и народнохозяйственной эффективности.

Внутриотраслевая эффективность

Показатели внутриотраслевой эффективности характеризуются соотношением затрат на проведение геологоразведочных работ с их прямыми результатами (выполнением геологического задания по поисковой оценке площади, выявлению прогнозных ресурсов, подготовке разведанных запасов для промышленного освоения). На стадиях поисков, поисково-оценочных работ и предварительной разведки целесообразно ограничиваться анализом хозрасчетной деятельности в целом и по видам геологоразведочных работ. По завершении полного цикла геологоразведочных работ экономические показатели уточняются с учетом количества, качества и степени изученности подготовленных запасов.

Инструкцией ГКЗ СССР предусматриваются сравнительная оценка проектной и фактической стоимости выполнения комплекса геологоразведочных работ, плановых и фактических показателей по выявлению запасов, сопоставление затрат на единицу разведанных запасов промышленных категорий данного месторождения с теми же показателями по аналогичным видам минерального сырья. Анализируются также объемы и затраты на проведение выработок, отбор и исследование проб, использованных при подсчете запасов, к общему объему (затратам) работ по видам, выявляются причины их исключения.

Исходными данными для расчета показателей внутриотраслевой эффективности являются:

а) геологическое задание (план) на выполнение поисковых и разведочных работ (P_3), выраженное в зависимости от стадии изучения в площади съемки и поисков определенного масштаба, в количестве прогнозных ресурсов или разведанных запасов руды и полезного компонента по категориям (с учетом выполнения полного комплекса исследований);

б) фактическое выполнение геологического задания (P_f) по тем же показателям;

в) сметная стоимость работ по геологическому заданию (C_n — плановые ассигнования на его выполнение);

г) сметная стоимость фактически выполненного объема работ (C_c) и фактические затраты на выполненный объем работ (C_f).

Основные показатели выполнения геологического задания по ко-

нечному результату в практике разведки хибинских месторождений рассчитываются по следующим формулам.

— Удельные затраты на разведку единицы запасов руды и P_2O_5 , руб./т:

$$Y_n = C_n / P_3 \text{ (плановое);}$$

$$Y_f = C_f / P_f \text{ (фактическое).}$$

Рассчитанные таким образом показатели себестоимости подготовки запасов являются усредненными, поскольку не учитывают степень разведанности запасов по категориям. Для более полного учета затрат на выявление запасов по категориям А, В и C_1 целесообразно применять переводные коэффициенты на трудоемкость разведки по категориям А ($K=3$), В ($K=2$) и C_1 ($K=1$). В этом случае формула приобретает вид $Y_f = C_f / (3P_A + 2P_B + P_C)$, где запасы, дифференцированные по категориям (P_A , P_B и P_C), в сумме составляют балансовые запасы промышленных категорий (P_f).

Удельные затраты на разведку запасов, приведенные к категории C_1 , являются более объективным показателем эффективности работ, позволяющим проводить сравнение результатов разведки месторождений различной сложности, для которых установлены нормативные соотношения запасов по категориям, а также сопоставлять себестоимость на разных стадиях разведки.

— Прирост разведанных запасов на 1 руб. затрат (величина, обратная удельным затратам) также дифференцируется по степени разведанности запасов.

— Экономия ассигнований, полученная в результате выполнения геологического задания, исчисляется как в абсолютном выражении (\mathcal{E}_a руб.), так и по отношению к сметным ценам ($\mathcal{E}_{уд}$, %):

$$\mathcal{E}_a = C_n - C_c; \quad \mathcal{E}_{уд} = [(C_n - C_c) / C_c] \cdot 100.$$

— Прибыль геологоразведочной организации за период работы на данной стадии определяется по разнице между сметной и фактической стоимостью выполненных геологоразведочных работ: $C_c - C_f$.

— Уровень рентабельности геологоразведочной организации за тот же период показывает отношение прибыли к сметной стоимости, %:

$$Y_p = [(C_c - C_f) / C_c] \cdot 100.$$

— Хозрасчетная эффективность работ геологоразведочной организации является наиболее полным показателем, объединяющим как уровень рентабельности работы, так и степень выполнения геологического задания по подготовке запасов в целом:

$$\mathcal{E}_x = \left(1 + \frac{C_c - C_f}{C_n}\right) \frac{P_f}{P_3}.$$

Показатель хозрасчетной эффективности обеспечивает возможность сопоставления экономических результатов по выявлению и подготовке месторождений, различных по сложности строения, масштабам запасов и качеству руд. При выполнении всех показателей плана и геологического задания на 100 % значение \mathcal{E}_x равно 1.

Вместе с тем этот коэффициент не учитывает экономии, полученной в результате выполнения геологического задания (\mathcal{E}_a). Кроме того, не вполне логично сопоставление прибыли ($C_c - C_f$) с суммой плановых ассигнований (C_n), поскольку их экономия не учитывается. Поэтому по предложению Л. И. Зингаревича при анализе эффективности детальной разведки хибинских месторождений применяется формула, в которой коэффициенты, учитывающие экономию от выполнения геологического задания и рентабельность геологической организации (а не геологоразведочных работ), присутствуют в качестве отдельных показателей:

$$\mathcal{E}_x = \left(1 + \frac{C_c - C_n}{C_n}\right) \left(1 + \frac{C_c - C_f}{C_c}\right) \frac{P_f}{P_3}.$$

Так, например, значения E_x до и после внесения поправки по одному из комплексно разведанных месторождений, на котором были совмещены стадии предварительной и детальной разведки, составили соответственно 1,09 и 1,18.

Сравнительный геолого-экономический анализ разведки новых и коренной комплексной переоценки эксплуатируемых месторождений Хибинского массива проводится с учетом объективных различий этих месторождений по сложности строения, глубины залегания руд, их качественных характеристик и масштабов запасов, а также степени разведанности по категориям. При анализе следует учитывать также период времени и продолжительность проведения работ, т. е. исходить из принципа наименьших затрат времени.

Ньюркахское месторождение до начала разведки считалось непромышленным в связи с брекчиевым характером оруденения, запасы его балансом не учитывались. На стадии подготовки проекта разведочных работ было высказано предположение о закономерной приуроченности залежей брекчиевых руд к структурам расслоенного комплекса ийолитов. Практическое подтверждение этого предположения, положенного в основу проекта работ, позволило совместить во времени стадии предварительной и детальной разведки и осуществить ее в сжатые сроки (1972—1975). Это месторождение имеет сложное строение (2-я группа), небольшую глубину залегания (100—400 м) и сравнительно благоприятные условия для ведения геологоразведочных работ.

Партомчорское месторождение также длительное время после открытия (1960 г.) рассматривалось в качестве резервного в связи с низким содержанием P_2O_5 в руде. По материалам ТЭС, составленных с учетом комплексного использования руд, была признана целесообразность дальнейшего его изучения на стадиях предварительной и детальной разведки, также частично совмещенных во времени (1972—1978). По сложности геологического строения оно относится к 1-ой группе, но характеризуется сложными горно-геологическими условиями для проведения буровых работ: сильно расчлененным горным рельефом, лавиноопасностью, большой глубиной залегания рудной зоны (до 1000 м).

Месторождение Олений Ручей выявлено в 1975 г. и подготовлено для освоения в 1976—1985 гг. По совокупности параметров, определяющих сложность строения, оно относится ко 2-й группе, характеризуется весьма неблагоприятными условиями производства геологоразведочных работ (пересеченный рельеф, отсутствие источников водоснабжения, лавиноопасность, большая глубина залегания руд, до 1000 м). Поисково-оценочные работы, предварительная и детальная разведка выполнялись непрерывно.

Коашвинское месторождение, открытое в 1960 г., разведано в течение двух периодов, включавших стадии предварительной и детальной разведки. В первый период (1961—1972) были подготовлены для открытой добычи запасы верхних горизонтов, освоение которых начато с 1978 г. Во второй период (1974—1985) разведаны глубокие горизонты месторождения для подземной разработки, повышена детальность изучения запасов открытой добычи, осуществлена комплексная переоценка всего месторождения. Месторождение расположено в экономически освоенном районе, характеризуется удобными условиями производства геологоразведочных работ, но имеет сложное строение (2-я группа) и значительную глубину распространения руд (от поверхности до 1000 м).

Все месторождения разведаны комплексно и переданы для промышленного освоения.

Коренная переоценка эксплуатируемых месторождений Юкспор, Плато Расвумчорр и Апатитовый Цирк, разведанных в 1930—1960-е годы, проводилась с целью вовлечения в добычу забалансовых руд и их

комплексного использования. В процессе доразведки по новым условиям были выполнены лабораторные и полупромышленные испытания комплексной обогатимости руд с получением пяти минеральных концентратов, разработаны и внедрены в практику методики изучения комплексного состава руд по корреляционным связям и автоматизированного подсчета запасов на ЭВМ. Эти усовершенствования методических приемов позволило при доразведке ограничиться минимальным объемом буровых работ и аналитических исследований, осуществить переоценку в сжатые сроки и тем самым значительно повысить геолого-экономическую эффективность подготовки запасов для действующих рудников и их обеспеченность на длительную перспективу (табл. 61).

Из анализа табл. 61 следует вывод о высокой геологоэкономической внутриотраслевой эффективности геологоразведочных работ на хибинских апатитовых месторождениях, в особенности по коренной комплексной переоценке запасов для действующих рудников. Это является следствием совершенствования методики исследований. Стоимостная отдача затрат на выявление дополнительных запасов бедных руд за счет применения экономически обоснованных кондиций на эксплуатируемых месторождениях в 3—6 раз выше, чем на разведку запасов на новых месторождениях.

Показатели себестоимости разведки запасов P_2O_5 на новых месторождениях также являются самыми высокими в отрасли, что, в частности, связано с весьма крупными масштабами самих месторождений хибинского типа, большой концентрацией апатита в рудах. Еще более показательно соотношение затрат на подготовку единицы разведанных запасов P_2O_5 в недрах (величина, обратная себестоимости разведки) со стоимостью 1 т P_2O_5 в апатитовом концентрате (56,6 руб./т). Так, стоимость 1 т P_2O_5 в концентрате (39,4 % P_2O_5) при отпускной цене 22,3 руб./т в 250—450 раз превышает затраты на разведку тонны P_2O_5 в рудах новых месторождений и в 1000 раз больше по сравнению с затратами на увеличение запасов компонента при коренной переоценке эксплуатируемых месторождений.

Народнохозяйственная эффективность

Оценка геолого-экономической эффективности поисково-разведочных работ осуществляется по соотношению затрат на выявление запасов в недрах с показателями при их освоении. Инструкцией ГКЗ СССР предусматривается в материалах по разведанному месторождению оценивать его значение в балансе запасов горнодобывающего предприятия, экономического района или территориального промышленного комплекса и подотрасли в целом, а также сопоставлять качество руд подготовленного месторождения с другими эксплуатируемыми и резервными месторождениями данного вида сырья.

По материалам ТЭО постоянных кондиций рассматриваются основные технико-экономические показатели (производительность рудника и обогатительной фабрики, капитальные вложения и эксплуатационные затраты, уровень рентабельности, окупаемость) в сравнении с другими объектами, числящимися на государственном балансе запасов. Особенно важно рассмотреть экономические последствия по влиянию ввода в промышленное освоение нового месторождения на обеспеченность разведанными запасами (предприятия, района, подотрасли), по изменению себестоимости и объема выпускаемой продукции.

В Отделе экономических исследований Кольского филиала АН СССР (Н. Г. Пешев, Е. П. Башмакова) разработана методика экономической оценки разведанных запасов минерального сырья, основанная на: 1) анализе геолого-промышленной характеристики месторождений; 2) выборе оптимального варианта его промышленного освоения; 3) сте-

Показатели внутриотраслевой эффективности разведки и коренной комплексной переоценки хибинских апатитовых месторождений

Показатель	Разведка новых месторождений				Переоценка эксплуатируемых месторождений
	Ньюркпахк	Партом-чорр	Олений Ручей	Коашва	
1. Выполнение планового задания по приросту запасов P_2O_5 , %	116	160	132	110	185
2. Среднее содержание P_2O_5 в разведанных запасах, %	14,1	7,5	16,2	15,2	10,9
3. Соотношение запасов по категориям А : В : С ₁	0 : 24 : 76	9 : 19 : 72	0 : 24 : 76	0 : 35 : 65	25 : 33 : 42
4. Себестоимость разведки запасов P_2O_5 , т/руб.:					
плановая	4,45	4,75	3,08	6,65	8,35
фактическая	5,85	8,05	4,25	7,65	16,70
фактическая (в пересчете на запасы категории С ₁)	8,00	11,75	5,25	10,30	30,30
5. Уровень рентабельности, %	12,0	7,1	4,3	4,1	8,2
6. Показатель хозрасчетной эффективности	1,30	1,71	1,38	1,15	2,0

пени технологической изученности руд концентратов; 4) определении уровня полноты комплексного использования руд для обеспечения наибольшего народнохозяйственного эффекта от эксплуатации.

Эта методика реализована для кадастровой характеристики апатитовых месторождений Хибинского массива. В основу такой характеристики положен принцип денежной оценки разведанных по промышленным категориям запасов апатито-нефелиновых руд как элемента национального богатства [31, 32]. При экспериментальных расчетах по кадастровой оценке принимались во внимание существующая схема размещения промышленных объектов производственного объединения «Апатит» и проект их реконструкции, сложившиеся оптовые и расчетные цены на концентраты, замыкающие и приведенные индивидуальные затраты на производство основной и попутно получаемой продукции при комплексной переработке апатито-нефелиновых руд. Рассмотрены два варианта промышленного освоения месторождений с использованием: а) только апатитового концентрата и б) всех минеральных концентратов (кроме эгиринового, в связи с неопределенностью областей его потребления).

Денежная оценка определена по народнохозяйственному эффекту в результате освоения месторождений, запасы которых подсчитаны по различным вариантам бортовых содержаний P_2O_5 от 8 до 2 % (всего четыре подварианта). Кроме того, отдельно проанализирована эффективность открытой и подземной отработки месторождений.

Экономический эффект (рента) от эксплуатации месторождений выражаются разницей между замыкающими затратами на отдельные виды продукции с индивидуальными приведенными затратами на получение концентратов и продуктов их передела. Замыкающие затраты определены на основе оптимизационных многовариантных расчетов перспективных планов развития и размещения отраслей по производству минеральных удобрений, глинозема, кальцинированной соды, поташа, цемента и др. Предельно допустимые затраты составили, руб./т: по производству фосфорной кислоты — 294—320, по выпуску концентратов нефелинового — 12,9, сфенового — 25,0, титаномагнетитового — 12,1.

По варианту использования апатито-нефелиновых руд только для производства минеральных удобрений максимальный народнохозяйственный эффект (12,8 млрд. руб.) достигается при условии отработки запасов Кукисвумчоррского, Юкспорского, Апатитовый Цирк, Эвеслогчоррского и Ньоркпахского месторождений при бортовом содержании P_2O_5 — 4 %, Партомчоррского — 3 %, Плато Расвумчорр и Коашвинского — 2 %. Для сравнения минимальный эффект (12,0 млрд. руб.) соответствует освоению запасов, подсчитанных при ранее действовавших условиях: для открытой обработки — 6, для подземной добычи — 8 %.

Экономическими расчетами определена денежная оценка единицы разведанных запасов апатито-нефелиновых руд для каждого месторождения в отдельности и для всей группы хибинских месторождений. В зависимости от принятого для рассмотрения варианта кондиций, экономический эффект от некомплексного освоения 1 т руды составляет в среднем 2,8—3,6 руб., а при комплексной переработке этой же руды 3,3—4,1 руб. Однако цена 1 т разведанных запасов комплексных апатито-нефелиновых руд отдельных месторождений весьма существенно отличается от средней: для месторождения Плато Расвумчорр она достигает 7,4—9,5 руб., для Партомчоррского месторождения — всего лишь 0,4—0,4 руб., а для запасов открытой добычи ценность руды в 3 раза больше, чем для запасов подземной отработки.

Эффективность коренной комплексной переоценки единицы запасов руд на эксплуатируемых месторождениях, выполненной в 1976—1983 гг., оказалась в 3—5 раз выше, чем при разведке новых, неосвоенных промышленностью рудных объектов.

Для примера рассмотрим результаты экспериментальных расчетов по выбору оптимального варианта освоения весьма крупного по масштабам запасов, но бедного по содержанию апатита в рудах Партомчоррского месторождения. Анализ выполнен на стадии детальной разведки в период подготовки ТЭО проекта постоянных кондиций [Н. Г. Пешев и др., 1978 г.]. В настоящее время это месторождение разведано комплексно, балансовые запасы его подсчитаны и в установленном порядке утверждены ГКЗ СССР по кондициям предусматривающим переработку апатитового концентрата на фосфорные удобрения по эффективному экстракционному методу.

Несмотря на сравнительно неблагоприятные горногеологические, технологические и экономические условия освоения Партомчоррского месторождения, его вовлечение в эксплуатацию в ближайшее время признано целесообразным в связи с сохраняющейся диспропорцией между масштабами производства и потребления минеральных удобрений, кормовых фосфатов, фосфорных солей.

Таблица 62

Расчетные технико-экономические показатели эффективности промышленного освоения открытым способом Партомчоррского месторождения

Показатель	Вариант кондиций, %		
	с	4	2
Среднее содержание P_2O_5 в руде, %	9,10	7,35	5,93
Годовая производительность по руде, млн. т	6,0	7,0	8,0
Объем выпуска апатитового концентрата, млн. т	1,16	1,10	1,00
Себестоимость добычи руды, руб./т	4,50	4,61	4,73
Себестоимость производства концентрата, руб./т	33,1	39,3	48,8
Приведенные затраты на 1 т концентрата, руб.	55,3	66,2	83,8
Обеспеченность запасами карьера, лет	17	23	33

На период составления проекта кондиций рассматривались варианты подземной и комбинированной (подземной и открытой) отработки запасов. Однако, принимая во внимание, что организация подземного рудника реально осуществима в отдаленной перспективе, анализ народнохозяйственной эффективности выполнен только для части запасов в контуре проектного карьера (табл. 62).

Месторождение расположено на большом удалении от промышленных объектов ПО «Апатит», поэтому возникла необходимость рассмотреть целесообразность обогащения руд по двум вариантам: на одной из действующих АНОФ или на новой обогатительной фабрике в районе месторождения. Сравнение вариантов оказалось в пользу организации на месторождении только горного производства и транспортировки добытой руды на АНОФ-2 или АНОФ-3. При этом достигается экономия эксплуатационных затрат в размере 1,9—2,6 млн. руб.

Экономический эффект, привносимый за весь период освоения карьера, рассчитан с применением коэффициента перевода (α) годового эффекта в суммарный дисконтированный эффект:

$$\alpha = \frac{(1 - \epsilon_{н.п})^{T-1}}{\epsilon_{н.п} (1 + \epsilon_{н.п})}$$

где $\epsilon_{н.п}$ — нормативный коэффициент приведения ($\epsilon_{н.п} = 0,08$); T — обеспеченность карьера запасами, лет.

Суммарный дисконтированный эффект за срок освоения карьера оценивался по трем вариантам бортового содержания P_2O_5 (6—4—2%), а также по шести вариантам уровня полноты комплексного использования апатито-нефелиновых руд с получением:

- 1) только апатитового концентрата;
- 2) концентратов апатита, нефелина, сфена и титаномагнетита;
- 3) апатитового концентрата при его оценке по уровню замыкающих затрат на фосфатное сырье;
- 4) апатитового концентрата и с переработкой его сернокислотным способом с извлечением P_2O_5 и чистого фтора;
- 5) всех минеральных концентратов и с переработкой апатита сернокислотным способом, а нефелина, сфена и титаномагнетита — на конечные продукты;

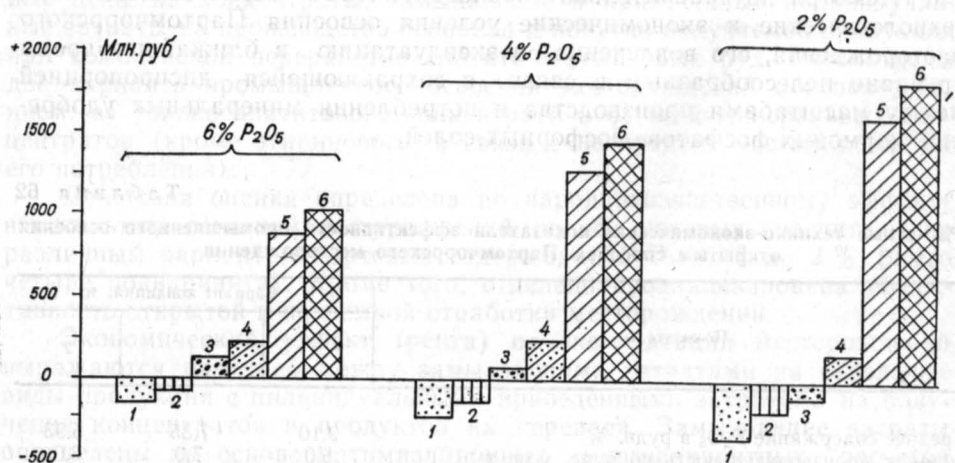


Рис. 64. Изменение суммарного дисконтированного эффекта за срок открытой отработки месторождения Партомчорр в зависимости от варианта кондиций и полноты комплексного использования руд [32].

1—6 — значения суммарного дисконтированного эффекта в зависимости от полноты комплексного использования руд (см. пояснения в тексте).

6) всех минеральных концентратов и с переработкой апатита азотнокислотным способом, а нефелина, сфена и титаномагнетита — на конечные продукты.

Результаты анализа изменений суммарного дисконтированного эффекта по вариантам кондиций и степени комплексного использования руд и концентратов изображены на гистограммах (рис. 64). Во всех рассмотренных случаях использование апатито-нефелиновых руд Партомчоррского месторождения только для получения минеральных концентратов является нерентабельным. Экономическая эффективность достигается только при условии переработки концентратов на конечные продукты и увеличивается при переходе от высокого к низкому бортовому содержанию P_2O_5 .

Геолого-промышленная классификация апатитовых месторождений хибинского типа

Хибинские месторождения комплексных апатитовых руд отличаются от других фосфатных месторождений весьма крупными размерами, высокой концентрацией в рудах основных и попутных ценных компонентов, сравнительно благоприятными технико-экономическими показателями их добычи, обогащения и переработки на конечную продукцию, высокой интенсивностью промышленного освоения, обеспеченностью действующих и проектируемых рудников разведанными запасами на длительную перспективу.

В связи с завершением разведки большинства новых и коренной комплексной переоценки ранее известных эксплуатируемых месторождений Хибинского массива возникла необходимость и появилась возможность сопоставить их по масштабам запасов, качеству руд и степени подготовленности для комплексного промышленного освоения, т. е. по системе показателей, которые в процессе разведки и эксплуатации претерпевают изменения.

По народнохозяйственному значению все месторождения апатитов и фосфоритов принято подразделять на пять групп:

1) месторождения с весьма крупными запасами богатых руд с содержанием P_2O_5 более 15 %, расположенные в благоприятных геогра-

Таблица 63

Геолого-промышленная классификация апатитовых месторождений

Масштаб запасов	Качество руд*	Подготовленность для комплексного промышленного освоения		
		Подготовленные	В стадии подготовки	Не подготовленные
Весьма крупные	Богатые	Расвумчорр	Коашва	—
	Средние	Юкспор	—	—
	Бедные	Партомчорр	—	—
Крупные	Богатые	Олений Ручей	Кукисвумчорр	—
	Средние	—	Эвеслогчорр	—
	Бедные	—	—	—
Средние	Богатые	Апатитовый	—	—
	Средние	Цирк	—	—
	Бедные	Ньюрпках	—	—
Мелкие	Богатые	—	—	Вуоннемиок
	Средние	Поачвумчорр	—	Куэльпор
	Бедные	—	—	Снежный Цирк

* Богатые — больше 15, средние — 15—10, бедные — меньше 10 % P_2O_5 .

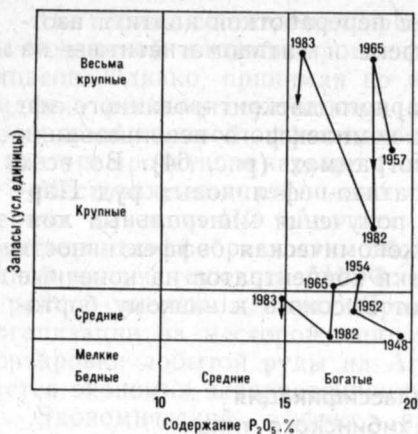


Рис. 65. Изменения народнохозяйственной оценки месторождений по мере погашения запасов и переоценки по новым кондициям (доразведки).

Хибинского массива, расположенные в экономически развитом районе с благоприятными условиями для эксплуатации, относятся к первым двум группам, т. е. имеют большое народнохозяйственное значение. С экономической точки зрения отнесение всех хибинских месторождений к этим группам объективно, однако это не позволяет различать их по значению внутри групп.

С целью более объективной оценки хибинских месторождений по народнохозяйственной значимости с учетом распределения их по количеству запасов, качеству руд и степени подготовленности для комплексного промышленного освоения предлагается классификация (табл. 63), которая позволяет проводить сопоставление отдельных месторождений по этим признакам, учитывать объективные изменения в оценке месторождений, связанные с погашением запасов в результате добычи (переход в более низкую группу) или с доразведкой флангов, глубоких горизонтов, изменением кондиций, а также с их комплексной переоценкой на попутные полезные компоненты (рис. 65).

Так, например, за период освоения Кукисвумчоррского месторождения (1930—1987) было добыто 315 млн. т руды, в связи с чем оно из группы весьма крупных перешло в группу крупных, а весьма крупное по масштабам Юкспорское месторождение богатых руд (P_2O_5 более 15 %) в результате переоценки по новым кондициям перешло в разряд средних по качеству (P_2O_5 менее 15 %) и из неподготовленных для комплексного использования — в подготовленные.

Наоборот, для месторождений, находящихся в стадии разведки, в результате прироста запасов возможен переход из низкой в более высокую группу и, кроме того, из неподготовленных для комплексного освоения — в подготовленные или освоенные промышленностью.

Для группировки рудных тел по величине запасов внутри месторождений второго подтипа (многоярусные рудные зоны) целесообразно применять оценочные критерии на одну группу выше, чем для месторождений. Предложенная классификация может служить ориентиром для сопоставления при крупномасштабном прогнозировании, поисках и разведке других месторождений апатитовых руд.

фо-экономических и горнотехнических условиях, в промышленно освоенном районе с дефицитом баланса сырья;

2) крупные месторождения богатых руд (более 15 % P_2O_5) с относительно сложными условиями для промышленного освоения;

3) средние по запасам месторождения, расположенные в районе с благоприятными условиями для эксплуатации, где имеются действующие горнодобывающие и перерабатывающие предприятия, не обеспеченные разведанными запасами на перспективу;

4) средние по запасам и качеству руд месторождения с благоприятными условиями освоения;

5) небольшие по запасам месторождения.

В соответствии с этими параметрами все апатитовые месторожде-

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ

Современный этап развития минерально-сырьевой базы отличается колоссальным ростом масштабов добычи полезных ископаемых, вовлечением в разработку многих новых месторождений, освоением новых регионов часто в трудных географических условиях. Объем горной продукции в целом удваивается через каждые 10—15 лет. Это требует не только постоянного наращивания разведанных запасов, но и экономного, рационального расходования полезных ископаемых, которые в отличие от других видов природных ресурсов являются невозобновимыми.

Наиболее полно вопросы рационального природопользования, учитывающие экономические, технические и экологические аспекты, проявляются при оценке минерального сырья, их добычи и комплексной переработке на конечные продукты. Теоретические и прикладные исследования по выбору критериев и методов оценки природных ресурсов [18, 31, 46] со всей очевидностью показали необходимость и правомерность денежной оценки природных богатств как инструмента рационализации природопользования и повышения эффективности общественного производства. Без знания денежной оценки природных ресурсов трудно экономически обосновать величину вложений общественных средств в мероприятия по воспроизводству, охране и рациональному использованию природных ресурсов.

Подход к оценке природных ресурсов, исходя из эффективности эксплуатации, приводит к понятию оптимальной дифференциальной ренты как базы для экономической оценки всех видов природных ресурсов в социалистическом хозяйстве. В общем виде это выражается уравнением

$$R = \max[\alpha q(Z - S)],$$

где R — экономическая оценка природного ресурса; Z — замыкающие затраты на продукцию, получаемую при эксплуатации природного ресурса; S — индивидуальные затраты на ту же продукцию; q — коэффициент утилизации запасов полезных ископаемых; α — коэффициент, учитывающий динамику во времени показателей Z , S , q .

Экономическая оценка природных богатств должна учитывать долгосрочные народнохозяйственные результаты их использования.

Рентная оценка природных ресурсов в условиях социализма выражает экономию общественного труда, обеспечиваемую использованием данного вида сырья. Количественное определение этой экономии возможно только в процессе оптимизационных расчетов, увязывающих конкретные показатели эксплуатации данного ресурса с характеристиками развития комплекса природоэксплуатирующих отраслей.

Использование концепции максимума дисконтированной ренты при оценке минерального сырья приводит к интенсификации отработки запасов с увеличением мощности горных предприятий и концентрации производственных ресурсов на меньшем числе объектов, возрастает полнота извлечения запасов из недр. Таким образом, рентный принцип

оценки месторождений полностью соответствует генеральному курсу на интенсификацию использования ресурсного потенциала.

Ценность продукции в расчетах экономических оценок природных ресурсов в значительной мере определяется уровнем замыкающих затрат как общественно оправданных пределов затрат на прирост производства данной продукции.

В соответствии с этим и существующими в настоящее время методическими разработками экономическая оценка месторождений фосфатного сырья определяется по эффективности производства фосфорной кислоты из различных видов фосфатов. Эффект от эксплуатации запасов R_r определяется как разность между ценностью продукции (Z), получаемой из фосфатного сырья и исчисленной исходя из предельно допустимых с народнохозяйственной точки зрения (замыкающих) затрат и индивидуальными по месторождению суммарными (эксплуатационными и капитальными) затратами S на производство данной продукции за период отработки запасов с учетом фактора времени:

$$R_r = \max \sum_{t=1}^T \frac{Z_{it} - S_{it}}{(1 + E_{н.п})^t}; \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

где m — возможные варианты извлечения и переработки запасов фосфатного сырья; T — расчетный период эксплуатации месторождения; Z_i — ценность фосфорной кислоты и попутной продукции (включая все извлекаемые компоненты), исчисленные в замыкающих затратах t -го года; $E_{н.п}$ — норматив для приведения разновременных затрат; S_i — сумма капитальных и эксплуатационных (без отчислений на реновацию) затрат в t -м году на разведку, добычу, обогащение, транспорт сырья и производство фосфорной кислоты. Показатели замыкающих и индивидуальных затрат должны рассчитываться по одинаковому кругу затрат и нормативам.

Замыкающие затраты на фосфатное сырье, будучи экономической характеристикой оптимальных производственных связей между предприятиями по добыче и переработке фосфатных руд, определяются на основе оптимизационных многовариантных расчетов перспективного плана развития и размещения горнодобывающих предприятий и производств по получению фосфорной кислоты. Для выполнения расчетов была поставлена и решена оптимизационная задача развития производства фосфорной кислоты до 2000 г. в соответствии с общими принципами оптимального планирования.

Эти расчеты позволили установить относительно устойчивые и наиболее вероятные производственные связи добывающих и перерабатывающих предприятий и на их основе определить источники формирования и численные значения замыкающих затрат на фосфорную кислоту до 2000 г., которые можно использовать при экономической оценке фосфатных месторождений (табл. 64). Их уровень определен с учетом приведенных затрат на геологоразведочные работы, добычу и обогащение руды, транспорт концентратов в районы потребления и производства фосфорной кислоты из руд наименее благоприятного (замыкающего) месторождения или группы месторождений, объемы производства которых составляют 10—15 % от общесоюзного.

По данным табл. 64 можно рассчитать предельно допустимые затраты на добычу и обогащение отдельных видов фосфатного сырья (Z_k) по формуле

$$Z_k = (Z - Z_n) (\alpha/100) \beta - Z_{тр},$$

где Z_n — приведенные затраты на производство фосфорной кислоты на стадии химической (металлургической) переработки фосфатного сырья, руб./т, в расчете на 100 % P_2O_5 ; $Z_{тр}$ — приведенные затраты на транс-

Замыкающие затраты на фосфорную кислоту (в пересчете на 100 % P_2O_5)

Год	Месторождения (горно-обогатительные предприятия), формирующие уровень замыкающих затрат	Удельный вес производства сырья, % от общесоюзного	Уровень замыкающих затрат, %
1980	Каратау, Маарду, Кингисеппское	10,2	100
1985	Ошурково, Чилисайское, Тоолсе	12,3	105
1990	Белая Зима, Чилисайское, Удско-Селемджинское	12,7	111
2000	Кингисеппское, Чилисайское, Удско-Селемджинское	11,2	115

порт фосфатного сырья с горнообогатительного предприятия на химический (металлургический) завод, руб./т; α — содержание P_2O_5 в концентрате (товарной руде), %; β — коэффициент извлечения P_2O_5 при производстве фосфорной кислоты.

Экономическая оценка месторождений фосфатного сырья является комплексной проблемой, охватывающей решение вопросов геолого-промышленной характеристики месторождения, анализа условий его освоения, технологической изученности руды и получаемых из нее концентратов, учета основных технико-экономических параметров их производства и на этой основе определение места месторождения в плане развития подотрасли. При этом необходимо иметь в виду, что разведка месторождений дает геологическую информацию о размере запасов, качестве руды с той или иной степенью достоверности, что предопределяет приближенный характер расчетов. Вероятностный характер экономической оценки месторождений вызван также недостаточной изученностью процессов переработки руды на стадии геологоразведочных работ и даже проектирования предприятия. Дополнительную неопределенность накладывает также фактор времени, так как за длительный период времени между выполнением экономической оценки по материалам геологоразведочных работ и до полного погашения запасов несомненно значительно изменяется не только технические и экономические параметры эксплуатации запасов месторождения, но и конъюнктура потребления продукции, получаемой из руд месторождения.

Экономическая ценность месторождения определяется в увязке с установлением основных параметров их эксплуатации. В процедуре экономических расчетов искомой величиной является не только денежная оценка месторождения, но и основные параметры его освоения. Положительное значение эксплуатационной ценности месторождения (его выемочной части) свидетельствует о целесообразности его освоения и включения запасов в группу балансовых.

Кроме того, экономический показатель ценности месторождения, отнесенный к затратам на его разведку, характеризует эффективность геологоразведочных работ. Ценность единицы разведанных запасов используется при экономическом обосновании планов геологоразведочных работ по видам полезных ископаемых и регионам страны, стимулирует концентрацию их на наиболее перспективных объектах. Этот показатель применяется также для обоснования хозяйственных решений на горных предприятиях при возникновении многообразных ситуаций, не предусмотренных проектом разработки месторождения (организационные и технологические усовершенствования по повышению уровня извлечения полезных компонентов, изменения горно-геологических условий, качественных характеристик запасов и т. д.). Такие ситуации непрерывно возникают в практике работы горных предприятий, и для

выработки экономически обоснованного решения в каждом отдельном случае целесообразно сопоставлять изменение (экономия или прирост) затрат на добычу сырья или доразведку его запасов с ценностью теряемых или дополнительно используемых запасов.

При определении ценности месторождений полезных ископаемых необходимо учитывать затраты на природоохранные мероприятия [11].

Экономическая оценка месторождений подразделяется на кадастровую и плано-перспективную. Кадастровая оценка месторождений фосфатного сырья проводится по сумме запасов категорий $A+B+C_1$ и применяется для решения следующих задач:

а) обоснование требований промышленности (кондиций) к количеству и качеству балансовых запасов для конкретного месторождения;

б) разработка схемы развития и размещения промышленных объектов;

в) выбор оптимальной технологии разработки месторождения, а также переработки и использования фосфатного сырья;

г) экономическая оценка последствий потерь и стимулирование оптимальной полноты и комплексности извлечения и использования руд в процессе добычи и переработки;

д) оценка запасов фосфатных руд как элемента национального богатства;

е) определение экономической эффективности затрат на геолого-разведочные работы.

Плано-перспективная оценка запасов фосфатного сырья осуществляется в процессе разведки месторождения (рудного поля) по сумме всех категорий ($A+B+C_1+C_2+P_1+P_2+P_3$) и является:

а) обоснованием экономической целесообразности перехода от начальной к последующим стадиям разведки месторождений и отбраковки тех месторождений, которые признаны нерентабельными;

б) основой для выбора первоочередных объектов детальной разведки и разработки временных кондиций на фосфатное сырье.

В Кольском филиале АН СССР выполнены исследования по экономической оценке природных ресурсов, определению численных значений замыкающих затрат на фосфорную кислоту на период до 2000 г., кадастровая оценка апатито-нефелиновых руд хибинских месторождений и плано-перспективная оценка фосфатных ресурсов страны.

Хибинские апатито-нефелиновые месторождения являются основным сырьевым источником отечественной фосфатной промышленности. Ввиду благоприятных горнотехнических условий разработки, высоких технологических свойств руды и выпускаемого апатитового концентрата интенсивность отработки хибинских месторождений в 2,3 раза превышает средний уровень этого показателя для сырьевой базы фосфатных руд в стране. За период 1961—1985 гг. добыча апатито-нефелиновых руд увеличилась в 5 раз и достигла 55 млн. т/год.

Благодаря проведению широкого круга научно-исследовательских и опытно-промышленных работ (Кольский филиал АН СССР, институты Механобр, ГИГХС, НИУИФ, ПО «Апатит» и др.) технологическая изученность апатито-нефелиновых руд и концентратов, которые могут быть получены при комплексном ее обогащении, характеризуются высокими показателями. Это позволило на данном этапе исследований провести экспериментальные расчеты по кадастровой оценке запасов хибинских месторождений в нескольких вариантах (при различных бортовых содержаниях P_2O_5 в руде — от 8—6 до 3—2 %). В свою очередь по каждому варианту осуществлена денежная оценка запасов руд при условиях получения из них только апатитового концентрата и при комплексном использовании (apatитовый, нефелиновый, сфеновый, титаномагнетитовый концентраты).

Кадастровая оценка выполнена для балансовых запасов по категории $A+B+C_1$ с использованием результатов повариантных подсчетов запасов (данные Хибиногорской ГРП). Денежная оценка апатито-нефелиновых месторождений выражается совокупным народнохозяйственным эффектом, приносимым в результате их эксплуатации. Эффект определялся по разнице между замыкающими и индивидуальными приведенными затратами на производство фосфорной кислоты и другой попутной продукции (при варианте комплексной переработки руды). Уровень замыкающих затрат на производство фосфорной кислоты принят по данным табл. 65. Замыкающие затраты на нефелиновый, сфеновый и титаномагнетитовый концентраты определены расчетным путем, так как к настоящему времени не проведены оптимизационные расчеты по их оценке на перспективный период. Уровень замыкающих затрат на нефелиновый концентрат принят из учета экономической эффективности производства глинозема, кальцинированной соды, поташа и цемента из нефелина методом спекания по сравнению с отдельным получением этих продуктов из традиционных видов сырья.

Замыкающие затраты на сфеновый и титаномагнетитовый концентраты определены из условия оценки двуокиси титана и железа, содержащихся в них, по отпускным ценам с учетом корректировки величины на содержание полезных компонентов и технологические особенности сырья.

В ходе исследования разработана схема и основные алгоритмы вычисления денежной оценки промышленных запасов апатито-нефелиновых руд (табл. 65). Прогноз масштабов добычи руды, производства концентратов и других технико-экономических показателей эксплуатации хибинских месторождений выполнен на основе научно-исследовательских и проектных разработок Кольского филиала АН СССР, института Гипроруда, ПО «Апатит». Экономический эффект (рента), получаемый за период эксплуатации промышленных запасов, соизмерялся путем его дисконтирования к базовому году с помощью коэффициента приведения.

Результаты экспериментальных расчетов кадастровой оценки запасов апатито-нефелиновых руд при варианте выделения из них только апатитового концентрата показывают, что максимальное значение народнохозяйственного эффекта (R_r), приносимого в результате их эксплуатации, достигается при условии отработки запасов месторождений Кукисвумчорр, Юкспор, Апатитовый Цирк, Эвеслогчорр и Ньоркпахк с бортовым содержанием P_2O_5 в руде 4 %, Партомчорр — 3 %, Плато Расвумчорр и Коашва (подземная добыча) — 2 %. При варианте отработки месторождений с бортовым содержанием P_2O_5 6—8 % кадастровая оценка запасов составляет 90 %, а при борте 2 % — 96 % от максимального ее уровня.

Необходимо отметить, что по всем вариантам эксплуатации месторождений максимальный прирост экономического эффекта (до 50 %) приносится той частью запасов, которая по горно-геологическим условиям может быть отработана открытым способом (запасы, подлежащие карьерной добыче в целом по хибинским месторождениям в зависимости от варианта кондиций составляют только 22—27 %). Объясняется это более высокими технико-экономическими показателями добычи руды открытым способом, возможностью более интенсивной выемки этой части запасов по сравнению с запасами подземной разработки.

Экономическими расчетами экспериментально установлена неравномерность изменения кадастровой оценки для отдельных месторождений при переходе от одного варианта бортового содержания P_2O_5 к другому, а также для одного варианта, но по разным месторождениям.

Схема и алгоритм вычисления кадастровой оценки апатито-нефелиновых руд

Показатель	Условные обозначения и формулы для расчета
1. Балансовые запасы руды по категориям А+В+	Б
+С ₁ , тыс. т	
2. Содержание в руде, %:	
P ₂ O ₅	α_1°
Al ₂ O ₃	α_2°
TiO ₂	α_3°
3. Коэффициент, учитывающий потери руды при добыче	а
4. Коэффициент, учитывающий разубоживание руды	b
5. Извлекаемые запасы руды, тыс. т	$B = Ba / (1 - b)$
6. Годовая добыча руды, тыс. т	$\frac{D}{\Delta}$
7. Срок эксплуатации запасов, лет	$T = B : D$
8. Содержание в добытой руде, %:	
P ₂ O ₅	$\alpha_1 = (1 - \theta) \alpha_1^\circ$
Al ₂ O ₃	$\alpha_2 = (1 - \theta) \alpha_2^\circ$
TiO ₂	$\alpha_3 = (1 - \theta) \alpha_3^\circ$
9. Извлечение в концентрат, %:	
P ₂ O ₅ в апатитовый	ε_1
Al ₂ O ₃ в нефелиновый	ε_2
TiO ₂ в сфеновый	ε_3
TiO ₂ в титаномагнетитовый	ε_4
10. Содержание в концентрате, %:	
P ₂ O ₅ в апатитовом	β_1
Al ₂ O ₃ в нефелиновом	β_2
TiO ₂ в сфеновом	β_3
TiO ₂ в титаномагнетитовом	β_4
11. Годовое производство концентратов, тыс. т:	
апатитового	$P_1 = D \alpha_1 \varepsilon_1 / \beta_1$
нефелинового	$P_2 = D \alpha_2 \varepsilon_2 / \beta_2$
сфенового	$P_3 = D \alpha_3 \varepsilon_3 / \beta_3$
титаномагнетитового	$P_4 = D \alpha_4 \varepsilon_4 / \beta_4$
12. Коэффициент, учитывающий потери P ₂ O ₅ при производстве фосфорной кислоты из концентрата	k
13. Годовое производство P ₂ O ₅ в фосфорной кислоте (в пересчете на 100 %), тыс. т	$V = P_1 / (0,394 k)$
14. Себестоимость добычи 1 т руды, руб./т	C_p
15. Удельные капвложения на добычу 1 т руды, руб./т	K_p
16. Нормативный коэффициент эффективности капвложений	$E = 0,15$
17. Приведенные затраты на добычу руд, руб./т	$S_p = C_p + EK_p$
18. Себестоимость обогащения 1 т руды, руб., при получении концентратов:	
апатитового	C_{01}
нефелинового	C_{02}
сфенового	C_{03}
титаномагнетитового	C_{04}
19. Удельные капвложения на обогащение, руб./т, при получении концентратов:	
апатитового	K_{01}
нефелинового	K_{02}
сфенового	K_{03}
титаномагнетитового	K_{04}
20. Приведенные затраты на обогащение руды, руб./т, при получении концентратов:	
апатитового	$S_{01} = C_{01} + EK_{01}$
нефелинового	$S_{02} = C_{02} + EK_{02}$
сфенового	$S_{03} = C_{03} + EK_{03}$
титаномагнетитового	$S_{04} = C_{04} + EK_{04}$
21. Расход руды на 1 т апатитового концентрата	$r = D : P_1$

Показатель	Условные обозначения и формулы для расчета
22. Приведенные затраты на добычу и обогащение руды в расчете на 1 т, руб.:	
апатитового концентрата	$(S_p + S_{o1})r$
нефелинового концентрата	S_{o2}
сфенового концентрата	S_{o3}
титаномагнетитового концентрата	S_{o4}
23. Приведенные затраты на общекембинатские расходы, руб./т, концентрата:	
апатитового	S_{g1}
нефелинового	S_{g2}
сфенового	S_{g3}
титаномагнетитового	S_{g4}
24. Приведенные затраты на производство концентрата, руб./т:	
апатитового	$S_{к1} = (S_p + S_{o1})r + S_{g1}$
нефелинового	$S_{к2} = S_{o2} + S_{g2}$
сфенового	$S_{к3} = S_{o3} + S_{g3}$
титаномагнетитового	$S_{к4} = S_{o4} + S_{g4}$
25. То же в расчете на 100 % P_2O_5 в апатитовом концентрате	$S_{н1} = S_{к1} / 0,394$
26. Приведенные затраты на транспорт концентрата к предприятиям по его переработке, руб./т:	
апатитового	$S_{тp1}$
нефелинового	$S_{тp2}$
сфенового	$S_{тp3}$
титаномагнетитового	$S_{тp4}$
27. Приведенные затраты на переработку апатитового концентрата на фосфорную кислоту, руб./т	$S_{пер}$
28. Приведенные затраты на производство, руб./т:	
P_2O_5 в фосфорной кислоте	$S_1 = \frac{(S_{к} + S_{тp1})k}{0,394} \cdot S_{пер}$
нефелинового концентрата	$S_2 = S_{к2} + S_{тp2}$
сфенового концентрата	$S_3 = S_{к3} + S_{тp3}$
титаномагнетитового концентрата	$S_4 = S_{к4} + S_{тp4}$
29. Замыкающие затраты, руб./т:	
на P_2O_5 в фосфорной кислоте	Z_1
на нефелиновый концентрат	Z_2
на сфеновый концентрат	Z_3
на титаномагнетитовый концентрат	Z_4
30. Приведенные затраты в расчете на годовой объем производства, млн. т:	
P_2O_5 в фосфорной кислоте	$S_1 = S_1 P_1$
нефелинового концентрата	$S_2 = S_2 P_2$
сфенового концентрата	$S_3 = S_3 P_3$
титаномагнетитового концентрата	$S_4 = S_4 P_4$
всех перечисленных продуктов	$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4$
31. Ценность годового объема продукции, исчисленная в замыкающих затратах, млн. руб.	
P_2O_5 в фосфорной кислоте	$Z_1 = Z_1 P_1$
нефелинового концентрата	$Z_2 = Z_2 P_2$
сфенового концентрата	$Z_3 = Z_3 P_3$
титаномагнетитового концентрата	$Z_4 = Z_4 P_4$
всех перечисленных продуктов	$Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4$
32. Коэффициент приведенных капитальных и эксплуатационных затрат и экономического эффекта t-го года к 1980 г.	$\alpha = \frac{(1 + E_{н.п})^T - 1}{E_{н.п} (1 + E_{н.п})^T}$
33. Эффект (рента) от использования промышленных запасов апатито-нефелиновых руд, млн. руб.	$R_r = \alpha \sum_{t=1}^T (Z - S)$

Поэтому кондиции для подсчета запасов должны определяться технико-экономическими расчетами для каждого месторождения в отдельности. Кроме того, добываемая на шести рудниках руда обогащается на трех действующих АНОФ и при этом перемешивается в процессе рудоподготовки. Поэтому технико-экономические показатели такой шихты, а следовательно, и экономическая эффективность могут отличаться от механического суммирования технико-экономических показателей раздельной переработки руды разных месторождений. В этой связи следует рекомендовать при обосновании кондиций учитывать показатели обогащения шихты на той фабрике, на которой предусматривается переработка руд данного месторождения.

Следовательно, программа лабораторных и полупромышленных технологических исследований по обогащению руд при подготовке нового месторождения для промышленного освоения должна составляться с учетом переработки руд данного и других месторождений на одной из трех обогатительных фабрик.

Эффект, привносимый за счет комплексного использования, на 16,3 % выше по сравнению с вариантом получения только апатитового концентрата. В зависимости от среднего содержания P_2O_5 в рудах разных месторождений прирост этого эффекта изменяется от 12,4 % (для богатых руд месторождения Плато Расвумчорр) до 55,3 % (для бедных руд Партомчоррского месторождения). Выше среднего значения этот показатель получен для месторождений Эвеслогчорр (19,7 %), Коашва (19,8 %) и Ньюрклакх (21,5 %).

Необходимо отметить, что кадастровая оценка запасов апатито-нефелиновых руд может увеличиться при условии определения уровня замыкающих затрат на попутную продукцию (редкометалльные соединения, глинозем, содопродукты, пигментная двуокись титана).

К. Г. Гофман [11], В. Г. Шитарев [46] и авторы [31, 32] рекомендуют проводить экономическую оценку месторождений не только на стадии геологоразведочных работ (для обоснования кондиций и выбора оптимального варианта освоения), но также при его эксплуатации. На стадии освоения месторождений уточняются морфологические и качественные параметры рудных залежей, запасы руд и компонентов, технико-экономические показатели горного и обогатительного производств по сравнению с данными детальной разведки, окончательно определяются технические и технологические средства добычи и переработки. По мере погашения запасов сокращается обеспеченность горного предприятия разведанными запасами, растет их дефицитность, но общие социально-экономические условия освоения месторождения и района в целом улучшаются.

Учет этих изменений и корректирование на их основе значений экономической оценки позволяют значительно повысить полноту использования запасов полезного ископаемого в недрах и эффективность эксплуатации месторождения. В частности, кадастровая оценка эксплуатируемых месторождений юго-западного рудного поля использована при обосновании постановки и в процессе коренной комплексной переоценки их запасов.

Таким образом, экономическая оценка полезных ископаемых, учитывающая достижения научно-технического прогресса, является стержневой задачей на всех стадиях геологического изучения месторождения и его освоения для повышения полноты использования минеральных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов Л. Б. Апатитовые месторождения Хибинской тундры.— В кн.: Хибинские апатиты, Л., Госхимтехиздат, 1934, № 7, с. 1—197.
2. Атлас морфоструктур рудных полей/В. Н. Акчурина, В. А. Булытников, Ю. Д. Зубков и др. Л., Недра, 1973. 164 с.
3. Борзунов В. М. Месторождения нерудных полезных ископаемых, их разведка и промышленная оценка. М., Недра, 1969. 336 с.
4. Вещественный состав апатит-нефелиновых руд и вмещающих пород Хибинских месторождений/Б. Н. Мелентьев, Л. М. Делицын, Е. А. Каменев, Ф. В. Минаков.— В кн.: Нефелиновое сырье. М., Наука, 1978, с. 44—49.
5. Вировлянский Г. М., Ноздря В. И. Строение интрузии массивных уртитов Хибин и прогноз апатитовых залежей на глубину.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1986, № 2, с. 94—106.
6. Вистелиус А. Б. О корреляционной связи между апатитом и нефелином в Кукисвумчорр-Юкспорском месторождении (Хибинские тундры).— Докл. АН СССР, 1947, т. 56, № 2, с. 185—188.
7. Галахов А. В. Петрология Хибинского щелочного массива. Л., Наука, 1975. 256 с.
8. Геология месторождений апатита, методика их прогнозирования и поисков/Под ред. А. С. Зверева, Р. М. Файзуллина. М., Недра, 1980. 267 с.
9. Геолого-промышленная оценка месторождений апатита/Под ред. А. С. Филько, Р. М. Файзуллина, М. А. Свицкого. М., Недра, 1985. 196 с.
10. Главнейшие черты структуры хибинских апатитовых месторождений и их поисковое значение/Г. М. Вировлянский, Ю. Н. Благодетелева, Ф. М. Онохин, Н. Г. Карташов.— В кн.: Хибинские апатитовые месторождения. М., Недра, 1965, с. 5—125.
11. Гофман К. Г. Экономическая оценка природных ресурсов в условиях социалистической экономики. М., Наука, 1977. 234 с.
12. Дудкин О. Б., Балаганская Е. Г., Арзамасцева Л. В. К проблеме формирования Хибинских месторождений апатита.— В кн.: Месторождения неметаллического сырья Кольского полуострова. Апатиты, 1986, с. 4—10.
13. Дудкин О. Б. Геохимия и закономерности концентрации фосфора в щелочных массивах Кольского полуострова. Л., Наука, 1977. 204 с.
14. Елисеев Н. А., Ожгинский И. С., Володин Е. Н. Геологическая карта Хибинских тундр.— Тр. Ленингр. геол. упр., 1939, вып. 19. 68 с.
15. Зак С. И., Каменев Е. А. Новые данные по геологии Хибинского щелочного массива.— Сов. геология, 1964, № 7, с. 42—51.
16. Иванова Т. Н. Апатитовые месторождения Хибинских тундр. М., Госгеолтехиздат, 1963. 282 с.
17. Иванова Т. Н., Арзамасцев А. А. Петрологические критерии поисков залежей апатито-нефелиновых руд в Хибинах.— В кн.: Прогноз месторождений полезных ископаемых на Кольском полуострове. Апатиты, 1985, с. 9—15.
18. Каганович С. Я. Экономика минерального сырья. М., Недра, 1975. 205 с.
19. Калинин М. М. О структуре Хибинского и Ловозерского щелочных массивов.— Изв. АН СССР. Сер. геол., 1976, № 8, с. 25—36.
20. Каменев Е. А. Геология и структура Кошвинского апатитового месторождения. Л., Недра, 1979. 128 с.
21. Карбонатиты Хибин/О. Б. Дудкин, Ф. В. Минаков, М. П. Кравченко и др. Апатиты, 1984. 98 с.
22. Киселев И. И., Минаков Ф. В. Поиски россыпей апатита в Хибинах.— В кн.: Новые методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых на территории Северо-Запада РСФСР. М., Недра, 1984, с. 181—196.
23. Крейтер В. М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых. М., Госгеолтехиздат, 1960, т. 1. 332 с.; 1961, т. 2. 390 с.
24. Куплетский Б. М. Петрографический очерк Хибинских тундр.— Тр. Ин-та по изучению Севера, 1928, сб. 39, с. 76—203.
25. Минаков Ф. В. Связь апатитовых месторождений с ийолит-уртитовой интрузией Хибинского массива.— В кн.: Апатиты. М., Наука, 1968, с. 84—91.

26. Минаков Ф. В. К вопросу о поисках погребенных россыпей апатита в Хибинах.— В кн.: Природа и хоз-во Севера, 1981, вып. 8, с. 16—22.
27. Минералы Хибинских и Ловозерских тундр. М.; Л., Изд-во АН СССР, 1937. 563 с.
28. Мотов Д. Л., Максимова Г. К. Сфен и его химическая переработка на титановые пигменты. Л., Наука, 1983. 88 с.
29. Новые Хибинские апатитовые месторождения/Под ред. Е. А. Каменева, Д. А. Минеева. М., Недра, 1982. 182 с.
30. Онохин Ф. М. Особенности структуры Хибинского массива и апатит-нефелиновых месторождений. Л., Наука, 1975. 106 с.
31. Пешев Н. Г. Экономические проблемы рационального использования фосфатного сырья. Л., Наука, 1980. 224 с.
32. Пешев Н. Г., Башмакова Е. П. Экономическая оценка запасов апатито-нефелиновых руд Хибинских месторождений.— В кн.: Проблемы экономического и социального развития Мурманской области. Апатиты, 1981, с. 15—22.
33. Подсчет запасов месторождений полезных ископаемых/В. И. Смирнов, А. П. Прокофьев, В. М. Борзунов и др. М., Госгеолтехиздат, 1960. 762 с.
34. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых/Е. О. Погребницкий, С. В. Парадеев, Г. С. Порогов и др. М., Недра, 1977. 405 с.
35. Смирнов В. И. Геологические основы поисков и разведок рудных месторождений. М., Изд-во МГУ, 1954. 547 с.
36. Сняткова О. Л., Пронягин Н. И. Новые данные о структуре апатит-нефелиновых месторождений.— Разведка и охрана недр, 1983, № 7, с. 10—14.
37. Соколов А. С. Классификация и закономерности размещения месторождений фосфатов.— Докл. 27-го Междунар. геол. конгр., М., Наука, 1984, т. 15, с. 48—58.
38. Соловьева Е. А. Экономическая эффективность использования недр. М., Недра, 1980. 238 с.
39. Тихоненков И. П. Нефелиновые сиениты и пегматиты Хибинского массива. М., Изд-во АН СССР, 1963. 247 с.
40. Файзуллин Р. М., Панских Е. А. Классификация апатитовых руд.— Сов. геология, 1984, № 2, с. 48—53.
41. Ферсман А. Е. Комплексное использование ископаемого сырья. Л., Изд-во АН СССР, 1932. 20 с.
42. Ферсман А. Е. Ленин и изучение производительных сил СССР.— Вестн. АН СССР, 1940, № 4—5, с. 64—73.
43. Ферсман А. Е. Полезные ископаемые Кольского полуострова. М.; Л., Изд-во АН СССР, 1941. 345 с.
44. Хибинские апатиты/Под ред. М. П. Фивега. Л., Химтеорет, 1936. 128 с. (Тр. НИИУ, сб. II, вып. 128).
45. Хибинский щелочной массив/С. И. Зак, Е. А. Каменев, Ф. В. Минаков и др. Л., Недра, 1972. 170 с.
46. Шитарев В. Г. К вопросу о кондиционных показателях на полезные ископаемые на стадии эксплуатации месторождений, разрабатываемых открытым способом.— В кн.: К проблеме рационального использования недр. М., ИПКОН АН СССР, 1979, с. 23—29.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Развитие знаний по геологии Хибинского массива	6
Глава 2. Продуктивная интрузия ийолит-уртитов — апатито-нефелиновых руд	25
Глава 3. Структуры рудных полей хибинских апатито-нефелиновых месторождений	44
Юго-западное рудное поле	—
Юго-восточное рудное поле	53
Северное рудное поле	63
Структурно-морфологическая классификация хибинских месторождений	70
Глава 4. Критерии для прогнозирования и поисков апатита	75
Признаки магматического и структурного контроля	—
О природе и поисковом значении сфеновой минерализации	79
Геолого-структурные факторы прогноза апатитовых руд на глубоких горизонтах Хибинского массива	81
Поиски россыпей апатита	86
Глава 5. Технология комплексного обогащения руд и переработки минеральных концентратов	89
Технологическая изученность руд	91
Опытно-промышленные испытания по комплексному обогащению	96
Геолого-технологическое картирование (<i>Е. Е. Каменева</i>)	103
Технологические исследования по переработке минеральных концентратов на конечные продукты (<i>Д. Л. Мотов</i>)	108
Глава 6. Геофизические исследования скважин	113
Глава 7. Оптимальные методы и рациональные приемы подсчета запасов	124
Кондиции для подсчета запасов	125
Выбор оптимального метода подсчета запасов	126
Исходные данные для подсчета запасов	128
Оформление материалов подсчета запасов	139
Контроль результатов подсчета	148
Разработка методики автоматизированного подсчета	154
Глава 8. Коренная комплексная геолого-промышленная переоценка эксплуатируемых месторождений	159
Глава 9. Экономическая эффективность геологоразведочных работ	170
Внутриотраслевая эффективность	—
Народнохозяйственная эффективность	173
Геолого-промышленная классификация апатитовых месторождений хибинского типа	177
Глава 10. Геолого-экономическая оценка месторождений фосфатного сырья (<i>Н. Г. Пешев, Е. П. Башмакова</i>)	179
Список литературы	187