РОЙЗЕНМАН ФЕЛИКС МОИСЕЕВИЧ

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И ЛОКАЛЬНЫЙ КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ ПРОГНОЗ МЕТАМОРФОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

(на примере месторождений флогопита, графита, полевошпатового сырья, диопсидового сырья, редких металлов и облицовочного камия)

Специальность 25 00 11 Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения.

ABTOPEФEPAT

диссертации на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук

Москва - 2003 г.

Работа выполнена в Московском государственном геологоразведочном универентете им. С. Орджоникидзе н Закрытом акционерном обществе ТЕРВАЯРВИ

Официальные оппоненты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор Арсеньев Владимир Алексеевич доктор геолого-минералюгических наук Белов Сергей Викторович доктор геолого-минералогических наук, профессор Рудияк Вичеслав Александрович

Ведущая организация: Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии (СЧТМN) вотпомене хиждер

Защита состоится « 22 мод 2003 г. в « 15» час. « 60 » мин. в ауд. 5-48 на заседании диссертационного совета Д 212.121.04 п Московском государственном геологоразведочном университете им. С. Орджоникидзе по адресу: 117873 Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23.

диссертацией можно ознакомиться библиотеке Московского государственного геологоразведочного университета.

Летореферат разослан « 18» У 2003 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, к.г.-м. наук Н. Верчеба А.А.

2003-A 9006

Введение.

Метаморфогенные месторождения представляют обширный и наиболее сложный для изучения генетический класс полезных ископаемых, имеющий огромное промышленное значение. Как правило, метаморфогенные месторождения формировались длительно, в течение ряда последовательных этапов, каждый из которых оставил следы в виде особых парагенетических ассоциаций минералов и играл определенную роль в концентрации полезных ископаемых, в образовании, преобразовании или разрушении рудных тел.

В настоящей работе термин «метаморфогенные месторождения» рассматривается в широком смысле этого понятия, т.е. к метаморфогенным относятся рудные тела, образоваещиеся в течение всего метаморфического цикла: на этапах регионального метасоматоза - ультраметаморфизма и регрессиеного метасоматоза. При таком системном подходе полностью учитывается специфика процессов развития метаморфических комплексов и рудообразования в них.

В связи с двительностью и сложностью многозтапного развития метаморфических комплексов, расшифровка их геологического строения и условий рудообразования требует применения специальных методов исследования и, в первую очередь, крупномасштабного геологического картирования. На основе анализа современных геологических карт и применения комплекса специальных методов исследования (геофизических, минералого-геохимических, термобарогеохимических, геолого-структурных и др.) возможно выявление количестменных связей между установленными поисково-оценочными критериями (геологическими, геофизическими, минералого-геохимическими, термобарогеохимическими и др.) и промышленными параметрами оруденения (размерами и запасами рудных тел, содержаниями и качеством сырыя). Знание этих связей позволяет перейти на более совершенный, количественный уровень прогнозной оценки метаморфогенного оруденения.

Если региональные факторы метаморфогенного оруденения и региональные поисковые критерии достаточно полно освещены в литературе и с успехом используются для выбора перспективных районов с целью поисков тех или иных полезных ископаемых, то локальные условия формирования промышленных рудных тел и месторождений в пределах рудных полей и покальные поисково-оценочные критерии разработаны еще недостаточно.

Настоящая работа посиящена решению указанных теоретических и прогнозных проблем на примере типовых рудных полей различных полезных ископаемых в метаморфических комплексах гранулитовой, амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций. В результате проведенных исследований удалось установить некоторые общие закономерности формирования метаморфогенных рудных тел и разработать современные принципы и критерии их количественного прогнозирования в пределах рудных полей, провести практическую апробацию разработанных поисково-оценочных критериев в метаморфических комплексах различных фаций и на месторождениях разных полезных ископаемых.

Диссертация посвящена решению крупной народно-хозяйственной проблемы по научному обоснованию комплекса методов, позволяющих существенно повысить эффективность развития минерально-сырьевой отрасли, применительно к метаморфогенным месторождениям.

Актуальность работы определяется тем, что в современных условиях, когда фонд легко открываемых на новерхности месторождений практически исчерпан, для прогнозной оценки метаморфогенного оруденения (в особенности - на глубине) требуется разработка новых подходов к прогнозированию рудных тел и месторождений. С целью повышения эффективности поисковых и разведочных работ уже на ранних стадиях исследования перспективных площадей необходимо определить местоположение рудного тела и вероятность его обнаружения, а также дать объективную количественную оценку промышленным парамстрам рудных объектов. Разработка и совершенствование количественной системы прогнозной оценки метаморфогенного оруденения позволяют



целенаправленно вести поиски и разведку наиболее крупных, богатых и рентабельных для отработки месторождений, в том числе - не выходящих на дневную поверхность.

Еще один, нока еще слабо используемый резерв повышения эффективности геологоразведочных работ связан с комплексным освоением метаморфогенных месторождений. Особенности дифференциации вещества на разных этапах развития метаморфических комплексов нередко приводили к образовацию сближенных скоплений маломинеральных (вплоть до мономинеральных) геологических тел, часть из которых представляет рудные тела с высоким содержанием полезного ископаемого. В результате нередко формируются комплексные месторождения нескольких (обычно – от 2-х до 4-х) полезных ископаемых. Как показывают проведенные автором промышленно-экономические расчеты, стоимость «основного» полезного ископаемого (ради которого организованы геологоразведочные и эксплуатационные работы) часто составляет лишь незначительную часть от общей стоимости сырья комплексного метаморфогенного месторождения.

Комплексное изучение и освоение метаморфогенных месторождений актуально не только с экономической, но также и с экологической точки зрения, так как нередко такое освоение может быть безотходным.

<u>Иель работы</u> заключалась в выявлении закономерностей состава, строения и развития различных метаморфических комплексов, закономерностей формирования в них промышленного оруденения и в том, чтобы на основе выявленных закономерностей разработать систему прогнозной комплексной оценки метаморфогенных месторождений и рудных тел в пределах рудных полей, а также - дать конкретные рекомендации по поискам, разведке и освоению ряда метаморфогенных полезных ископаемых (флогопита, графита, диопсидового сырья, барий-стропциевого нагрово-глиноземистого полевоншатового сырья, калиевого полевоншатового сырья, комплексных редкометальных пегматитов, облицовочного камия, кварцевого сырья и др.).

Основными задачами иссленований являлись:

- расшифровка геологического строения и истории формирования комплексов различных фаний метаморфизма, вмещающих разные полезные ископаемые;
- выявление закономерных связей оруденения с различными этапами метаморфического цикла (региональный метаморфизм, региональный метасоматоз - ультраметаморфизм, регрессивный метасоматоз);
- выяснение связей геологических процессов и рудообразования с развитием тектонической структуры и сменой планов тектонических деформаций;
- установление эволюции флюндной среды в процессе развития метаморфических комплексов, роли флюндов в образовании промышленного (в том числе богатого) оруденения;
- разработка, апробация и внедрение объективных (в том числе аппаратурных) методов оценки трещиноватости облицовочного камня - в недрах и в добытых блоках:
- рязработка принцинов и способов создания промышленно-генетических классификаций метаморфогенных месторождений; составление таких классификаций для этаконных объектов:
- установление закономерных геостатистических связей промышленных параметров оруденения с геологическими, геохимическими, термобарогеохимическими и другими исследуемыми критериями;
- разработка методнии оценки вероятности обнаружения промышленных рудных тел;
- разработка принципов и критериев количественной комплексной оценки метаморфогенного оруденения;
- количественная прогнозная оценка конкретных рудных тел в различных мстаморфических комплексах.

Методика исследований включала:

- в качестве основного метода научного исследования и прогноза метаморфогстного оруденения - крупномасштабную геологическую и геофизическую (электроразведка и магниторазведка) съемку рудных полей (масштабы 1:25 000- 10 000);
- детальную геологическую, геофизическую, геохимическую термобарогеохимическую съемку месторождений (масштабы 1:2000-1:1000);
- геологическую документацию карьеров с составлением карьерных планов в масштабе 1:500;
- геологическую документацию подземных горных выработок с составлением геологических погоризонтных планов в масштабах 1:1000-1;500;
- специальные геолого-структурные исследования рудных полей и месторождений с составлением планов тектонических деформаций по различным этапам тектонического развития рудных объектов;
- термобарогеохимические исследования (методами гомогенизации, вакуумной и термозвуковой декрепитации, газовой хроматографии) метаморфических пород и продуктов их изменения, а также - рудных объектов (раздельно - для бедных и для богатых руд);
- комплекс геофизических методов (электроразведка, магниторазведка, микросейсмика, гамма-спектрометрия, акустика) для оценки степени трещиноватости облицовочного камия в недрах и добытых блоках;
- исследования закономерных связей между промышленными параметрами оруделения и геологическими, геофизическими, геохимическими, термобарогеохимическими нараметрами;
- составление рекомендаций по поискам, разведке и освоению конкретных рудных объектов; участие в заверке этих рекомендаций.

В качестве вспомогательных метолов в ограниченных масштабах применялись:

- парагенетический анализ минеральных ассоциаций, образовавшихся на различных этапах метаморфического цикла (в процессах регионального метаморфизма, регионального метасоматоза - ультраметаморфизма и регрессивного метасоматоза) с реконструкцией первичного состава метаморфического субстрата и минеральных ассоциаций наложенных процессов;
- специальные изотопные исследования с определением изотопного состава углерода и кислорода в минералах метаморфических пород и продуктах их изменения;
- рентгено-структурные исследования минералов (в первую очередь графита);
- микропалеобиологические исследования метаморфических пород с выявлением и описанием в них микроорганизмов с целью установления природы углерода графитовых месторождений.

Фактическая основа работы. В основу диссертационной работы положен фактический материал, полученный автором и руководимым им коллективом научно-исследовательской экспедиции МГРИ при крупномасштабном геологическом картировании и специальных исследованиях флогопитоносных полей Центрального Алдана (Канкунского, Эльконского, Верхне-Эмельджакского, Гоно-Неакуннского) и флогопитовых месторождений (Южного, Федоровского. Леглиерского, Надежного. Банного, Безымянного. Белибердинского, Б. Гоновского, М. Гоновского, Горелого, Таборного) в 1961-69 г.г. и в 1976-80 г.г.; при крупномасштабном геологическом картировании и комплексных исследованиях месторождений графита, полевошпатового и диопсидового сырья в Центральном Алдане (на графитовых месторождениях Надеждинском, Чебере, Керакском; на месторождениях полевопшатового и диопсилового сырья Южном и Безымянном) в 1981-89 г.г.; при крупномасштабном геологическом картировании и специальных исследованиях поля редкометальных пегматитов и редкометальных месторождений Васин-мылык, Охмылык. Олений хребет, Пэллапахх, а также золоторудного месторождения Олений хребет и

проявлений молибдена в Вороньстундровском рудном поле (Кольский полуостров) в 1970-75 т.п.: при геологическом картировании и минералого-геохимических исследованиях зон региональных метасоматитов Вороньстундровского поля (1975-76 г.г.); при комплексных графита (Ихальское) и барий-стронций исслелованиях месторожлений глиноземистого полевошпатового сырья (Райвимяки-3) в Лахденпохском районе Карелии в 1989-92 г.г.; при крупномасштабном картировании и исследованиях Тайгинского графитового месторождения на Ю. Урале (1988); при детальной геологической и термобарогеохимической съемке месторождения мусковитоносных цегматитов Плотина в Карелии (1980-81 г.г.); при термобарогеохимических исследованиях кварцевого сырья 30-ти месторождений СССР (С. Карелия, Полярный Урал, Кавказ и др.) и Бразилии (1989-91 г.г.).В процессе этих работ было залокументировано 25 карьеров (в том числе диссертантом - 20 карьеров), 28 пог.км подземных горных выработок (в том числе - диссертантом - 22 пог.км), 35 пог.км керна скважин (в том числе - лиссертантом - 20 пог.км), исследовано более 2000 плифов горных пород (в том числе диссертантом - 600 плифов), сделаны определения температур метолом декрепитиании газово-жилких включений в 7000 проб (в том числе диссертантом - в 100 пробах), а также 510 анализов температур методом гомогенизации (в том числе диссертантом - 470 анализов), определен состав природных растворов с номощью газово-хроматографического анализа газово-жидких включений в 160 пробах, сделано 8500 замеров тектонических контактов и трешин (в том числе диссертантом - 8500 замеров).

В результате этих работ составлены геологические карты рудных полей в масштабах 1: 25 000 по площади 120 кв. км (в том числе диссертантом - 120 кв. км.) и 1: 10 000 по площади 110 кв. км (в том числе диссертантом - 80 кв. км), месторождений в масштабах

1: 2000-1: 1000 по шлощади 25 кв. км (в том числе диссертантом - 12 кв. км), рудных тел в масштабе 1: 500 по площади 13 кв. км (в том числе диссертантом - 12 кв. км). В дяссертацию включены также результаты научно-методических и геологоразведочных работ на месторождениях облицовочного камия Райвимяки-1 и Лакеваара-1, проведенных под руководством диссертанта геологической группой ЗАО ТЕРВАЯРВИ в 1993-2000 г.г. Кроме того, учтены материалы других исследователей, работавших на указанных выше и других метаморфических комплексах (Б.М. Роненсон, В.М. Ройзенман, В.А. Утенков, В.А. Сикорский, Б.И. Зорин, А.В. Громов, С.В. Ежов, С.П.Мурзаев, М.А.Лицарев, Р.Ф.Черкасов, Л.К.Пожарицкая, З.И. Петрова, В.В.Жданов, В.П.Зуева, В.С. Войтович, Р.А.Хазов и др.).

В сравнительном плане в диссертационной работе использованы литературные материалы по метаморфогенным месторождениям Мамско-Чуйского района, Мурманской области, Слюдянки, Урала, Канады, Ю.Родезии, Бразилии и др.

Объем и структура работы. Писсертация состоит из двух частей.

В части 1 рассмотрены условия образования и закономерности размещения метаморфогенных месторождений в типовых (эталонных) рудных полях. Эта часть состоит из Введения и 2-х глав. Объем части 1 — 138 стр., из них 95 стр. текста, 34 стр. с 35 рисунками и 9 стр. с 16 таблицами.

В части 2, состоящей из 9-ти глав, Заключения и списка литературы, обоснована и охарактеризована система количественного прогнозирования метаморфогенных месторождений, приведены результаты апробации этой системы. Объем части 2 — 130 стр., из них 72 стр. текста, 37 стр. с 37 рисунками, 11 стр. с 18 таблицами и 10 стр. со списком литературы из 181 наименования.

Общий объем работы 268 стр., из них 167 стр. текста, 71 стр. с 72 рисунками, 20 стр. с 33 таблицами и 10 стр. со списком литературы.

Основные положения, выдвигаемые к защите.

1. Метаморфогенное рудообразование происходило на всех этапах метаморфического цикла: регионального метаморфизма, регионального метасоматоза - ультраметаморфизма и регрессивного метасоматоза, причем один и тот же этап мог являться рудоподготовительным для одного полезного ископаемого, рудообразующим для другого и рудоразрушающим для третьего.

Закономерная прнуроченность различных полезных ископаемых к определенным этапам метаморфического пикла, выраженная в виде промышленно-тенстических классификаций, может служить основой для прогнозирования метаморфогенного оруденения.

- 2. В линейно-складчатых метаморфических комплексах рудообразование контролировалось закономерной сменой плянов тектонических деформаций на трех основных этапах: 1) линейной складчатости, 2) поперечной складчатости, 3) послескладчатом. Смена планов деформаций регулировала процессы неоднократного скатия и растижения в зонах рудоконтролирующих структур и, тем сямым, определяла локализацию рудных тел различных полезных ископаемых, их обогащения и разубоживания.
- 3. На регрессивном этапе метаморфизма формирование богатых (в том числе крупнокристаллических) руд происходило в закрытых флюндных системах под воздействием закономерного изменения концентрации CO_2 в водиом растворе с максимумами 12 моль/кг H_2O при 340°С и 180°С («углекислотияя волна») на общем фоне синжения температуры. "Углекислотияя волна" регулировала процессы неоднократного растворения и отложения рудного вещества и, тем самым, определяла стадийность и характер минерало- и рудообразования.
- 4. Между обоснованными оценочными критериями метаморфогенного рудообразования (геологическими, геофизическими, минералого-геохимическими и термобарогеохимическими) и промышленными параметрами (масштабами и качеством сырья) существуют тесные геостатистические свизи, которые могут служить надежной основой разработанной системы количественного локального прогнозирования метаморфогенного оруденения, позволяющей оценить «поисковую вероятность» обларужения рудного тела на данном участке, в том числе на разной глубине.

Научная новизна работы заключается:

- в установлении генетической связи различных концентраций полезных ископаемых (обогащения и обеднения) с этапами развития метаморфических комплексов;
- в оценке степени влияния плана деформаций на концентрацию и разрушение полезных ископаемых на основе разработанной модели тектонического развития метаморфогенных месторождений;
- в выявлении «углекислотной волны» (закономерного изменения концентрации СО₂ при остывании постмагматических растворов) и в установлении исключительной роли «углекислотной волны» в образовании богатого (в то числе крупнокристаллического) оруденения на основе новой модели постмагматического рудообразования;
- в выявлении неизвестных ранее геостатистических количественных связей между оценочными критериями (геологическими, геофизическими, минералого-геохимическими, термобарогеохимическими) и промышленными параметрами рудных тел.

Реализация результатов и апробация работы. В результате заверки рекомендаций автора открыты и разведаны 42 рудных тела 6-ти полезных ископаемых с общей стоимостью сырыя в недрах 8.5 млрд. долларов, получен экономический эффект 15 млн. руб. (Протокол НТС Алданской ГРЭ от 25.11.1982 г. и др.). Основные результаты проведенных исследований представлялись и докладывались на нвучных конференциях преподавателей и сотрудников МГРИ-МГТА (1960,1965-1989 г.г.), отечественных и международных совещаниях, симпозиумах и конференциях: 1) Магматизм и рудообразование (Якутск, 1969 г.); 2) II Всесоюзное совещание по редким элементам (Апатиты, 1974 г.); 3) V Всесоюзное совещание по термобарогеохимии (Уфа, 1976 г.); 4) VI Всесоюзное совещание по термобарогеохимии (Владивосток, 1978 г.); 5) VII Всесоюзное совещание по термобарогеохимии (Львов, 1985 г.) 6) IV Всесоюзное совещание по метасоматозу (Ленинград, 1976 г.); 7) Рабочее совещание по магнезиальным скарнам (Алдан, 1977 г.); 8) III Всесоюзное совещание по метаморфизму (Свердновск, 1977 г.); 9) Всесоюзное совещание

"Методика картирования метаморфических комплексов" (Ленинград, 1979 г.); 10) IV Всесоюзное совещание по метаморфизму (Апатиты, 1979 г.); 11) I Всесоюзное совещание по методам термобарогеохимии (Звенигород, 1981 г.); 12) II Всесоюзное совещание по природным газам (Москва, 1982 г.); 13) II Всесоюзное совещание по металлогении докембрия (Свердлювск, 1982 г.); 14) Всесоюзное совещание по генезису и поискам петматитов (Иркутск, 1982 г.); 15) Региональное (Сибири и Дальнего Востока) совещание по термобарогеохимии (Благовещенск, 1983 г.); 16) Выставка "Комплексное использование ресурсов" (Томск, 1984); 17) III сесия Северо-Кавказского отделения ВМО АН СССР "Минералого-геохимические критерии докамного прогноза оруденения" (Цей, 1986 г.); 18) Всесоюзное совещание "Кипящие гидротермальные растворы" (Ростов-на-Дону, 1988 г.); 19) II международный контресс по неметаллам (КНР, 1989 г.); 20) IV Всесоюзное петматитовое совещание "Минераногия и генезис петматитов» (Мивсс, 1991 г.); 21) Международная конференция "Новые идеи в науках о Земле" (Москва, 1997 г.); 22-23) IX и х международные конференции по термобарогеохимии (Александров, 1999, 2001 г.г.).

Кроме` того, диссертант был руководителем авторского коллектива экспозиции "Комплексное изучение и освоение метаморфогенных месторождений" (серебряная медаль ВДНХ, 1985 г.).

Основные результаты исследований изможены в 70 публикациях и 42 научноисследовательских отчетах. По результатам исследований получены 2 патента РФ и два авторских свидетельства на изобретение новых способов оценки оруденения.

Работа выполнена в Московском геологоразведочном институте-университете (МГРИ-МГГРУ) в процессе проведения исследований Восточно-Сибирской и Карело-Кольской экспедицией НИС"а в 1964-93 г.г., а также в Закрытом акционерном обществе ТЕРВАЯРВИ (1993-2000 г.г.). В этих исследованиях и разработке рассматриваемых вопросов вместе с участвовали Б.М.Роненсон, В.М.Ройзенман, В.А.Утенков, В.А.Рождественская, В.А.Сикорский, М.П.Астафьева, С.В.Ежов, М.Г.Петрова, Б.Е. Карский, Г.В. Лемура, Т.Ф. Шербакова, М.И. Шимелевич, С.Е. Кургинян, В.А. Розанов Ю.Н. Сиротов, Л.В.Любимова, В.С.Войтович, Л.И.Шестакова и др. Работы проводились в тесном контакте с сотрудниками СибГЕОХИ (Б.М.Шмакин, Л.К.Пожарицкая, З.И.Петрова, М.П.Глебов, Л.Г.Кузнецова, Е.И. Воробьев и др.), ТУГРЭ (Р.Ф. Черкасов, А.И.Кукс, И.В.Быков), ВСЕГЕИ (В.В.Жданов,). Большую помощь в проведении работ оказали начальник Управления горных работ и геологической службы Министерства промышленности строительных материалов СССР А.Л.Куняцын, гл.геолог ГЛАВНЕМЕТАЛЛОРУД А.И.Карамнов, ст. геолог ГЛАВНЕМЕТАЛЛОРУД А.Н.Качалов, гл.геолог Уксинской ГРП Карельской ГРЭ К.И.Степанов, начальник Алданской ГРЭ В.И.Антонов, гл. геофизик Алданской ГРЭ Ю.М. Савоськин, ст. геолог АГРЭ А.И. Разумов, зам. председателя Карелгеолкома Ю.А. Кореньков. Ряд вопросов по теме автор обсуждал с И.Ф.Романовичем, П.А.Игнатовым, В.И.Пахомовым, В.А. Утенковым, что позволило уточнить формулировки отдельных положений.

Автор выражает упомянутым ученым и коллегам свою искреннюю признательность.

Особая благодарность моему учителю, основоположнику современной методики крупномасштабного геологического картирования метаморфических комплексов Б.М. Роненсону.

Часть І. УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕТАМОРФОГЕННЫХ МЕСТОРОЖЛЕНИЙ.

Исследованию закономерностей метаморфогенного оруденения посвящена общирная литература. Вопросы геологического строения метаморфических комплексов, история их развития, особенности концентрации полезных ископаемых, методика прогнозирования метаморфогенных месторождений рассмотрены в трудах Я.Н. Белевцева, В.В. Жданова, Д.С. Коржинского, Б.М. Роненсона, Н.Ф. Фроловой, Н.Г. Судовикова, А.А. Маракушева, Г. Шнейдерхена и многих других исследователей. Вместе с тем многие актуальные вопросы

формирования метаморфогенных месторождений остаются недостаточно изученными и, часто - дискуссионными, что сдерживает разработку новой системы прогнозной оценки оруденения, отвечающей современным требованиям.

Репление теоретических задач (определение условий развития метаморфических комплексов и оруденения в них) и тесно связанных с ними практических вопросов прогнозирования и оценки метаморфогенных рудных тел и месторождений, их комплексного изучения и освоения стало возможным лишь на основе крупномасштабного геологического картирования по современной методике (Роненсон, 1972; Роненсон и др., 1976 и др.) и специальных исследований типовых (эталонных) метаморфогенных рудных полей различных полезных ископаемых.

В качестве одного из эталонных объектов для разработки указанных теоретических и практических проблем выбран *Центрально-Алданский горнопромышленный район* в пределах Алданского кристаллического щита, где особенности рудообразования (на примере месторождений флогонита, графита, диопсидового и полевошнатового сырья) рассмотрены в комплексе пород, метаморфизованных в условиях *гранулитовой фации*.

Вторым эталонным объектом исследований является метаморфический комплекс кристаллических сланцев и гнейсов Лахденпохского района Карелии (Сев. Приладожье) с условнями метаморфизма амфиболитовой фации. Благодаря открытию и оценке за последние 10-15 лет (в том числе — под руководством и с участием диссертанта) промышленных месторождений ряда полезных ископаемых, Лахденпохский район выдвигается в число перспективных минерально-сырьевых районов Карелии. В частности, месторождения барий-стронциевого натрово-глиноземистого полевошпатового сырья и графита могут стать основной сырьевой базой этих полезных ископаемых в Европейской части России (Ройзенман, 1995, 1997, 1999). В районе также открыты и оценены 2 месторождения облицовочного камих и месторождение щебня (Ройзенман, Шестахова, 2000ф).

Третьим детавьно изученным эталонным объектом является Вороньетундровский комплекс кристаллических сланцев и гнейсов (Кольский полуостров) эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма. В этом комплексе на базе крупномасштабной геологической съемки рудного поля и специальных исследований выявлены закономерности формирования и размещения жил комплексных редкометальных пегматитов (с литием, рубидием, цезием, танталом, ннобием и бериллием). Для этих месторождений в качестве дополнительных полезных исконаемых диссертантом предложены кварцевое и полевопиватовое сырье, а также — вмещающие амфиболиты (Ройзенман, 1996). В Вороньстундровском рудном поле известны также месторождения рудного золота и молибдена, проявления шеслита.

1. Характеристика состава, строения и условий рудообразования в типовых (эталонных) метаморфических комплексах.

1.1. Центрально-Алданский горнопромышленный район.

Адданский щит является генотином архейского комплекса гранулитовой фации метаморфизма. На примере Алданского щита разрабатывался ряд методов исследования метаморфических комплексов, в том числе - литологофациальный анализ (Фролова, Клековкин, 1944), парагенетический анализ минеральных ассоциаций (Коржинский,1937), статистические методы классификации горных пород и литолого-стратиграфического расчленения кристаллических сланцев (Методы расчленения метаморфических комплексов, 1976) и другие методы.

Алданский горнопромышленный район в Южной Якутии является одним из богатейших минерально-сырьевых регионов России. В районе сосредоточены крупные месторождения флогопита, графита, полевопшатового сырья, диопсидового сырья, золота, апатита, вермикулита, угля, железа, урана, горного хрусталя.

Центрально-Алданский метаморфический комплекс начал формироваться в глубоком архее. Изотопный возраст ненгрской серии датируется 3900-4000 млн. лет (Павловский,

1988), нимнырской свиты - 3300 млн. лет (Рудник и др., 1969). Для залегающей выше федоровской свиты возраст пока еще является дискуссионным (согласно данным Н.В. Волковой и С.В. Брандта, 1970, изотопный возраст федоровской свиты 2000 млн. лет, но ряд авторов считает этот возраст омоложенным).

Кристаллические сланны и гнейсы Пентрально-Алданского комплекса претерпели длительную и многоэтапную историю изменений в процессах регионального метасоматоза (магнезиальное скарнирование, фельдипатизация и др.), палингенеза и интрузивного магматизма, а также - регрессивного (послегранитного) метасоматоза. Согласно расчетам по фазового соответствия распределения компонентов межлу минералами (Метаморфический комплекс....1975) и по данным термобарогеохимии (Ройзенман и др., 1978) установлено, что в федоровской свите региональный метаморфизм происходил при температурах 820-660° и очень высоких концентрациях CO₂ в растворах — до 59 моль/кг H₂O («сухие» условия метаморфизма); региональное скарнирование (с образованием преимущественно полосчатых флогопит-диопсидовых, партасит-диопсидовых, шпинельдиопсидовых и скаполит-диопсидовых скарнов) и фельдшиатизация - при температурах 660-480° и существенно более низких концентрациях CO₂ - 6-8 моль/кг H₂O; регрессивный (послетранитный) метасоматоз с образованием бедного, рассеянного оруденения - при температурах 480-320° и еще более низких концентрациях СО₂ (4-6 моль/кг H₂O), а образование богатого флогопитового, графитового и полевопилатового оруденением - при температурах 320-140° и значительно более высоких конпентраниях CO₂ - до 17 моль/кг H₂O (Ройзенман, 1990).

Развитие метаморфогенных месторождений Алдана происходило в течение 3-х основных тектонических этапов: I — линейной складчатости, II — поперечной складчатости, III — послескладчатого. Тектоническое развитие сопровождалось заложением и развитием разрывных структур, сменой в них условий сжатия и растяжения, что контролировало локализацию геологических тел (в том числе — рудных).

приурочены Флогопитовые месторождения Ш Алдана кристаллосланцам федоровской свиты (преимущественно - к "продуктивным" пачкам Ш3 и IV2). Основной геолого-структурный тип флогопитоносных тел - участки пересечения пачек и пластов днопсидовых сланцев косо-секущими зонами диопсид-калишпатовых сиенитпегматитов и ортотектитов (Роненсон, Ройзенман, 1970). Флогопитоносные образовались в этих структурах на регрессивном этапе за счет метасоматического взаимодействия магнезиальных пород (диопсидовых кристаллосланцев и скарнов этапа ультраметаморфизма) и алюмосиликатных (пегматитовых) пород под воздействием постгранитных растворов. На ранней стадии этого метасоматоза (температуры декрепитации 480-320°) образовались преимущественно среднекристаллические диопсидовые породы с бедным флогопитовым оруденением. На второй стадии постмагматического метасоматоза (Тл=320-140°) за счет переработки и перекристаллизации пород первой стадии сформированись крупнокристаллические флогопит-диопсидовые породы с промышленными содержаниями флогопита (Ройзенман и др., 1975).

Флогопитоносные зоны контролируются, главным образом, дисгармоничными складками волочения (рис. 1), причем наблюдается определенная зависимость запасов флогопитовосных зон от амплитуды рудоконтролирующих складок (рис.2). Мелкие флогопитоносные зоны (с запасами менее 5000 тони) контролируются либо мелкими складками (с амплитудой менее 40 м), либо крупными складками (с амплитудой более 180 м). Самые крупные флогопитоносные зоны Алдана, с запасами более 20 000 тони в каждой, приурочены к средним ("оптимальным") складкам с амплитудой 80-150 м (Ройзенман, 1970).

Несмотря на то, что флогопитовые месторождения Алдана разрабатываются с конца 40-х годов, только в начале 80-х годов установлено, что в пределах этих месторождений имеются еще два ценных полезных ископаемых: диопсидовое и полевошпатовое сырье (см. рис. 1).

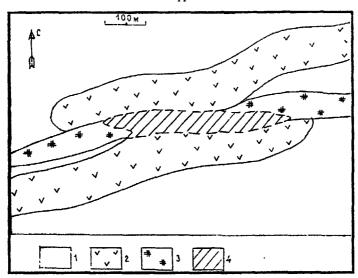


Рис. 1. Схема размещения промышленных рудных тел комплексного Южного месторождения (Алдан), образовавшегося на разных метаморфических и тектонических этапах: а) диопсидового сырья (этап регионального метаморфизма, І тектонический этап); б) полевошпатового сырья (этап ультраметаморфизма, ІІ тектонический этап); в) флогопита (этап регрессивного метасоматоза, ІІ тектонический этап). 1-2 — федоровская свита: 1 — диопсид-роговообманковые плагиосланцы, 2 — диопсидовые кристаллосланцы; 3 — диопсид-калипшатовые сиенит-пегматиты; 4 — зона постгранитных флогопит-диопсидовых метасоматитов.

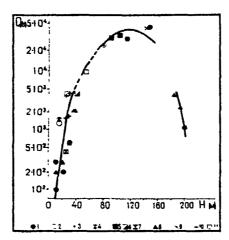


Рис. 2. Зависимость запасов флогопитоносных зон (Q) от амплитуды дисгармоничных складок (H) на Алданских месторождениях: 1 — Южное, 2 — Федоровское, 3 — Озерное, 4 — Бурдыхлайское, 5 — Безымянное, 6 — Белибердинское, 7 — Северное, 8 — Таборное, 9 — Леглиерское. 10 — Верхне-Эмельджакское, 11 — Поисковое.

<u>Лиопсидовое сырье</u>, разведанное по ининиативе А И. Карамнова, представляет новый (в мировой практике) вид сырья, который может использоваться для производства электро- и радиокерамики, каменного литья, минеральной ваты, связки абразивного инструмента и других изделий. Наиболее богатые (мономинеральные) диопсидовые породы (диопсидовые кристаллосланцы) образовались на этапе регионального метаморфизма. На этапах регионального метасоматоза и посттранитного метасоматоза происходило последовательное разубоживание диопсидовых пород за счет образования в них флогопита, паргасита и др. минералов. Содержание диопсида в этих породах составляет 60-90%.

Полевоишатовое сырые изучено и разведано по рекомендациям диссертанта (Ройзенман, 1980). Наиболее крупные я богатые полевоишатовые тела открыты и разведаны на месторождении Безымянном, где по 17-тя телам подсчитаны запасы по категориям В+С₁: 1.6 млн. тони полевоишатовых пород со средними содержаниями полевого шпата 80-90% и 6 млн. тони лейкократовых кварц-полевопшатовых пород. Месторождение Безымянное является крупнейшим в России месторождением наиболее ценных - калиевых и высококалиевых полевоишатовых пород для изделий тонкой керамики. Для обогащения этих пород разработана простая и дешевая схема (авторское свидетельство N 1364615 от 8.09.1987 г., авторы Ф.М. Ройзенман, В.Л. Тарасов и др.). Полученные полевоишатовые концентраты полностью соответствуют требованиям ГОСТ 7030-84 на сырье для изделий тонкой керамики. Из полученных полевошпатовых концентратов изготовлены опытные образцы фарфора, которые соответствуют I сорту.

Полевошнатовые тела Безымянного месторождения представляют собой поперечносекущие свенит-пегматитовые жилы в диопсидовых породах. Размеры сненит-пегматитовых жил ограничены размерами вмещающих диопсидовых тел и составляют: в длину - до 180 м, по мощности - до 50 м, по вертикали - до 100 м. Кварц-полевоппатовые тела представлены поперечно-секущими жилами гранитных пегматитов и косо-секущими телами лейкократовых гранитов.

На других флогопитовых месторождениях Алдана промышленный интерес могут представлять кососекущие жилы пегматитов (см. рис. 1).

<u>Графитовые месторождения</u> Аддана приурочены к пачкам графитовых плагиогнейсов в верхней части нимнырской свиты. Отдельные разновидности графитовых гнейсов содержат графит в количестве 1-4% и представляют бедные графитовые руды. На этапе регионального метаморфизма сформировались также рядовые руды - графитовые кварциты (6-8% графита).

На этапе регионального метасоматоза (стадия плагиомигматизации) происходила перекристализация гнейсов с образованием рядовых (полосчатых) руд (2-8% графита) и линзовидно-полосчатых богатых руд (содержания графита 8-18%).

Наиболее богатые графитовые руды с содержаниями графита выше 18%, имеющие массивную текстуру, сформировались на этапе регрессивного (послегранитного) метасоматоза. Эти руды не имеют аналогов на других стратиформных графитовых месторождениях мира.

Согласно данным газового анализа газово-жидких включений региональный метаморфизм гранулитовой фации с образованием графитовых плагиогнейсов происходил при температурах 880-700°С и в существенно водно-углекислотной среде при высоких концентрациях СО₂ - 17.0-19.4 моль/кт H₂O. В графитах из гнейсов изотопный коэффициент углерода (q¹³C) варьирует от - 24,7 до - 26,4 % (Ройзенман, 1997). Согласно литературным материалам (Галимов, 1972) данный уровень изотопного коэффициента соответствует таковому в углях, что свидетельствует об *органогенном* происхождении углерода графита. Этот вывод подгверждается многочисленными находками различных микроорганизмов в графитовых гнейсах Алдана (Кошевой, Ройзенман, 1989).

Плагиомигматизация графитовых гнейсов, с образованием полосчатых и линзовиднополосчатых графитовых руд происходила при температурах 700-600° и низких концентрациях CO_2 (2-5 моль/кг H_2O). При этом отмечается изотопное утяжеление углерода графита ($q^{13}C = -21,3 - 24,3 \%$ _∞).

Для стадии *плагиомикроклиновой* мигматизации, которая происходила при температурах 600-480° и концентрациях CO_2 3-7 моль/кг H_2O , характерно резкое изотопное утяжеление углерода графита – до $q^{13}C=-15,6-17,6^{\circ}/_{\infty}$. Показательно, что такой же изотопный состав имеет углерод графита наиболее богатых - массивных руд: $q^{13}C=-15,8-18,1^{\circ}/_{\infty}$ (Ройзенман, 1997).

В богатых массивных графитовых рудах отмечаются высокие концентрации CO_2 на этапе регрессивного метасоматоза, где фиксируются две стадии газовыделения: а) при 480-320° (с максимумом при 380° с концентрацией CO_2 до 10,2 моль/кг H_2O); б) при 320-140° (с максимумом при 180° и с очень высокой концентрацией CO_2 – до 40 моль/кт H_2O – такая концентрация CO_2 может быть только в газовой фазе).

По степени совершенства кристаллической структуры графиты из массивных руд Алдана превосходят графиты других месторождений мира, в том числе — наиболее высококачественные Цейлонские графиты (Ройзенман, 1997).

Основной рудоконтролирующей структурой месторождения Чебере является лежачая изоклинальная складка с увеличенной мощностью графитовых руд в ядре складки.

В целом, Алданские графитовые месторождения представляют крупнейший в России графитоносный район с запасами и ресурсами графита более 7 млн. тони. При этом Центральная графитоносная зона месторождения Чебере с запасами 1,5 млн. тони при уникально высоком содержании графита - 27% не имеет аналогов в мире.

Графитовые месторождения Аддана характеризуются комплексностью. Так, на Надеждинском месторождении по рекомендации диссертанта (Ройзенман и др., 1981ф) разведана крупная (длиной 1400 м, мощностью 50 м и глубиной 100 м) жила калиевого кварп-полевоннатового сырья, косо пересекающая графитоносную зону. По запасам полевоннатового сырья (10.6 млн. тони) эта жила представляет крупнейшее в России месторождение сырья для изделий тонкой керамики. В целом, наличие в контурах будущего графитового карьера указанной кварц-полевошпатовой жилы в 2 раза увеличивает экономическую эффективность освоения месторождения.

1.2. <u>Метаморфический комплекс Лахденпохского района Карелии (Северо-Западное</u> <u>Приладожье).</u>

Несмотря на более, чем 100-летние исследования и поисковые работы финских и советских геологов, территория Лахденпохского района до последнего времени оставалась "белым пятном" на карте полезных ископаемых. Вместе с тем в связи открытием за последние 10-15 лет промышленных месторождений графита, полевошпатового сырья, облицовочного камия, щебия и кирпичных глин этот район выдвигается в число перспективных минерально-сырьсвых районов Карелии.

районе Докембрийские породы представлены двумя комплексами. метаморфизироваными в условиях амфиболитовой фации. Нижний (архейский комплекс) выходит в ядрях антиклинальных структур (овалы и др.) и сложен, как правило, сильно мигматизированными существенно биотитовыми плагиогнейсами, гнейсо-гранитами, гнейсо-гранодиоритами, габбро-амфиболитами, кварцитовидными гнейсами. Верхний комплекс (нижне- среднепротерозойский) занимает пространство между архейскими ядрами и представлен двуми свитами. Нижнии - питкирантский свита сложена биотитовыми, гранатбиотитовыми и графит-биотитовыми плагногнейсами (местами - с промышленными содержаниями графита), а также - амфиболитами с прослоями мраморов и кварцитов. Залегающая выше даложская серия представлена преимущественно гранат-биотитовыми плагиотнейсами с прослоями кварцито-гнейсов.

Толща докембрийских кристаллических сланцев прорвана интрузиями граносиенитов, диорит-сиенитов, габбро-норитов и пироксенитов.

Кристаллические сланцы и гнейсы полверглись процессам гранитизации, а также - базификации (с образованием гранат-роговообманковых, плагиоклаз-диопсидовых и других базификитов).

В Лахденпохском районе под руководством диссертанта открыты и оценены промышленные участки графита, полевошпатового сырья, облицовочного камня и щебня.

<u>Графитовое оруденение</u>. Кроме известного участка № 3 Ихальского месторождения, на котором Уксинской партией оценены запасы графита 2.5 млн. тонн (при среднем его содержании 3.7%), сотрудниками МГРИ с использованием нового (запатентованного) метода оценки содержаний графита в недрах (метод электроанизотропии) проведена оценка еще двух участков (NN 5 и 7), по которым подсчитаны прогнозные запасы в сумме 3 млн. тонн при среднем содержании графита 3,5% (Ройзенман, 1996). Таким образом, Лахденпохский графитоносный район с высококачественным чешуйчатым графитом по своим масштабам и содержаниям графита уступает в России только Центрально-Алданскому району, но отличается от последнего более выгодным географическим положением. Ихальское месторождение графита (участки №№ 3,5,7) по запасам и ресурсам является вторым в Европе (после Завальсвского месторождения на Украине).

содержащего натрово-глиноземистого Месторождение барий-стронций полевошпатового сырья (пироксен-антипертитовых сиенитов) Райвимяки-3, открытое диссертвитом в 1991 году, относится к наиболее редкому промышленному типу (в мире существует лишь два предприятия, выпускающих высококачественные полевопинатовые концентраты данного типа - в Канаде и в Норвегии). Полевопплатовые концентраты месторождения Райвимяки-3, полученные в результате лабораторных технологических испытаний 11-ти проб, отобранных равномерно по длине полевошпатовых тел, имеют следующий средний состав (мас.%): $SiO_2 - 63.5$, $AI_2O_3 - 20.2$, $Fe_2O_3 - 0.1$, CaO - 0.74, MgO -0.22, Na₂O - 7.6, K₂O - 5.6, BaO - 0.17, SrO - 0.47, Этот концентрат соответствует по составу марке НПШС-0,3-21 ГОСТ-13451-77, но отличается от нормативов этого стандарта (в лучшую сторону) значительно более низким содержанием железа (0.1% против 0.3% по указанному ГОСТу) и по этому показателю не имеет аналогов в России. По составу полевопинатовый концентрат Райвимяки-3 является средним между канадским и норвежским концентратами и соответствует европейским стандартам на полевошпатовые концентраты для производства вакуумного стекла для телевизионных трубок, низкотемпературного фарфора, автомобильного стекла и др. изделий (Ройзенман, 1999). Существенным преимуществом полевошпатовых конпентратов Райвимяки-3 перед канадским и норвежским концентратами является присутствие значительной примеси бария и стронция - веществ, которые добавляют в стекольную шихту для задержки рентгеновского излучения (на эту особенность полевошпатовых пород массива Райвимяхи ранее обратил внимание Р.А. Хазов, 1984).

В результате детальной геолого-геофизической съемки на участке Райвимяки-3 откартированы (в прослежены до глубины 40 м) 2 полевопплатовых тела длиной более 300 м и мощностью по 20 м. Суммарные прогнозные запасы этих двух тел составляют 2 млн. тонн при среднем содержании полевого шпата 85%. Еще три полевопплатовых тела, откартированные и прослеженные на глубину геофизикой и заверенные отдельными канавами, имеют прогнозные запасы полевопплатовых пород более 1,2 млн. тони (Ройзенман, 1999).

Учитывая выгодное географическое положение, значительные запасы, высокие содержания полевого шпата, высокий выход полевого шпата в концентрат (72%), примесь бария и стронция, можно констатировать, что месторожение Райвимяки-3 представляет перспективный объект (европейского уровня) оля производства дефицитных барийстронций-натрово-глиноземистых полевошпатовых концентратов. От единственного разрабатываемого в Европе месторождения высококачественного полевошпатового сырья данного типа (месторождение Лиллебукт на о. Схерные близ мыса Норд-Кап в Баренцевом

море, разрабатываемое подземным способом) месторождение Райвимяки-3 выгодно отличается тем, что может разрабатываться открытым способом,

Еще одним важным преимуществом месторождения Райвимяки-3 является его комплексность, так как между полевошпатовыми жилами залегают сопоставимые с ними по масштабам тела графитовых гнейсов и руд. Только на данном месторождении впервые в Европе обнаружены богатые массивные графитовые руды (Алданского типа) с содержаниями высококачественного чешуйчатого графита до 15%. Согласно оценке методом электроанизотропии среднее содержание графита на месторождении Райвимяки-3 составляет 3.5%, а прогнозные запасы графита — 110 000 тони (Ройзенман, 1999).

В Райвимякском интрузивном массиве основных-щелючных пород Уксинской партней проведена оценка участка Райвимяки-2, на котором установлены полевоппатовые породы, пригодные в качестве сырья для производства *рядового* стекка — тарного и оконного. Полевоппатовые концентраты участка Райвимяки-2 характеризуются более высокими содержаниями $Fe_2O_3 - 0.2\%$ и $K_2O - 5.9-9.0\%$, при пониженных содержаниях $Na_2O - 4.8-6.7\%$ (Торицын и др., 2002ϕ), по сравнению с месторождением Райвимяки-3.

Облицовочный (блочный) камень. В результате поисковых и разведочных работ ЗАО ТЕРВАЯРВИ в Лахденпохском районе открыты и оценены первые два месторождения блочного камия - Райвимяки-1 и Лакеваара-1. Общие запасы этих месторождений составляют 0.3 млн.м³ (Ройзенман, Шестакова, 2000ф).

При производстве геологоразведочных работ впервые применена принципиально новая методика оценки процента выхода блоков из массива (патент РФ № 2184848 от 10.07.2002 г., авторы Ройзенман Ф.М., Шестакова Л.И.), позволяющая в 3-4 раза повысить достоверность оценки этого важнейшего для облицовочного камня промышленного параметра и тем самым существенно увеличить эффективность геологоразведочных работ.

На указанных месторождениях могут добываться 5 декоративных разновидностей камня: бежевые и темно-бежевые снениты; черно-серые габбро-диабазы; розовые и красно-розовые граниты. Для оцененных участков характерен высокий расчетный выход блоков - 37-57% (относительная ощибка в определении выхода блоков — до 15%).

Лицензии на разработку месторождений Райвимяки-1 и Лакеваара-1 получены ЗАО ТЕРВАЯРВИ. Добыча блоков сиенита в настоящее время проводится на месторождении Райвимяки-1.

1.3. Метаморфический комплекс Вороньетундровского рудного поля (Кольский полуостров).

В районе Вороньих тундр в результате геологического картирования рудного поля и промышленных участков удалось впервые расшифровать сложную внутреннюю тектоническую структуру толщи амфиболитов, вмещающих жилы редкометальных пегматитов, а также установить закономерности размещения жил редкометальных пегматитов, разработать для них комплекс поисково-оценочных критернев. На этой основе даны конкретные рекомендации по поискам и разведке новых промышленных жил комплексных редкометальных пегматитов (Ройзенман, 1996).

Толща докембрийских пород района Вороньих тундр представлена двумя комплексами. Нижний комплекс - мигматит-граниты основания с редкими реликтами кристаллических сланцев гранулитовой фации (гиперстен-диопсид-роговообманковые плагносланцы и др.). Возраст комплекса основания 3700-2900 млн. лет.

Верхний (собственно Вороньетундровский) комплекс образует узкую (шириной до 10 км) линейную грабен-синклиналь в комплексе основания. Породы Вороньетундровского комплекса, метаморфизованного в условиях эпидот-амфиболитовой фации, слагают 4 свиты: а) лявозерская свита - гранат-биотитовые и биотитовые плагногнейсы с прослоями ставролит- и андалузитсодержащих гнейсов; б) полмостундровская свита амфиболитов; в) вороньетундровская свита биотитовых и биотит-амфиболовых лептитов с прослоями амфиболитов; г) червуртская свита гранат-биотитовых, ставролит-биотитовых и андалузит-биотитовых плагиосланцев с прослоями кианитсодержащих сланцев.

Температура регионального метаморфизма в данном комплексе составляет 550° (Андронов, Рождественская, Ройзенман, 1976).

В Вороньетундровском комплексе кристаллических сланцев и гнейсов залегают малые интрузии метагаббро, метапироксенитов, метаперидотитов, кварцевых порфиров, лейкократовых гранитов, а также – жилы пегматитов, в том числе редкометальных.

В районе Вороньих тундр в результате крупномаситабного геологического картирования впервые выделена своеобразная формация региональных метасоматитов, развивающихся по сланцам и гнейсам (Ройзенман, Рождественская, 1976). В районе откартировано 9 зон региональных метасоматитов шириной 200-900 м и длиной более 15 км, косо пересекающих свиты кристаллических сланцев и гнейсов. Установлено, что региональные метасоматиты развивались в 3 стадии (базификатную, щелочную и кислотную) и что состав метасоматитов, кроме стадийности, сильно зависит от состава замещаемых метаморфических пород. В результате выделены гранат-роговообманковые (с магнетитом), гранат-жедритовые (с сульфидами), биотитовые, плагноклаз-днопсидовые, магнетит-кварцевые (полосчатые), кальцит-плагиоклаз-днопсидовые, кварц-мусковитовые, хлорит-актинолитовые и другие разновидности региональных метасоматитов. Характерной отличительной особенностью региональных метасоматитов. Характерной поля является отчетнивое преобладание среди них базификатов (80% от общего объема метасоматитов). Температура формирования региональных метасоматитов (650°) на 100° выше, чем при региональном метаморфизме (Андронов, Рождественская, Ройзенман, 1976).

В районе Вороньих тундр находится жилы редкометальных пегматитов (генетически связанные с малыми интрузиями лейкократовых турмалиновых гранитов), в том числе крупнейшее в СССР месторождение поллуцитоносных пегматитов Васин-мылык с литием, рубиднем, цезием, танталом, ниобием, бериллием. Жила Васин-Мылык имеет пологое залегание в амфиболитах, как и все другие жилы комплексных редкометальных пегматитов мира (Солодов, 1971). В результате геологической съемки и документации обнажений установлено, что пологие разрывные структуры закономерно приурочены к веерообразным антиклиналям и образуют две сопраженные системы, симметричные относительно осевых поверхностей этих складок (рис. 3, 4). При этом на участке "пережима" антиклинали эти системы сходятся углом вниз, а в замковой части складки — углом вверх (рис. 4). К первому варианту структурного контроля относится жила Васин-Мылык, ко второму варианту — крупнейшая в мире поллуцитоносная жила Берник-Лейк в Канаде.

В результате целенаправленного опробования откартированных зон биотитовых региональных метасоматитов в замке веерообразной антиклинали на г. Шлиховой выявлена крупная (площадью 1000 м х 400 м) геохимическая аномалия редких щелочных метаплов (в частности, содержания цезия в ней составляют от 0.01% до 0.10%) с существенно цезиевой специализаций, характерной для комплексных редкометальных пегматитов (см. рис. 3). На этом основании на участке г. Шлиховой прогнозируется крупная жила комплексных редкометальных пегматитов, близкая по масштабам к жиле Берник-Лейк (Ройзенман, 1996).

Открытие и исследование региональных метасоматитов позволило по-новому подойти к металлогенической оценке Вороньетундровского рудного поля. Так, установлено, что бнотитовые метасоматиты обогащены редкими щелочами, магнетит-кварцевые метасоматиты ("железистые кварциты") представляют руду на железо, в кальцит-плагиоклаздиопсидовых метасоматитах присутствует шеслит, в кварц-мусковитовых метасоматитах содержатся промышленные концентрации молибдена, к зонам метасоматитов на Оленьем хребте пространственно приурочено золоторудное месторождение (Ройзенман и др., 1977).

Кроме известных полезных ископаемых, в данном районе диссертантом предложены в качестве новых перспективных видов кварцевое и полевоппатовое сырье, а также — амфиболиты (Ройзенман и др., 1996). Кварцевое сырье может разрабатываться как в пегматитах (кварцевая зона), так и в многочисленных кварцевых жилах в амфиболитах месторождения Васин-Мыльк (среди этих жил имеются весьма крупные). Сами вмещающие амфиболиты представляют ценное сырье для производства минеральной ваты, каменного

литья, облиновочного камия и других изделий (Ройзенман и др., 1985). Таким образом, например, месторождение Васин-Мыльк может рассматриваться как комилексное, содержащее несколько полезных неконаемых (см. рис. 3, 4).

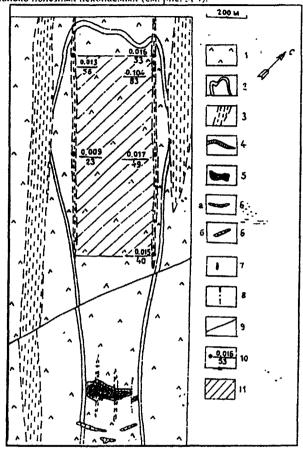


Рис. 3. Схема размещения промышленных рудных тел комплексного месторождения Васин-Мылык (Воронья тундра), образовавшихся на разных метаморфических и тектонических (ТЭ) этапах: а) амфиболитов (этап регионального метаморфизма, І ТЭ); б) полевошпатового сырыя (этап регионального метасоматоза-ультраметаморфизма, ІІ ТЭ); в) кварцевого сырыя в петматитах (этап регионального метасоматоза-ультраметаморфизма, ІІ ТЭ); г) редких металлов: лития, рубидия, цезия, тантала, инобия, бериллия (этап регрессивного метасоматоза, ІІІ ТЭ); д) кварцевого сырыя — кварцевые жилы в амфиболитах (этап регрессивного метасоматоза, ІІІ ТЭ). 1 — амфиболиты, 2 — маркирующая пачка куммингтонитовых амфиболитов, 3 — эоны региональных биотитовых метасоматитов, 4 — пегматоидная зона пегматитов, 5 — микроклиновая зона пегматита, 6 — кварцевое сырые: а — зоны вегматитах, 6 — жилы в амфиболитах. 7 — редкометальная зона пегматита, 8 — зоны катаклазитов, 9 — зоны милонитов. 10 — точки отбора геохимических проб и результаты анализов: в числителе — содержания Сs₂О (%), в знаменателе — «коэффициент цезиеносоности». 11 — прогнозная зона понсков комплексных редкометальных пегматитов на г. III просовой.

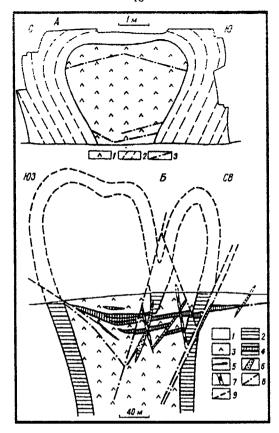


Рис. 4. Закономерности размещения пологих разрывов в веерообразных антиклиналях. А – зарисовка обнажения (сопряженные системы пологих трещин в верхней и нижней частях антиклинали): 1 – амфиболит, 2 – лептит, 3 – трещины; Б – геологический разрез через жилу комплексных редкометальных пегматитов Васин-Мыльк (сопряженные системы пологих разрывов в нижней части антиклинали): 1 – роговообманковые амфиболиты верхней пачки, 2 – куммингтонит-роговообманковые амфиболиты средней (маркирующей) пачки, 3 – роговообманковые амфиболиты нижней пачки, 4 – редкометальный пегматит, 5 – поллуцитовая зона в пегматите, 6 – кварцевые жилы, 7 – диабазы, 8 – тектонические разрывы, 9 – границы эродированной части.

Вороньетундровский комплекс представляет редкий случай совпадения изотопных возрастов, измеренных разными методами: регионального метаморфизма - 2900-2800 млн. лет, регионального метасоматоза - 2800-2700 млн. лет, гранитов и редкометальных пегматитов - 2700-2600 млн. лет, богатой редкометальной минерализации в пегматитах — 2550 млн. лет (Гавриленко и др., 1974; Пушкарев и др., 1978 и др.).

2. Закономерности образования и размещения метаморфогенных месторождений.

Детальное геологическое картирование и комплексное исследование эталонных метаморфогенных месторождений позволили выявить некоторые общие закономерности их формирования и развития в них оруденения.

2.1 Место промышленного рудообразования в метаморфическом цикле.

Развитие метаморфических комплексов отличалось значительной сложностью и 110 этой причине установление закономерностей формирования плительностью. метаморфических комплексов и оруденения в них связано с определенными трудностями. многие вопросы метаморфогенного рудообразования остаются В связи с этим. дискуссионными. Согласно распространенной теоретической и методической точке зрения (Салье, 1975; Соколов, 1970 и др.), промышленное рудообразование происходило, главным образом, на этапе регрессивного метаморфизма. Вместе с тем, Я.Н. Белевцев (1979) считает, что существенная часть рудного вещества отдожилась в осадочно-вудканогенных комплексах, при региональном метаморфизме произошла смена парагенетических ассоциаций рудных минералов, а в последующих процессах ультраметаморфизма и поснегранитного метасоматоза рудные минералы могли переотлагаться. В.В. Жданов (Жданов, Малкова, 1974) ведущую роль в метаморфогенном рудообразовании отводит процессам регионального метасоматоза. Неоднозначно также оценивается приуроченность промышленного оруденения к различным фациям метаморфизма. Так, по мнению Я.Н. Белевцева, "подавляющее больцинство всех рудных месторождений размещается среди метаморфических пород зеденосланиемой и в меньшей мере амфиболитовой фации метаморфизма; значительно реже они встречаются среди пород дозеленосланиевой и гранулитовой фаций метаморфизма, а также в полях развития гранитондов" (Белевцев, 1979, стр. 259).

Полученные диссертантом данные позволяют по новому сформулировать закономерности образования метаморфогенных месторождений и установить, что промышленное рудообразование происходило на всех этапах метаморфического цикла.

Так, в охарактеризованных выше типовых метаморфических комплексах гранулитовой, амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций на этапе регионального метаморфизма образовались наиболее богатые месторождения диопсидового сырья, месторождения рядовых графитовых руд, амфиболитов; на этапе регионального метасоматоза ультраметаморфизма - средние и богатые графитовые руды, средние диопсидовые руды, богатое полевоннатовое сырье (калиевое и натрово-"железистые кварциты", глиноземистое), бедные редкометальные руды, месторождения облицовочного камия и щебня; <u>на этапе регрессивного метасоматоза</u> - бедное двопсидовое сырье, богатые графитовые, флогопитовые и редкометальные руды. Даже в одном комплексе один и тот же этап метаморфического цикла может иметь принципиально различное значение для разных полезных исконаемых. Так, в процессах регионального метасоматоза в Алданском комплексе происходило формирование флогопит-диопсидовых скарнов, представляющих исходный материал ДЛЯ образования крупнокристаллических флогопитоносных метасоматитов на последующем послегранитиом этапе (рудополготовка). Параллельно с этим образовались средние (полосчатые) и богатые (линзовидно-полосчатые) графитовые руды (рудообрязование) и происходило обеднение двопсидовых руд в связи с замещением части диопсида другими минералами - флогопитом, паргаситом, скаполитом, пшвнелью (рудоразрущение).

На основе выявленных закономерных связей оруденения с определенными этапами развития метаморфических комплексов для изученных рудных районов составлены промышленно-генетические классификации месторождений. В качестве примера в таблице 1 приведена Промышленно-генетическая классификации неметаллических полезных ископаемых в Центрально-Алданском горнопромышленном районе. В этой классификации зафиксирована приуроченность флогопитовых, графитовых, днопсидовых и полевошпатовых руд к определенным этапам метаморфического цикла (при этом все этапы являются рудообразующими), приведены содержания полезных ископаемых на каждом этапе, а в таблице 2 указаны условия их образования (температурный режим и концентрация СО₂).

Таблица 1. :
Промышленно-генетическая классификация неметаллического сырья в Центрально-Алданском районе

Полезные ископаемые	Эталы метаморфического цикла и генетические типы оруденения														
				раметаморфизм ьное скарнирование		Ультраметаморфизм Мигматизация, гранитизация			Регрессивный м І стадия			истасоматоз I I стадия			
	1	11	111	ı	11	111	I	П	111	i	11	1111	i	11	111
Флогонит	H/O		Ди+ Фл	C3-II	5	H/O		Ди+Фл	К3-М	5-100	Ди+ Фл	FK-M	100-		
Диопсидовое сырьё	Ди <u>+</u> Шп	M3-M	95- 100	Ди+ Шп Ди+Прг Ди+Фл Ди+Ск	С3-П	60-85	H/O			Ди+Шп Ди+Прг Ди+Фл Ди+Ск	кз-м	60-70	Ди+ Фл	ГК-М	40-70
Полевошпатовое сырьё	H/O		Кш+Пл+Кв+ Ц	мз-п	20-30	Ки:+Пл+Кв+ Ц Ки:+Ди	С3-М К3-М	30-50 60-90	Кш+Ди	К3-М	70-90	Кш+ Ди	К3-М	80-90	
Графит	Пл+Кв+ Гф+Пи+ Би+Гр Кв+Гф	М3-C М3-П	6-8	Пл+Кв+ Пи+Би+ Гф±Гр Кв+Гф	С3-Л	2-9 8-18 2-4	Кв+Кш+Пл+ Гф Кв+Гф	К3-М К3-М	1-3 1-3	Ка+Пл+ Гф	С-3М	18-35	Кв+Гф	C3-M	35-55

Примечание. І — III — характеристика руд: І — минеральный парагенезис, ІІ — структура и текстура, ІІІ — содержание полезного ископаемого (флогопита — в кг/куб.м., остальных — в процентах); минералы: Кв-кварц, Пл-плагиоклаз, Кш- кали-натровый полевой шпат, Ди-диопсид, Пл-пироксен, Фл-флогопит, Шп-ппинель, Прг-паргасит, Ск-скаполит, Гф-графит, Би-биотит, Гр-гранат, Ц-цветной минерал; структуры: МЗ — мелкозернистые, СЗ — среднезернистые, КЗ — крупнозернистые, ГК — гигантокристаллические; текстуры: М — массивная, П — полосчатая, Л — линзовидно-полосчатая. Н/О — полезное ископаемое не образовывалось.

Таблица 2. Условия образования метаморфогенных полезных ископаемых Центрально-Алданского района

Полезные		Эталы метаморфического цикла										
Ископ ас мые		нальный юрфичзм		Ультраметаморфизм Региональное		метаморфизм матизация.	Регрессивный метасоматоз					
				скариирование		гранитизация		I стадня		11 стадия		
	Тд	C _{CG}	TA	Cco,	TA	Cco	Тд	Cco,	Тд	Cco,		
Диопсидов сырье + Флоголит	820-640	59.0	640-480	4.1	720-600	18	480-320	1.2	320-140	13 8		
Полевошпат Сырье	H/O		660-500 2.1	2.1	750-550	24	550-320	64	320-140	13 3		
Графит	880-720	13 8	720-520	3.4	760-660	28	550-360	5.1	360-120	22 5		

Примечание: Тд – температура декрепитации газово-жидких включений (%), С^{СО}2 – концентрация в них СО2 (моль/кг H₂O)

Первое защищаемое положение.

Метаморфогенное рудообразование происходило на всех этапах метаморфического цикла: регионального метаморфизма, регионального метасоматоза - ультраметаморфизма и регрессивного метасоматоза, причем один этип мог являться рудоподготавливающим для одного полезного ископаемого, рудообразующим для второго и рудоррушающим для третьего. Закономерная приуроченность размичных полезных ископаемых к определенным этапам метаморфического цикла, выраженная в виде их промышленно-генетических классификаций, может служить основой для прогнозирования метаморфогенного оруденения.

2.2. <u>Связь промышленного рудообразования с закономерностями тектонического развития метаморфических комплексов.</u>

В типовых метаморфических комплексах выявлены вполне определенные закономерности тектонического развития в течение 3-х основных этапов: а) линейной складчатости; б) поперечной складчатости; в) послескладчатого. При переходе от одного этапа к следующему меняется план тектонических деформаций и, в соответствии с этим, отмечается закономерная смена (во времени и пространстве) обстановок сжатия и растяжения, которые регулируют локализацию и специфику размещения геологических тел, в том числе — рудных (Ройзсимаи, 2001-1, 2001-2).

Исследовання тектонического развития метаморфогенных месторождений проведены диссертантом по методыке Б.М. Роненсона (1960). Ее особенностью является то, что в качестве элементов залетания разрывных структур приняты контакты геологических тел, представляющие древние разрывные структуры, относительный возраст которых устанавливается при геологическом картировании. Примеры таких статистических днаграмм контактов геологических тел для Вороньетундровского рудного поля приведены на рис.5.

На раннем тектоническом этапе (этап I - линейная складчатость) после стадии пластической деформации, на стадии хрупкой деформации формировались две сопряженные системы косо-секущих (по отношению к осям линейной складчатости) разрывов, симметричных относительно осевых плоскостей линейных складок. При этом ось максимального перемещения масс (ось "а" эллинсовда деформаций) направлена вверх, ось сжатия (ось "с") - перпендикулярно осевой поверхности линейной складки и нейтральная ось ("в") - вдоль оси складки (рис. ба). На этом этапе вдоль косо-секущих соскладчатых разрывов в Вороньетундровском комплексе сформировались зоны региональных метасоматитов, для которых благоприятны явления сжатия: существенно амфиболовых, пироксеновых, биотитовых, гранатовых базификатов; в Алданском комплексе образовались зоны ранних скарнов базификатного типа (в том числе - среднекристаллических флогопитдиопсидовых порол), а также - формирующиеся за счет перекристаллизации и обогащения графитовых гнейсов полосчатые и линзовидно-полосчатые графитовые руды.

На этапе II (поперечной склодчатости, сменяющей линейную складчатость), происходило формирование поперечных (по отношению к осям линейных складок) открытых складок с пологими крыльями. Развитие поперечной складчатости завершалось заложением двух сопряженных систем поперечно-секущих разрывов, симметричных относительно осевых плоскостей поперечных складок. На лаином этапе ось "а" эллипсоида деформаций продолжает оставаться ориентированной вверх, а оси "в" и "с" как бы меняются местами, т. с. провсходит поворот элипсонда деформаций на 90° вокруг оси «а», по сравнению с этапом линейной складчатости (рис. 66). При этом косо-секущие соскладчатые разрывы предыдущего этапа попадают в квадрант растижения и становятся вместилищами существенно квари-полевоппатовых и других пород, для которых благоприятны условия растижения. На флогопитовых месторождениях на этапе поперечной складчатости в кососекуших зонах разрывов образуются жилы диопсид-калишинатовых негматитов, а также зоны сетчатой инъекции пегматитов и орготектитов. На этом же тектоническом этапе под воздействием послегранитных растворов в результате метасоматических реакций между пегматитами и диопсидовыми кристалдосланиами в зонах сстчатых инъскций формировались крупнокристаллические флогопит-диопсидовые породы с промышленными

кристаллами флогопита. В Вороньетундровском рудном поле на данном этапе сформировалось большинство пегматитовых жил (преимущественно — безрудных, реже — с бедным оруденением), представляющих интерес в качестве источников калиевого кварцполевошпатового сырья. На этом же этапе формировались две сопряженные системы поперечно-секущих взбросов, в которых (в условиях сжатия) образовались поздние базификатные зоны (на Алдане это флогопит-диопсидовые лестничные жилы).

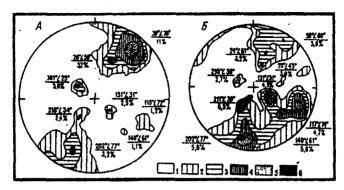


Рис. 5. Статистические днаграммы тектонических контактов на Вороньетундровском рудном поле; А — сводная днаграмма, 1850 замеров контактов; 1-6 — количество замеров 1-0-1%; 2-1-2%; 3-2-3%; 4-3-4%; 5-4-5%; 6-5-6%; 7-6-10%; 5- днаграмма контактов петматитовых жил, 910 замеров контактов; 1-6- количество замеров: 1-0-1%; 2-1-2%; 3-2-3%; 4-3-4%; 5-4-5%; 6-5-6%.

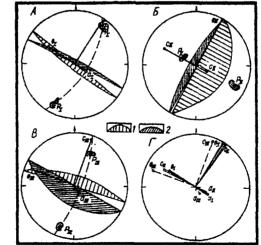


Рис. 6. Планы тектонических деформаций в процессе развития структуры Вороньетундровского рудного поля; А – этап I (пинейной складчатости); Б – этап II (поперечной складчатости); В – этап III (послескладчатый); Г – сводная диаграмма осей деформаций; 1-2 – сопряженные плоскости тектонических разрывов.

На этапе III (послескладуатом) осуществляется обратный поворот этлипсоида деформаций на 90° вокруг оси «а» и план деформаций возвращается к гаковому на этапе I (пинейной складчатости): ось "а" - вверх, ось "в" - вдоль оси линейной складки, ось "с" - поперек осевой поверхности линейной складки (рис. 6в). При этом в квадрант растяжения попадают поперечно-секущие разрывы предыдущего этапа и вдоль них формируются тела гранитоидов (на Алдане – поперечные жилы аляскитовых гранитов и пегматитов, а также – флогопит-диопсидовые метасоматические жилы Слюдянского типа; в Вороньетундровском комплексе – лестничные пегматитовые жилы хр. Оленьего). Параллельно возобновляются сколовые подвижки по косо-секущим разрывам. В связи с этим, в частности, происходили дробление и деформация крупных кристаллов флогопита в промышленных флогопитоносных зонах и ухудшение качества флогопита.

Кроме охарактеризованных выше наиболее общих закономерностей тектонического развития метаморфических комплексов, существовали и некоторые специфические условия развития тектонических структур. Так, очень важные для локализации рудных тел многих полезных ископаемых крупные пологие структуры растяжения могли формироваться в специфических тектонических структурах, например, в полостях отслоения в замках складок при сочетании определенных литологических типов горных пород, например, мраморов с кристаллическими сланцами (седловидные залежи флогопита и др.) или в пологих разрывах веерообразных антиклиналей (жилы комплексных редкометальных пегматитов и др.). При этом пологие структуры, в общем случае, всегда бывают в условиях растяжения, так как ось наибольшего перемещения масс (ось "a") на всех 3-х этапах тектонических деформаций направлена вверх (рис. 6г).

Второе защищаемое положение.

В линейно-складчатых метаморфических комплексах рудообразование контролировалось закономерной сменой планов тектонических деформаций на трех основных этапах: 1) линейной складчатости, 2) послескладчатости, 2) послескладчатом. Смена планов тектонических деформаций регулировала процессы неоднократного сжатия и растяжения в зонах рудоконтролирующих структур и, тем самым — локализацию рудных тел различных полезных ископаемых, их обогащение и обеднение.

2.3. Закономерности эволюции минерало- и рудообразующих растворов,

Несмотря на то, что большая часть промышленных метаморфогенных месторождений сформировалась с тем или иным участием пневмогидротермальных растворов и их роль признается ведущей, многие вопросы флюндного рудообразования остаются дискуссионными. К числу таких проблем относятся: 1) обратимость минералообразования (образования нескольких генераций одного минерала), 2) проблема рудных столбов (богатого оруденения), 3) причина кислотно-щелочной эволюции рудообразующих растворов, 4) скачкообразность (прерывнетость) рудообразования, 5) проблема образования крупнокристаллического сырья, 6) причины отсутствия богатого оруденения в большинстве крупных (региональных) разломов.

проведены Для решения указанных вопросов были термобарогеохимические исследования, базирующиеся на результатах крупномасштабной геологической съемки и данных геологоразведочного опробования. Особенности состава и эволюции флюндной фазы изучанись по оригинальной методике. *Раздельно - для богатых и* бедных руд ряда метаморфогенных полезных исконаемых (флогопита, мусковита, графита, полевониватового сырья, редкометальных пегматитов и др.) проведен декрептометрический анализ 280 проб и дробный (поинтервальный) газово-хроматографический анализ 110 проб жильных и рудных минералов через каждые 40° нагрева проб в интервале температур 100-800°С (16-18 анализов в одной пробе; всего - 1740 анализов). По данным такого анализа установлено, что газовая фаза состоит в основном из паров воды и CO2, а также - из N2, CH4, Н2, СО, иногда - других газов. Среди твердых фаз (по данным просмотра полированных пластин и шлифов) в газово-жидких включениях преобладают кубики NaCl. В результате проведенных исследований выявлены принципиальные различия в составе газовой фазы бедных и богатых руд (рис. 7, 8). *В бедных руда*х фиксируется один крупный пик

декрепитации гажво-жидких включений при $320-480^{\circ}$ и стабильно пизкий уровень концентрации CO_2 (до 4-6 моль/кг H_2O). В богатых рудах кроме указанного выше типоморфного для бедного оруденения пика декрепитации (при $320-480^{\circ}$) отмечается еще один крупный пик декрепитации - при $100-320^{\circ}C$ (пик, типоморфный для богатого оруденения). Для богатых руд характерны значительно более высокая концентрация CO_2 и ее колебательное, волнообразное изменение с температурой, с двумя пиками до 12 моль/кг H_2O при температурах 340° и 180° (см. рис. 8). Такое явление названо "углекислотной волной" (Ройзенман и др., 1984; Ройзенман , 2000).

По данным декрепитации и дробного газового хроматографического анализа богатых руд при температурах ниже 550° выделено 5 стадий пневмогидротермального процесса (рис.9). На стадии 1 (550-380°C) отмечается плавное повышение концентрации CO₂ (от 2 до 8 моль/кт H₂O) и повышенная декрептометрическая активность (высокотемпературный пик). Стадия II (380-280°C) характеризуется высоким уровнем концентрации CO₂ (8-12 моль/кт H₂O) и пониженной декрептометрической активностью. Для стадии III (280-220°C) характерны понижение концентрации CO₂ (6-8 моль/кт H₂O) и второй (низкотемпературный) максимум декрептоактивности. На стадии IV (220-140°) фиксируется отчетливый максимум концентрации CO₂ (8-12 моль/кт H₂O), иногда - до 40 моль/кт H₂O) и спад декрептоактивности. Завершающая V стадия характеризуется понижением концентрации CO₂.

Графики концентрации CO₂ и декрепитации газово-жидких включений находятся как бы в "противофазе": на максимумы концентрации CO₂ (стадии II и IV) приходятся минимумы декрептоактивности и, наоборот, на минимумы концентрации CO₂ (I и III стадии) - максимумы декрептоактивности.

Согласно экспериментальным данным Я.Н. Белевцева (1979), У. Моря (1960) и др. исследователей, добавление СО₂ к воде повышает (иногда в 10 раз и более) растворимость таких компонентов, как K₂O, Na₂O, CaO, MgO, Fe₂O₃, SnO₂, NiO, U (первая группа компонентов) и понижает (в большинстве температурных интервалов) растворимость SiO₂ и AI₂O₃. В соответствии с этими данными, можно предположить, что компоненты первой группы (в том числе - рудные) должны испытывать тенденцию к отложению на I, III и V стадиях "углекислотной волны" и к растворению на II и IV стадиях.

Так, на стадии I могло происходить первичное отложение минералов полезных ископаемых, которое при высоких температурах и пересыщениях идет на множестве спонтанно возникающих затравок и приводит к рассеянному (бедному) оруденению. На стадии II, в связи с резким увеличением концентрации СО₂, минералы полезных ископаемых растворялись. На стадии III при понижении концентрации СО₂ могло происходить повторное отложение рудных минералов, но уже при сравнительно низких температурах и пересыщениях. В этих условиях рост минералов осуществляется на имеющихся затравках с формированием концентрированных (богатых), в том часле — крупнокристаллических руд.

Таким образом, "углекислотная волна" могла регулировать последовательные процессы отложения рудного вещества, его растворения и переотложения (перекристаллизации). Особое значение эти процессы имеют для образования крупнокристаллических залежей мусковита, флогопита, поллуцита (Ройзенман и др., 1983), кварца и ряда других полезных исконаемых.

Согласно экспериментальным данным (Такеноучи, Кеннеди, 1968), в модельной гидротермальной системе H_2O-CO_2 -NaCl обнаруживается пик концентрации CO_2 при температуре 350°, который фиксируется в жидкой фазе раствора (Ройзенман, 1997). Второй (низкотемпературный) пик концентрации CO_2 связан с разделением раствора на газовую (существенно углекислотную) и жидкую (существенно водную) фазы ниже критической температуры системы H_2O-CO_2 (320-260°). Именно с попаданием в минералы существенно газовых, углекислотных включений связаны аномально высокие концентрации CO_2 на IV стадии "углекислотной волны" (температуры 220° - 140°).

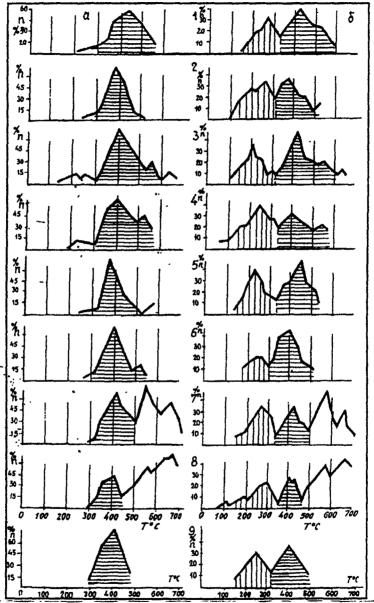


Рис. 7. Декрептограммы руд: 1-3 - мусковитовые петматиты: 1 - Сев. Карелия, 2 - Мамского района, 3 - Кольского полуострова; 4 - комплексные редкометальные петматит Вороньях тупдр; 5 - крусталеносные жилы Алдана; 6 - медно-никансвое Аллареченское месторождение; 7-8 - месторождения флогопита: 7 - Ковдорское, 8 - Алданские; 9 - сводные декрептограммы: а - бедные руды, 6 - богатые руды. Горизонтальная штриковка стадия бедного оруденения, вергикальная штриковка - стадия богатого оруденения.

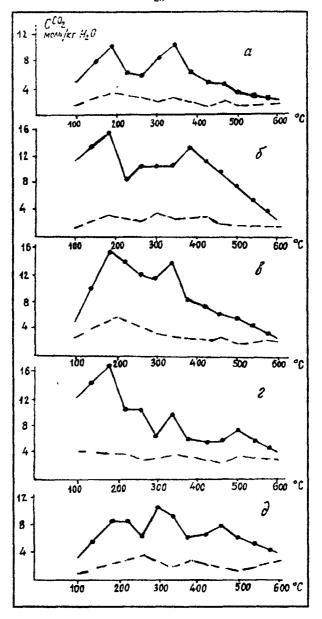


Рис. 8. Графики изменения с температурой концентрации CO₂ в природных руднофлюндных системах; а — флогопитоносные метасоматиты Алдана; б — комплексные редкометальные пегматиты Вороньих тундр; в — полевошпатовые пегматиты Алдана; г-графитовые руды Алдана; д — мусковитоносные пегматиты Мамского района; сплошная линия — богатые руды, пунктирная линия — бедные руды.

Аналогия в изменениях концентрации CO₂ в природных рудообразующих растворах изученных объектов и в заведомо закрытой экспериментальной системе H₂O-CO₂-NaCl (рис. 9) позволяет сделать вывод о том, что прохождение "углекислотной волны" в природных рудно-флюидных системах и, соответственно – образование богатого оруденения, были возможны в закрытых (для газообразной CO₂) геологических структурах (экранах). Важно отметить, что прохождение «углекислотной волны» является эффектом саморазвития системы на фоне одного только снижения температуры. При этом появление пика концентрации CO₂ в жидкой фазе при температуре 340°C связано с перераспределением CO₂ между жидкой и газовой фазами под влиянием NaCl (в бинарной системе H₂O-CO₂ данный пик отсутствует).

В противоположность этому, для бедного, рассеянного оруденения характерны открытые условия развития флюидных систем, из которых происходила дегазация СО₂.

В соответствии с экспериментальными данными (Белевцев, Коваль, Николаенко,1972), добавление CO₂ (в количестве нескольких процентов) в водный раствор при температурах регрессивного метасоматоза сильно (на 2-4 единицы рН) повышает его кислотность. Таким образом, график "углекислотной волны" (рис.9) отражает также изменение кислотности рудообразующего раствора и его кислотно-щелочную эволюцию.

Выявление "углекислотной волны" позволяет по новому ответить на поставленные выше проблемные вопросы флюндного минерало- и рудообразования.

- Обратимость минералообразования объясняется возможностью неоднократной кристаллизации одного минерала на I, III и V стадиях единого флюидного процесса на фоне снижения температуры.
- Рудные столбы могли формироваться в закрытых геологических структурах, где существовали условия для прохождения «углекислотной волны" и, соответственно – богатого оруденения.
- 3) Причиной кислотно-щелочной эволюции рудообразующих растворов является "углекислотная волна", представляющая закономерное изменение кислотности раствора. В соответствии с этим, стадия I процесса рудообразования может быть сопоставлена с ранней щелочной стадией Д.С. Коржинского (1955), стадия II (пик температуры при 340°) с кислотной стадией (пик температуры при 350°), стадия III с поздней щелочной стадией Д.С. Коржинского.
- 4) Скачкообразность процесса рудообразования объясняется кристаллизацией рудных минералов на стадиях I, III, V, разделенных стадиями II и IV растворения рудного вещества.
- 5) Формирование крупнокристаллического сырья было возможным в закрытых флюндных системах, где существовали условия для прохождения "углекислотной волны" и, соответственно – для образования крупных кристаллов на стадиях III и V.
- 6) В крупных (региональных) разломах богатое оруденение, как правило, отсутствует, так как эти системы были открытыми и из них уходила газовая (существенно утлекислотная) фаза, в связи с чем прохождение "углекислотной волны" было невозможным (а, следовательно, и богатое оруденение).

На основе "углекислотной волны" разработаны и успешно применяются новые модификации декрептометрического и углекислотнометрического методов поисков и оценки промышленного оруденения. В качестве индикатора оруденения предложен "поисковый декрептометрический коэффициент» Кд (Ройзенман и др., 1978; Ройзенман, Фортунатов, 1982): Кд = С (100-300°) : С (100-800°) x 100%, где С (100-300°) и С (100-800°) - сумыы микровзрывов включений в интервалах температур 100-300° и 100-800°. Как показали результаты декрептометрических съемок, декрептометрические ореолы вокруг рудных тел для неметаллических полезных ископаемых достигают по мощности 30-50 м и обычно значительно превышают геохимические ореолы.

Углекислотнометрический метод поисков основан на определении концентрации ${
m CO_2}$ во флюнде в температурном интервале $100\text{-}320^{\circ}$ (Ройзсиман и др., 1983).

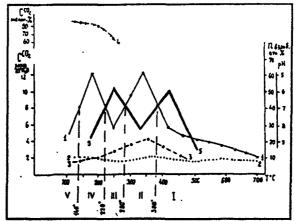
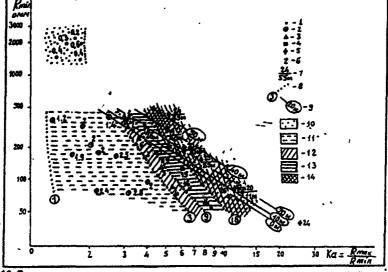


Рис. 9. Модель флюндного метаморфогенного рудообразования.

1 – обобщенный график изменения концентрации СО₂ в богатых рудах («углекислотная волна»);
 2 – то же – в бедных рудах;
 3 – изменение концентрации СО₂ в экспериментальной системе H₂O-CO₂-NaCI (по Такеноучи, Кеннеди, 1968);
 4 – то же — в газовой фазе;
 5 –

обобщенная декрептограмма богатых руд. I, II, III, IV, V - стадии рудообразования.



Рыс. 10: Эталонирово-инак номограние соотнольные мижду солерживания рабила в рудах, минимальным сопротивлением (Rmin) и «коэффициентом электроанизотропии» (Ка) ва месторождении Чебере (Аддан). 1 – графит-содержащие гнейсы; 2 – бедные графитовые руды (содержания графита Гф = 1-3%); 3 – средние руды (Гф = 3-8%); 4 – богатые руды (Гф = 8-18%); 5 – весьма богатые руды (Гф более 18%); 6 – содержания графита (%) в пробах; 7 – содержания графита в пробах, отобранных на глубине: в числителе – содержания графита (%), в знаменателе – глубина залегания верхней кромки графитоносного тела; 8 – границы эси различных типов руд; 9 – изоличны глубины залегания графитоносных тел; 10 – зона графит-содержащих гнейсов; 11 – 14 – зоны графитовых руд; 11 – бедных, 12 – средних, 13 – богатых, 14 – весьма богатых.

Углекислотнометрические ореолы в 2-3 раза меньше, чем декрептометрические, в связи с чем углекислотнометрическия съемка применяется для уточнения поисковых прогнозов. Кроме того, в связи с прямой зависимостью между концентрацией СО₂ и содержаниями некоторых полезных ископаемых (крупнокристаллический мусковит, графит и др.) величина концентрации СО₂ может быть использована для оценки содержаний этих полезных ископаемых (Ройзенман, 1997). В связи с тем, что при перекристаллизации ряда промышленных минералов под воздействием "углекислотной волны" происходит их очистка от вредных примесей, величина концентрации СО₂ может, в ряде случаев, использоваться для оценки качества сырыя, например, кварцевого сырыя, где таким способом возможна оценка содержания примесей глинозема, натрия и калия (Ройзенман, 2000).

Учет газовой составляющей в рудах необходим для экологической безопасности работников обогатительных цехов. Так, при дроблении 1 м³ кварцевого сырья, в ряде случаев, может выделиться до 0.5 м³ СО₂ (а также сопутствующие СН₄, СО и др.).

Третье защищаемое положение.

На этапе регрессивного метасоматоза формирование богатых руд (в том числе - крупнокристаллических) происходило в закрытых флюндных системах под воздействием закономерного изменения концентрации СО2 в водном растворе с максимумами 12 моль/кг Н₂О при 340°C и 180°C («углекислотная волна») на общем фоне снижения тературы. "Углекислотная волна" регулирована процессы неоднократного растворения и отможения рудного вещества и, тем самым, определяла стадийность и характер минерало- и рудообразования.

Часть II. СИСТЕМА ЛОКАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВЕННОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕТАМОРФОГЕННОГО ОРУДЕНЕНИЯ.

В современных условиях повсеместного перехода на глубинные поисково-разведочные работы старые методы локального прогноза оруденения, основанные на качественных критериях (отличия «руды» от «неруды»), оказались неэффективными. В этих условиях необходим переход на принципиально новый — количественный уровень прогнозирования.

1. Принципы количественного локального прогнозирования оруденения.

Разработанная диссертантом система количественного прогнозирования оруденения основана на следующих основных принципах: 1) аналогия, 2) количественной оценки параметров оруденения, 3) последовательной детализации, 4) комплексности оценки.

- 1) Принцип аналогии выражается в том, что закономерности формирования и размещения промышленных рудных тел признаются аналогичными для месторождений одного промышленно-генетического типа. Принцип аналогии обеспечивается разработкой поисково-оценочных критериев на эталонном участке (эталонных участках), где устанавливаются количественные связи между исследуемыми критериями (геологическими, геофизическими, минералого-геохимическими и термобарогеохимическими) и промышленными параметрами. Эти количественные связи могут быть использованы при поисках и оценке месторождений того же промышленно-генетического типа.
- 2) Количественный принцип означает, что в результате прогноза должны быть количественно оценены следующие основные параметры оруденения:
 - в) положение в пространстве промышленных рудных тел;
 - б) размеры рудных тел;
 - в) содержания полезного ископаемого:
 - г) запасы полезного ископаемого в рудном теле;
 - д) качество сырых.

Кроме того, количественно должна быть оценена достоверность поискового прогноза, выраженная через вероятность обнаружения рудного тела на данном участке.

- 3) Последовательная детализация исследований позволяет произвести поочередную оценку рудоносности в рудном поле, месторождении, рудном теле, рудном столбе.
- 4) Принцип комплексности оценки оруденения с применением различных методов исследования обеспечивает необходимую объективность и достоверность прогноза. При этом ведущим поисково-оценочным критерием является геологический (включая литологический, стратиграфический, геолого-структурный и др. критерии). В качестве

дополнительных (в зависимости от конкретных условий) применяются геофизический, минералого-геохимический, термобарогеохимический и другие критерии.

2. Критерии количественного локального прогнозирования метаморфогенного опуденения.

Разработанная автором (Ройзенман, 1983, 1988, 1996) методика количественной прогнозной оценки рудных тел и месторождений в пределах рудных полей включает:

 расчет "поисковой вероятности" (вероятности обнаружения рудного тела на данном участке) по отдельным поисковым критериям и по их комплексу;
 оценку размеров рудных тел;
 оценку запасов рудных тел;
 оценку содержаний полезного ископаемого;
 оценку качества и рудной специализации сырья.

Расчет поисковой вероятности. Для расчета поисковой вероятности (Р) предложена формула: Р = П_p: П_o, где П_o - общее количество или площадь исследуемых объектов (геологических тел; геофизических, геохимических, термобарогеохимических аномалий и др.); П_p - часть этих исследуемых объектов, совпадающая с промыпленными рудными объектами (рудными телами, месторождениями и др.). В качестве минимального уровня достоверности прогноза оптимальна величина 0.8 (Ройзенман, 1983).

Как показывает опыт, наиболее информативным является обобщенный геологический поискавый критерий, который включает в себя частные литолого-петрографический, стратиграфический и геолого-структурный критерии. На исследованных метаморфогенных месторождениях геологическая "поисковая вероятность" составляет 0.5 - 0.7. Эта величина меньше выбранного уровня достоверности поискового прогноза, поэтому для увеличения общей "поисковой вероятности" (до 0.8) в качестве дополнительных поисковых критериев применяются геофизический, геохимический, термобарогеохимический и др. критерии. Опыт показывает, что обычно для обеспечения достовенности прогназа достаточно талько двух поисковых клитериев - основного (геологического) и одного из дополнительных. Расчет общей «поисковой вероятности» осуществляется по известной формуле суммы совместных событий: $P_0 = P_1 + P_2 - P_1 \times P_2$, гле P_1 и P_2 - частные «поисковые вероятности». Общие "понсковые вероятности" на изученных объектах составляют: на Алланских месторожлениях графита (по геологическому и геофизическому критериям) - 0.80 (Ройзенман, 1997); в поле редкометальных пегматитов Вороньих тундр (по геологическому и геохимическому критериям) - 0,89 (Ройзенман, 1996); на Алданских флогопитовых месторождениях (по геологическому и термобарогеохимическому критериям) - 0.89 (Ройзенман, 1983).

Прогнозная опенка размеров рудных тел. Для прогнозной оценки размеров рудных тел устанавливается количественная зависимость этого промышленного параметра от величин исследуемых параметров (геологических, геофизических и др.). Так, на Алданских месторождениях флогопита выявлена зависимость между размерами флогопитоносных зон и параметрами рудоконтролирующих дисгармоничных складок. Установлено, что, в среднем, мощность флогопитоносной зоны на 5 м меньше пирины складки; длина зоны на 30 м меньше длины складки; вертикальный размах ослюденения на 10 м меньше амплитуды складки (Ройзенман, 1996). В рудном поле Вороньих тундр размеры прогнозируемой жилы комплексных редкометальных пегматитов определяются по размерам замка веерообразной антиклинали и уточижотся по размерам геохимической вномалии (см. рис. 3).

Прогнозная оценка запасов рудных тел. Запасы рудных тел можно рассчитать, исходя из их размеров и содержаний полезного ископаемого. Однако в некоторых случаях удается дать прогнозную оценку непосредственно запасам. Так, на рис. 2 приведен график зависимости между запасами флогопитоносных тел и амплитудами рудоконтролирующих дисгармоничных складок.

Прогнозная онсика содержаний полезного ископасмого. Содержания полезного ископасмого можно прогнозировать, если установлена количественная связь между этим промышленным параметром и каким-либо исследуемым параметром. Так, на Алданских, Карельских и Уральских месторождениях графита составлены эталонировочные номограммы, на которых содержания графита определяются по величине минимального

кажущегося сопротивления и по коэффициенту электроанизотропии (Ройзенман,1997). На рис.10 приведен пример такой номограммы для графитового месторождения Чебере (Алдан), где выделяются поля с содержаниями графита: менее 1%, 1-3%, 3-9%, 9-18%, больше 18%. Относительная ощибка определения содержаний графита по данной номограммы составляет 11%. Следует отметить, что с использованием указанной номограммы возможно также определение глубины залегания кровли графитоносного тела (см. рис. 10).

Содержания промышленного флогопита можно определять по величине "поискового декрептометрического коэффициента" и по концентрациям СО₂ в газово-жидких включениях (Ройзенман, 1999). Аналогичные закономерности выявлены Б.И. Зориным и др. (1973) для мусковитовых месторождений Мамско-Чуйского района. Прогнозная оценка содержаний крупнокрасталлических слюд (флогопита и мусковита) особенно важна для глубниных участков месторождений, так как другими способами невозможно получить оценку содержаний слюды на глубние (определение этого параметра по керну разведочных скважин нередко дает оплабку в 5-10 раз).

Весьма актуальной является проблема определения содержаний блоков облицовочного камия (процента выхода блоков из массива). Согласно существующей методике разведки, процент выхода блоков определяется на опытном карьере и распространяется на все месторождение. Однако, как показала практика, такая методика обеспечивает достоверность оценки указанного параметра на уровне всего 20-30% (рентабельным оказывается лишь один карьер из 3-х - 5-ти рекомендованных к добыче). Это приводит к значительным экономическим потерям (организация добычи блоков на одном карьере обходится в 1 млн. долларов).

Существенное (в 3-4 раза) повышение достоверности оценки выхода блоков стало возможным после выявления диссертантом (совместно с Л.И. Шестаковой) количественной зависимости между этим промышленным параметром и величиной электрического сопротивления, установленной с помощью электроразведки (патент РФ № 2184848 от 10.07.2002 г.). С использованием этой зависимости проведена оценка выхода блоков на площадях 5-ти промышленных участков месторождений облицовочного камия Райвимяки-1 и Лакеваара-1 в Сев. Приладожье (Ройзенман, Шестакова, 2000ф). Опшбка метода (по данным проходки опытно-промышленного карьера) составила 15% (относительных).

С использованием эталонировочных номограмм впервые для месторождений облицовочного камия удалось построить детальные карты процента выхода блоков по площади и на всю глубину подсчета запасов и определить границы промышленных тел блочного камия. На рис. 11 приведен пример такой карты для участка №3 месторождения Райвимяки-1. По изолинии 3800 омм (соответствующей 15% выхода блоков — уровню нулевой рентабельности добычи блочного камия) проведена граница промышленного тела блочного камия. По изолинии 5800 омм (соответствующей 35% выхода блоков) оконтурена богатая зона блочного камия, в которой целесообразно закладывать опытно-промышленный карьер (Ройзенман, Шестакова, 2000ф).

<u>Прогнозная опенка качества и рудной специализации сырья.</u> Оценка качества полезного ископаемого особенно важна для неметаллического сырья (месторождения кристаллов, минералов и горных пород). Для некоторых полезных ископаемых качество является первым промышленным параметром, подлежащим оценке (полезоншатовое, кварцевое сырье и др.).

Прогнозная оценка качества сырья осуществляется, если выявлена закономерная связь качественных характеристик с исследуемым параметром (геологическим, геохимическим и др.). Диссертантом выявлены многочисленные примеры таких закономерных связей. Так, при понсках месторождений высококалиевого полевопшатового сырья важнейшим оценочным параметром является калиевый модуль (отношение K₂O: Na₂O, мас. %). Этот параметр может быть оперативно оценен с помощью полевого гамма-спектрометра по величине содержания K₂O и зависимости между содержаниями K₂O и Na₂O (Ройзенман, 1998).

Диссертантом (вместе с Е.А. Ионкиной и К.В. Худадяном) получен патент (РФ RU

N 2000434 от 7.09.1993 г.) на способ оценки качества кварцевого сырья (его чистоты) по величине газонасыщенности кварца и концентрации СО₂ в газово-жидких включениях. Последний показатель может использоваться также для оценки степени кристалличности кварца (по Плюсниной, 1983) - параметра, имеющего важное значение при синтезе монокристаллов кварца (Тарасов, Ройзенман и др., 1990).

Технологические свойства разных сортов графитов можно прогнозировать по степени их кристалличности, которая определяется с помощью рентгено-структурного анализа (Ройзенман, 1997).

При поисках месторождений флогопита, на участках, где его проявления отсутствуют, возможна косвенная оценка железистости промышленного флогопита по железистости вмещающих двопсидовых кристаплосланцев. Степень сохранности кристаплов флогопита (определяющая выход готовой продукции из обогащенного сырца) может прогнозироваться по интенсивности послерудных тектонических подвижек, которая оценивается по отнощению суммарной площади воперечных пегматитовых жил к площади всего исследуемого участка (Ройзенман, 1983).

При оценке промышленных перспектив участков, на которых отсутствуют проявления редкометальных цегматитов, их рудная специализация может быть определена косвенным путем на основании геохимического опробования биотит-содержащих пород - по "коэффициенту цезненосности" (Ройзенман, 1996). Так, в Вороньетундровском комплексе в результате опробования региональных биотитовых метасоматитов установлено, что наиболее ценный промышленный тип комплексных редкометальных пегматитов (с блоковым поллуцитом) характеризуется более высоким "коэффициентом цезиеносности" (более 0,4), по сравнению со сподуменовыми и колумбитовыми пегматитами, где этот коэффициент равен 0,2-0,23 (Ройзенман, 1996). Пример использования этого критерия приведен на рис. 3.

На месторождениях блочного (облицовочного) камия ведущим параметром качества сырья является степень трешиноватости пород. Этот параметр можно определять в недрах (в том числе под слоем наносов) с помощью электроразведки и магниторазведки, а в добытых блоках - ультразвуковым зондированием (Ройзенман и др., 1996).

Четвертое зажищаемое положение.

Между обоснованными оценочными критериями метаморфогенного рудообразования (геологическими, геофизическими, минералого-геохимическими и термобарогеохимическими) и промышленными параметрами (масштабами и качеством сырья) существуют тесные геостатистические связи, которые могут служить надежной основой разработанной системы количественного локального прогнозирования метаморфогенного оруденения, поэволяющей оценить "поисковую вероятность» обнаружения рудного тела на данном участке, в том числе — на разной глубине.

Особенности формирования и прогнозирования комплексных метаморфогенных месторождений.

Одной из важных особенностей метаморфогенных месторождений является образование сближенных рудных тел нескольких полезных ископаемых, что связано с высокой степенью дифференциации вещества на разных этапах метаморфического цикла (регионального метакоматоза, ультраметаморфизма и регрессивного метакоматоза). Одна из закономерностей метаморфогенной дифференциации вещества заключается в образовании маломинеральных (нередко — мономинеральных) пород, т.е. данный процесс представляет природное обстащение полезных ископаемых. В связи с длительностью и многоэтапностью метаморфогенного минерало- и рудообразования, на одном небольшом участке формируются разновременные рудные тела различных полезных ископаемых. Так, на Алданских комплексных месторождениях в течение всего метаморфического цикла формировались сближенные промышленные тела (см. рис. 1): днопсидового сырыя (этап регрессивного метаморфизма); нолевошпатового сырыя (этап регрессивного метаморфизма); на графитовых месторождениях — графита (все этапы метаморфического цикла), калиевого кварцполевошпатового и кварцевого сырыя (этап ультраметаморфизма).

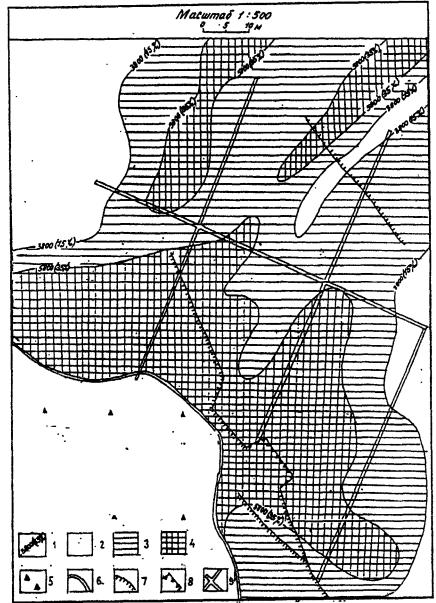


Рис. 11. Схеми изолиний кимущихся сопрочивлений и выколя блоков (%) на участке № 3 месторождения Райвимяки-1 (Лахденпохский район Карелии). 1 — изолинии кажущихся сопротивлений (омм); 2-4 - зоны свенитов с расчетными выходами блоков: 2 — менее 15%, 3 — 15-35%; 4 — более 35%; 5 — габбро-днабазы; 6 — граница между габбро-днабазами и сиенитами; 7 — естественные обнажения (уступы); 8 — грани финский кольеру — канавы.

БИБЛИОТЕКА С.Петербург ОЭ 200 акт В Вороньстундровском рудном поле образовались комплексные месгорождения (см. рис. 3): амфиболитов (этап регионального метаморфизма); кварцевого сырья (этапы ультраметаморфизма и регрессивного метасоматоза); полевошпатового сырья (этап ультраметаморфизма); редких металлов - лития, рубидия, цезия, тантала, ниобия, бериллия (этап регрессивного метасоматоза). На месторождении Райвимяки-3 вся площаль занята промышленными телами двух полезных ископаемых — графита (образовавшегося на этапе регионального метаморфизма и обогащенного в процессах регрессивного метасоматоза) и натрово-глиноземистого полевошпатового сырья (этап ультраметаморфизма).

До настоящего времени, в связи с узкоотраслевой структурой управления минеральносырьевым комплексом, при геологоразведочных работах и освоении метаморфогенных месторождений предпочтение отдавалось какому-либо одному полезному ископаемому. Так, на Алданских флогонитовых месторождениях добывался только флогопит, на графитовых месторождениях разведочные работы велись только на графит и т.д.

Вместе с тем, как показали экономические расчеты диссертанта, стоимость "попутных" полезных ископаемых (как правило, не добываемых и выбрасываемых в отвал) нередко в несколько раз превышает стоимость "основного" полезного некопаемого (ради которого организованы геологоразведочные и эксплуатационные работы).

Комплексное освоение метаморфогенных месторождений является одним из важных резервов повышения эффективности геологоразведочных и эксплуатационных работ, а также имеет и важное экологическое значение, так как существенно снижает количество отходов горного производства.

4. Некоторые методические особенности работ и рекомендации при локальном прогнозировании метаморфогенных месторождений.

Основой прогнозной опенки метаморфогенных месторожлений специализированная крупномасштабная геологическая карта, построенная по приништу статистической модели (Роненсон, 1972; Роненсон и др., 1976). Для достижения необходимой достоверности и детальности геологических карт метаморфических комплексов необходимо применять современные методы их расчленения (парагенетический анализ минеральных ассопианий, литолого-стратиграфическое расчленение толии коисталлических сланиев и др.). Эти метолы базируются на статистических приемах сбора. обозботки и анализа информации. Современная геологическая карта метаморфогенных рудных полей и месторождений создвется на основе комплексной геолого-геофизической съемки с привлечением ряда специальных исследований (минералого-геохимических, геолого-структурных, термобарогеохимических и др.).

Как показывает 25-тилетний опыт, геологическое картирование метаморфогенных рудных полей наиболее рационально осуществлять по 3-хлетнему циклу, впервые предложенному Б.М. Роненсоном: <u>I год</u> - документация опорных разрезов и парагенетический анализ минеральных ассоциаций с построением легенды геологической документации горных пород; статистический анализ литологического разреза толщи кристаллических сланцев с установлением ее стратиграфического разреза (Роненсон и др.,1976); эталонировка геофизических методов (электроразведка, магниторазведка и др.) по опорным разрезам; <u>II год</u> - массовая геологическая и геофизическая съемка всей исследуемой плюшади и составление предварительной геологической карты; <u>III год</u> - детализация геологосъемочных работ на промышленных и ключевых геолого-структурных участках, составление геологической карты, в том числе - с использованием геологоматемятического моделирования.

Среди геофизических методов, применяемых при геологическом картировании, наиболее эффективны электроразведка и магниторазведка, обладающие высокой производительностью и информативностью. В качестве вспомогательных методов нередко весьма эффективны канпаметрия и гамма-спектрометрия.

Особенно велика роль геофизических методов при глубинных поисках. Кроме редких случаев прямых геофизических поисков (магнетитовых и урановых руд), геофизика дает

количественные критерии прогнозирования местоположения рудных тел и их прогнозную оценку по размерам и запасам рудных тел, содержаниям и качеству сырья. В работе приводятся многочисленные примеры применения для этих целей электроразведки, магниторазведки, каппаметрии, гамма-спектрометрии.

Особенности локальных геохимических поисков и оценки метаморфогенного оруденения заключаются в обязательном учете литолого-петрографических особенностей опробуемых горных пород. Нередко наибольший эффект дает целенаправленное опробование определенных горных пород. Как показано выпе (см. рис. 3), в поле редкометальных пегматитов Вороньих тундр выявлены аномально высокие концентрации лития, рубидия и цезия (до 0,1%) при целенаправленном опробовании только биотитовых региональных метасоматитов на участке г. Шлиховой, где при традиционной геохимической съемке Мурманской ГРЭ геохимические авомалия были пропущены (Ройзевмая, 1996).

Вместе с тем, следует отметить, что в метаморфических комплексах использование геохвмических методов поисков неметаллического сырья часто является мало эффективным, т.х. полезные ископаемые нередко сложены теми же минералами, что и вмещающие породы. Более универсальными, чем геохимические методы, являются термобарогохимические методы поисков и оценки метаморфогенного оруденения. Термобарогохимические методы одинаково эффективны как для металлических, так и для неметаллических полезных ископаемых в связи с формированием вокруг рудных тел "ореолов пропаривания". Достоверность термобарогеохимических методов поисков и оценки метаморфогенных рудных тел значительно увеличивается при использовании разработанных на основе "утлекислотной волны" критериев выделения "оптимальных" температурных условий промышленного оруденения (стадия богатого оруденения).

Наиболее эффективным методом термобарогеохимических поисков является декрептометрическая съемка, как наиболее простая, информативная и производительная (производительность полевой декрептометрической установки составляла в лаборатории диссертанта 50 анализов в сутки при 3-хсменной работе; это позволяло сделать за нолевой сезон несколько тысяч анализов).

Декрептометрическая съемка проводится с выделением аномалий "декрептометрического поискового коэффициента" (Кд), а углекислотнометрическая - по концентрации СО₂ в температурном интервале 100-320°. И тот и другой виды съемок наиболее эффективны в комплексе с геологическим картированием и на площадях, выделенных в качестве перспективных по данным геологического картирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Распифровка геологического строения и истории формирования метаморфогенных рудных полей и месторождений на основе крупномасштабной геолого-геофизической съемки и комплекса специальных исследований (геофизических, минералого-геохимических, термобарогеохимических и др.) позволила установить ряд общих закономерностей образования промышленных рудных тел и разработать для них количественные критерии понсков и оценки рудных тел. На этом основании сформулированы конкретные рекомсидации по понскам и разведке различных полезных ископаемых (флогопита, графита, калиевого и натрово-глиноземистого полевошпатового сырья, редких металлов и облицовочного камия). Миогочисленные рекомендации заверены геологоразведочными работами, что позволило осуществить практическую апробацию разработанной системы локального колическтвенного прогноза оруденения.

Главные итоги работы, определяющие ее научное значение, заключается в следующем.

1) Впервые установлено, что промышленные скопления полезных ископаемых (в том числе — богатых рудных тел) закономерно возникали на всех этапах метаморфического цикла; на этапах регионального метаморфизма, регионального метасоматоза - ультраметаморфизма и регрессивного метасоматоза, причем каждый этап имел вполне определенное значение для подготовки рудообразования, формирования рудных тел и

разрушения полезного ископаемого. Эти закономерности, составляющие основу промышленно-генетической классификаций полезных ископаемых, являются базой для прогнозной оценки метаморфогенного оруденения. Предлагаемая в работе промышленно-генетическая классификация полезных ископаемых по сути представляет собой концепцию формирования комплексных месторождений из сближенных рудных тел различных полезных ископаемых, образовавщихся на различных этапах метаморфического цикла.

- 2) Разработанная молель тектонического развития метаморфогенных месторождений в линейно-складчатых комплексах в течение 3-х основных этапов (линейной складчатости, поперечной складчатости и поспескладчатого), с закономерным изменением планов тектонических деформаций при переходе от этапа к этапу, позволяет проследить во времени и пространстве смену условий сжатия и растажения и на основе этих данных прогизировать размещение промышленного оруделения.
- 3) Впервые установлено, что в метаморфогенных месторождениях различных полезных ископаемых, приуроченных к разным фациям метаморфизма (гранулитовой, амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой), условия образования бедного (рассеянного) и богатого (концентрированного) оруденения были принципиально различными (дяже для руд одного минерального состава). При образовании бедных руд во всем температурном интервале концентрации СО2 оставались стабильно низкими (до 4-6 моль/кт Н2О). В процессах богатого оруденения установлена закономерная эволюция флюидного режима с сильными колебаниями концентрации СО2 и наличием двух тиков этой концентрации (12 моль/кг Н2О) при температурах 340°С и 180°С («углекислотная волна»).

Разработанная на основе "углекислотной волны" модель стадийности флюндного рудообразования позволяет с принципиально новых позиций объяснить ряд важных дискуссионных проблем: обратимости и скачкообразности оруденения, механизма образования рудных столбов, условий формирования крупнокристаллического сырья, причины кислотно-щелочной эволюции растворов и др. Впервые установлено, что прохождение "углекислотной волны" и, соответственно — богатое оруденение на этапе регрессивного метаморфизма возможны только в закрытых флюндных системах.

Научно-метолическая значимость полученных результатов заключается в разработке принципиально новой системы прогнозирования метаморфогенных месторождений, основанной на количественных принципах и критериях. Эта система базируется на выявленных закономерных геостатистических связях между установленными понсковооценочными критериями (геологическими, геофизическими, минералого-геохимическими, термобарогеохимическими и др.) и промышленными параметрами метаморфогенных рудных тел. Использование данной системы позволяет уже на ранних стадиях изучения территории определить местоположение рудного тела и вероятность его обнаружения, а также дать количественную проенозную оценку размерам и запасам рудных тел, содержаниям и качеству сырья.

Установление полного набора количественных поисково-оценочных критериев должно являться своего рода "техническими условиями" локального прогноза метаморфогенного оруденения.

<u>Практическое значение</u> резреботавных принципов и критериев количественного покального прогнозирования заключается в том, что в результате заверки 46-ти практических рекомендаций диссертанта выявлены и разведаны 42 промышленных рудных тела 6-ти полезных ископаемых:

- 17 тел калиевого подевопинатового сырья с запасами полевопинатового сырья 1.6 млн. тони и кварц-полевопинатового сырья — 16 млн. тони (месторождения Южное, Безымянное, Надеждинское в Алданском районе Якутии);
- 5 тел барий-стронциевого натрово-глиноземистого полевонцитового сырья с запасами 2 млн. тони (месторождение Райвимяюн-3 в Лахденпохском районе Карелии);

- 5 флогопитоносных тел с запасами флогопита 58 000 тонн (месторождения Южное, Федоровское, Надежное в Алданском районе Якутии);
- 8 графитоносных тел с запасами графита 6.5 млн. тонн (месторождения Чебере и Надежданское в Алданском районе; месторождение Ихальское в Лахденпохском районе Карелии);
- 6 промышленных тел облицовочного камия с запасами 0.4 млн. куб м (месторождения Райвимяки-1, Лаксваара-1, Терваярви-1 в Лахденпохском районе Карелии);
- участок высокопрочного щебня Лумиваара в Лахденпохском районе Карелии с запасами 1.5 млн. куб.м.

Среди выявленных и разведанных по рекомендациям диссертанта месторождений имеются 4 крупных промышленных объекта:

- 1) флогопитоносная зона XIX XX месторождения Южного с запасами флогопита 35 000 тони (крупнейшая в Алданской флогопитоносной провинции);
- жила калиевого кварц-полевошпатового сырья на месторождении Надеждинском (Алдан) с запасами 10.6 млн. тонн (крупнейшая в России);
- месторождение барий-стронцисвого натрово-глиноземистого полевошпатового сыръя Райвимяки-3 (Карелия) с запасами 2 млн, тони и очень высокими содержанизми полевого шпата - 80-90% (крупнейшее месторождение высококачественного полевошпатового сыръя данного типа в России и третье в мире);
- Центральная зона графитового месторождения Чебере (Алдан) с запасами графита 1.5 млн. тонн и уникально высоким средним содержанием графита – 27% (наиболее богатое стратиформное месторождение графита в мире).

Согласно выданным производственными организациями документам, общий экономический эффект от открытия указанных месторождений составил более 15 млн. руб. (в ценах 1976-82 г.г., протокол НТС Алданской ГРЭ от 25.11.1982 г. и др.).

На открытых диссертантом флогопитоносных зонах ГОКом «Алданслюда» добыта 41 тысяча тоня крупнокристаллического флогопита (протокол НТС ГОКа «Алданслюда» от 12.09.1980 г. и др.). На открытом и разведанном диссертантом (совместно с Л.И. Шестаковой) месторождении Райвимяки-1 с 2002 г. осуществляется промышленная добыча облицовочного камия и добыто 110 куб.м кондиционных блоков.

Общая стоимость минерального сырья в указанных месторождениях составляет (в мировых ценах) 8.5 млрд. долларов США.

Представляется, что дальнейшая разработка и внедрение системы количественной прогнозной оценки метаморфогенных месторождений позволит существенно повысить эффективность геологоразведочных работ.

Список опубликованных работ по теме диссертации.

- 1. К методике определения давлений по включениям в кварце // Тр. Мос. геологоразвед. ин-та. 1963. Т. ХХХІХ. с. 92-100 (соавторы В.С. Полыковский, Т.С. Максарева, В.М. Фокеев).
- Газово-жидкие включения с углекислотой и их генетическая классификация // Изв. вузов. Геол. и разв. - 1965. - № 2. - с. 68-76.
- 3. О термодинамическом процессе образования кристаллов кварца в петматитах Майдантала // Узбекский геологический журнал.-1965.- № 3. с. 66-71 (соавтор <u>В.С.</u> Полыковский).
- 4. О термодинамическом режиме образования хрусталсносных жил в Майдантале // Исследования минералообразующих растворов: Труды ВНИИСИМС. –1966. Т. 9. с.140-147 (соавтор В.С. Полыковский).
- 5. Этапы развития тектонических структур флогопитовых месторождений Алданского района // Рудообразование и его связь с магматизмом. Якутск, 1969. с. 204-205.

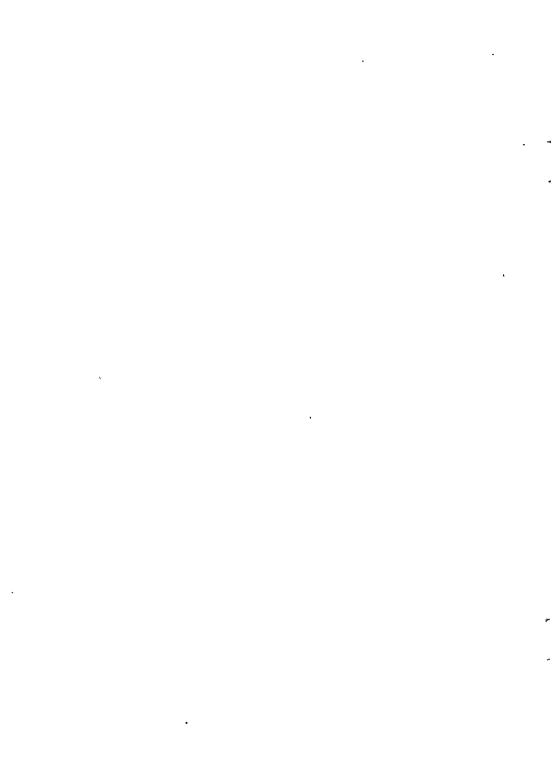
- 6. Типы тектонических структур флогонитовых месторождений Алдана // Изв. вузов. Геол. и разв. 1970. № 1. -- с. 56-61 (соавтор Б.М. Роненсон).
- 7. Геологические условия образования флогопитовых месторождений Алдана (к проблеме прогноза не выходящих на поверхность флогопитоносных тел): Автореф. дис. канд. г. м. н. М., 1970. 20 с.
- 8. О первичных ореолах редкометальных пегматитов и их поисковом значении // Ежегодник 1972 СибГЕОХИ. Иркутск, 1973. с. 305-309 (соавторы М.П. Глебов, Б.М. Шмакин).
- 9. Закономерности размещения редкометальной минерализации в пегматитовом поле Вороньих тундр // Тр. IV Всесоюз. совещ. по редким шелочным элементам. Апатиты. Т. III. 1975. с. 35-39 (соавторы <u>Б.М. Роненсон</u>, В.В. Андронов, В.А. Рождественская).
- О редкометальных рубеллит-кварцево-полевопшатовых жилах и их поисковом значении // Изв. вузов. Геол. и разв. 1974. №5. с.62-66 (соавторы М.Г. Петрова, И.В. Куликов, М.П. Глебов).
- 11. Механизм образования ореолов редкометальных пегматитов и некоторые следствия их петрографического значения // Теоретические аспекты миграции элементов-индикаторов рудных месторождений и математические методы обработки геохимической информации: Тез. докл. Ереван. 1974. с. 22-23 (соавторы М.П.Глебов, Л.Г. Кузнецова, Б.М. Шмакин).
- 12. Петрографо-геохимические исследования при поисках и оценке специализации редкометальных петматитов // Ежегодник 1974 СибГЕОХИ Иркутск, 1976. с. 119-122 (соавторы М.П.Глебов, Л.Г. Кузнецова, З.И. Петрова, Б. М. Шмакин).
- 13. К вопросу о роли углекислотно-водных растворов в рудообразовании // Изв. вузов. Геол. и разв. 1975. № 12. с. 114-120 (соавторы С.П. Фортунатов, С.В. Ежов, Б.А. Дороговин).
- 14. Амфиболиты района Вороньих тундр (Кольский полуостров) // Изв. вузов. Геол. и разв. 1976. № 1. с. 40-47 (соавторы В.В. Андронов, В.А. Рождественская).
- 15. Особенности состава биотитов разных генетических типов в поле редкометальных пегматитов // Вопросы минералогии и геохимии пегматитов В.Сибири. Иркутск, 1976. с. 104-118 (соавторы Л.Г. Кузнецова, М.П. Глебов, В.А Рождественская).
- 16. Региональные метасоматиты района Вороньих тундр (Кольский полуостров) // Метасоматизм и рудообразование: Тез. докл. Л. 1976. с. 62-63 (соавтор В.А. Рождественская).
- 17. О двух этапах метасоматоза в амфиболитах редкометального пегматитового поля // Ежегодник 1974 СибГЕОХИ. Иркутск, 1976. с. 144-148 (соавторы <u>Л.Г.Кузнецова</u>, В.А. Рождественская).
- 18. Формация региональных метасоматитов Вороньих тундр (Кольский полуостров) // III Всесоюз. совещ. по метаморфизму: Тез. докл. Свердювск, 1977. с. 103-104 (соавторы В.А. Рождественская, В.В. Андронов).
- 19. Две главные стадии постмагматического рудообразования // Термобарогеохимия земной коры и рудообразование. Кн. 2, 1978. с. 55-61 (соавторы С.П. Фортунатов, С.В. Ежов, Б.А. Дороговии, Б.Е. Карский).
- 20. Использование метода декрепитации для двагностики метаморфических пород и продуктов их регионального и локального изменения (на примере месторождений слюды) // Теория и практика термобарогеохимии. Кн. 1 1978. с. 25-31 (соавторы С.П. Фортунатов, Б.Е. Карский).
- 21. О некоторых особенностях образования промышленных месторождений слюды Кольского полуострова и Алдана // Изв. вузов. Геол. и разв. 1978. № 7. -. с. 166-168 (соавторы С.П. Фортунатов, Б.Е. Карский).
- 22. Закономерности изменения температур и состава газов при оруденении в редкометальных и мусковитоносных пегматитах // VI Всесоюз. совещ. по

термобарогеохимии: Тез. докл. - Владивосток, 1978. - с. 75-76 (соавторы Л.М. Валяшко. С.П. Фортунатов, М.М. Элинсон).

- 23. Возможности поисков и оценки месторождений флогопита на Алдане по ореолам пропаривания // Термобарогеохимия и рудогенез: Тез. докл. Владивосток, 1978. с.10-11 (соавторы С.П. Фортунатов, Т.С. Мозолева).
- 24. Формация метасоматитов Вороньих тундр // Геология метаморфических комплексов. Свердловск, 1979. с. 28-33 (соавторы <u>Б.М. Роненсон</u>, В.А. Рождественская).
- 25. Рудоносные метасоматические процессы в некоторых метаморфических комплексах раннего докембрия // Метаморфогенное рудообразование: Тр. IV Всесоюз. совещ. по метаморфизму. Апатиты. 1979. с. 39-40 (соавторы Б.М. Роненсон. С.В. Ежов).
- 26. Условия формирования и закономерности размещения флогопитоносных метасоматитов Аддана // Железисто-магиезнальный метасоматизм и рудообразование / Под ред. Д.С. Коржинского. 1980. с. 108-117 (соавторы Б.М. Роненсон, В.А. Утенков, В.М. Ройзенман, С.П. Фортунатов).
- 27. Соотношение CO_2 и H_2O в рудообразующих растворах редкомстальных и мусковитоносных петматитов // Термобарогеохимия и рудогенез: Тр. VI Всесоюз, совеш, по термобарогеохимии: Тез. докл. Владивосток, 1980. с. 62-66 (соавторы Л.М.Валяшко, С.П. Фортунатов).
- 28. Принципы геологического картирования метаморфических комплексов // Методика картирования метаморфических комплексов. Новосибирск, 1980. с. 39-48 (соавторы <u>Б.М.</u> Роненсон, В.М. Ройзенман, В.А. Утенков, В.А. Сикорский, Т.Ф. Щербакова).
- 29. Типоморфизм кварца из редкометальных пегматитов // Изв. вузов. Геол. и разв. 1981. № 6. с. 39-44 (соавтор М.Г. Петрова).
- 30. Геохимические особенности и поисковое значение различных типов биотитовых метасоматитов в редкометальном пегматитовом поле // Изв. вузов. Геол. и разв. 1980. №12. с. 45-52 (соавторы В.А. Рождественская, М.П. Глебов, Л.Г. Кузнецова).
- 31. Рудообразующие метасоматические процессы в некоторых метаморфических комплексах раннего докембрия // Метаморфогенное рудообразование раннего докембрия. Апатиты, 1980.- с. 85-92 (соавторы С.В. Ежов, Б.М. Роненсон).
- 32. Особенности состава моноклинных пироксенов из диопсидовых пород как поисковооценочный критерий // Изв. вузов. Геол. и разв. - 1980. - № 11. - с. 87-92 (соавтор Ф.Л. Филиппишин).
- 33. Классификация редкометальных пегматитов одного из районов СССР // Изв. вузов. Геол. и разв. 1980. № 11.-с. 149-152 (соавторы $M.\Gamma$, Петрова, Е.А. Букатина).
- 34. О некоторых закономерностях рудообразования в метаморфических комплексах // Металлогения докембрия: Тез. докл. Иркутск, 1981.- с. 47-48 (соавторы <u>Б.М. Роненсон,</u> С.В. Ежов, С.П. Фортунатов).
- 35. О некоторых общих закономерностих рудообразования в метаморфических комплексах // Металлогения раннего докембрия СССР. Л., 1982. с. 85-94 (соавторы Б.М. Роненсон, С. П. Фортунатов).
- 36. О генезисе редкометальных и мусковитоносных пегматитов в свете термобарогоохимических данных // Геология, минералогия, геохимия и генезис пегматитов; методы их прогнозирования, поисков и разведки: Тез. докл. Иркутск, 1982. с. 38-39 (соавторы Л.М. Валяшко, С.П. Форгунатов, Е.А. Ионкина).
- 37. Применение термобарогеохимических методов при поисках и оценке флогопитовых месторождений Аддана // Использование методов термобарогеохимии при поисках и изучении рудных месторождений. М., 1982. с. 220-225 (соавтор С.П. Фортунатов).
- 38. Применение декрептометрической съемки для прогнозирования месторождений фарфорового камня // Изв. вузов. Геол. и разв. 1982. № 11. с.76-79 (соавторы Ж.Ш. Мегрелишвили, С.П. Фортунатов).

- 39. Предпосылки в принципы покального количественного прогнозирования флогопитовых месторождений на Алдане // Геология, поиски и разведка нерудных полезных ископаемых. Ленинград, 1983. с. 87-99.
- 40. О некоторых общих закономерностях образования крупнокристаллических руд на месторождениях мусковита, флогопита и поллуцита // ДАН СССР. 1983. Т. 269. N 6. с. 1441-1444 (соавторы Л.М. Валяшко, С.П. Фортунатов, Б.Е. Карский).
- 41. О роли CO₂ в метаморфогенном рудообразовании // Тр. II совещания по газам земной коры. М., 1983. с. 58-63 (соавторы С.П. Фортунатов, Л.М. Валяпко, Е.А. Ионкина).
- 42. Применение методов термобарогеохимии для решения генетических и поисковых задач на Алданских месторождениях флогопита// Методы геологических исследований при поисках твердых полезных ископаемых в Якутин. Якутск, 1983. с. 100-108 (соавтор С.П. Фортунатов).
- 43. Углекислотная волна в рудообразующих растворах пегматитов // Термобарогеохимия эндогенных процессов. Благовещенск, 1984. с. 91-92 (соавторы Е.А. Ионкина, Л.М. Валяшко, В.Д. Тарасов).
- 44. Углежислотная волна в метаморфогенном рудообразовании // Термобарогеохимия эндогенных процессов. Благовещенск, 1984. с. 101-103 (соавторы Е.А. Ионкина, П.С. Мочалов, Л.М. Валяшко).
- 45. Некоторые вопросы термобарогеохимических особенностей формирования Бектакарского месторождения фарфорового камня // Термобарогеохимия и геохимия рудообразующих флюидов (по включениям минералов): Тез. докл. Львов, 1985. Часть 2. с. 185 (соавторы Ж.Ш. Мегрелишинди, А.В. Громов, Л.Г. Пальмова).
- 46. Нетрадиционные виды магнезиального керамического сырья СССР // Тез. докл. 2-й Всесоюз. конф. «Проблемы прогноза, поисков и разведки месторождений неметаллических полезных ископаемых». Казань, 1986. Часть 1. с. 22-23 (соавторы И.Ф. Романович, А.И. Карамнов).
- 47. Локальный количественный прогноз метаморфогенных месторождений по комплексу геологических, минералогических, геохимических и термобарогеохимических поисковых и оценочных критериев // Тр. совещ. «Минералого-геохимические критерии локального прогноза оруденения». Ростов-на-Дону, 1987. с. 47-54 (соавторы Е.А. Ионкина, Л.М. Валяшко).
- 48. Критерии количественного прогнозирования метаморфогенных месторождений // Изв. вузов. Геол. и разв. 1988. № 3. с. 38-42.
- 49. Углекислотная волна в остывающих гидротермальных растворах // Тр. совещания "Минералообразование из вскипающих растворов". Ростов-на-Дону, 1988. с. 33-38 (соавторы Е.А. Ионкина, Л.М. Валяшко, С.П. Фортунатов).
- 50. Нетрадиционное магнезнальное керамическое сырье СССР // Тр. II Международного конгресса по неметаплам. КНР, 1989. с. 121-126 (соавторы <u>И.Ф. Романович</u>, А.И. Карамнов).
- 51. Микроорганизмы в архейских графитоносных породах Алданского щита // Изв. вузов. Геол. и разв. 1989. № 6. с. 141-144 (соввтор В.В. Кощевой).
- 52. Промышленно-генетическая классификация метаморфогенных неметаллических полезных вскопаемых в Центрально-Алданском горно-промышленном районе // Изв. вузов. Геол. и разв. 1990. № 2. с. 85-92.
- 53. О прачинах и механизмах перекристаллизации кварца петматитов // Изв. вузов. Геол. и разв. − 1990. №7. − с. 54-59 (соавторы В.Л. Тарасов, М.Г. Петрова, Е.А. Ионкина, Ю.М. Салтыков).
- К проблеме локального количественного прогнозирования метаморфогенных месторождений// Геология метаморфических комплексов. – Екатеринбург, 1991. – с. 126-133.

- 55. Место термобарогсохимических методов в общем комплексе прогнозирования метаморфогенного оруденения // Изв. вузов. Геол. и разв. 1992.- № 2. с. 44-50 (соавтор Е.А. Ионкина).
- 56. Система количественной прогнозной оценки оруденения // Изв. вузов. Геол. и разв. 1996. № 3. с. 140-141.
- 57. О перспективах поисков комплексных редкометальных пегматитов в районе Вороньих тундр (Кольский полуостров) // Изв. вузов. Геол. и разв. 1996. № 2. с. 65-73.
- 58. О методике оценки трещиноватости и блочности облицовочных камней // Изв. вузов. Геол. и разв. 1996. № 4. с. 77-85 (соввторы Л.И. Шестакова, В.Ю. Монеткина).
- 59. Методика количественной прогнозной оценки графитовых месторождений // Изв. вузов. Геол. и разв. 1996. № 6. с. 69-77.
- 60. О связи богатого оруденения с «углекислотной волной» в рудообразующих растворах // Изв. вузов. Геол. и разв. − 1997. № 5. − с. 75-82.
- 61. Количественная прогнозная оценка оруденения // Новые идеи в науках о земле: Тез. докл. М., 1997. Т. 2. с. 177.
- 62. Углекислотная волна в рудообразующих растворах // Новые идеи в науках о земле: Тез. докл. М., 1997. Т. 2. с. 112 (соавторы Е.А. Ионкина, Л.М. Валящко).
- 63. Новые перспективные месторождения калневого и натрового полевошпатового сырья России (Южная Якутия и Карелия). Статья 1. Калневое полевоппатовое сырье в Центрально-Адданском горно-промышленном районе // Изв. вузов. Геол и разв. − 1998.
 № 5. − c. 60-68.
- 64. Новые перспективные месторождения калиевого и натрового полевошпатового сырья России. Статья 2. Натрово-глиноземистое полевошпатовое месторождение Райвимяки-3 в Карелии // Изв. вузов. Геол. и разв. − 1999. № 2. − с. 87-93.
- 65. Кристалло- и рудообразование под воздействием углекислотной волны в природных флюндах // Тез. докл. на 1X Междунар. конф. по термобарогеохимии. Александров, ВНИИСИМС. 1999. с. 146-148.
- 66. Углекислотная волна во флюндном рудообразовании // Синтез минеранов и методы их исследования. Геология месторождений пьезооптического и камнесамоцветного сырья. т. XVI Александров, ВНИИСИМС. 2000. с. 221-243.
- 67. Роль смены планов тектонических деформаций в метаморфогенном рудообразовании. Статья 1. Центрально-Алданский флогопитоносный район // Изв. вузов. Геол. и разв. − 2001. № 3. − с. 87-96.
- 68. Роль смены планов тектонических деформаций в метаморфогенном рудообразовании. Статья 2. Вороньетундровское рудное поле (Кольский полуостров) // Изв. вузов. Геол. и разв. 2001. № 4. с. 50-58.
- 69. Условия метаморфогенного минерало- и рудообразования по данным термобарогеожимических исследований // Тез докл. на X Междунар. конф. по термобарогеожимии. Александров, ВНИИСИМС. 2001. с. 21-22.
- 70. Определение условий минерало- и рудообразования с помощью термобарогеохимии // Тр. X Междунар, конф, по термобарогеохимии. Александров, ВНИИСИМС. 2001. с. 19-26.



Подписано в печать 31.03.03. Объем 2,5 п.л. Тираж 100 экз.

Редакционно-издательский отдел МГГРУ Москва, ул. Миклухо-Маклая. 23

2003-A 9006