

0-734012 -|

На правах рукописи

Белковская Яна Анатольевна

**ХИМИЧЕСКИЙ ТИПОМОРФИЗМ И ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ БИОТИТОВ
УФАЛЕЙСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКОГО БЛОКА (СРЕДНИЙ УРАЛ)**

25.00.05 - «Минералогия, кристаллография»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Миасс 2003

Работа выполнена в лаборатории региональной минералогии Института минералогии Уральского отделения РАН

Научный руководитель: Директор института минералогии член-корр. РАН
В.Н.Анфилов

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук А.И.Бахтин
кандидат геолого-минералогических наук Р.Х.Сунгатуллин

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное геологическое
предприятие «Челябинскгеосъемка»

Защита состоится 17 апреля 2003 года в 14 часов 30 минут на заседании Специализированного Диссертационного Совета Д.212.081.09 по геолого-минералогическим наукам при Казанском Государственном Университете по адресу: 420008, Казань, ул. Кремлевская, 4/5, КГУ, геологический факультет, аудитория 34.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Казанского Государственного Университета

Автореферат разослан 14 марта 2003 года

Отзыв на автореферат, заверенный печатью учреждения, просим присылать по адресу: 420008, Казань, ул. Кремлевская, 18, КГУ, служба аттестации научных кадров.

Ученый секретарь
Диссертационного Совета Д.212.081.09
кандидат геолого-минералогических наук



Р.Р. Хасанов

Общая характеристика работы

Типохимизм породообразующих минералов широко используется для установления условий образований различных горных пород и определения формационной принадлежности магматических и метаморфических комплексов, что и привлекает внимание отечественных и зарубежных исследователей. Этому вопросу посвящен ряд фундаментальных монографий, изданных в СССР: по гранатам [Соболев, 1964], хлоритам [Кепежинскас, 1965], амфиболам [Костюк, 1971], пироксенам [Добрецов, Кочкин, Кривенко и др., 1971], биотитам [Ушакова, 1971; 1980], ставролитам [Федькин, 1975] и вермикулитам [Львова, 1974; Яковлев, Карпенко, 1976], а так же сводки по химизму флогопитов и биотитов Украинского Щита [Усенко, Щербаков, Заяц, 1972; Сироштан, Половко, Кравченко, 1975]. Вместе с тем, именно кристаллохимическая специфика отдельных минералов позволяет судить о путях их дальнейших преобразований и возможностях использования в качестве определенных видов минерального сырья, прежде всего - нерудного.

На протяжении ряда лет одной из основных тем Института минералогии УрО РАН является изучение типохимизма породообразующих минералов Урала [«Минералогия и петрография докембрийских блоков Среднего и Южного Урала», Государственный регистрационный номер 01.20.00 01593; «Протолиты в метаморфических блоках Центрально-Уральского поднятия», Государственный регистрационный номер 01.20.02 02523], составной частью которых и является выполненная диссертация.

В процессе подготовки данной работы автором проведено изучение типохимизма и физических характеристик железо-магнезиальных слюд из основных комплексов горных пород Уфалейского метаморфического блока. Отдельно рассмотрены вопросы минералогии Нижне-Уфалейского проявления мелкочешуйчатого гидробиотита как минерального сырья.

Актуальность работы. Триоктаэдрические слюды являются породообразующими минералами разнообразных метаморфитов и магматических горных пород, образующихся в широком диапазоне составов и физико-химических условий. Сбор и систематизация оригинального аналитического материала, обработка его с применением методов математической статистики и парагенетического анализа, выполнена для биотит-аннитовой группы слюд из крупного по размерам геологического объекта – Уфалейского метаморфического блока (1230 км²). Типохимизм этих минералов использован для установления генетической и геохронологической позиций полистадийных и полихронных метаморфитов, что имеет большое значение для познания геологической истории метаморфических комплексов умеренных и высоких давлений. Актуальность настоящей работы так же определяется необходимостью расширения в пределах Уральского региона сырьевой базы «вспучивающихся» слюд, так как потребность в теплоизоляционных материалах диктуется ростом цен на энергоносители. Запасы эксплуатируемого Потанинского месторождения уже в значительной мере отработаны.

Цели и задачи исследований. Главной целью работы является кристаллохимическая и геохимическая типизация слюд группы флогопит-аннита, установление их генетической и геохронологической позиций, а так же физических свойств для выявления основных условий, обеспечивших последующую вермикулитизацию и образование промышленных скопления «вспучивающихся» гидрослюд в полифациальном Уфалейском метаморфическом блоке.

Для достижения этой цели ставились и решались следующие задачи:

- изучение типохимизма, геохимических особенностей, структурных и физических характеристик представительной коллекции триоктаэдрических слюд из всех типов горных пород Уфалейского метаморфического блока;
- выделение основных парагенетических типов флогопит-аннитов в полигенных метаморфитах и интрузивных породах Уфалейского метаморфического блока для выявления среди них наиболее перспективных на вермикулитовое сырье;
- установление трендов изменения химизма триоктаэдрических слюд, характеризующих щелочные породы и карбонатиты Уфалейского метаморфического блока;

- изучение типохимизма и физических характеристик мелкочешуйчатых вермикулитизированных слюд Нижне-Уфалейского проявления;

- определение основных параметров вермикулитовых концентратов и первоочередных задач по промышленному освоению Нижне-Уфалейского проявления.

Научная новизна. Впервые для Урала проведено детальное изучение типохимизма и физических свойств триоктаэдрических слюд в пределах крупного геологического объекта – полигенного Уфалейского метаморфического блока. С использованием методов фациального анализа определены парагенетические типы слюд, что позволило детализировать их генезис и выявить на этой основе общие закономерности образования крупных скоплений, способных к вермикулитизации слюд в полигенном субстрате Уфалейского метаморфического блока.

Выделен новый тип биотитовых слюдитов, связанных с линейно-трещинными карбонатами и приведены новые данные по минералогии и физическим свойствам мелкочешуйчатых вермикулитизированных слюд Нижне-Уфалейского проявления гидробиотита.

Практическая значимость. Установлены критерии, обеспечивавшие формирование крупных скоплений мелкочешуйчатого биотита в метаморфических комплексах умеренных и низких давлений; продукты выветривания таких слюдитов могут создавать промышленные залежи вермикулитового сырья, преимущественно в линейных корах выветривания, что должно повысить эффективность соответствующих геологоразведочных работ.

Фактический материал и методика исследований. Основу диссертационной работы составляют результаты полевых исследований отдельных фрагментов Уфалейского метаморфического блока и результаты выполнения хоз. договорных работ (1990-2000г.г.) - детальная документация керн разведочных скважин на базах кернохранилищ Уфалейской геологоразведочной партии Уральского территориального геологического управления (г.Верхний Уфалей) и Кыштымской геологоразведочной партии №3 (пос.Слюдорудник, Челябинской области) – 1990-1994г.г. в объеме 10450 п.м. Отобрано 211 точечных проб (весом от 1.5 до 2.0 кг.), из которых различными методами обогащения автором выделено 158 номинеральных фракций триоктаэдрических слюд. Автором так же проведено опробование разведочных горных выработок с целью изучения свойств гидробиотита Нижне-Уфалейского проявления.

Из 131 образца изготовлены и просмотрены автором прозрачные петрографические шлифы. Анализы минералов выполнены в Центральной химической лаборатории ПО "Уралгеология" (аналитик Н.Ф.Колосова) и в химлаборатории Института минералогии УрО РАН (аналитики Н.В.Пастухова, Л.А.Ганеева, Г.А.Кориневская). Спектральные анализы слюд выполнены полуколичественным и количественным методами (131 анализ) в спектральной лаборатории ПО «Уралгеология» под руководством В.В. Вершининой.

Микрозондовые анализы слюд выполнены автором на микроанализаторе EDAX-9100 на кафедре минералогии Санкт-Петербургского Государственного Университета под руководством заведующего микрозондовой лабораторией А.Р. Нестерова.

При определении минеральных видов слюд использовалась классификация, утвержденная Комиссией по новым минералам [Rieder, Cavazzani at ath., 1998; и дополнениями к ней Bailey, 1984; Моргунова, 2000].

Показатели преломления измерены в иммерсионных жидкостях под микроскопом с точностью ± 0.003 в Минлаборатории ПО "Уралгеология" (В.П. Петрова, 124 образца) и 45 образцов - автором.

Дифракционные картины (22 образца) получены на рентгеновском дифрактометре ДРОН-2.0; политипия (35 образцов) и параметры элементарной ячейки (9 образцов) слюд и гидрослюд определены кандидатом наук В.А.Котляровым и инженером Р.Г.Ахмеровой (лаборатория комплексных методов исследования минералов Института минералогии УрО РАН).

Определения абсолютного возраста черных слюд выполнено К-Аг-методом в лабораториях геохронологии ПО "Уралгеология" (аналитик А.И.Степанов) и Института Геологии

и Геохимии УрО РАН кандидатом геолого-минералогических наук Б.А. Калегановым под руководством докт. геолого-минералогических наук А.А. Краснобаева.

По тексту автореферата приняты следующие сокращения:

Al^{IV} и Al^{VI} – содержание алюминия в четверной и шестерной координации, формульные единицы (ф.е.);

$$a_{Si} = Al^{IV} / (Al^{IV} + Si^{4+});$$

$$a_{VI} = Al^{VI} / (Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mg^{2+} + Mn^{2+} + Ti^{3+} + Al^{VI});$$

$$F_{общ.} = (FeO + Fe_2O_3) / (FeO + Fe_2O_3 + MgO);$$

$$f_o = Fe_2O_3 / (Fe_2O_3 + FeO);$$

$W_k = 3.00 - (Mg^{2+} + Fe^{2+} + Fe^{3+} + Mn^{2+} + Ti + Al^{VI})$, ф.е. – величина октаэдрической вакансии.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались на:

- XI Всесоюзном совещании по рентгенографии минерального сырья [Миасс: ИМин УрО РАН, 1989];
- XII Всесоюзном совещании по металлогении докембрия [Киев: ИГФМ АН УССР, 1990];
- Региональном совещании “Минералогия Урала” [Миасс: ИМин УрО РАН, 1990];
- Региональном совещании “Геология и минерально-сырьевые ресурсы Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления [Тюмень: ТИИ, 1991];
- IV Всесоюзном совещании “Минералогия и генезис пегматитов” [Миасс: ИМин УрО РАН, 1991];
- Региональном совещании “Минералогия кварца” [Сыктывкар: Коми фил. АН СССР, 1992).

Основное содержание диссертации отражено в 13 опубликованных автором самостоятельно или в соавторстве с другими исследователями работах.

Структура и объем работы. Диссертация, объемом в 180 страниц, состоит из введения, 5 глав и заключения, содержит 65 рисунков и 42 таблицы. Библиографический список использованной литературы содержит 185 названий, из них 38 зарубежных авторов.

В первой главе рассматриваются особенности геологического строения Уфалейского метаморфического блока.

Во второй главе приведен оригинальный материал по абсолютному возрасту, петрографии и минералогии основных естественно-генетических рядов горных пород, слагающих отдельные тектонические пластины Уфалейского метаморфического блока.

Третья глава посвящена детальному изучению типохимизма биотит-аннитов; методами фациального анализа и математической статистики выделены основные парагенетические типы и тренды изменения химического состава триоктаэдрических слюд в основных естественно-генетических рядах горных пород Уфалейского метаморфического блока.

В четвертой главе рассмотрен и проанализирован фактический материал по оптическим и рентгеновским константам флогопит-аннитов Уфалейского метаморфического блока.

В пятой главе приведены данные по физическим характеристикам (оптическим, термическим, дифракционным) гидрослюд Нижне-Уфалейского проявления мелкочешуйчатого гидробиотита, приведены необходимые сведения о качестве слюдяных концентратов и рассмотрены возможные пути их использования.

В заключении подведены итоги проведенных исследований и определены возможные пути использования материалов в целях геологического и минералогического картирования.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю члену-корреспонденту РАН доктору геолого-минералогических наук Всеволоду Николаевичу Анфилову, постоянная поддержка, конструктивная критика и ценные советы которого сделали возможным выполнение настоящей работы.

Автор благодарен заведующему лабораторией региональной минералогии Института минералогии УрО РАН кандидату геолого-минералогических наук Е.П.Макагонову за неоценимую помощь во время написания и оформления диссертации.

Обсуждение многих спорных вопросов генезиса железо-магнезиальных слюд и промышленной типизации их месторождений проводилось с профессорами докторами геолого-минералогических наук: А.С.Таланцевым (Екатеринбург, Институт Геологии и Геохимии УрО РАН), О.Б.Дудкиным (Апатиты, Институт Геологии КФАН СССР), Б.Г.Яковлевым, А.Л.Литвиным (Киев, ИГФМ АН УССР) и Ю.П.Сорокиным (Санкт-Петербургский Университет), геологами из различных уральских организаций – И.И.Захарченко, П.А.Красильниковым и А.Н.Савичевым.

Особую благодарность автор приносит сотрудникам Института минералогии УрО РАН кандидатам геолого-минералогических наук Е.В. Белогуб и В.А. Котлярову, анализаторам Р.Г.Ахмеровой, Г.А. Кориневской, Н.В. Пастуховой, Л.А.Ганеевой, Т.С. Корниловой, заведующему лабораторией геохронологии Института Геологии и Геохимии УрО РАН доктору геолого-минералогических наук А.А. Краснобаеву и кандидату геолого-минералогических наук Б.А. Калеганову, заведующему микрозондовой лаборатории кафедры минералогии Санкт-Петербургского Университета А.Р. Нестерову.

Содержание работы

Уфалейский метаморфический блок расположен на Среднем Урале и входит в состав Центрально-Уральского поднятия. Восточной границей блока является Главный Уральский глубинный разлом, по которому он отделен от эффузивно-осадочных образований Тагильской зоны, а западной - Юрюзане-Зюраткульский разлом, по которому он контактирует с палеозойскими известняками и кристаллическими сланцами таганайской свиты среднего рифея. С севера и юга Уфалейский метаморфический блок ограничен Аюшским и Ольховским субширотными разломами.

В настоящий момент существует две основные модели формирования Уфалейской структуры.

В соответствии с первой моделью в пределах блока выделяется два структурных этажа: нижний - древнее гнейсовое ядро и верхний - более молодое сланцевое обрамление [Кейльман, 1974]. Ядерная часть блока представлена породами уфалейской свиты - гнейсо-видными плагиоклазовыми амфиболитами и амфиболовыми гнейсами. Предполагаемый возраст пород ядра - не выше среднего рифея, сланцевого обрамления – венд и нижний-средний ордовик [Кейльман, 1974]. Многие положения модели оказались спорными [Варганов, Гилева, 1969; Белковский, 1985; Русин, 1997].

По второй модели Уфалейская структура рассматривается как метаморфический блок, состоящий из трех тектонических пластин: западной – указарской, представленной вендскими зеленосланцевыми бластомилонитами, нижнепалеозойскими сиенитами и верхнепалеозойскими щелочными гнейсо-гранитами, центральной – егустинской, представленной дорифейскими габбро-амфиболитами, нижнепалеозойскими мигматитами, пегматитами, среднепалеозойскими карбонатитами, плагиогранитами и верхнепалеозойскими щелочными гнейсо-гранитами-сиенитами и восточной – куртинской, представленной дорифейскими эклогитами, высокобарическими бластомилонитами и нижнепалеозойскими мигматитами по ним [Белковский, 1989]. По мнению автора вторая модель более полно отражает геологическую историю Уфалейского метаморфического блока.

Петрографический состав тектонических пластин Уфалейского метаморфического блока определяется степенью коровой переработки в них двух типов протолитов: – габбро и эклогитов. Для каждой пластины выделены следующие эволюционные ряды горных пород:

указарская пластина: метагаббро → зеленосланцевые бластомилониты (600 млн. лет) → плагиоклазиты (450 млн. лет) → известково-щелочные и щелочные сиениты (430 млн. лет) → нефелиновые сиениты (430 млн. лет) → щелочные гнейсо-граниты (270-250 млн. лет);

егустинская пластина: метагаббро (1450 млн. лет) → апогаббровые амфиболиты (600-500

млн. лет) → бластомилониты по апогаббровым амфиболитам (500-450 млн. лет) → мигматиты тневые-(Ca-Na) и очковые-(Na-K) (450-400 млн. лет) → гнейсо-граниты (440-400 млн. лет) → пегматиты (400 млн. лет) → карбонатиты (330-300 млн. лет) → посткарбонатитовые плагиогранодиориты-плагиограниты (310-300 млн. лет) → известково-щелочные сиениты и субщелочные, щелочные гнейсо-граниты (270-250 млн. лет);

куртинская пластина: эклогиты (2100 млн. лет ?) → апоэклогитовые амфиболиты (700-600 млн. лет) → гранат-мусковит-кварцевые бластомилониты (1200-1100, 400 млн. лет) → мигматиты порфиробластические-(Ca-Na) и очковые-(Na-K) (400 млн. лет) → гнейсо-граниты (400 млн. лет) → пегматиты (400 млн. лет) → карбонатиты (330-300 млн. лет).

Дальнейшее изложение материала и выводов диссертации дается по защищаемым положениям.

Первое защищаемое положение

Впервые для изверженных и метаморфических пород Урала на примере Уфалейского блока установлены отличия по химизму и составу микропримесей разновозрастных парагенетических типов железо-магнезиальных слюд, среди которых выделены: нижнепалеозойские (450-400 млн. лет) “сиенитовые” биотиты (микропримеси Nb, Ta, Zr), среднепалеозойские (330-300 млн. лет) “карбонатитовые” биотит-тетраферрифлогониты (микропримеси Nb, Ta, Zr, Sr, Y) и “гранитные” биотиты (микропримеси Pb, Zn), верхнепалеозойские (270-250 млн. лет) “сиенит-щелочно-гранитные” биотит-анниты (микропримеси Nb, Ta, Zr, Zn, Li, F).

Характеристика типохимизма и геохимических особенностей железо-магнезиальных слюд в автореферате приводится на основании таблиц, имеющих в виде отдельного приложения к тексту диссертации.

Нижнепалеозойские (450-400 млн. лет) железо-магнезиальные слюды

Биотит-анниты из пород указарской пластины (плагиоклазиты, известково-щелочные, щелочные и нефелиновые сиениты)

Биотит в породах указарской пластины установлен в плагиоклазитах, известково-щелочных, щелочных и нефелиновых сиенитах [Белковская, 1991б; Белковская, Белковский, 2001]. Для известково-щелочных сиенитов обычен зеленый биотит, для щелочных и нефелиновых – темно-зеленый и черно-зеленый биотит-аннит-(Mg). Общая железистость слюд колеблется от $F_{\text{общ.}}=57$ до $F_{\text{общ.}}=69$ и по этому параметру они отличны от триоктаэдрических слюд из миаскитов и корундовых сиенитов Ильмено-Вишневогорского комплекса – для последних характерна более высокая железистость, глиноземистость и титанистость [Левин, Роненсон, Самков и др., 1997].

Биотиты из тневых-(Ca-Na) и очковых-(Na-K) мигматитов по апогаббровым амфиболитам егустинской пластины

В тневых мигматитах-(Ca-Na) темно-зеленые и черно-зеленые железо-магнезиальные слюды замещают роговую обманку мигматитов. Средняя железистость слюд палеосомы и неосомы мигматитов $F_{\text{общ.}}=56$, коэффициенты $a_{\text{SI}}=29-32$ и $a_{\text{VI}}=5.8-11.3$ близки к характеристикам темно-зеленых слюд из сиенитов указарской пластины – по всем параметрам это слюды пород амфиболитовой фации метаморфизма [Ушакова, 1971].

В очковых-(Na-K) мигматитах черно-зеленые слюды так же образуются за счет роговых обманок. Однако, в этих породах они имеют более железистый состав – это биотиты с $F_{\text{общ.}}=60$ и анниты-(Mg) с $F_{\text{общ.}}=66-68$. Глиноземистость их ($Al^{IV} - 1.27$, ф.е.; общая глиноземи-

стость=1.41 ф.е.) оказалась близкой к характеристикам слюд из теневых мигматитов (Al^{IV} - 1.30; общая глиноземистость=1.50 ф.е.). Однако, они резко отличны по величине коэффициента a_{VI} , который для первых составляет $a_{VI}=9-11$, для вторых – $a_{VI}=2.8-7.2$.

Биотиты из порфиробластических-(Ca-Na) и очковых-(Na-K) мигматитов, плагиогнейсо-гранитов по гранат-мусковит-кварцевым blastsомилонитам и апоэклогитовым амфиболитам куртинской пластины

В порфиробластических и очковых мигматитах темно-зеленые и черно-зеленые железо-магнезиальные слюды замещают реликтовые минералы барических blastsомилонитов – гранат и железистый мусковит. По химизму – это биотиты, общая железистость которых колеблется в весьма широком интервале – от $F_{общ.}=47$ до $F_{общ.}=62$. Основные классификационные параметры его довольно устойчивы – $a_{Si}=31.0$ и $a_{VI}=9.2$. Отмечено резкое увеличение концентраций титана с возрастанием общей железистости слюд: при $F_{общ.}=47$; Ti - 0.09 ф.е., а при $F_{общ.}=62.2$; Ti - 0.17 ф.е.

Мелкочешуйчатые железо-магнезиальные слюды плагиогнейсо-гранитов, образующихся по различным типам мигматитов, представлены черно-зелеными биотитами с $F_{общ.}=49-62$; $f_o=0.09-0.18$; $a_{Si}=29-33$; $a_{VI}=6.2-13.8$. Увеличение общей железистости снова сопровождается возрастанием концентраций титана – от 0.09 до 0.18 ф.е., при этом коэффициент концентрации октаэдрической вакансии W_k так же возрастает от $W_k=0.15$ до $W_k=0.26$ ф.е., что легко объяснимо стремлением к сохранению общей электронейтральности структуры.

В апоэклогитовых мигматитах и гнейсо-гранитах триоктаэдрические слюды замещают реликтовые роговые обманки гастингситового состава. По химизму – это биотиты и анниты-(Mg), по основным классификационным параметрам близкие к биотит-аннитам из миаскитов Ильмено-Вишневогорского комплекса [Левин, 1974].

Биотит-анниты гранитных пегматитов егустинской пластины

Химический состав триоктаэдрических слюд из керамических и слудоносных пегматитов егустинской пластины [Белковская, 1991а] соответствует составам высокоглиноземистого биотита и аннита-(Mg). Изученные образцы характеризуются низкими концентрациями фтора – 0.06-0.07 ф.е. (0.20-0.25 мас.% F) и по этому элементу они однозначно отличаются от биотит-аннитов редкометальных топаз-берилловых пегматитов Ильменских гор на Южном Урале [Белогуб, Котляров, Чернышова, 1989; Белогуб, 1994].

Среднепалеозойские (330-300 млн. лет) железо-магнезиальные слюды

Флогопит-биотиты карбонатитов

По химическому составу в карбонатитах калишпат-кальцитовой фации установлены коричневые низкофтористые биотиты-биотиты-(Mg) и красные тетраферрибиотиты; в карбонатитах альбит-кальцитовой фации – зеленые низкофтористые флогопиты-(Fe) и изумрудно-зеленые тетраферрифлогопиты. В качестве характерных микропримесей в коричневых биотитах карбонатитов калишпат-кальцитовой фации отмечены Nb, Ta, Zr (г/тн): 40-44, 10-18, 0-50 соответственно, а в флогопитах-тетраферрифлогопитах карбонатитов альбит-кальцитовой фации количественным спектральным анализом были дополнительно установлены Y и Sr (г/тн): 30-80, 10-50 соответственно (Спектральная лаборатория ПО «Уралгеология»). В карбонатитах коричневые биотиты последовательно “обрастают” зелеными низкоглиноземистыми флогопитами и ярко-зелеными тетраферрифлогопитами. Окраска слюд коррелирует с составом основных микропримесей [Бахтин, 1985], что подтверждает их изоморфный характер. Впервые для карбонатитов линейно-трещинного типа удалось установить, что в процессе снижения температур и давления от калишпат-кальцитовой к альбит-кальцитовой фации триоктаэдрические железо-магнезиальные слюды

сменяются тетраферрислюдами. Выявленная на уральском материале закономерность [Белковский, Белковская, 1993] оказалась во многом близкой к широко известной схеме изменения химизма триоктаэдрических слюд карбонатитов из кольцевых щелочно-ультраосновных массивов на Кольском полуострове [Кухаренко, Орлова, Булах и др., 1965; Терновой, 1977]. Полученный новый оригинальный материал полностью подтверждает представление о том, что тетраферрислюды являются типоморфными минералами щелочных пород и карбонатитов [Римская-Корсакова, Соколова, 1964].

Вторичные биотиты в метабазах егустинской пластины

В дорифейских метагабброидах и венд-палеозойских апогаббровых амфиболитах коричнево-умеренноглиноземистый низкофтористый биотит ($F_{\text{общ}}=37-43$ и $F_{\text{общ}}=57-67$) с абсолютным возрастом 330-300 млн. лет замещает породообразующую роговую обманку. Железистость слюды определяется железистостью замещаемого амфибола. Кристаллохимические особенности изученных образцов оказались одинаковыми с характеристиками низкофтористых биотитов из карбонатитов калишпат-кальцитовый фации [Самойлов, 1977]. Для них характерны следующие микропримеси Nb, Ta, Zr (г/тн): 40-44, 10-18, 0-50 соответственно (Спектральная лаборатория ПО "Уралгеология", аналитик В.В. Вершинина). Там же отмечено образование мономинеральных биотитовых слюдитов по апогаббровым амфиболитам. Химический состав изученных образцов полностью аналогичен составу биотита из метагабброидов и габбро-амфиболитов.

Вторичные биотиты в породах куртинской пластины

Биотиты из апоэклогитовых амфиболитов и гранат-мусковит-кварцевых бластомилонитов

В апоэклогитовых амфиболитах триоктаэдрические железо-магнезиальные слюды являются довольно редкими минералами, образующимися при замещении роговых обманок гастингситового состава. Железистость их определяется $F_{\text{общ}}$ исходных амфиболов. По составу – это биотиты-(Mg).

В гранат-мусковит-кварцевых бластомилонитах ярко-коричневый и коричнево-красный биотит замещает гранат и мусковит. По химическому составу – это биотит-(Mg) и биотит, железистость которых определяется $F_{\text{общ}}$ исходных мусковитов. Для последних двух она колеблется в интервале от $F_{\text{общ}}=36.7$ до $F_{\text{общ}}=58.6$.

Биотиты плагиогранодиоритов-плагиогранитов егустинской пластины

В плагиогранодиоритах-плагиогранитах, секущих апогаббровые амфиболиты и карбонатиты, установлены низкофтористые умеренноглиноземистые биотит-анниты с $F_{\text{общ}}=54-65$ и $F_{\text{общ}}=66-68$. Спектральным анализом во всех образцах установлены повышенные концентрации свинца и цинка Pb, Zn (г/тн): 15-20, 100-150 соответственно (Спектральная лаборатория ПО «Уралгеология», аналитик В.В. Вершинина).

Верхнепалеозойские (270-250 млн. лет) железо-магнезиальные слюды

В верхнепалеозойских известково-щелочных сиенитах две разновидности аннитов: умеренноглиноземистые с общим глиноземом=1.46 ф.е. (Al^{IV} - 1.32 ф.е.; Al^{VI} - 0.14 ф.е.) и микропримесями Nb, Ta, Zr (г/тн): 40-60, 8-10, 0-50 соответственно, и, уникальные по составу высококремнистые глиноземистые анниты с общим глиноземом=1,60 ф.е. (Al^{IV} - 1.11 ф.е.; Al^{VI} - 0.49 ф.е.) и постоянными примесями цинка – 0.06-0.09 ф.е. и лития – 50-100 г/тн. В отдельных навесках цинксодержащих слюд определен фтор – 0.25 ф.е.

Низкоглиноземистые анниты не содержат марганец и цинк, для них характерна очень высокая сумма катионов в октаэдрической позиции – 2.95-2.99 ф.е., что однозначно отличает их от аннитов-(Zn). В последних установлены исключительно высокие содержания цинка и марганца (Mn - 0.04-0.09 ф.е.). По существу, это первая находка природных аннитов-(Zn).

Субщелочные гнейсо-граниты содержат зеленый низкотитанистый биотит ($F_{\text{общ.}}=56.3$; $a_{\text{Si}}=31.0$; $a_{\text{VI}}=9.3$), щелочные – предельно низкокремниевый ($\text{Si} - 2.63 \text{ ф.е.}$) высокотитанистый ($\text{Ti} - 0.25 \text{ ф.е.}$) аннит ($F_{\text{общ.}}=92.7$; $a_{\text{Si}}=34.7$; $a_{\text{VI}}=10.4$).

Обширный петрографический, геохимический материал и многочисленные определения абсолютного возраста позволяют выделить в породах Уфалейского метаморфического блока следующие парагенетические типы железо-магнезиальных слюд (Таблица):

• **Нижнепалеозойские (450-400 млн. лет) “сиенитовые” слюды.** Нижнепалеозойские железо-магнезиальные слюды сиенитов указарской и мигматитов егустинской и куртинской пластин представлены темно- и черно-зелеными низкофтористыми биотитами, титанистость которых не превышает 0.17 ф.е. (см. таблицу, тип 1-2).

Слюды мигматитов (см. таблицу, тип 3), образующиеся за счет амфиболов гастингситового состава, менее железистые ($F_{\text{общ.}}=56.2$), чем биотиты нефелиновых сиенитов ($F_{\text{общ.}}=67.2$); железистые разности слюд характеризуются “максимальным” содержанием титана – 0.16 ф.е., число октаэдрических вакансий W_k возрастает с увеличением $F_{\text{общ.}}$ до $W_k=0.21$ ф.е. в слюдах из пород егустинской пластины и так же до $W_k=0.21$ ф.е. – в слюдах из пород куртинской пластины. По химическому составу слюды из мигматитов егустинской и куртинской пластин оказались одинаковыми (см. таблицу, тип 3-4). Концентрации характерных микропримесей ниобия, тантала и циркония оказались в них так же довольно близкие. Анализ богатейшего фактического материала позволяет установить, что апоамфиболовые слюды мигматитов Уфалейского метаморфического блока [Белковская, Белковский, 1990а] по кристаллохимическим характеристикам и абсолютному возрасту неотличимы от слюд нижнепалеозойских известково-щелочных сиенитов: как в сиенитах, так и в мигматитах присутствует один и тоже темно-зеленый и черно-зеленый биотит с $F_{\text{общ.}}=53.6-67.2$; $a_{\text{Si}}=31.0-33.8$; $a_{\text{VI}}=8.6-10.2$ (см. таблицу, тип 1-2 и 3-4), обогащенный ниобием – 120 г/тн, танталом – 12 г/тн и цирконием – 0-50 г/тн (Спектральная лаборатория ПО «Уралгеология»). Изучение геологических разрезов и петрографии горных пород Уфалейского метаморфического блока позволило сделать предположение о том, что вторичные (апоамфиболовые) черно-зеленые и темно-зеленые биотиты в мигматитах могут быть связаны с процессами фенитизации полигенного венд-нижнепалеозойского амфиболит-мигматитового субстрата Уфалейского метаморфического блока [Белковский, Белковская, 1990б]. Фактический материал позволяет выделить нижнепалеозойские темно-зеленые низкофтористые биотиты, обогащенные Nb, Ta, Zr, в особый парагенетический тип “сиенитовых” слюд.

• **Среднепалеозойские (330-300 млн. лет) “карбонатитовые” и “гранитные” слюды.** Железо-магнезиальные слюды с абсолютным возрастом 330-300 млн. лет установлены в карбонатитах, полигенных амфиболитах, барических бластомилонитах и гранитоидах среднепалеозойской плагногранодиорит-плагногранитной формации.

В карбонатитах калишпат-кальцитово-фациальной присутствуют типичные для высокотемпературных карбонатитов [Самойлов, 1977] коричневые низкофтористые биотиты и биотиты-(Mg) – $F_{\text{общ.}}=55.6-39.6$; $a_{\text{Si}}=31.0-28.3$; $a_{\text{VI}}=9.0-1.4$ (см. таблицу, тип 7-9), обогащенные ниобием, танталом и цирконием; в среднетемпературных карбонатитах альбит-кальцитово-фациальной присутствуют типоморфные для нее [Самойлов, 1977] зеленые низкофтористые беститанистые флогопиты-(Fe) и ярко-зеленые тетраферрифлогопиты – $F_{\text{общ.}}=27.4$; $a_{\text{Si}}=28.3-26.5$; $a_{\text{VI}}=0.0-0.7$ (см. таблицу, тип 10-11), обогащенные ниобием, танталом, цирконием, иттрием и стронцием.

Приведенные выше материалы позволяют однозначно выделить два кристаллохимических типа “карбонатитовых” слюд – коричневые биотиты-биотиты-(Mg) карбонатитов калишпат-кальцитово-фациальной и зеленые флогопиты-(Fe)-тетраферрифлогопиты карбонатитов альбит-кальцитово-фациальной (см. таблицу, тип 7-11).

Кристаллохимические характеристики (ф.е.) парагенетических типов палеозойских железо-магнезиальных слюд Уфалейского метаморфического блока

Этапы	Нижнепалеозойский (450-400 млн. лет)						Среднепалеозойский (330-300 млн. лет)										Верхнепалеозойский (270-250 млн. лет)				
	"сиенитовые" биотиты и биотиты гранитных пегматитов						"карбонатитовые" и "гранитные" слюды										"сиенит-щелочно-гранитные" слюды				
Элементы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Si	2,75	2,65	2,76	2,76	2,76	2,83	2,76	2,80	2,87	2,87	2,90	2,79	2,76	2,79	2,71	2,77	2,76	2,61	2,68	2,96	2,86
Al ^{IV}	1,25	1,35	1,24	1,24	1,24	1,17	1,24	1,20	1,13	1,13	1,06	1,21	1,24	1,21	1,29	1,23	1,24	1,39	1,32	1,04	1,14
Fe ³⁺	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Сумма	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Al ^{VI}	0,24	0,29	0,26	0,26	0,26	0,31	0,25	0,15	0,04	0,02	0,00	0,17	0,30	0,28	0,28	0,23	0,26	0,30	0,14	0,60	-
Ti	0,17	0,14	0,16	0,13	0,07	0,17	0,11	0,11	0,05	0,03	0,02	0,15	0,11	0,09	0,08	0,14	0,18	0,25	0,22	0,15	0,15
Fe ²⁺	0,26	0,24	0,32	0,27	0,44	0,07	0,29	0,35	0,21	0,12	0,15	0,32	0,28	0,19	0,30	0,39	0,10	0,17	-	-	-
Mn	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,05	0,05	0,00	0,04	0,09
Mg	1,04	0,78	1,03	1,11	0,96	0,70	1,07	1,15	1,71	2,09	2,12	1,04	1,24	1,59	1,56	1,06	1,00	0,17	0,07	0,06	0,17
Сумма	2,78	2,83	2,79	2,79	2,65	2,58	2,77	2,73	2,92	2,93	2,95	2,78	2,85	2,85	2,89	2,83	2,79	2,89	2,96	2,60	2,34
W _k	0,22	0,17	0,21	0,21	0,35	0,42	0,23	0,27	0,08	0,07	0,05	0,22	0,15	0,15	0,11	0,17	0,21	0,11	0,04	0,40	0,66
K	0,85	0,87	0,81	0,78	0,78	0,76	0,73	0,90	0,92	0,91	0,90	0,79	0,76	0,77	0,74	0,79	0,84	0,72	0,91	0,76	0,67
Na	0,01	0,05	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,06	0,06	0,05	0,05	0,01	0,02	0,10	0,17
Ca	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,04	0,02	0,03	0,01	0,05	0,02	0,04	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Ba	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01
Сумма	0,89	0,95	0,87	0,85	0,89	0,82	0,81	0,97	0,97	0,97	0,94	0,88	0,82	0,87	0,83	0,88	0,91	0,77	0,97	0,88	0,86
O	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
ОН	1,61	1,68	1,70	1,68	1,83	2,19	1,92	1,68	2,20	2,21	1,68	1,69	1,99	1,69	1,88	1,85	1,86	1,83	-	-	-
F	0,24	0,06	0,05	0,06	0,07	0,06	0,08	0,08	0,09	0,09	0,05	0,04	0,05	0,02	0,06	0,09	0,08	0,05	-	-	-
Сумма	1,85	1,74	1,75	1,74	1,90	2,25	2,00	1,76	2,29	2,30	1,73	1,73	2,04	1,71	1,94	1,94	1,94	1,88	-	-	-
F _{общ.}	55,9	67,2	56,2	53,6	58,3	66,5	55,6	53,3	39,6	27,4	27,4	57,6	49,2	35,6	38,3	56,7	56,5	92,6	97,3	96,7	91,9
f ₀	0,20	0,15	0,24	0,21	0,33	0,05	0,22	0,27	0,19	0,15	0,19	0,23	0,23	0,22	0,31	0,28	0,08	0,08	-	-	-
a _{Sl}	31,3	33,8	31,0	31,0	31,0	29,3	31,0	30,0	28,3	28,3	26,5	30,3	31,0	30,3	32,3	30,8	31,0	34,8	33,0	26,0	28,5
a _{VI}	8,6	10,2	9,3	9,3	9,8	12,0	9,0	5,5	1,4	0,7	0,0	6,1	10,5	9,8	9,7	8,1	9,3	10,4	4,7	23,1	-
N	5	3	31	27	3	4	4	4	1	2	1	10	16	3	5	3	1	2	2	1	3

Нижнепалеозойские (450-400 млн. лет) "сиенитовые" биотиты и биотиты гранитных пегматитов: 1-2 - щелочных (1) и нефелиновых (2) сиенитов; 3-4 - "сиенитовые" слюды в мигматитах егустинской (3) и куртинской (4) пластин; 5-6 - гранитных пегматитов.

Среднепалеозойские (330-300 млн. лет) "карбонатитовые" и "гранитные" слюды: 7-9 - биотиты карбонатитов калишпат-кальцитовой фации; 10-11 - флогопиты (10) и тетроферрифлогопиты (11) карбонатитов альбит-кальцитовой фации; 12-15 - "карбонатитовые" биотиты из апогаббровых амфиболитов (12), апоэклогитовых бластомилонитов (13), мигматитов по апогаббровым амфиболитам (14); апоэклогитовых амфиболитов и бластомилонитов по ним (15); 16 - "гранитные" биотиты плагио-гранодиоритов.

Верхнепалеозойские (270-250 млн. лет) "сиенит-щелочно-гранитные" слюды: 17-18 - биотиты (17) и анниты (18) субщелочных (17) и щелочных (18) гнейсо-гранитов; 19-21 - анниты (19) и цинковые анниты (20-21) известково-щелочных сиенитов. В 20-21 дополнительно определен Zn - 0,09 и 0,06 ф.е. соответственно.

В амфиболитах и барических бластомилонитах Уфалейского метаморфического блока широко распространены апоамфиболовые и апомусковитовые коричневые низкофтористые биотиты-биотиты-(Mg) с абсолютным возрастом 330-300 млн. лет. В барических бластомилонитах куртинской пластины известны редкие тела кальцитовых и доломит-кальцитовых карбонатитов. Условия нахождения и абсолютный возраст (330-300 млн. лет) вторичных апобазитовых и апоэклогитовых слюд - коричневых низкофтористых биотитов, химический состав которых - $F_{общ.} = 57.6-35.6$; $a_{Si} = 32.3-30.3$; $a_{VI} = 10.5-6.1$ (см. таблицу, тип 12-15) аналогичен среднему составу коричневого биотита карбонатитов калишпат-кальцитовой фации, позволили отнести их к парагенетическому типу "карбонатитовых" слюд [Белковский, Белковская, 1994].

Зеленые биотиты плагиогранитов среднепалеозойской плагиогранодиорит-плагиогранитной формации обогащены свинцом и цинком, что однозначно отличает их от всех черных слюд Уфалейского метаморфического блока. Указанные особенности позволяют выделить парагенетический тип "гранитных" биотитов - $F_{общ.} = 56.7$; $a_{Si} = 30.8$; $a_{VI} = 8.1$ (см. таблицу, тип 16).

• *Верхнепалеозойские (270-250 млн. лет) "сиенит-щелочно-гранитные" слюды* представлены слюдами известково-щелочных сиенитов, субщелочных и щелочных гнейсо-гранитов указарской и егустинской пластин.

В субщелочных гнейсо-гранитах биотит редкий минерал (см. таблицу, тип 17), в щелочных разностях этих пород обнаружен только темно-коричневый высокотитанистый аннит с аномально низким содержанием кремния и довольно высокой суммой катионов в шестерной координации (см. таблицу, тип 18).

В известково-щелочных сиенитах установлены анниты (см. таблицу, тип 19) и анниты-(Zn), содержания цинка в последнем составляют 0.06-0.09 ф.е. (см. таблицу, тип 20-21). По существу это первая находка природного аннита-(Zn), представляющего промежуточные составы аннит-сидерофиллитового и аннит-цинвальдитового рядов. Уникальность химического состава аннитов с $F_{общ.} = 97.3$ (см. таблицу, тип 19) заключается в том, что величина октаэдрической вакансии W_k в них оказалась крайне низкой - $W_k = 0.04$ ф.е., что характерно для аннитов стехиометрического состава. Анниты-(Zn) от всех изученных образцов отличаются исключительно высоким содержанием $Al^{VI} - 0.60$ ф.е., при крайне низкой концентрации $Al^{IV} - 1.04$ ф.е.. Увеличение $F_{общ.}$ в них сопровождается закономерным возрастанием величины W_k до 0.66 ф.е. Спектральным анализом в аннитах обнаружены микропримеси Nb, Ta и Zr, в аннитах-(Zn) - повышенное содержание Li - 50-100 г/тн, что позволяет вполне обоснованно для аннитов и аннитов-(Zn) из верхнепалеозойских щелочных пород выделить особый тип "сиенит-щелочно-гранитных" слюд, обогащенных Nb, Ta, Zr, Zn, Li, F.

Второе защищаемое положение

Вариации химического состава триоктаэдрических слюд подчиняется двум трендам - нижне-среднепалеозойскому "сиенит-карбонатитовому" и верхнепалеозойскому - "сиенит-щелочно-гранитному", что позволяет выделить объективно перспективные для поисков вермикулитового сырья. Нижне-среднепалеозойский «сиенит-карбонатитовый» тренд характеризуется изменением состава по истонит-сидерофиллитовой (с участием титана) и флогопит-аннитовой схемам. Верхнепалеозойский "сиенит-щелочно-гранитный" тренд характеризуется обратной, по отношению к предыдущему, последовательностью изменения состава, что отвечает смене «сиенитового» биотита глиноземистым и титанистым аннитом. В допалеозойских метабазитах и барических бластомилонитах "сиенит-карбонатитовые" слюды являются вторичными образованиями, замещающими породообразующие роговые обманки и светлые слюды апогаббровых и апоэклогитовых амфиболитов.

Многолетними исследованиями щелочного магматизма Ильмено-Вишневогорского комплекса установлено, что с миаскитами генетически связаны карбонатиты. За карбонатитами, с резким отрывом во времени, следуют постмиаскитовые сиениты [Левин, 1974 Левин, Роненсон, Самков и др., 1977]. Близкая последовательность процессов щелочного магматизма установлена и в Уфалейском метаморфическом блоке: с нефелиновыми сиенитами генетически связаны карбонатиты, за которыми следуют более поздние (“постмиаскитовые”) сиениты и щелочные гнейсо-граниты. Приведенные данные послужили аргументированным основанием для выделения двух основных трендов изменения химизма триоктаэдрических флюидов Уфалейского метаморфического блока - “сиенит-карбонатитового” и “сиенит-щелочно-гранитного” (рис. 1).

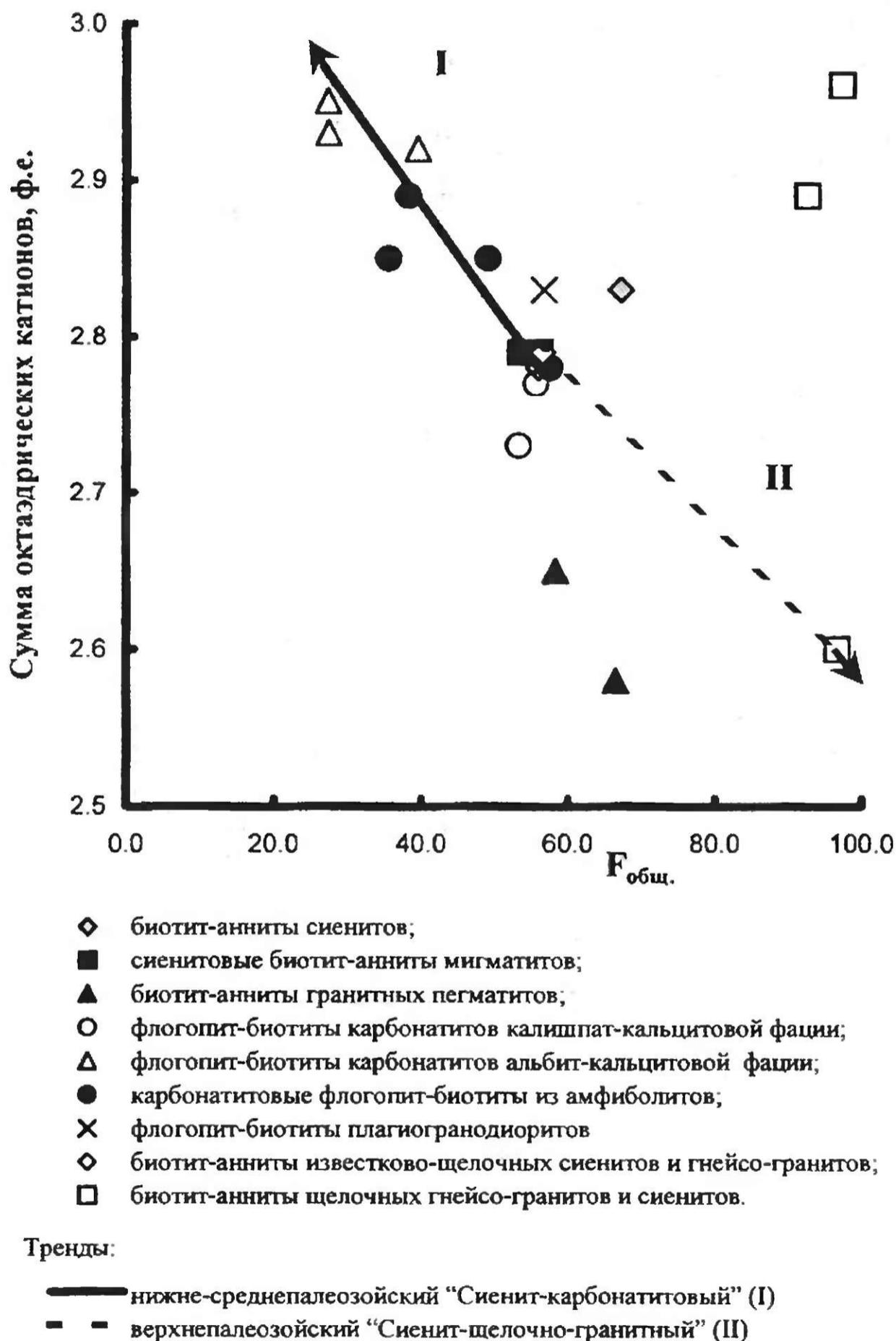
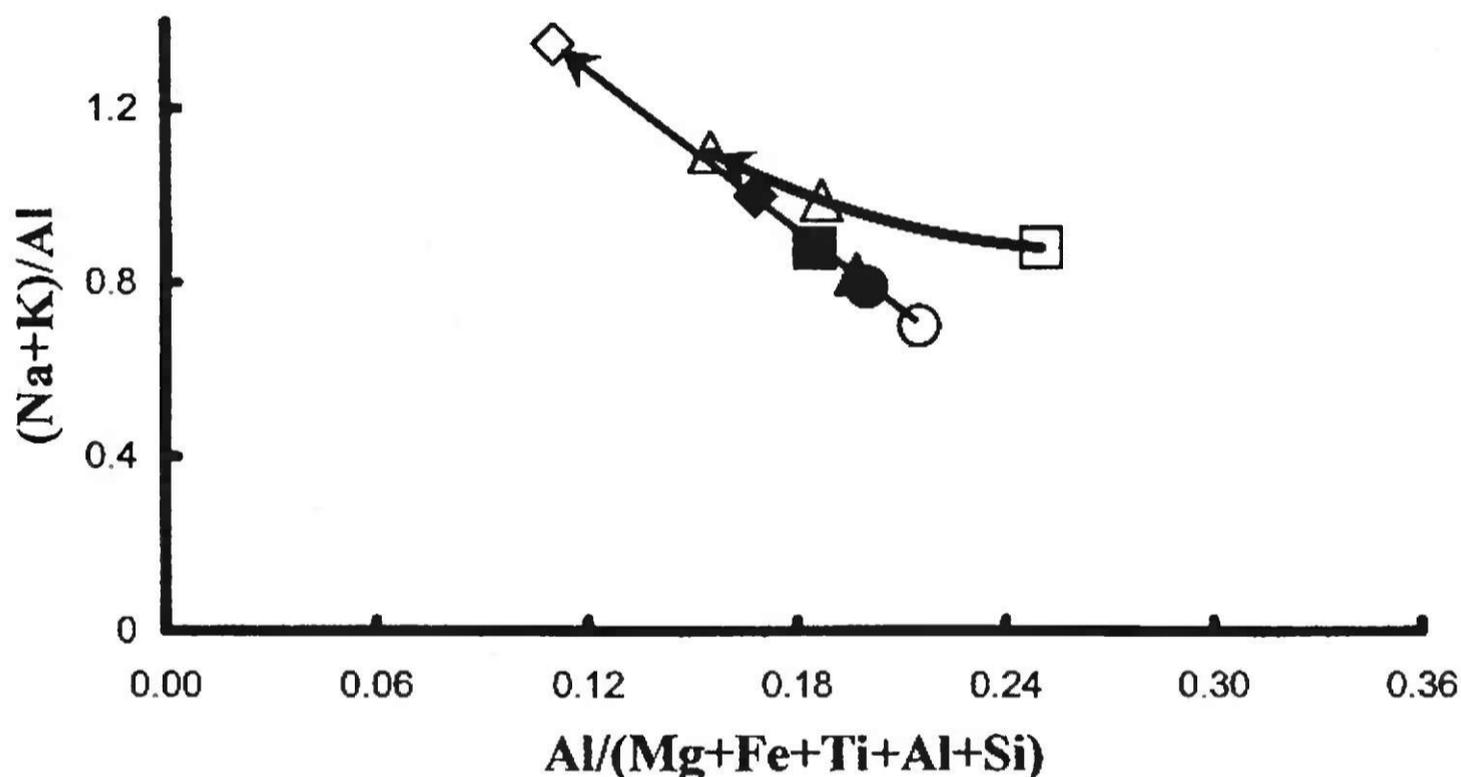


Рис. 1. Основные тренды изменения химизма флогопит-аннитов из пород Уфалейского метаморфического блока.

“Сиенит-карбонатитовый” (I) тренд ниже-среднепалеозойских триоктаэдрических слюд представлен серией составов: темно-зеленый биотит (“сиенитовые” слюды) → коричневый биотит-биотит-(Mg) → зеленый флогопит-(Fe) → зеленый тетраферрифлогопит (“карбонатитовые” слюды). В рассматриваемой серии реализуется изоморфизм по истонит сидерофиллитовой (с участием титана) [Robert, 1977; Bondi, Nannetti, Pririani, 1977] и флогопит-аннитовой схемам. Средние химические составы «карбонатитовых» биотитов ($F_{\text{общ.}}=56-49-35$), образующие скопления в апогаббровых амфиболитах, показаны на рис. 1. (см. рис. 1, залитые черные кружки).

“Сиенит-карбонатитовый” тренд ниже-уфалейских флогопит-аннитов оказался во многом близким к известным трендам изменения химизма слюд из карбонатитов интрузий щелочно-ультраосновного типа [Кухаренко, Орлова, Булах и др., 1965; Кононова, Борисевич, Ломейко, 1978] – “первичный” темно-зеленый биотит нефелиновых сиенитов во “времени” сменяются зеленым беститанистым флогопит-тетраферрифлогопитом. В карбонатитах линейно-трещинного типа изменение типохимизма слюд происходит в той же последовательности [Белковский, Белковская, 1994] как и в классических карбонатитах щелочно-ультраосновных интрузий (рис.2). Именно в названных химических разновидностях слюд отсутствуют кристаллохимические факторы, снижающие способность к вермикулитизации.



- слюды карбонатитов калишпат-кальцитовой фации Уфалейского метаморфического блока;
- △ слюды карбонатитов альбит-кальцитовой фации Уфалейского метаморфического блока;
- слюды ранних карбонатитов из пород Кольского полуострова [Кононова и др., 1968];
- слюды турьяитов из пород Кольского полуострова [Кононова и др., 1968];
- ▲ слюды пегматондных мельтейгитов из пород Кольского полуострова [Кононова и др., 1968];
- слюды оливинитов из пород Кольского полуострова [Кононова и др., 1968];
- ◆ слюды ийолитов из пород Кольского полуострова [Кононова и др., 1968];
- ◇ слюды поздних карбонатитов из пород Кольского полуострова [Кононова и др., 1968].

Рис.2. Тренды изменения химизма триоктаэдрических слюд из щелочных пород и связанных с ними карбонатитов

“Сиенит-щелочно-гранитный” (II) тренд верхнепалеозойских триоктаэдрических слюд по своей направленности противоположен “сиенит-карбонатитовому” тренду. В рассматриваемой серии так же реализуется изоморфизм по истонит-сидерофиллитовой (с участием титана) и флогопит-аннитовой схемам, но в обратной последовательности, что обуславливает смену зеленых биотитов субщелочных гнейсо-гранитов - известково-щелочных сиенитов высокотитанистыми аннитами и аннитами-(Zn). Химический состав впервые обнаруженных природных аннитов-(Zn) уникален – этот минеральный вид представляет собой промежуточный состав ряда аннит → сидерофиллит - (Zn). Приведенные данные по кристаллохимическому облику верхнепалеозойских слюд (см. рис. 1, тренд II) однозначно указывают, что породообразующие анниты щелочных пород не могут являться оптимальным субстратом для образования высококачественного вермикулита.

В определении парагенетического типа слюд важную роль играет изучение микропримесей. Благодаря большому количеству спектральных анализов, выполненных для всех химически проанализированных образцов, удалось установить специфические микропримеси “сиенитовых” – Nb, Ta, Zr, “карбонатитовых” – Nb, Ta, Zr, Y, Sr, “гранитных” – Pb, Zn, “сиенит-щелочно-гранитных” – Nb, Ta, Zr, Zn, Li, F слюд.

Третье защищаемое положение

Промышленный интерес представляют линейные коры выветривания, развивающиеся по биотитовым слюдитам, генетически связанным с линейно-трещинными карбонатитами калишпат-кальцитовой фации. Технологические характеристики мелкочешуйчатого гидробиотита Нижне-Уфалейского проявления близки к вермикулитам Потанинского месторождения на Среднем Урале и отвечают требованиям к вермикулитовым концентратам, предъявляемым ГОСТ-12865-67.

В западной части егустинской пластины метабазиты подверглись региональной биотитизации и на больших площадях превращены в биотит-амфибол-плагиоклазовые, биотит-амфиболовые породы и биотитовые слюдиты [Белковская, 1993]. В продуктах палеогенового выветривания [Сигов, 1968] апобазитовых метасоматитов триоктаэдрические слюды превращены в смешаннослойные образования, представленные переслаиванием с различной степенью упорядоченности биотитовых и вермикулитовых пакетов с обменным катионом кальция.

Гидрослюды, содержащие до 10% вермикулитовых межслоевых промежутков и смешаннослойные вермикулит-биотиты развиваются по двум разновидностям биотит-аннитов: коричневому “карбонатитовому” биотиту с $F_{\text{общ}}=55-40$ и значительно реже по оливково-зеленому и черно-зеленому “сиенитовому” анниту-(Mg) с $F_{\text{общ}}=67$. В процессе выветривания исходного “карбонатитового” биотита образуются каштановые гидробиотиты и гидробиотиты с обменным кальцием, среднее содержание кальция в которых соответственно составляет (ф.е.): 0.05-0.04; 0.07; 0.18. Продукты гидратации “сиенитовых” аннитов представлены грязно-зеленым гидроаннитом с 0.03 ф.е. Са и гидроаннитом кальциевым с 0.07 ф.е. Са. Химический состав гидрослюд в значительной степени задается составом исходного материала, по биотитам образуются гидробиотиты, по аннитам – гидроанниты. По содержанию Si^{4+} выделяются разности с $Si^{4+} - 2.80-2.81$ ф.е. и $Si^{4+} - 2.87-2.89$ ф.е. Величина a_{Si} при этом уменьшается от $a_{Si}=30.7$ до $a_{Si}=27.7$. Это является благоприятным фактором, поскольку ранее было установлено, что уменьшение концентрации Si^{IV} и F снижает устойчивость триоктаэдрических слюд к отрицательной трансформации за счет ослабления силы связи К–О [Рентгенография основных типов породообразующих минералов, 1983].

В процессе гидратации биотита концентрации Mg, Mn, Ti и F остаются неизменными. Двухвалентное железо практически полностью переходит в трехвалентное, т.е. гидрослюды являются оксибиотитами или оксианнитами. В то же время сумма октаэдрических катионов закономерно уменьшается от 2,78 до 2,36 ф.е., что сопровождается частичным удалением Fe^{3+} из октаэдрических сеток [Яковлев, Польшин, Карпенко, 1973; Яковлев, Карпенко, 1976;

Кринари, Монапов, Бакирова, 1979]. Значение коэффициента окисления для них колеблется от $f_0=0.46$ до $f_0=0.92$. По данным электронографических исследований изученные образования являются дитриоктаэдрическими силикатами, что подтверждается «промежуточными» значениями параметра b_0 их элементарных ячеек, и представлены политипами $1M + 1Md$ или $1M + (1Md \gg 2M_1)$ [Белковский, Котляров, Белковская, 1989]. Основным обменным катионом, замещающий калий, является кальций. Указанная особенность связана с химизмом пород, подвергшихся процессам ослоденения. Содержание калия и кальция, в пересчете на K_2O и CaO , в изученных образцах уменьшается от 8.17 до 4.54 мас.%; CaO и H_2O увеличиваются соответственно от 0.32 до 2.22 и от 3.25 до 9.14 мас.%. В природных условиях из гидробиотитов с $F_{обш.}=45-50$ полное удаление калия не происходит - установлен нижний предел концентраций калия, в пересчете на K_2O , в гидрослюдах, который, по-видимому, составляет 1.5-2.0 мас.% [Белковская, 1989; 1993; Белковская, Котляров, Белковский, 1989].

Оптические характеристики гидрослюдов каштановых и буро-коричневых гидробиотитов ($n_g \approx n_m = 1.660 \pm 0.014$; $F_{обш.} = 51.1 \pm 5.8$; $f_0 = 0.87 \pm 0.07$), каштановых и бурых гидробиотитов с обменным кальцием ($n_g \approx n_m = 1.654 \pm 0.016$; $F_{обш.} = 47.7 \pm 1.5$; $f_0 = 0.92 \pm 0.01$), оливково-зеленых, буро-зеленых и грязно-зеленых гидроаннитов и гидроаннитов с обменным кальцием ($n_g \approx n_m = 1.675 \pm 0.005$; $F_{обш.} = 70.0 \pm 3.4$; $f_0 = 0.73 \pm 0.22$) оказались близкими к оптическим константам вермикулитизированных слюдов Потанинского месторождения [Львова, 1974].

Кривые ДТА характеризуются тремя эндотермическими эффектами, укладывающимися в интервалы: 140-160 °С, 350-370 °С и 650-700 °С. Первый этап дегидратации связан с потерей 48-60% воды, остальные этапы характеризуются практически одинаковыми потерями воды – порядка 25%. Кривые нагревания гидробиотитов и гидробиотитов с обменным кальцием оказались близкими друг к другу и по своим параметрам они соответствуют термограммам вермикулитов, детально изученных А.В. Уолкером [Walker, 1949]. Большинство изученных образцов представлены смешаннослойными образованиями, содержащими реликты биотита $1M$ и подчиненного ему “дитриоктаэдрического” гидробиотита $1Md$, что и было установлено ранее на примере многих вермикулитовых месторождений [Звягин, 1961; Дриц, 1971, 1975]. Некоторые пробы представлены более сложными смесями – $1M + (1Md \gg 2M_1)$ или $1M + (1Md = 2M_1)$. “Чистый” политип $2M_1$ не установлен. По данным рентгеновской дифрактометрии слюдяные концентраты представлены следующими минералами:

- триоктаэдрической железо-магнезиальной слюдой, характеризующейся целочисленной серией базальных отражений от $d_{001} \approx 10,0 \text{ \AA}$;
- слабогидратированным биотитом с концентрацией вермикулитовых пакетов не более 15%, характеризующимся смещением первого базального рефлекса до $10,8 \text{ \AA}$;
- неупорядоченно смешаннослойной биотит-вермикулитовой фазой с содержанием вермикулитовых пакетов более 15%, дающей рефлексы в области $14,8$; $7,30$; $3,5 \text{ \AA}$;
- частично упорядоченной смешаннослойной биотит-вермикулитовой фазой с содержанием биотит-вермикулитовых пакетов порядка 30-40% - рефлексы в области 19 ; 16 ; 13 \AA ;
- упорядоченной по закону 1:1 биотит-вермикулитовой фазой, дающей серию базальных отражений от сверхпериодного межплоскостного расстояния порядка 25 \AA .

Дифрактометрические характеристики изученных автором гидробиотитов [Белковская, 1993] оказались близкими к метрике вермикулитов кальциевых из месторождений Казахстана и Украины [Дьяконов, 1964; Дьяконов, Львова, 1967; Токмаков, Эпельбаум, Бобров и др., 1975]. Наиболее близкими к изученным образцам оказались гидробиотиты Потанинского месторождения (Средний Урал), для которых установлены следующие значения отражений типа (00L): 25.0 (001)хх; $14.98-14.8$ (004)х; 12.5 ; $7.40-7.30$ (002)х; 4.95 (005)хх; $3.74-3.71$ (004)х; 3.56 (007)хх; 2.08 (0.0.12)хх \AA (х - фаза вермикулита; хх – гидробиотита) [Дьяконов, 1964; Львова, 1974; Кринари, Морозов, Фролов, 1988]. Основная разница гидрослюдов Потанинского месторождения и Нижне-Уфалейского проявления заключается лишь в размерности слюдяных пластинок - для первого характерны в основном крупно-среднелистоватые руды, для второго – мелкочешуйчатые.

Уфалейский район относится к перспективным площадям для постановки поисковых работ на вермикулит [Львова, 1974; 1986; 1990]. Промышленно значимая минерализация апобiotитовых гидрослюд выявлена на площади 50 км² к югу от поселка Нижний Уфалей и связана с биотитизированными апогаббровыми амфиболитами [Белковская, 1993]. Практический интерес представляют линейные коры выветривания палеогенового возраста [Сигов, 1968], в пределах которых биотиты апогаббровых метасоматитов вермикулитизируются наиболее интенсивно. Очевидно, этому способствует наличие промывного режима, обеспечивающего вынос железа из реакционной зоны [Кринари, Морозов, Фролов, 1988]. Процесс ослюденения metabазитов имеет площадной характер. Видимая мощность отдельных "тел" амфибол-биотитовых и биотитовых метасоматитов колеблется от первых метров и до 30-50 м. Коры выветривания на глубину совершенно не изучены. Полевыми работами установлена следующая закономерность - апогаббровые амфиболиты, затронутые процессами биотитизации, пространственно и генетически не связаны с телами нижнепалеозойских щелочных и нефелиновыми сиенитов, плагиогнейсо-гранитов, гранитных пегматитов и мигматитов. Содержание мелкочешуйчатого гидробиотита в метасоматитах подвержено очень сильным колебаниям - от 100 и до 1-2 об.%. Среднее содержание гидрослюд на отдельных площадях составляет 20 об.% [Львова, 1986]. Лабораторное обогащение нескольких проб (минералогическая лаборатория ПО "Уралгеология", вес проб 10-20 кг), проведенное по известной методике [Исаков, Ревницев, Богословская, 1964], позволило получить вполне удовлетворительные концентраты гидрослюд фракций 1-2 мм. из гидробиотитовых слюдитов. Насыпной объемный вес вспученного вермикулита колеблется от 180 до 320 кг/м³. По всем характеристикам гидрослюды Нижне-Уфалейского проявления оказались близкими к гидробиотитам кальциевым ряда месторождений Кольского полуострова, Западного Приазовья на Украине [Львова, 1974], Алтынтасского месторождения вермикулита в Мугоджарах [Болтыров, Чен-Лен-Сон, Бирюков, 1982], Потанинского месторождения на Среднем Урале [Отто, 1963; 1965]. Основные минералы-примеси слюдяных концентратов: кварц, альбит, эпидот, сине-зеленая и зеленая роговые обманки, хлорит (клинохлор с $F_{\text{общ}}=48-50$), фергюсонит-(Y), малотитанистый магнетит, рутил, ильменит, каолин, метамиктный и анизотропный ортит-(Ce), лимонитизированный пирит. Качество руд несколько ухудшается в результате наложения поздней каолинизации и хлоритизации. Однако эти процессы проявлены крайне незначительно.

Основные характеристики мелкочешуйчатых гидробиотитовых руд Нижне-Уфалейского проявления (содержания Fe₂O₃ - 18.50-20.50 мас.%, коэффициент окисления $f_0=0.85-0.92$, насыпной объемный вес 180-320 кг/м³, $n_g \approx n_m = 1.660-1.654$) отвечают требованиям к вермикулитовым концентратам, предъявляемым ГОСТ-12865-67 [ГОСТ-12865-67, 1968]. По многим характеристикам изученные гидрослюды близки к гидробиотитам интенсивно эксплуатируемого Потанинского месторождения на Среднем Урале, запасы которого по категориям A+B, A+B+C₁ и C₂ составляют 20000-30000 тыс. тонн (ГКЗ СССР на 1.01.1971 г.), что позволяет удовлетворить потребности только Уральского региона на ближайшие тридцать лет [Львова, 1974].

Региональная биотитизация metabазитов Уфалейского метаморфического блока связана с воздействием на них карбонатитов калишпат-кальцитовой фации. Только этот процесс обеспечил образование крупных по размерам тел исходных биотитовых слюдитов [Белковская, 1993]. Калиевый метасоматоз metabазитов происходил до появления первых кальцитовых карбонатитов по следующей схеме: апогаббровый амфиболит (зеленая роговая обманка + андезин + олигоклаз + альбит) → биотит-плагиоклаз-амфиболовый метасоматит (биотит + сине-зеленая роговая обманка + альбит) → биотит-амфиболовый метасоматит → биотитовый слюдит. Редкометальная и редкоземельная нагрузка апобазитовых слюдитов представлена ортитом-(Ce) и метамиктным фергюсонитом-(Y). Фактический материал позволил выделить особый тип региональных биотитовых метасоматитов, генетически связанных со среднепалеозойскими (330-300 млн. лет) карбонатитами линейно-трещинного типа [Белковский, Белковская, 1990a].

Региональные биотитовые метасоматиты привлекают внимание многих исследователей. В слюдах батолита Custer County, South Dakota, USA впервые обнаружены биотиты с повышенным содержанием цезия [Hess, Fachey, 1932]. Породы, содержащие Cs- и (Li-Cs)-слюды, получили особое название – региональных (допегматитовых) редкощелочнометалльных метасоматитов пегматитовых полей [Кривовичев, 1986; Гордиенко, Сырицо, Кривовичев, 1975; 1981; 1987]. Региональные метасоматиты являются неотъемлемой частью формирования древних зеленокаменных поясов [Кривовичев, 1989].

В природе существует, по крайней мере, две группы региональных биотитовых метасоматитов – метагабброидных комплексов (уральский тип) и допегматитовых редкощелочнометалльных зеленокаменных поясов (кольский тип). Первый тип характеризуется редкоземельно-редкометалльной нагрузкой – ортит-(Ce), фергюсонит-(Y), второй – редкощелочноземельной – биотит-(Cs), холмквистит, амблигонит-монтебразит (кольский тип). Столь резкая разница минеральных ассоциаций позволяет отличать выявленные типы метасоматитов на ранних стадиях геологоразведочных работ.

Заключение

1. Впервые для изверженных и метаморфических пород Урала на примере Уфалейского блока установлены отличия по химизму и составу микропримесей разновозрастных парагенетических типов железо-магнезиальных слюд, среди которых выделены: нижнепалеозойские (450-400 млн. лет) “сиенитовые” биотиты (микропримеси Nb, Ta, Zr), среднепалеозойские (330-300 млн. лет) “карбонатитовые” биотит-тетраферрифлогопиты (микропримеси Nb, Ta, Zr, Sr, Y) и “гранитные” биотиты (микропримеси Pb, Zn), верхнепалеозойские (270-250 млн. лет) “сиенит-щелочно-гранитные” биотит-анниты (микропримеси Nb, Ta, Zr, Zn, Li, F).

2. Установлены два тренда изменения химического состава триоктаэдрических слюд – нижне-среднепалеозойский “сиенит-карбонатитовый” и верхнепалеозойский “сиенит-щелочно-гранитный”. «Сиенит-карбонатитовый» тренд наиболее полно отражает особенности изменения химизма «карбонатитовых» слюд, продукты выветривания которых представляют несомненный практический интерес. Анниты и глиноземистые анниты «сиенит-щелочно-гранитного» тренда практического значения не имеют.

3. Промышленные скопления железо-магнезиальных слюд в Уфалейском районе связаны с линейными корами выветривания, развитыми по апоамфиболитовым слюдитам. Продукты палеогенового выветривания “карбонатитовых” слюд представлены гидробиотитами с обменным кальцием (содержания Fe_2O_3 – 18.50-20.50 мас.%, коэффициент окисления $f_o=0.85-0.92$, насыпной объемный вес 180-320 кг/м³, $n_g \approx n_m = 1.660-1.654$), технические характеристики которых отвечают требованиям к вермикулитовым концентратам, предъявляемых ГОСТ-12865-67;

4. Выделен новый тип вермикулитового сырья – коры выветривания по региональным биотитовым слюдитам, генетически связанными с линейно-трещинными карбонатитами калишпат-кальцитовой фации;

5. Установленные парагенетические типы железо-магнезиальных слюд, по-видимому, присутствуют и в других магматических и метаморфических комплексах Урала. Полученные в ходе исследований результаты могут быть использованы в целях геологического и минералогического картирования полигенных и полихронных амфиболит-гнейсовых комплексов с сиенит-щелочно-гранитным магматизмом и карбонатитами, а так же при проведении специализированных поисковых работ на вермикулитовое сырье;

6. Создан банк данных по типохимизму, физическим характеристикам и калий-аргоновым датировкам породообразующих биотит-аннитов одного из наиболее сложных геологических объектов Урала – Уфалейского метаморфического блока. Полученные данные могут быть использованы при изучении полигенных редкометалльных месторождений.

Основные публикации по теме диссертации:

1. Белковская Я.А. О вермикулитах с обменным кальцием // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления. Тюмень: 1989. С. 207.
2. Белковская Я.А. Оксидбиотит из марганцевых скарнов Уфимского железного рудника на Южном Урале // Региональная минералогия Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1990. С. 92-93.
3. Белковская Я.А. Биотиты из гранитных пегматитов Уфалейского метаморфического блока (Средний Урал) // Минералогия и генезис пегматитов. Информационные материалы IV Всесоюзного совещания. Часть I. Миасс: 1991а. С. 8-10.
4. Белковская Я.А. Химический и структурный типоморфизм черных слюд из щелочных пород западной части Уфалейского метаморфического блока // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления. Тюмень: 1991б. С. 74.
5. Белковская Я.А. Сидерофиллит из кварцевых жил Кузнечихинского месторождения на Среднем Урале // Минералогия кварца. Сыктывкар: 1992. С. 125-126.
6. Белковская Я.А. Кальциевые гидробиотиты гнейсо-мигматитовых комплексов // Уральский минералогический сборник, №2. Свердловск: 1993. С. 109-117.
7. Белковская Я.А. Типохимизм и эволюция состава биотит-аннитов щелочных пород Уфалейского и Ильмено-Вишневогорского метаморфических блоков (Средний и Южный Урал) // Уральский минералогический сборник, №11. Миасс: ИМин УрО РАН, 2001. С. 226-233 (в соавт. с А.И. Белковским).
8. К проблеме субстрата вермикулитового сырья и основные типы месторождений черных слюд докембрия // XII Всесоюзное совещание по металлогении докембрия. Киев: Наукова Думка, 1990а. С. 108 (в соавт. с А.И. Белковским).
9. Черные слюды из мигматитов Уфалейского эклогит-сланцевого комплекса (Средний Урал) // Региональная минералогия Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1990б. С. 98-100 (в соавт. с А.И. Белковским).
10. О химическом составе железо-магнезиальных слюд из карбонатитов Уфалейского метаморфического блока // Уральский минералогический сборник. №3. Екатеринбург: 1994. С. 110-115 (в соавт. с А.И. Белковским).
11. Биотиты из фенитизированных пород восточной части Уфалейского метаморфического блока // Уральский минералогический сборник. №4. Миасс: 1995. С. 33-42 (в соавт. с А.И. Белковским).
12. Политипия и дифракционные особенности вермикулитов с обменным кальцием // Информационные материалы XI Всесоюзное совещание по рентгенографии минерального сырья. Свердловск: 1989. С. 52 (в соавт. с А.И. Белковским, В.А. Котляровым).
13. Состав, возраст домиаскитовых сиенитов и проблема возраста сиенит-миаскитовой формации Урала // Уральский минералогический сборник, №10. Миасс: ИМин УрО РАН, 2000. С. 132-141 (в соавт. с А.И. Белковским).

Белковская